

ESTIMACIÓN DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS Y LA CAPACIDAD DE ENFRIAMIENTO DEL ARBOLADO URBANO

Ángel Enrique Salvo-Tierra¹, Isidro Martín-Lozano¹, Álvaro Cortés-Molino¹, Pablo Cozano-Pérez¹, Alba Gil-Martín¹, Nazaret Keen-Ruiz¹, Álvaro Marín-Calle¹, Jaime F. Pereña-Ortiz¹, Natacha Walberg-Macias², Ángel Ruiz-Valero¹.

¹Cátedra de Cambio Climático de la Universidad de Málaga; ² Social Climate - Social Innovation for Climate Action SCA

1. INTRODUCCIÓN

La crisis climática y el cambio global demandan, en la actualidad, la adopción de nuevas soluciones tanto para su mitigación como para la adaptación (IPCC, 2023). En este marco, el arbolado urbano contribuye con servicios ecosistémicos esenciales que promueven el bienestar en las ciudades (Lovell et al., 2013). Según Haines-Young (2023), los servicios ecosistémicos se clasifican en tres grandes categorías: aprovisionamiento, regulación y culturales. En entornos urbanos, es prioritario promover servicios que operan a microescala, como la reducción de la contaminación, la disminución de la escorrentía y la mejora del confort térmico, contribuyendo así a mitigar el efecto de las islas de calor urbano (Oke et al., 2017). Este trabajo, a través de la combinación de inventarios de arbolado urbano y datos satelitales teledetectados, busca cuantificar los servicios ecosistémicos y evaluar la capacidad de enfriamiento del arbolado urbano.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1 SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

El análisis de arbolado urbano se llevó a cabo en los distritos malagueños de Bailén-Miraflores (3689 árboles), Cruz del humilladero (12589 árboles) y Teatinos-Universidad (11224 árboles).



Producción de compuestos orgánicos volátiles (g/año)

Evapotranspiración (m3/año)

Escorrentía evitada (m3/año)

Eliminación de contaminantes (g/año). CO, O3, NO2, SO2, PM10, Pm2.5.

Secuestro de Carbono (g/año)

Almacenamiento de Carbono (kg)

Producción de oxígeno (m3/año)

Valorización de la evapotranspiración (€/año)

Valorización de la escorrentía evitada (€/año)

Valorización de la eliminación de contaminantes (€/año)

Valorización del secuestro de carbono (€/año)

3. RESULTADOS

Para cada servicio ecosistémico, se dispone de un mapa que muestra su distribución espacial (Fig. 1) y una base de datos con la eficiencia de provisión por especie (Fig. 2)

