



Universidad
del País Vasco

Euskal Herriko
Unibertsitatea

ZIENTZIA
ETA TEKNOLOGIA
FAKULTATEA
FACULTAD
DE CIENCIA
Y TECNOLOGÍA



Gradu Amaierako Lana
Biologiako Gradua

Bilboko azpiegitura berdeen diseinuaren eragina tenperatura murrizketan

Egilea:
Alain Sorazu Agirre
Zuzendaria:
Ibone Ametzaga Arregi
Zuzendarikidea:
Lorena Peña Lopez

© 2019, Alain Sorazu Agirre

Leioa, 2019ko ekainaren 19a

AURKIBIDEA

LABURPENA	1
ABSTRACT	2
1. SARRERA.....	3
2. HELBURUAK ETA HIPOTESIAK	4
3. MATERIALAK ETA METODOAK	5
3.1 Ikerketa area	5
3.2 Datu bilketa.....	5
3.3 Analisiak	9
3.4 i-Tree Eco.....	10
4. EMAITZAK	10
4.1 Hirigunea	10
4.2 Parkeak	15
4.3 Hiriko azpiegitura berdeen eragina tenperaturan.....	16
4.4 i-Tree Eco.....	19
5. EZTABAIDA	19
6. ONDORIOAK.....	22
7. ESKER ONAK.....	23
8. BIBLIOGRAFIA	23

LABURPENA

Zuhaitzen eta azpiegitura berdeen ezaugarriek eragin desberdinak dituzte inguruneko airearen kalitatean eta tenperaturan. Lan honen helburua izan da ikustea Bilboko hiriguneko zuhaitzen eta landaketa-diseinuaren zein ezaugarrik eragiten duten gehien inguruneko tenperaturaren murrizketan eta zein azpiegitura berdeek egiten duten ekarpen handiena inguruneko airearen kalitatea hobetzeko. Azpiegitura berdeak ezaugarri hauen arabera sailkatu dira: azpiegitura mota (parkea/kalea), lurzoru mota (lurra/txorkoa), adaburuen arteko konexio mota (konektatuta/konektatu gabe) eta espeziea (*Betula pendula*, *Ligustrum japonicum*, *Platanus hybrida* eta *Tilia* sp.). Eremu horietan ondorengo aldagaiak neurtu dira: zuhaitzen altuera, enborren diametroa (DBH), adaburuen azalera eta altuera, Hosto Area Indizea (LAI), eguzkipeko tenperatura, zuhaizpeko tenperatura eta zuhaitzaren eta eraikin hurbilenaren arteko distantzia. Spearman-en korrelazioa erabiliz aztertu dira aldagaien arteko erlazioak. “Principal Coordinates Analysis” (PCoA) analisia eta ANOSIM antzekotasun analisia egin dira ezaugarrien araberako taldeen arteko antzekotasuna aztertu eta irudikatzeko. Taldeen arteko aldakortasuna testatzeko, Kruskal-Wallis eta Dunn testak erabili dira. i-Tree Eco softwarea erabiliz, azpiegitura berdeek CO₂-a bahitzeko eta metatzeko, O₂-a ekoizteko eta UV indizea murrizteko duten gaitasuna aztertu da. Lortutako emaitzen arabera, zuhaitzen tenperatura murrizteko gaitasunean eragina duten aldagaiak DBHa, LAIa eta zuhaitzaren eta eraikinen arteko distantzia dira. Espezieen artean *B. pendula* da tenperatura murrizteko gaitasun gutxiena duen espeziea eta gainontzekoen artean ez dago desberdintasun esangarririk, lurrean dauden zuhaitzek txorkoan daudenek baino % 45 gehiago murrizteko tenperatura, adaburuen arteko konexioak ez du eraginik zuhaitzen tenperatura murrizteko gaitasunean, eta parkeek tenperatura murrizteko gaitasun handiagoa dute kaleek baino. Bestalde, ikusi da zuhaitz-dentsitate handiagoko azpiegitura berdeek airearen kalitatea hobetzeko gaitasun handiagoa dutela. Ondorioz, zuhaitzak landatzea hirietako ongizatea hobetzeko modu ona den arren, azpiegitura berdeen egitura, kokapena eta kudeaketa dira klima aldaketari aurre egiteko kontuan izan beharreko ezaugarri garrantzitsuenak.

Gako-hitzak: Hiriguneko azpiegitura berdeak, ekosistemen zerbitzuak, Bilbo, tenperatura-murrizketa, i-Tree

ABSTRACT

The features of trees and urban green spaces have different effects on the air quality and temperature. The objective of this study is to analyze what features of street trees in Bilbao and the design of plantation are those that most influence the cooling effect and which green areas are those that contribute most to the improvement of air quality. The green spaces were classified according to the following features: type of green space (park/street), type of soil (natural/artificial), type of connection between crowns (connected/not connected), and the species (*Betula pendula*, *Ligustrum japonicum*, *Platanus hybrida* eta *Tilia* sp.). The following parameters were measured: height of the trees, the diameters of the trunks at breast height (DBH), surface and height of tree crowns, Leaf Area Index (LAI), temperature in the sun, temperature in the shade of the tree and the distance between the tree and the nearest building. Relations between variables were analyzed with Spearman correlation. Principal Coordinates Analysis (PCoA) and analysis of similarities (ANOSIM) were used to visualize and analyze the similarity of the groups defined by the features of the green spaces. Kruskal-Wallis test and Dunn test were used in order to analyze the variability between groups for each variable. Four more ecosystem services were analyzed using i-Tree Eco software: capture and accumulation of CO₂, production of O₂ and UV index reduction. The results show that the variables that affect the cooling effect are DBH, LAI and the distance between the tree and the building. The species *B. pendula* is the worst in relation to the cooling effect and there are no significant differences between the other three species, trees in natural soil can reduce the temperature by 45 % more, the connection between crowns does not affect the cooling effect, and parks produce a greater cooling effect compared to the streets. It has also been seen that urban green spaces with a higher density of trees have a greater capacity to improve air quality. Thus, although planting trees is a good way to improve the well-being of people in cities, the most important features to take into account to confront climate change are the structure, location and management of green spaces.

Keywords: Urban green spaces, ecosystem services, Bilbao, cooling, i-Tree

1. SARRERA

Gaur egun, munduko biztanleriaren gehiengoa hirietan bizi da, eta hiriak klima-aldaketaren eraginekiko kalteberak direnez gidaritzafuntzioa dute efektuak arintzeko eta aldaketara moldatzeko (Rosenzweig *et al.*, 2011). Hirigintzarako luraren eraldaketak aldaketa handiak eragiten ditu ekosistemetan eta eskaintzen dizkiguten zerbitzuetan, esate baterako, airearen iragazketan, mikroklimen erregulazioan, zarataren murrizketan, euri-uraren drainatzean, hondakin-uren arazketan, balio kulturallean, karbonoaren metaketan eta bahiketean, energia aurreztean eta faunari bizitokia eskaintzean (Bolund & Hunhammar, 1999; Nowak *et al.*, 2008; Patterson & Coelho, 2009). Hirietako azpiegitura berdeek, eragin onuragarria dute gizakion ongizatean eta osasun fisiko zein psikologikoan (Lee & Maheswaran, 2010), baina batez ere, garrantzia handia daukate bero-irla efektua murrizteko. Naturan erradiazioaren zati handi bat ebapotranspirazioan kontsumitzen da, hiriguneetan aldiz, asfalto beltzeko teilatuen eta bideen eraginez, erradiazioak airearen tenperatura igotzea eragiten du (Blanco *et al.*, 2011). Horren eraginez hiriguneetan tenperaturak altuagoak neurtzen dira inguruko lurretan baino. Hiriko bero-irlari aurre egiteko hainbat neurri proposatu dira: jatorri antropikoko beroaren murrizketa (Kikegawa *et al.*, 2006, Yamamoto, 2006), material islatzaileen erabilera (Yamamoto, 2006), eraikinen diseinua hobetzea eta landaketak (Spronken-Smith *et al.*, 2000, Kikegawa *et al.*, 2006), besteak beste. Azken hori da gehien erabili izan den neurria (Rizwan *et al.*, 2008), izan ere, inguruko tenperatura jaitsiz energia asko aurrezten da landareei esker (Kikegawa *et al.*, 2006).

Baina esku-hartze maila desberdinek tenperatura beherakadan eragin dezakete (McDonnell & Pickett, 1990). Gainera, zuhaitzek portaera desberdina dute espeziearen ezaugarrien eta landaketa- eta kudeaketa-estrategien arabera (Abreu-Harbich *et al.*, 2015). Ondorioz, oso garrantzitsua da ezagutzea nola eragiten duen esku-hartze mailak bero-irla efektuaren aurkako borrokan kudeaketa-estrategiak eta baliabideak modu eraginkorrean erabili ahal izateko.

Hirietako azpiegitura berdeak aztertzeko metodo desberdinak erabili izan dira, adibidez, laginketak eta hiriguneko zuhaitzen inbentarioak (Nowak *et al.*, 2008). Laginketen bidez, aurretiaz zehaztutako zuhaitz- edo lursail-kopurua neurtzen da eremu handiago baten estimazioa egiteko. Inbentario osoan, aldiz, zuhaitz guztiak neurtzen dira informazio zehatzagoa lortuz, baina neketsuagoa da.

Lagintzen diren zuhaitzen neurrien artean arruntenak bularraren altuerako diametroa (“Diameter at Breast Height”, DBH), altuera osoa, adaburu biziaren altuera edota azalera dira. Neurri horiek informazio garrantzitsua eman dezakete (Nowak, 1996; Peper *et al.*, 2001a; Peper *et al.*, 2001b), eta ondorioz, kudeatzaileei, arbolazainei, planifikatzaileei eta ikerlariei lagun diezaiekete kudeaketa-estrategiak garatzen (Peper *et al.*, 2001a; Peper *et al.*, 2001b). Gainera, ekosistemen zerbitzuak ebaluatzeko ere balio dezakete, adibidez, argiaren atzematea, kutsaduraren xurgapena eta ebatopotranspirazioa (Nowak, 1996). Gaur egun, eredu matematikoak erabiliz zuhaitzen onurak kuantifikatu daitezke, baina horretarako ezinbestekoa da zuhaitzak neurtzea.

Adaburuaren dentsitateak eta formak eragina dute zuhaitzek egiten duten itzalean eta bertatik pasatzen den erradiazio kantitatean. Adibidez, Brasilgo zuhaitz-espezieek eguzki-erradiazioaren % 76,3 eta % 92,8 bitartean murriz dezakete udako hilabeteetan (Abreu-Harbich *et al.*, 2012; Bueno-Bartholomei & Labaki, 2003). Emaidza horiek baieztatzen dute adaburuaren egiturak, eta hostoen tamainak, formak eta koloreak eragina dutela eguzki-erradiazio murrizketan. Garrantzitsua da, erregulazio termikoaren estrategiekin lotuta, eguzki-erradiazioan eta haizean eragiten duten landarediaren ezaugarriak behatzea. Izan ere, hirietan zuhaitz egokiak landatzeak hiriak hobetu eta aldaketa klimatikora moldatzea ahalbidetuko luke.

2. HELBURUAK ETA HIPOTESIAK

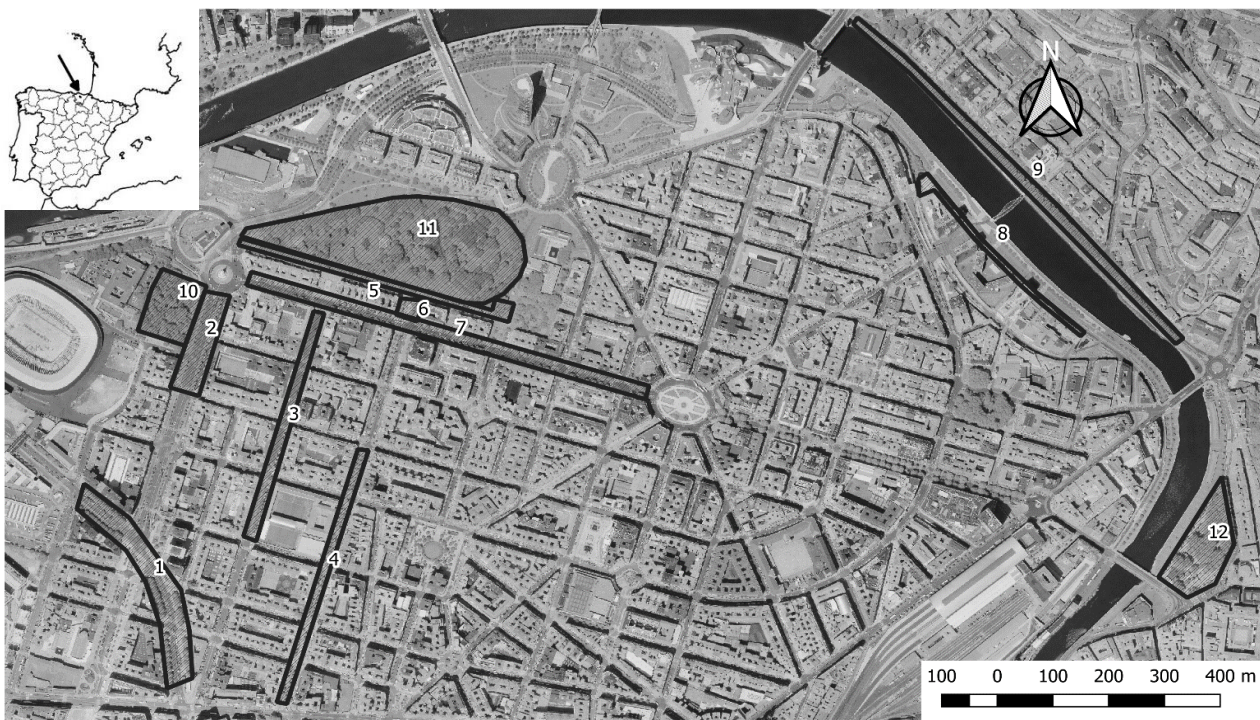
Isurialde atlantikoan Bilbo izan da azken urteetan klima aldaketaren eragin handiena jasan duen hiria, kokapen geografikoa eta populazioa direla eta, udako bero-olatuak ditugu horren adibide. Hori dela eta, lan honen helburua izan da ikustea Bilboko hiriguneko zuhaitzen eta landaketa-diseinuaren zein ezaugarriak eragiten duten gehien inguruneko tenperaturaren murrizketan eta zein azpiegitura berdek egiten duten ekarpen handiena inguruneko airearen kalitatea hobetzeko.

Adaburuaren ezaugarrien eta zuhaitzek eragindako tenperatura-diferentziaren artean erlazio estua ikustea espero da. Adaburuak eta hostoak espeziearen ezaugarriak direnez, espezieek tenperatura-murrizketa desberdina eragingo dute. Bestalde, zuhaitzak multzoan daudenean tenperaturaren eragina handiago izatea espero da. Zuhaitzpeko lurzorua ere inguruneko tenperaturaren eragina izatea espero da, beroaren garraioa ez baita berdina izango belarrez estalitako lurzoruan eta harlauzazko edo asfaltozko lurzoruan.

3. MATERIALAK ETA METODOAK

3.1 Ikerketa area

Bilbo ($43^{\circ} 15' 46''$ N, $2^{\circ} 56' 06''$ W) Bizkaiko hiriburua eta Euskal Autonomia Erkidegoko (EAE) hirigune jendetsuena da, 342.810 biztanle ditu (Euskal Estatistika Erakundea, 2018). Iberiar penintsulako ipar-ekialdean kokatzen da, isurialde atlantikoan. Urteko batez besteko tenperatura $14,7^{\circ}\text{C}$ -koa da eta prezipitazioak 1134 mm-koak (Agencia Estatal de Meteorología, d.g.¹). Udalerriak guztira 4059 ha-ko azalera du (Euskal Estatistika Erakundea, 2014) eta bertan azalera osoaren % 0,46 lagindu zen (Irudia 1).



Irudia 1. Bilboko hirigunearen kokapena, airetik argazkia (2016) eta lagindutako kale eta parkeak. 1. Trenbideko etorbidea, 2. Sabino Arana etorbidea, 3. Maria Diaz Haroko kalea, 4. Areiltza Doktoareen zumarkalea, 5. José Anselmo Clavé pasealekua, 6. Dario de Regoyos kalea, 7. On Diego Lopez Haroko kale nagusia, 8. Uribitarte pasealekua, 9. Campo de Volantín pasealekua, 10. La Misericordia parkea, 11. Casilda Iturrizar parkea, 12. Areatzako parkea.

3.2 Datu bilketa

Hirietan azpiegitura berde desberdinak daude eta tenperaturaren eragin desberdina izan zezaketen landaredi-patroien artean batzuk hautatu ziren ikerketa egiteko. Azpiegitura berdeen eragina aztertzeko hainbat datu hartu behar ziren. Datuok 2018ko uztailean eta abuztuaren hartu ziren, zuhaitzen neurriak uztailearen 14an eta tenperaturaren eta Hosto Area Indizearenak (Leaf Area Index, LAI) abuztuaren 27an eta abuztuaren 30ean, bi egun horietan $27,6^{\circ}\text{C}$ -ko eta $24,8$

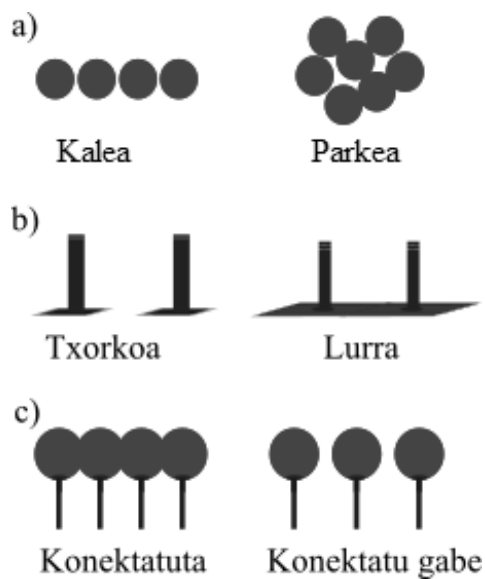
¹ d.g.: data gabe

°C-ko temperatura maximoak neurtu ziren hurrenez hurren Abusu auzoko estazio meteorologikoan (Euskal Meteorologia Agentzia, d.g.).

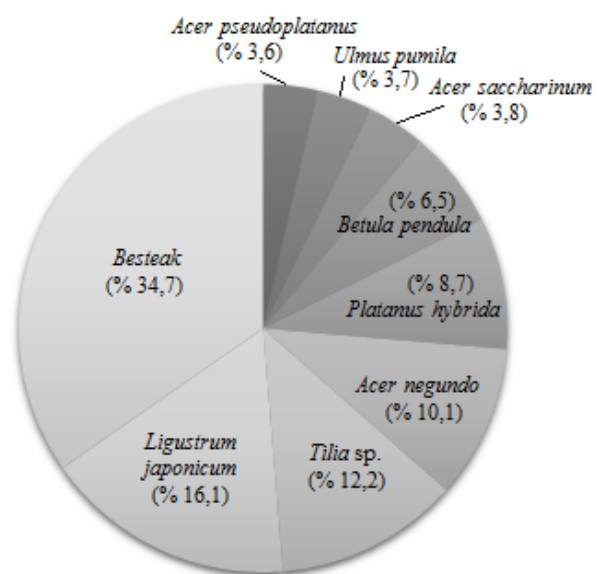
Lehenik eta behin, konparatu nahi ziren landaredia-patroiak definitu ziren (Irudia 3) eta Bilboko hirigunean patroï horiek bilatu ziren:

- Zuhaitzak parke batean daude (multzoan) edo kalean, errepide ertzean (lerroan).
- Lurzorua naturala (lurra) edo artifiziala (txorkoa) da.
- Kalean errepide ertzean ondoz ondoko zuhaitzen adaburuek elkar ukitzen dute (konektatuta) edo ez (konektatu gabe).

Bilboko hirigunean oso ugariak ziren lau espezie aukeratu ziren espezieen arteko konparaketak egiteko (Irudia 3): ezkia (*Tilia* sp. L.), platano arrunta (*Platanus hybrida* Brot.), urki dilindaria (*Betula pendula* Roth) eta japoniar arbustua (*Ligustrum japonicum* Thunb.). Ondoren, zuhaitz horiek zituzten eremuak bilatu ziren (Taula 1). Zuhaitzen sailkapena egiteko satelite bidezko 2016ko ortoargazkia eta Bilboko udalak utzitako zuhaitzen datuak erabili ziren (Bilboko Udala - Obra eta Zerbitzuen Saila, parkeak eta lorategiak).



Irudia 3. Lagindutako landaredia-patroien adierazpen grafikoa.



Irudia 3. Bilboko hiriguneko zuhaitz espezie nagusien ugaritasun erlatiboa.

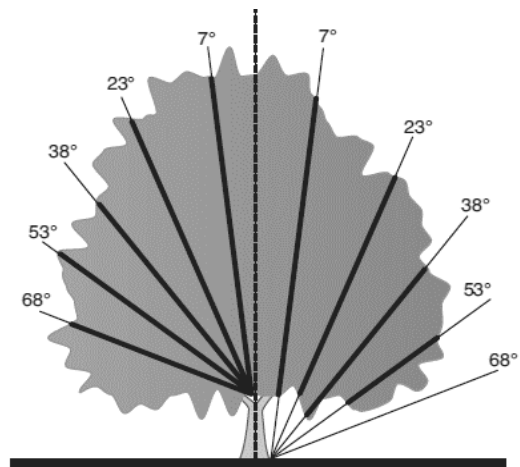
Taula 1. Lagindutako eremuen ezaugarriak eta eremu bakoitzean lagindutako zuhaitz-kopurua. Mota, hirigunea/parkea; Eremua, eremuaren izena; Area, eremuaren azalera (ha); D, lagindutako eremuaren zuhaitz-dentsitatea (zuhaitz/ha); Espezieak, eremuan lagindutako espezieak; Itxura, lerroan/multzoan; Lurzorua, naturala (lurra)/artifiziala (txorkoa); Ukipena, konektatuta (konekt)/konektatu gabe (K. gabe); N, lagindutako zuhaitz kopurua.

Mota	Eremua	Area (ha)	D (zuhaitz/ha)	Espezieak	Itxura	Lurzorua	Ukipena	N
	1. Trenbideko etorbidea	1,99	13	<i>Tilia</i> sp.	Lerroan	Lurra	Konekt.	25
	2. Sabino Arana etorbidea	0,98	26	<i>Tilia</i> sp.	Lerroan	Txorkoa	K. gabe	15
	3. Maria Diaz Haroko kalea	0,99	26	<i>Tilia</i> sp.	Lerroan	Txorkoa	K. gabe	10
	4. Areiltza Doktoarearen zumarkalea	0,94	43	<i>B. pendula</i>	Lerroan	Txorkoa	K. gabe	20
	5. José Anselmo Clavé pasealekua	0,74	22	<i>L. japonicum</i>	Lerroan	Lurra	K. gabe	20
Hirigunea				<i>P. hybrida</i>	Lerroan	Txorkoa	Konekt.	10
	6. Dario de Regoyos kalea	0,15	40	<i>P. hybrida</i>	Lerroan	Txorkoa	K. gabe	6
	7. On Diego Lopez Haroko kalea	1,99	22	<i>Tilia</i> sp.	Lerroan	Txorkoa	K. gabe	43
	8. Uribitarte pasealekua	0,49	41	<i>P. hybrida</i>	Lerroan	Txorkoa	K. gabe	20
	9. Campo de Volantín pasealekua	1,64	24	<i>P. hybrida</i>	Lerroan	Txorkoa	Konekt.	20
Parkea	10. La Misericordia parkea	1,10	140	19 espezie	Multzoan	Lurra	Konekt.	154
	11. Casilda Iturrizar parkea	6,27	41	39 espezie	Multzoan	Lurra	Konekt.	254
	12. Areatzako parkea	1,51	71	2 espezie	Multzoan	Txorkoa	Konekt.	107
GUZTIRA		18,79	40					756

Aukeratutako zuhaitzak karakterizatzeko laginketa puntu bakoitzean ondorengo datuak hartu ziren: zuhaitzaren altuera osoa, adaburuaren oinarriaren altuera eta enborrharen perimetroa 1,3 metroko altueran. Enborrharen perimetroa zinta metrikoaz neurtu zen eta altueraren hurbilpena bisuz egin zen. Datu horiez gain, kaleko zuhaitzetan, eraikin hurbilenera zegoen distantzia zuzena eta norabidea hartu ziren zinta metrikoa eta ipar-orratza erabiliz. Ondoren, 2016ko ortoargazkian oinarrituz, zuhaitzen adaburuaren azaleraren hurbilketa egin zen QGIS programa erabiliz.

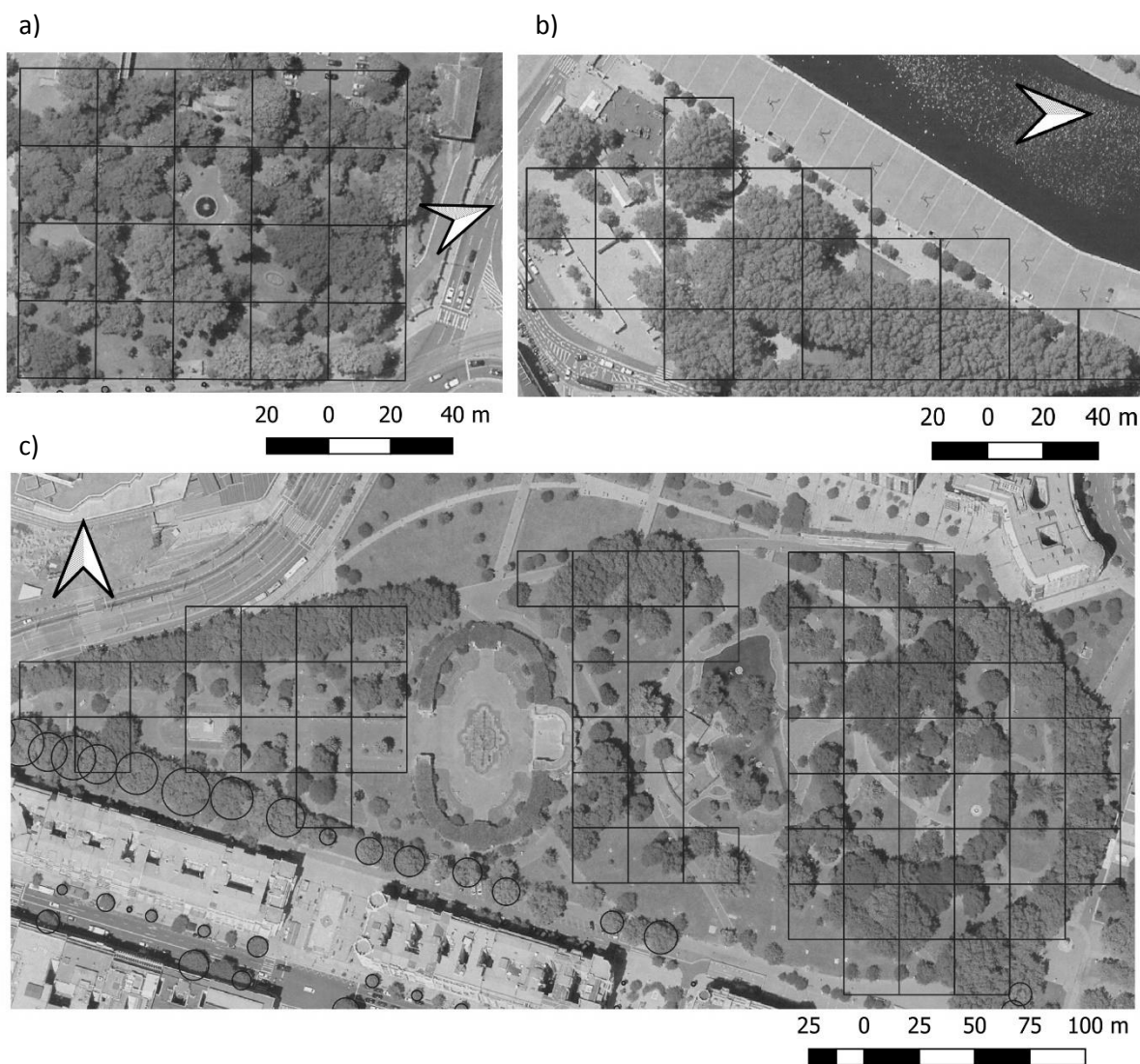
Bestalde, puntu bakoitzean ondorengo datuak hartu ziren: eguzkipeko eta zuhaizpeko tenperaturaren balioak termometro elektronikoz, eta zuhaitzaren hosto-azalera lurzoruaren azalera unitateko (Leaf Area Index, LAI) “LAI-2200 Plant Canopy Analyzer” (LI-COR) aparatua erabiliz. Laginketa desberdina izan zen hiriguneko zuhaitzen eta parkeetako zuhaitzen artean, parkeetan zuhaitzak multzoan zeudelako.

“LAI-2200 Plant Canopy Analyzer”-ek bost sentsoreen datuak jasotzen ditu LAI balio bat emanez. Sentsore horiek angelu desberdinetan biltzen dituzte datuak (Irudia 4), eta baliteke sentsore batzuek estalduraren informaziorik ez jasotzea (LI-COR, 2010). Horregatik, datuak 1,3 metroko altueran hartu ziren eta 53 °-tako eta 68 °-tako sentsoreen balioak baztertu ziren. Hirigunean, inguruko zuhaitzen eta eraikinen eragina murrizteko 45 °-tako estalkia erabili zen neurketak egiteko. Parkeen kasuan, 25x25 m-ko zatietan banatu zen eremua (Irudia 5) eta zati bakoitzaren erdigunean LAIaren eta zuhaizpeko tenperaturaren balio bana hartu zen. Datuak hartzeko prozedura hiriguneko zuhaitzekin erabilitako bera izan zen baina kasu horretan ez zen estalkirik erabili.



Irudia 4. “LAI-2200 Plant Canopy Analyzer”-en sentsoreen neurketa-angeluak (LI-COR, 2010).

Neurtutako balio horietatik abiatuz ondorengo datuak kalkulatu ziren: batetik, perimetroa erabiliz enborrharen diametroa kalkulatu zen (1,3 m-ko altueran, DBH); bestetik, eguzkipeko eta zuhaizpeko tenperaturen arteko diferentzia kalkulatu zen (dT); azkenik, adaburuaren altuera kalkulatzeko altuera totalaren eta adaburuaren oinarriaren altueraren arteko kenketa egin zen.



Irudia 5. Parkeetan egindako zatiketa 25x25 m-ko karratuetan. a) La Misericordia parkea, b) Areatzako parkea, c) Casilda Iturrizar parkea.

3.3 Analisiak

Analisi estatistikoak egiteko R programa erabili zen (R Core Team, 2018). Hiriguneko eta parkeetako datuak bananduta aztertu ziren. Datuen normaltasuna ikusteko Shapiro-Wilk normaltasun testa erabili zen eta normalak ez zirenez analisi ez-parametrikokoak erabili ziren.

Lehenik eta behin, aldagaien arteko “Spearman” korrelazioak egin ziren aldagaien arteko erlazioa aztertzeko. Jarraian, “Principal Coordinates Analysis” (PCoA) eskalatze multidimentsionala egin zen R-rako “bcRep” paketearen “dist.PCoA” funtzioa erabiliz (Bischof, 2016). Horretarako, hiriguneko datuak eta distantzia euklidearrean oinarritutako distantzia-matrizea erabili ziren, eta datuei logaritmo naturala aplikatu zitzairen. Jarraian, taldekatzeen esangarritasuna aztertzeko ANOSIM antzekotasun-analisia egin zen R-rako “vegan” paketearen “anosim” funtzioa erabiliz (Oksanen *et al.*, 2019).

Ondoren, aldagaiak lurzoru motaren, adaburuaren konexio motaren eta zuhaitz-espeziearen arabera nola aldatzen ziren aztertzeko Kruskal-Wallis testa erabili zen. Espezieen arteko aldakortasuna ikusteko, jarraian, binakako konparaketak egin ziren Dunn testa erabiliz. Horretarako, R-rako “FSA” paketearen “dunnTest” funtzioa erabili zen (Ogle *et al.*, 2018).

Bestalde, jasotako datu guztiak erabiliz, hirigunekoak zein parkeetakoak, Kruskal-Wallis testa eta Dunn testa egin ziren berriz ere. Horrela, hiru parkeen eta hirigunearen artean aldagaien aldagarritasuna ikusi zen. Gainera, lagindutako eremuek tenperaturan duten eragina ikusteko QGIS erabiliz eguzkipeko eta itzalpeko tenperaturen, eta tenperatura aldaketaren mapak irudikatu ziren.

3.4 i-Tree Eco

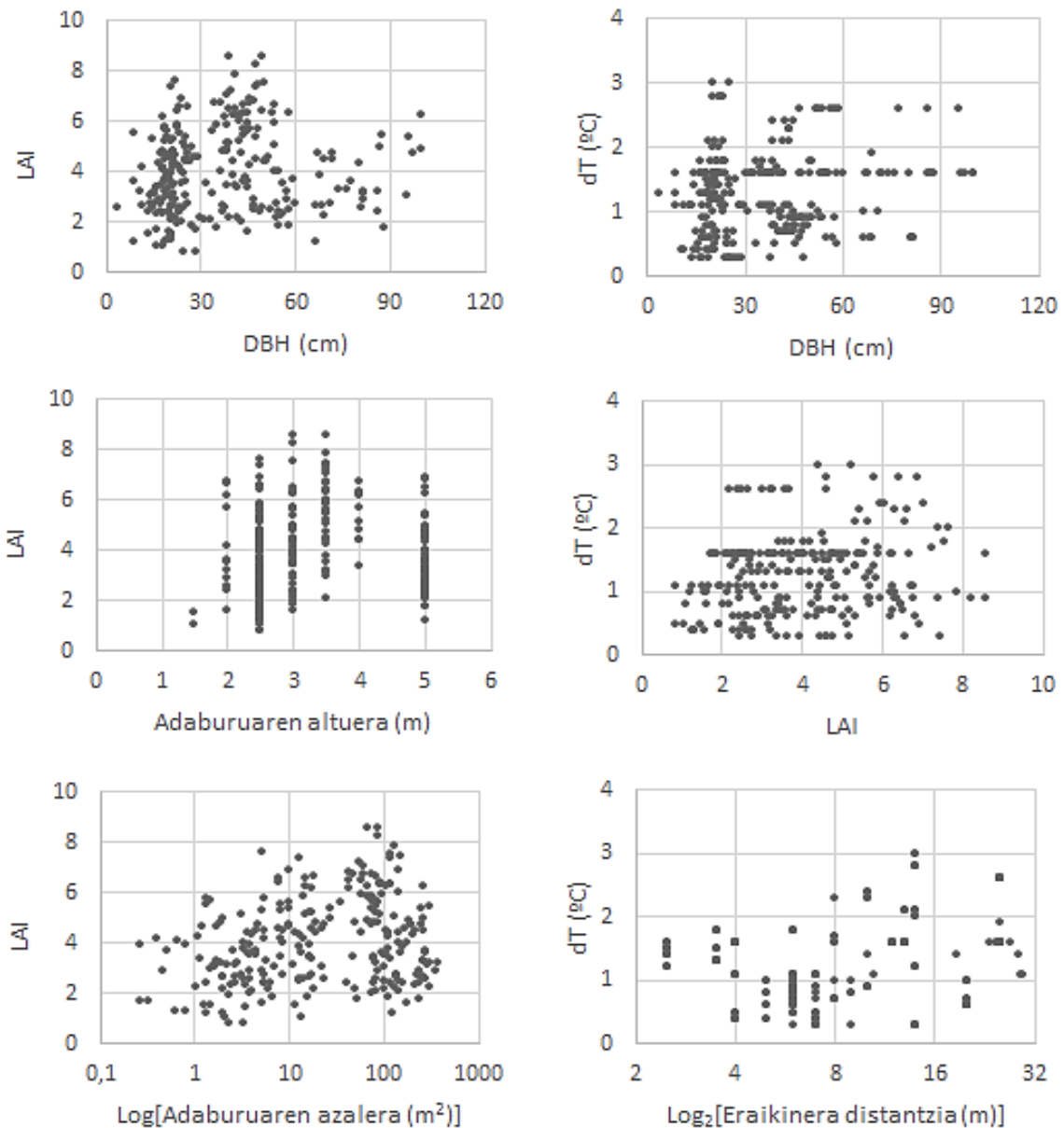
Estatu Batuetako Nekazaritza Departamentuko Baso Zerbitzuko ikerlariak (USDA-FS United States Department of Agriculture Forest Service ingelesezko sigletatik) hiriko basoen egitura eta balioa ulertzeko beharrezko informazioa eskaintzen duen eta inbentarioen eraginkortasuna hobetu dezakeen tresna garatu zuten (Nowak & Crane, 1998). “Urban Forest Effects” (UFORE) ereduaren hiriko ekosistemen funtzioak eta zerbitzuak kuantifikatzen laguntzeko garatu zen (Nowak & Crane, 1998) eta besteak beste, kutsaduraren murrizketa, bahitutako eta gordetako karbonoa, konposatu organikoaren emisioa eta basoaren egitura estimatzen ditu. Lan honetan erabilitako i-Tree Eco softwarea aipatutako ereduaren moldaera da. Horren bitartez neurtutako zuhaitzek eskaintzen dituzten beste zerbitzu batzuk aztertu ziren: CO₂-ren xurgapena eta metaketa, oxigeno ekoizpena eta ultramore (UV) indizearen murrizketa. Datuak kale edota parkearen arabera sailkatu ziren, eredu bakoitzaren eragina zein den ikusteko. Gainera, programak ezinbestean eskatzen dituen datuez gain (espeziea eta DBHa) adaburuaren oinarriaren eta zuhaitzaren altuerak, adaburuaren diametroak ipar-hego eta ekialde-mendebalde norabidean, eta zuhaitzetik eraikin hurbilenerako norabidea eta distantzia erabili ziren. Bilboko aireportuko estazioko meteorologia eta kutsadura datuak erabili ziren, 2015 urtekoak zehazki, eskuragarri zeuden datu berrienak zirelako.

4. EMAITZAK

4.1 Hirigunea

Aldagaien arteko korrelazioen emaitzek (Taula 2) erakusten zuten tenperatura-diferentzia, zuhaitzen DBHarekin, LAIarekin eta zuhaitzaren eta eraikinaren arteko distantziarekin positiboki zegoela korrelazionatuta (Irudia 6). Bestalde, LAIak korrelazio

positibo esangarria zuen DBHarekin, adaburuaren altuerarekin eta adaburuaren azalerarekin. Zuhaitzaren neurriei zegozkien aldagaiak; hau da, DBHak, eta adaburuaren altuerak eta azalera, elkarrekin korrelazio positibo estua zutela ikusi zen. Hiru aldagai horiek zuhaitzaren eta eraikinaren arteko distantziarekin ere korrelazio positibo estua zuten.



Irudia 6. Aldagaien arteko binakako korrelazio esanguratsuenak adierazi dira. DBH = enborraren diametroa, dt = temperatura-diferentzia, LAI = zuhaitzaren LAIa, Log₂[Eraikina distantzia] = zuhaitzaren eta eraikinaren arteko distantzia, logaritmo bitarra aplikatu zitzaion, Adaburuaren altuera = zuhaitzaren adaburuaren altuera, Log[Adaburuaren azalera] = zuhaitzaren adaburuaren azalera, logaritmo hamartarra aplikatu zitzaion.

Taula 2. Aldagaien arteko korrelazioen balioak, ρ korrelazio indizea eta p-balioa parentesi artean. DBH = enborraren diametroa, Altuera = adaburuaren altuera, Azalera = adaburuaren azalera, Distantzia = eraikin hurbilenera distantzia, LAI = zuhaitzaren LAIa eta dT = temperatura-diferentzia.

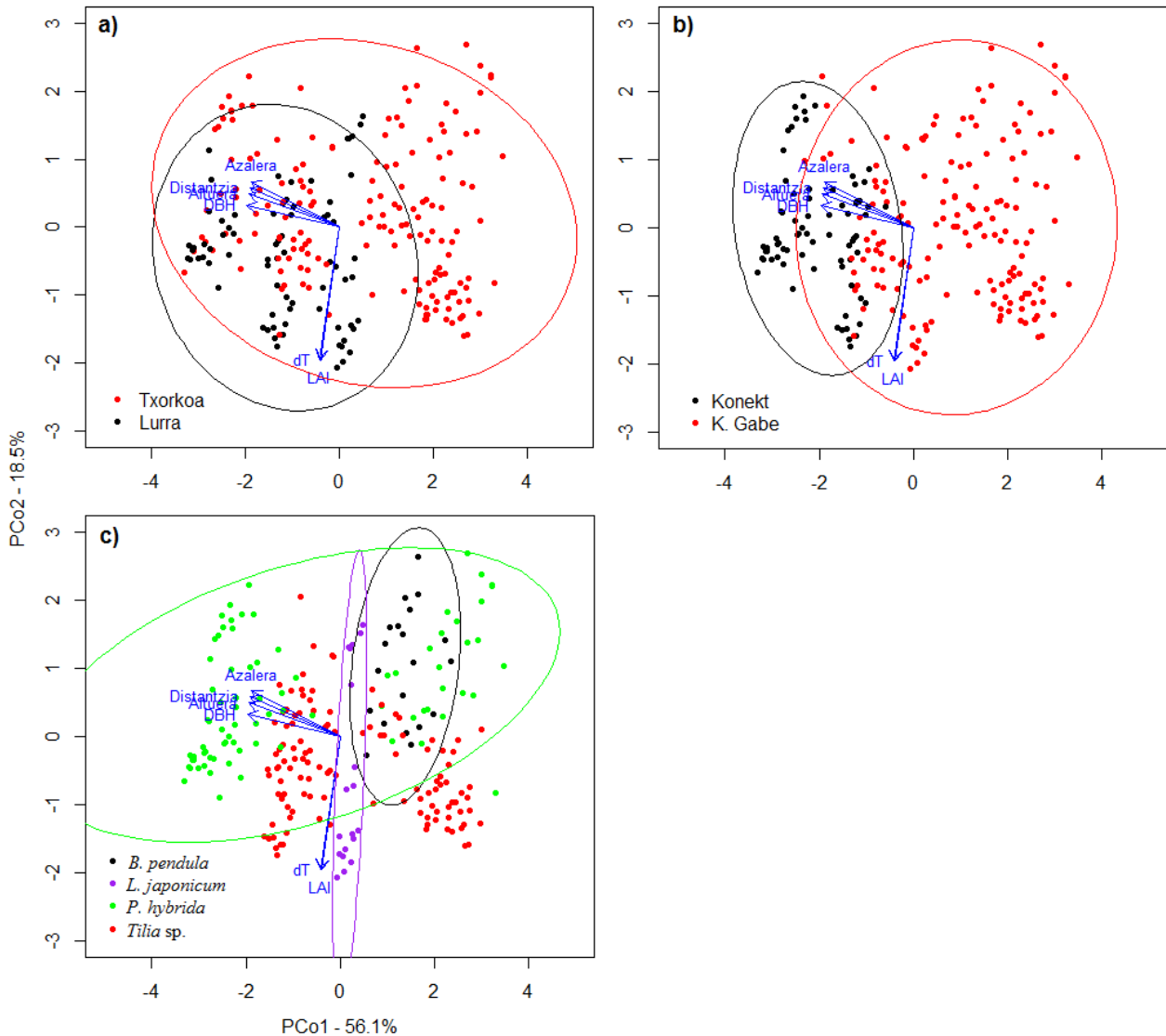
	DBH	Altuera	Azalera	Distantzia	LAI
Altuera	0,799 ($< 0,05$)				
Azalera	0,852 ($< 0,05$)	0,925 ($< 0,05$)			
Distantzia	0,607 ($< 0,05$)	0,709 ($< 0,05$)	0,674 ($< 0,05$)		
LAI	0,152 ($< 0,05$)	0,135 ($< 0,05$)	0,195 ($< 0,05$)	0,007 (0,91)	
dT	0,179 ($< 0,05$)	0,107 (0,10)	0,067 (0,30)	0,169 ($< 0,05$)	0,223 ($< 0,05$)

PCoAren lehen ardatzak (PCo1) bariantzaren % 56a azaltzen zuen eta bigarrenak (PCo2) % 18a, bien artean ia % 75a azaltzen zutelarik (Irudia 7). LAIak eta temperatura-diferentziak PCo2-an eragiten zuten gehien (Taula 3). Gainontzekoek, aldiz, PCo1-ean zuten eraginik handiena.

Taula 3. PCoA-ren ardatzen eta aldagaien arteko korrelazio esanguratsuenak, ρ korrelazio indizea eta p-balioa. DBH = enborraren diametroa, Altuera = adaburuaren altuera, Azalera = adaburuaren azalera, Distantzia = eraikin hurbilenera distantzia, LAI = zuhaitzaren LAIa eta dT = temperatura-diferentzia.

Ardatza	Aldagaia	ρ	p-balioa
PCo1	DBH	-0,894	$< 0,05$
	Altuera	-0,944	$< 0,05$
	Azalera	-0,955	$< 0,05$
	Distantzia	-0,784	$< 0,05$
PCo2	LAI	-0,703	$< 0,05$
	dT	-0,699	$< 0,05$

ANOSIM antzekotasun-analisisa egin ostean ikusi zen lurzoru motaren araberako taldeak desberdinak zirela ($R = 0,144$; $p < 0,001$). Berdina gertatzen zen adaburuaren arteko konexio motaren ($R = 0,452$; $p < 0,001$) eta zuhaitz espezieen araberako ($R = 0,330$; $p < 0,001$) taldekatzeen kasuan ere. Espezieen arteko binakako konparaketak egin ostean ikusi zen desberdintasunik handienak *B. pendula* eta *L. japonicum* espezieen artean zeudela ($R = 0,711$; $p < 0,001$), eta ondoren *P. hybrida* eta *Tilia* sp. artean maila apalagoan ($R = 0,356$; $p < 0,001$).



Irudia 7. "Principal Coordinates Analysis"-en emaitzak. Hiriguneko laginen arteko distantzia euklidearraren eskalatze multidimentsionala. a) Koloreek lurzoru mota adierazten dute. b) Koloreek adaburuaren konexio-mota adierazten dute, Konekt = adaburuak konektatuta, K. Gabe = adaburuak konektatu gabe. c) Koloreek zuhaitz-espeziea adierazten dute. Gezi urdinekin aldagaiek ordenamenduan duten eragina adierazi da, Altuera = adaburuaren altuera, Azalera = adaburuaren azalera, DBH = enborraren diametroa, LAI = zuhaitzaren LAIa, dT = temperatura-diferentzia eta Distantzia = eraikin hurbilenera distantzia.

4.1.1. Zuhaitz espeziea

Espezieen arteko konparaketetan ikusi zen espezieen artean desberdintasunak zeudela aldagai guztietan (Taula 4). DBHaren arteko desberdintasunak esangarriak ziren guztien artean, *L. japonicum* eta *Tilia sp.* artean izan ezik. *P. hybrida* eta *B. pendula* ziren hurrenez hurren DBH handiena eta txikiena zituzten espezieak. Adaburuaren altueraren eta azaleraren kasuan, desberdintasunak esangarriak ziren *P. hybrida* eta gainontzeko espezieen artean. *P. hybrida* zen altuera eta adaburu handiena zuen espeziea. Temperatura-diferentziari dagokionez, *B. pendula* espeziea zen eragin txikiena zuen espeziea, hau da, temperatura gutxien murrizten zuena, eta

gainontzekoen artean ez zegoen desberdintasunik. LAIaren kasuan, *B. pendula* eta *P. hybrida*, eta *L. japonicum* eta *Tilia* sp. bikoteen artean ez zegoen desberdintasun esangarririk. Bigarren bikoteak LAI handiagoa zuen lehenengoak baino.

Taula 4. Zuhaitz-espeziearen arabera (*B. pendula*, *L. japonicum*, *P. hybrida*, *Tilia* sp.) zuhaitzen ezaugarrien batez besteko balioak eta errore estandarra, χ^2 eta *p*-balioa. Letrek, zutabeka, taldeen arteko desberdintasun esangarriak adierazten dituzte ($p < 0,05$). DBH = enborraren diametroa, Altuera = zuhaitzaren adaburuaren altuera, Azalera = zuhaitzaren adaburuaren azalera, dT = temperatura-diferentzia, LAI = zuhaitzaren LAIa, Distantzia = zuhaitzaren eta eraikinaren arteko distantzia. $N_{B. pendula} = 20$, $N_{L. japonicum} = 20$, $N_{P. hybrida} = 82$, $N_{Tilia sp.} = 119$.

Espezia	DBH (cm)	Altuera (m)	Azalera (m ²)	dT (°C)	LAI	Distantzia (m)
<i>B. pendula</i>	16,31±0,75 a	4,95±0,34 a	10,17±1,21 a	0,66±0,07 a	2,90±0,22 a	7,00±0,00 a
<i>L. japonicum</i>	23,22±0,59 b	4,50±0,00 a	11,70±1,10 a	1,64±0,24 b	5,48±0,26 b	14,00±0,00 b
<i>P. hybrida</i>	50,60±2,82 c	11,87±0,76 b	127,64±12,09 b	1,31±0,07 b	2,96±0,14 a	17,28±0,96 b
<i>Tilia</i> sp.	33,49±1,15 b	6,80±0,41 a	45,85±4,06 a	1,25±0,04 b	4,75±0,14 b	6,23±0,27 a
χ^2	68,9	30,2	25,9	24,3	80,3	91,9
<i>p</i> -balioa	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05

4.1.2. Lurzoru mota

Lurzoru motaren araberako konparaketan ikusi zen txorkoan zeuden zuhaitzak txikiagoak zirela lurlean zeudenak baino, eta bien arteko desberdintasunak esangarriak ziren aldagai guztietan (Taula 5). LAI txikiagoa zuten txorkoan kokatutako zuhaitzek eta eraikinetatik distantzia gutxiagora zeuden. Tenperaturaren eragin txikiena zuten zuhaitzak ere txorkoan zeudenak ziren, hau da, tenperatura gutxien murrizten zutenak.

Taula 5. Lurzoru motaren arabera (lurra/txorkoa) zuhaitzen ezaugarrien batez besteko balioak eta errore estandarra, χ^2 eta *p*-balioa. DBH = enborraren diametroa, Altuera = zuhaitzaren adaburuaren altuera, Azalera = zuhaitzaren adaburuaren azalera, dT = temperatura-diferentzia, LAI = zuhaitzaren LAIa, Distantzia = zuhaitzaren eta eraikinaren arteko distantzia. $N_{txorkoa} = 166$, $N_{lurra} = 75$.

Lurzorua	DBH (cm)	Altuera (m)	Azalera (m ²)	dT (°C)	LAI	Distantzia (m)
Txorkoa	32,88±1,47	7,28±0,46	57,73±6,32	1,07±0,03	3,64±0,12	8,73±0,55
Lurra	46,23±2,42	10,17±0,58	90,37±9,83	1,65±0,09	4,94±0,19	15,04±0,75
χ^2	28,8	18,9	22,1	32,7	29,3	64,7
<i>p</i> -balioa	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05

Temperatura murrizteko gaitasunaren desberdintasunak lurzoru motak eragindakoak ote ziren aztertzeko, datuen azpimultzo bat aukeratu zen lurlean zeuden 25 zuhaitzen eta txorkoan zeuden beste 25 zuhaitzen datuekin. Azpimultzo horretan ez zegoen desberdintasunik lurzoru mota desberdineko zuhaitzen DBHan, LAIan eta zuhaitzaren eta eraikinaren arteko distantzian. Hala eta guztiz ere, lurlean eta txorkoan zeuden zuhaitzek eragindako tenperatura-diferentzia

desberdina zen ($\chi^2_1 = 8,7$; $p < 0,05$). Lurrean zeuden zuhaitzek txorkoan zeudenek baino % 45 gehiago murrizten zuten tenperatura.

4.1.3. Adaburuaren arteko konexioa

Laginak adaburuaren arteko konexioaren arabera konparatzean ikusi zen adaburuaren artean konexiorik ez zuten zuhaitzak txikiagoak zirela adaburuak konektatuta zituzten zuhaitzak baino (Taula 6). Gainera, adaburuak konektatu gabe zituzten zuhaitzak eraikinetatik hurbilago zeuden eta tenperatura gutxiago murrizten zuten. LAIaren kasuan, ez zegoen desberdintasunik bi motatako zuhaitzen artean ($p = 0,10$).

Taula 6. Adaburuaren arteko konexio motaren arabera (konektatuta, Konekt/konektatu gabe, K. Gabe) zuhaitzen ezaugarrien batez besteko balioak eta errore estandarra, χ^2 eta p -balioa. DBH = enberraren diametroa, Altuera = zuhaitzaren adaburuaren altuera, Azalera = zuhaitzaren adaburuaren azalera, dT = tenperatura-diferentzia, LAI = zuhaitzaren LAIa, Distantzia = zuhaitzaren eta eraikinaren arteko distantzia. $N_{\text{konektatuta}}=75$, $N_{\text{konektatu gabe}}=166$.

Konexioa	DBH (cm)	Altuera (m)	Azalera (m ²)	dT (°C)	LAI	Distantzia (m)
Konekt	58,70±2,16	14,77±0,28	159,6±9,74	1,51±0,08	4,33±0,20	17,35±0,85
K. Gabe	27,25±0,93	5,20±0,32	26,45±2,97	1,14±0,04	3,92±0,13	7,69±0,41
χ^2	113,9	119,4	121,2	17,5	2,5	84,6
p -balioa	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,10	<0,05

Kasu honetan ere, tenperatura murrizteko gaitasunaren desberdintasunak adaburuaren arteko konexio motak eragindakoak ote ziren aztertzeko, datuen azpimultzo bat aukeratu zen konektatutako 25 zuhaitz eta konektatu gabeko 25 zuhaitzekin eta ikusi zen bi taldeetako zuhaitzen DBHa, LAIa eta eraikinera distantzia ez zirela desberdinak. Baina ez zegoen desberdintasunik bi taldeetako zuhaitzek eragindako tenperatura-diferentzian ere ($\chi^2_1 = 0,2$; $p = 0,7$). Horrenbestez, adaburuaren arteko konexio motak ez zuen eraginik zuhaitzen tenperatura murrizteko gaitasunean.

4.2 Parkeak

Parkeen arteko konparaketetan ikusi zen aztertutako aldagaietan desberdintasunak esangarriak zirela parkeen artean (Taula 7). DBHaren eta LAIaren kasuan ez zegoen desberdintasun esangarririk Areatzako parkearen eta Casilda Iturrizar parkearen artean. Adaburuaren altueraren eta tenperatura-diferentziaren kasuan, aldiz, desberdintasunak esangarriak ziren parke guztien artean. Tenperatura murrizteko gaitasuna desberdina zen parke guztietan, diferentzia handiena La Misericordia parkeak eragiten zuelarik. LAI handiena eta DBH eta adaburuaren altuera txikiena zituzten parke horretako zuhaitzek. Tenperaturaren

murrizketa txikiena Areatzako parkeko zuhaitzek eragiten zuten. Adaburuaren altuera bereizten zituen zuhaitz horiek Casilda Iturrizar parkekoetatik, DBHaren eta LAIaren kasuan ez baitzegoen desberdintasunik bi parkeetako zuhaitzen artean. Adaburu altuenak zituzten zuhaitzak Areatzako parkean zeuden.

Taula 7. Parkearen arabera (Areatzako parkea/ Casilda Iturrizar parkea/ La Misericordia parkea) zuhaitzen ezaugarrien batez besteko balioak eta errore estandarra, χ^2 eta *p*-balioa. Letrek, zutabeka, taldeen arteko desberdintasun esangarriak adierazten dituzte ($p < 0,05$). DBH = enborraren diametroa, Altuera = zuhaitzaren adaburuaren altuera, dT = tenperatura-diferentzia, LAI = zuhaitzaren LAIa. $N_{\text{Areatza}}=107$, $N_{\text{Casilda}}=254$, $N_{\text{Misericordia}}=154$.

Parkea	DBH (cm)	Altuera (m)	dT (°C)	LAI
Areatza	53,13±3,10 a	5,80±0,24 a	1,66±0,14 a	2,93±0,29 a
Casilda	59,24±1,89 a	3,72±0,14 b	4,48±0,12 b	3,21±0,23 a
Misericordia	36,21±2,04 b	3,16±0,14 c	6,94±0,14 c	4,41±0,42 b
χ^2	57,1	81,6	77,5	7,1
<i>p</i> -balioa	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05

Parkeak kaleko zuhaitzekin (Hirigunea) alderatzean, aldiz, parkeetako zuhaitzek tenperatura gehiago murrizten zutela ikusi zen (Taula 8). Kasu horretan ez zen ikusi adaburuaren altueran desberdintasunik bi taldeetako zuhaitzen artean ($p = 0,06$), bai ordea DBHan eta LAIan. Hiriguneko zuhaitzek DBH txikiagoa zuten eta LAI handiagoa.

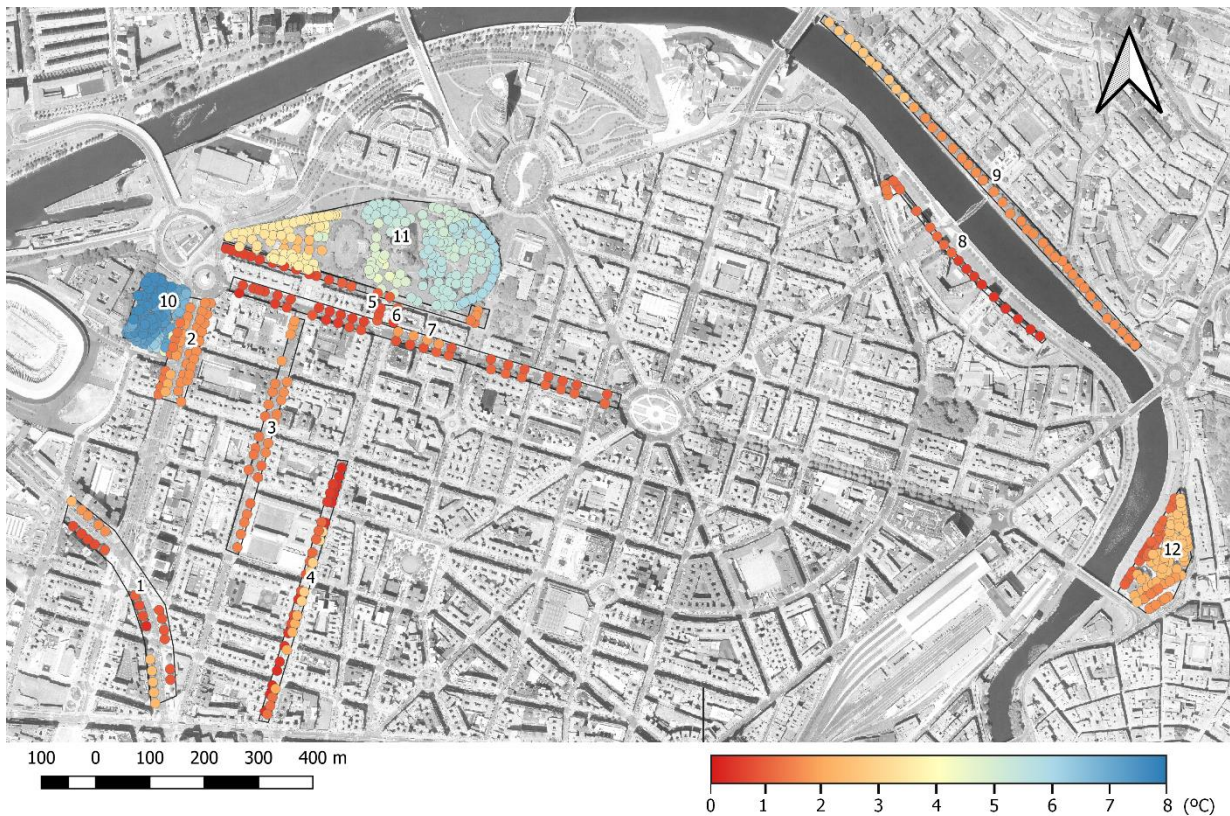
Taula 8. Eremu motaren arabera (hirigunea/parkea) zuhaitzen ezaugarrien batez besteko balioak eta errore estandarra, χ^2 eta *p*-balioa. DBH = enborraren diametroa, Altuera = zuhaitzaren adaburuaren altuera, dT = tenperatura-diferentzia, LAI = zuhaitzaren LAIa. $N_{\text{Hirigunea}}=515$, $N_{\text{Parkea}}=241$.

Eremua	DBH (cm)	Altuera (m)	dT (°C)	LAI
Parkea	51,09±1,36	3,98±0,10	4,42±0,17	3,37±0,18
Hirigunea	36,54±1,31	3,31±0,07	1,25±0,04	4,03±0,11
χ^2	34,2	3,4	182,6	10,0
<i>p</i> -balioa	<0,05	0,06	<0,05	<0,05

4.3 Hiriko azpiegitura berdeen eragina tenperaturan

Jarraian, zuhaitzek eragindako tenperatura-diferentzia eta eguzkipeko zein zuhaizpeko tenperaturak irudikatu ziren Bilboko hiriguneko mapan. Batetik, parkeek eragindako tenperatura-diferentzia handiagoa zela ikusi zen (Irudia 8). La Misericordia parkean zuhaitz-dentsitate handia zegoenez tenperaturan zuen eragina oso handia zen. Casilda Iturrizar parkearen kasuan, aldiz, gradazioa ikusten da mendebaldetik ekialdera, tenperatura-diferentzia gero eta handiagoa delarik. Areatzako parkean desberdintasunak ikusten dira, batez ere,

mendebaldeko *Tilia* sp. espezieko zuhaitz-lerroaren eta *P. hybrida* espezieko zuhaitzen artean. Hirigunean, temperatura-diferentziak txikiagoak ziren orokorrean. Bestetik, ikusi zen eguzkitako temperatura baxuenak ibai-ertzean neurtu zirela batez ere (Irudia 9a). Sabino Arana etorbidearen eta La Misericordia parkearen artean eguzkitako temperaturaren gradazio bat ikusi zen, temperatura ekialdetik mendebaldea igotzen zelarik. Casilda Iturrizar parkean aldiz, eguzkitako temperatura mendebaldetik ekialdera igotzen zela ikusi zen. Ibaiertzeko parke eta kaleetan eguzkitako temperaturak baxuagoak zirela ikusi zen. Azkenik, zuhaizpeko temperaturak eremu guztian antzeko balioak zituela ikusi zen (Irudia 9b).



Irudia 8. Eguzkitako eta zuhaizpeko temperaturen arteko diferentzia. Puntu bakoitzak zuhaitz bana adierazten du eta koloreen bidez adierazi da kalkulaturako temperaturaren murrizketa. Kolore gorriek adierazten dute aldaketarik txikiena eta urdinek handiena. Bilboko hirigunearen 2016ko airetik argazkia erabili da oinarri gisa. 1. Trenbideko etorbidea, 2. Sabino Arana etorbidea, 3. María Diaz Haroko kalea, 4. Areiltza Doktoarearen zumarkalea, 5. José Anselmo Clavé pasealekua, 6. Dario de Regoyos kalea, 7. On Diego Lopez Haroko kale nagusia, 8. Uribitarte pasealekua, 9. Campo de Volantín pasealekua, 10. La Misericordia parkea, 11. Casilda Iturrizar parkea, 12. Areatzako parkea.



Irudia 9. Eguzkitako temperatura (a) eta zuhaizpeko temperatura (b) adierazi dira. Puntu bakoitzak zuhaitz bana adierazten du eta koloreen bidez adierazi dira neurtutako temperaturaren balioak. Kolore gorriek adierazten dute temperaturarik altuena eta urdinek baxuena. Bilboko hirigunearen 2016ko airetiko argazkia erabili da oinarri gisa. 1. Trenbideko etorbidea, 2. Sabino Arana etorbidea, 3. María Díaz Haroko kalea, 4. Areiltza Doktoarearen zumarkalea, 5. José Anselmo Clavé pasealekua, 6. Dario de Regoyos kalea, 7. On Diego Lopez Haroko kale nagusia, 8. Urbitarte pasealekua, 9. Campo de Volantín pasealekua, 10. La Misericordia parkea, 11. Casilda Iturrizar parkea, 12. Areatzako parkea.

4.4 i-Tree Eco

Kontuan izan behar da parkeetan zuhaitz guztiak neurtu zirela hirigunean ez bezala, eta ondorioz, bakoitza bere aldetik aztertu zen. Parkeen artean, CO₂ bahiketa, CO₂ metaketa eta O₂ ekoizpenaren hektareako balio handienak Areatzako parkeak zituen eta txikienak Casilda Iturrizar parkeak (Taula 9). UV murrizketari zegokionez, aldiz, murrizketa handiena La Misericordia parkeak eragiten zuen eta baxuena Casilda Iturrizar parkeak. Hirigunearen kasuan berriz, Campo de Volantín pasealekuaren eta José Anselmo Clavé pasealekuaren balioak gainontzeko eremuetakoak baino askoz altuagoak ziren.

Taula 9. Eremu bakoitzaren eragina inguruko aireko CO₂-aren kontzentrazioan, bahiketa eta metatutako CO₂-a, O₂-aren kontzentrazioan, ekoiztutako O₂-a, eta izpi ultramoreen aurkako babesean, eremu osoan (orokorra) eta itzaletan. Azpian lagindutako eremu osoaren eragina adierazi da.

Eremua	CO ₂		O ₂ ekoizpena	UV murrizketa	
	Bahiketa (kg urte ⁻¹ ha ⁻¹)	metatua (kg ha ⁻¹)	(kg urte ⁻¹ ha ⁻¹)	orokorra (%)	itzaletan (%)
1. Trenbideko etorb.	734,0	18.237,7	533,8	4,11	27,92
2. S. Arana etorb.	1.680,4	25.544,4	1.222,0	2,57	26,47
3. M. Diaz Haroko k.	714,1	6.500,8	519,3	2,31	26,19
4. A. Doktoarearen zum.	1.712,2	14.765,2	1.245,1	2,85	26,77
5. J. A. Clavé pas.	3.932,9	136.902,4	2.860,0	15,42	35,32
6. D. de Regoyos k.	1.431,1	11,641,6	1.040,7	2,33	26,21
7. D. Lopez Haroko k. nag.	1.020,4	23,286,5	742,0	4,69	28,31
8. Uribitarte pas.	1.778,7	17,700,6	1.293,5	2,32	26,20
9. C. de Volantín pas.	5.147,1	159,655,1	3.743,0	12,81	33,87
10. La Misericordia park.	8.774,2	291,608,0	6.380,7	38,88	52,31
11. C. Iturrizar park.	4.783,7	224.996,1	3.478,8	9,04	31,52
12. Areatzako park.	9.132,2	392.088,1	6.641,0	30,24	45,85
OSOA	3.902,5	150.350,8	2.837,9	9,30	31,74

5. EZTABAIDA

Azken hamarkadetan, hirietako beroa hilkortasun faktore garrantzitsuenetarikoa bihurtu da (Fink, 2016). Landarediari esker, hiriguneko bero-irla murriztu daitekeela erakusten dute hainbat ikerketek, izan ere, hiriguneko zuhaitzek aireko tenperatura aldatu dezakete eta hezetasuna emendatu (Streiling & Matzarakis, 2003). Landarediaren ezaugarriek tenperaturaren murrizketan modu desberdinean eragiten dute (Abreu-Harbach *et al.*, 2015).

Hala ere, lan honen emaitzek erakutsi zuten zuhaitzpeko tenperaturaren eragina zuten aldagaiak LAIa (espeziearen ezaugarria izan ohi da), lurzoru mota eta zuhaitzen eta eraikinen arteko distantzia zirela. Orokorrean, zuhaitzetan DBHa eta adaburuaren neurriak korrelazionatuta zeuden, eta horrenbestez, zuhaitz handienek LAI handienak zeuzkaten. Bestalde, eraikinetatik hurbil zeuden zuhaitzak txikiagoak ziren urrunago zeudenak baino, eta zuhaitz handiek tenperatura murrizteko ahalmen handiagoa zuten. Hala ere, ikusi zen eraikinetatik distantzia berera kokatutako zuhaitzetan, LAI handiena zeukaten zuhaitzek tenperatura gehiago murrizteko ahalmena zeukatela. Eraikinetatik urrun kokatutako zuhaitzetan ere hori beteko da ziurrenik baina errore estandarren balio altuak ez du ahalbidetu hori frogatzea.

LAIa zuhaitzaren tamainaren eta espeziearen arabera aldatzen da. Horregatik, espezieen arteko konparaketetan ikusi zen *B. pendula* zela tenperatura gutxien murrizten zuen espeziea beste hiru espezieekin alderatuz, tamaina eta LAI txikienetariakoak zituelarik. Hala ere, tamaina handieneko espeziea (*P. hybrida*) ez zen izan tenperaturaren murrizketa handiena eragin zuena. *L. japonicum* izan zen horren eragilea, *B. pendula* eta *P. hybrida* baino LAI handiagoa zuelarik. *L. japonicum* da, aztertutako zuhaitzen artean, hosto ilunak eta ezkodunak dituen bakarra, eta ondorioz, baliteke arrazoia hori izatea. Hala ere, espezie horretako zuhaitzak ziren eraikinetik urrunen zeudenak, eta ikusi zen bezala, horrek eragina dauka zuhaitzak eragindako tenperaturaren murrizketan.

Bestalde, lurzoru motaren kasuan, ikusi zen lurzoru naturalean dauden zuhaitzek txorkoan daudenek baino murrizketa handiagoa eragiten dutela aireko tenperaturaren. Horrenbestez, esan daiteke lurzoru motak eragina duela zuhaitzek eragindako tenperaturaren murrizketan, eta hori bat dator Shashua-Bar *et al.* (2011)-ek lortutako emaitzekin. Hirietan bideak egiteko erabiltzen diren materialek berotzeko gaitasun handiagoa dute lurrak baino, eta hori da maiz, hirietako bero-irlaren erantzulea (Shamsipour *et al.*, 2013). Kontuan izan behar da, bestalde, lurrean dauden zuhaitzen azpian belar geruza hazten dela, txorkoan ez bezala. Bowler *et al.* (2010)-en arabera, zuhaitzik gabeko azpiegitura berdeek ere badute inguruko airearen tenperatura murrizteko gaitasuna ebapotranspirazioaren bidez. Ondorioz, lurrean dauden zuhaitzen azpian tenperatura freskoagoak mantentzen dira.

Adaburuaren arteko konexio motaren arabeko taldeak desberdinak ziren PCoAren arabera, baina 1. ardatzean agertzen ziren desberdintasunak, hau da, zuhaitzen tamainan eta zuhaitzaren eta eraikinaren arteko distantzian zeuden desberdintasunak bi talde horien artean.

Lehenago esan bezala, zuhaitzaren eta eraikinen arteko distantziak eragina dauka temperaturaren murrizketan. Adaburuak konektatuta dituzten zuhaitzak handiagoak direnez eta eraikinetatik urrunago daudenez, temperatura murrizteko gaitasun handiago erakusten dute, baina LAIari dagokionez, ez dute desberdintasun esangarririk erakusten. Aldagaiak banaka aztertuz hori betetzen zela ikusi zen, bi taldeetako zuhaitzen LAI balioen artean ez zegoen desberdintasun esangarririk eta temperatura-diferentzian desberdintasun esangarriak egon arren desberdintasunak ez ziren adaburuaren arteko konexio motaren ondorio. Adaburuak konektatuta dituzten zuhaitzek, kale batean egiten duten itzala uniformeagoa da adaburuak konektatuta dituzten zuhaitzek baino. Ondorioz, interesgarria litzateke zuhaitzek temperaturaren duten eragina aztertzea kalean zehar trantsektu bat eginez, eta ez zuhaitzen azpian soilik.

Parkeen artean zuhaitzek eragindako temperatura-diferentziaren desberdintasunak esangarriak ziren. La Misericordia parkearen kasuan zuhaitzek batez besteko DBH txikiena zuten, baina hala ere LAIa eta temperatura-diferentzia handienak zituen. Parke horren dentsitatea gainontzekoen bikoitza da eta LAIaren balio altuan eragina izan dezake. Horrek agerian uzten du, berriz ere, zuhaitzak eragindako temperatura-diferentzian LAIak duen garrantzia. Areatzako parkearen eta Casilda Iturrizar parkearen artean ez zegoen desberdintasun esangarririk DBHari eta LAIari zegokionez, baina bai zuhaitzek eragindako temperaturaren murrizketan, eta arrazoi nagusia kokapena izan daitekeela uste da. Areatzako parkea ibaiertzean kokatzen da eta eguzkitako temperatura askoz baxuagoa zen Areatzako parkean beste parkeekin alderatuz. Hathway & Sharples (2012)-ren arabera, ibaiek 2 °C-ko aldea eragin dezakete inguruko temperaturaren eta lan honetan ere hori frogatu da. Zuhaitzek temperatura murrizteko duten gaitasuna handiagoa da eguzkitako temperaturak altuagoak direnean (Oliveira *et al.*, 2011). Ondorioz, eguzkitako temperatura baxuagoa den lekuetan temperatura-diferentzia ere baxuagoa da temperaturaren argazkietan ageri den moduan (Irudia 8 eta Irudia 9a), eta alderantziz eguzkitako temperatura altuagoak dituzten lekuetan.

Lan honen emaitzek iradokitzen dute zuhaitzen temperatura murrizteko gaitasuna adaburuaren iragazkortasunaren (Abreu-Harbach *et al.*, 2015), zuhaitzaren LAIaren eta zuhaitzaren eta eraikinen arteko distantziaren eraginpean dagoela. Lehenagoko lanek adierazten zuten dagoeneko enborearen egiturak eta hostoen tamainak zein formak eragina zutela temperaturaren murrizketan (Abreu-Harbach *et al.*, 2015), baina horien eragina desberdina izan daiteke eskualde klimatikoaren arabera. Horrenbestez, Bilbon landatutako zuhaitz-espezieen hostoen tamainak eta formak temperaturaren nola eragin dezaketen ikustea litzateke hurrengo pausoa.

Hiriak haziz doazen heinean, hiriguneko ekosistemen zerbitzuek gero eta garrantzi handiagoa izango dute. Berotze globala arriskutsua da osasun publikoarentzat (Robine *et al.*, 2008). Muturreko baldintza klimatiko horien adierazle da, adibidez, 2003an Europan 70.000 hildako eragin zituen bero-olatu. Hala ere, tenperaturaren murrizketa ez da ekosistemek eskaintzen duten zerbitzu bakarra, besteak beste, aireko kutsadura erregulatzen laguntzen du. Lan honetan ikusi da zuhaitz-dentsitate handiagoa duten eremuek CO₂ gehiago bahitzen eta metatzen dutela, O₂ gehiago ekoizten dutela eta izpi ultramoreak murrizten dituztela. Adituek hirien azalera osoaren % 20 eta % 50 bitartean berdeguneak izatea gomendatzen dute, eta Osasunaren Mundu Erakundeak (OME) pertsonako 9 m²-ko berdegunea iradokitzen du. Europako Ingurugiro agentziak egindako analisi baten arabera Europako hirien % 94k azaleraren % 10 eta % 38 bitarteko berdegune estaldura baino ez dute.

Oro har, hirietako azpiegitura berdeen kudeaketan hartu beharreko erabakiak kontsiderazio ekonomiko eta estetikoetan oinarritu izan dira, ez irizpide ekologiko edo klimatikoetan, eta ondorioz, beharrezkoa da azpiegitura berdeen kalitatea zehazteko adierazleak garatzea, horien kudeaketarako eta diseinurako lanabes bezala erabil ahal izateko (Daniels *et al.*, 2018). Gainera, oso garrantzitsua da eremu horiek pertsonen ongizatean duten garrantzia aditzera ematea, kudeaketa eta diseinua gizarteari eskaintzen dizkioten onurak indartzera bideratu dadin.

6. ONDORIOAK

Zuhaitzak landatzea konponbide ona da hirietako ongizate termikoa hobetzeko, baina garrantzitsuena azpiegitura berdeen egitura, kokapena eta kudeaketa dira. Azpiegitura berdeen tenperatura murrizteko gaitasunean gehien eragiten duena berauek osatzen dituzten zuhaitzen LAIa da. LAIan zuzenean eragiten duten beste ezaugarriek ere, hala nola, hostoen tamainak, formak eta dentsitateak eta adaburuaren tamainak eta egiturak, garrantzia dute; eta guzti hori, hein handi batean, zuhaitz-espeziearen menpe dago. Ondorioz, garrantzitsua da ikerketa gehiago egitea espezie bakoitzaren eragina ezagutu eta espezie egokiena aukeratu ahal izateko. Bestalde, ikusi da azpiegitura berdeetako zuhaitz-dentsitateak eragina duela berdeguneak eskaintzen dituen zerbitzuetan eta azpimarratzekoa da zuhaitzen eta eraikinen arteko distantziaren garrantzia zuhaitzen tenperatura murrizteko gaitasunean. Hiriaren antolamenduaren arduradunek kontuan izan beharko lukete guzti hori espazio bakoitzari erabilera egokiena eman ahal izateko. Azkenik, azpiegitura berdeek pertsonen ongizatean duten

garrantzia ezagutarazteko eta Bilbo zein antzeko hiriguneetan berdeguneen estaldura emendatzeko beharra nabarmendu nahi da.

7. ESKER ONAK

Eskerrak eman nahi dizkiet Aitor Sorazuri, laginketekin eta Bilbora egindako joan-etorrietan eskainitako laguntzagarik, Leire Méndezi, analisi estatistikoak egiteko orduan emandako aholkuengatik, Beatriz Fernández de Manueli, GIS baliabideak eta materialak utzi eta erabiltzen irakasteagatik, eta Lorena Peña eta Ibone Ametzagari, memoria idazteko orduan emandako aholkuengatik eta lan guztian zehar erakutsi duten interesagatik.

8. BIBLIOGRAFIA

- Abreu-Harbach, L. V., Labaki, L. C., & Matzarakis, A. (2012). Different Trees and configuration as microclimate control strategy in Tropics. *ICUC8 – 8th International Conference on Urban Climates, 6th-10th August, 2012*. Dublin, Irlanda: UCD.
- Abreu-Harbach, L. V., Labaki, L. C., & Matzarakis, A. (2015). Effect of tree planting design and tree species on human thermal comfort in the tropics. *Landscape and Urban Planning*. doi:10.1016/j.landurbplan.2015.02.008
- Agencia Estatal de Meteorología. (d.g.). *AEMET*. aemet.es: <http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos/valoresclimatologicos?l=1082&k=pva> helbidetik eskuratua
- Bischof, J. (2016). bcRep: Advanced Analysis of B Cell Receptor Repertoire Data. R package version 1.3.6, <https://CRAN.R-project.org/package=bcRep>.
- Blanco, H., McCarney, P., Parnell, S., Schmidt, M., & Seto, K. C. (2011). The role of urban land in climate change. In C. Rosenzweig, W. D. Solecki, S. A. Hammer, & S. Mehrotra, *Climate Change and Cities: First Assessment Report of the Urban Climate Change Network* (pp. 217-248). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Bolund, P., & Hunhammar, S. (1999). Ecosystem services in urban areas. *Ecological Economics*, 29, 293-301. doi:10.1016/S0921-8009(99)00013-0
- Bowler, D. E., Buyung-Ali, L., Knight, T. M., & Pullin, A. S. (2010). Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence. *Landscape and Urban Planning*, 97, 147-155. doi:10.1016/j.landurbplan.2010.05.006
- Bueno-Bartholomei, C. L., & Labaki, L. C. (2003). *How much does the change of species of trees affect their solar radiation attenuation?* http://meteo.geo.uni.lodz.pl/icuc5/text/O_1_4.pdf helbidetik eskuratua
- Daniels, B., Zaunbrecher, B. S., Paas, B., Ottermanns, R., Ziefle, M., & Roß-Nickoll, M. (2018). Assessment of urban green space structures and their quality from a multidimensional perspective. *Science of the Total Environment*, 615, 1364-1378. doi:10.1016/j.scitotenv.2017.09.167

- Euskal Estatistika Erakundea. (2014). *Web Eustat*. euskadi.eus: http://eu.eustat.eus/municipal/datos_estadisticos/bilbao.html helbidetik eskuratua
- Euskal Estatistika Erakundea. (2018). *Web Eustat*. euskadi.eus: http://eu.eustat.eus/municipal/datos_estadisticos/bilbao.html helbidetik eskuratua
- Euskal Meteorologia Agentzia. (d.g.). *Euskalmet*. euskadi.eus: <http://www.euskalmet.euskadi.eus/s07-5853x/es/meteorologia/datos/mapaestab.apl?e=5> helbidetik eskuratua
- Fink, H. S. (2016). Human-Nature for Climate Action: Nature-Based Solutions for Urban Sustainability. *Sustainability*, 8, 254. doi:10.3390/su8030254
- Hathway, E. A., & Sharples, S. (2012). The interaction of rivers and urban form in mitigating the Urban Heat Island effect: A UK case study. *Building and Environment*, 58, 14-22. doi:10.1016/j.buildenv.2012.06.013
- Kikegawa, Y., Genchi, Y., Kondo, H., & Hanaki, K. (2006). Impacts of city-block-scale countermeasures against urban heat-island phenomena upon a building's energy-consumption for air conditioning. *Applied Energy*, 83, 649-668. doi:10.1016/j.apenergy.2005.06.001
- Lee, A., & Maheswaran, R. (2010). The health benefits of urban green spaces: a review of the evidence. *Journal of Public Health*, 33(2), 212-222. doi:10.1093/pubmed/fdq068
- LI-COR. (2010). *LAI-2200 Plant Canopy Analyzer: Instruction Manual*. Lincoln, NE, Estatu Batuak: LI-COR.
- McDonnell, M., & Pickett, S. (1990). Ecosystem structure and functioning along urban-rural gradients: an unexploited opportunity for ecology. *Ecology*, 71(4), 1232-1237.
- Nowak, D. (1996). Estimating Leaf Area and Leaf Biomass of Open-Grown Deciduous Urban Trees. *Forest Science*, 42(4), 504-507.
- Nowak, D., & Crane, D. (1998). The Urban Forest Effects (UFORE) Model: Quantifying Urban Forest Structure and Functions. *Integrated Tools Proceedings*, 714-720.
- Nowak, D., Crane, D., Stevens, J., Hoehn, R., Walton, J., & Bond, J. (2008). A Ground-Based Method of Assessing Urban Forest Structure and Ecosystem Services. *Arboriculture & Urban Forestry*, 34(6), 347-358.
- Ogle, D. H., Wheeler, P., & Dinno, A. (2018). FSA: Fisheries Stock Analysis. R package version 0.8.22, <https://github.com/droglenc/FSA>.
- Oksanen, J., Blanchet, F. G., Friendly, M., Kindt, R., Legendre, P., McGlinn, D., . . . Wagner, H. (2019). *vegan: Community Ecology Package*. R package version 2.5-4, <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>.
- Oliveira, S., Andrade, H., & Vaz, T. (2011). The cooling effect of green spaces as a contribution to the mitigation of urban heat: A case study in Lisbon. *Building and Environment*, 46, 2186-2194. doi:10.1016/j.buildenv.2011.04.034
- Patterson, T. M., & Coelho, D. L. (2009). Ecosystem services: Foundations, opportunities and challenges for the forest products sector. *Forest Ecology and Management*, 257, 1637-1646. doi:10.1016/j.foreco.2008.11.010

- Peper, P., McPherson, E., & Mori, S. (2001). Equations for Predicting Diameter, Height, Crown Width, and Leaf Area of San Joaquin Valley Street Trees. *Journal of Arboriculture*, 27(6), 306-317.
- Peper, P., McPherson, E., & Mori, S. (2001). Predictive Equations for Dimensions and Leaf Area of Coastal Southern California Street Trees. *Journal of Arboriculture*, 27(4), 169-180.
- R Core Team. (2018). *R: A language and environment for statistical computing*. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing.
- Rizwan, A. M., Dennis, Y. L., & Liu, C. (2008). A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island. *Journal of Environmental Sciences*, 20, 120-128. doi:10.1016/S1001-0742(08)60019-4
- Robine, J.-M., Cheung, S. K., Le Roy, S., Van Oyen, H., Griffiths, C., Michel, J.-P., & Herrmann, F. R. (2008). Death toll exceeded 70,000 in Europe during the summer of 2003. *Comptes Rendus Biologies*, 331, 171-178. doi:10.1016/j.crvi.2007.12.001
- Rosenzweig, C., Solecki, W. D., Hammer, S. A., & Mehrotra, S. (2011). Urban Climate Change in Context. In C. Rosenzweig, W. D. Solecki, S. A. Hammer, & S. Mehrotra, *Climate Change and Cities: First Assessment Report of the Urban Climate Change Research Network* (pp. 3-11). Cambridge, UK: Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9780511783142.007
- Shamsipour, A. A., Azizi, G., Karimi Ahmadabad, M., & Moghbel, M. (2013). Surface temperature pattern of asphalt, soil and grass in different weather condition. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, 3(9), 80-89.
- Shashua-Bar, L., Pearlmutter, D., & Erell, E. (2011). The influence of trees and grass on outdoor thermal comfort in a hot-arid environment. *International Journal of Climatology*, 31(10), 1498-1506. doi:10.1002/joc.2177
- Spronken-Smith, R., Oke, T., & Lowry, W. (2000). Advection and the surface energy balance across an irrigated urban park. *International Journal of Climatology*, 20, 1033-1047. doi:10.1002/1097-0088(200007)20:9<1033::AID-JOC508>3.0.CO;2-U
- Streiling, S., & Matzarakis, A. (2003). Influence of single and small clusters of trees on the bioclimate of a city: A case study. *Journal of Arboriculture*, 29(6), 309-316.
- Yamamoto, Y. (2006). Measures to mitigate urban heat islands. *Science & Technology Trends Quarterly Review*, 18, 65-83.