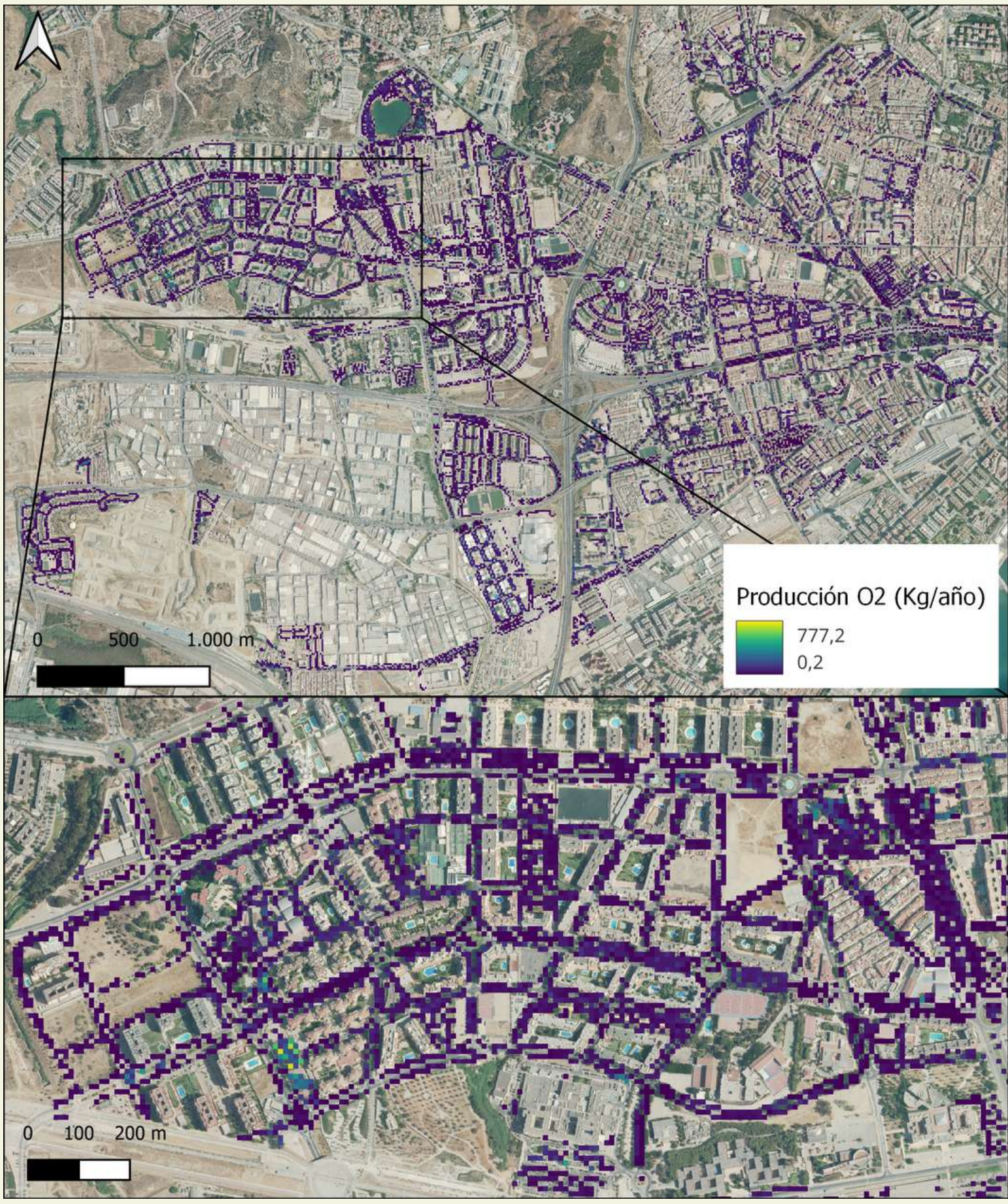


Fig. 1: Distribución espacial de la producción de oxígeno (Kg/año) en cuadrículas de 100 m2

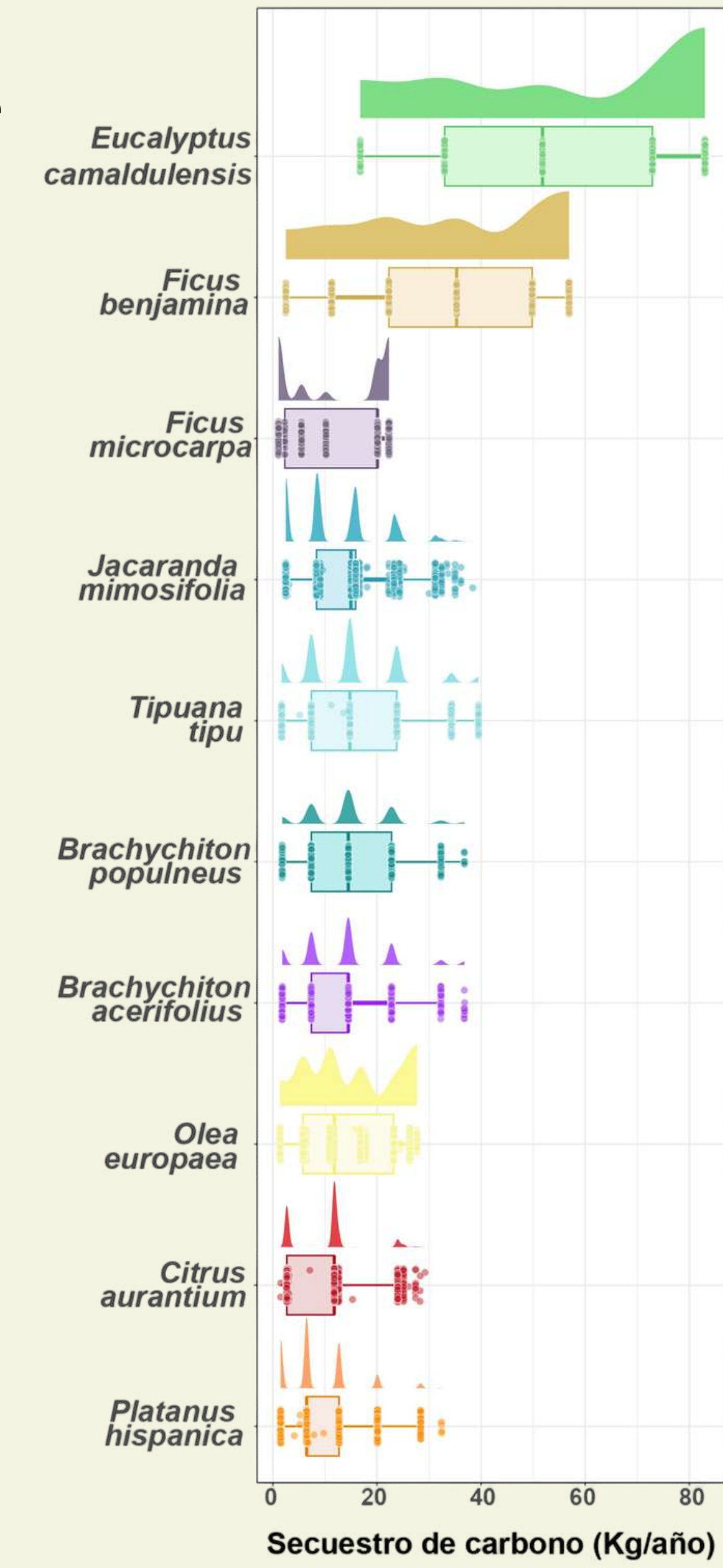


Fig. 2: Capacidad de secuestro de carbono para las diez especies con mayor eficiencia de secuestro.

2.2. CAPACIDAD DE ENFRIAMIENTO

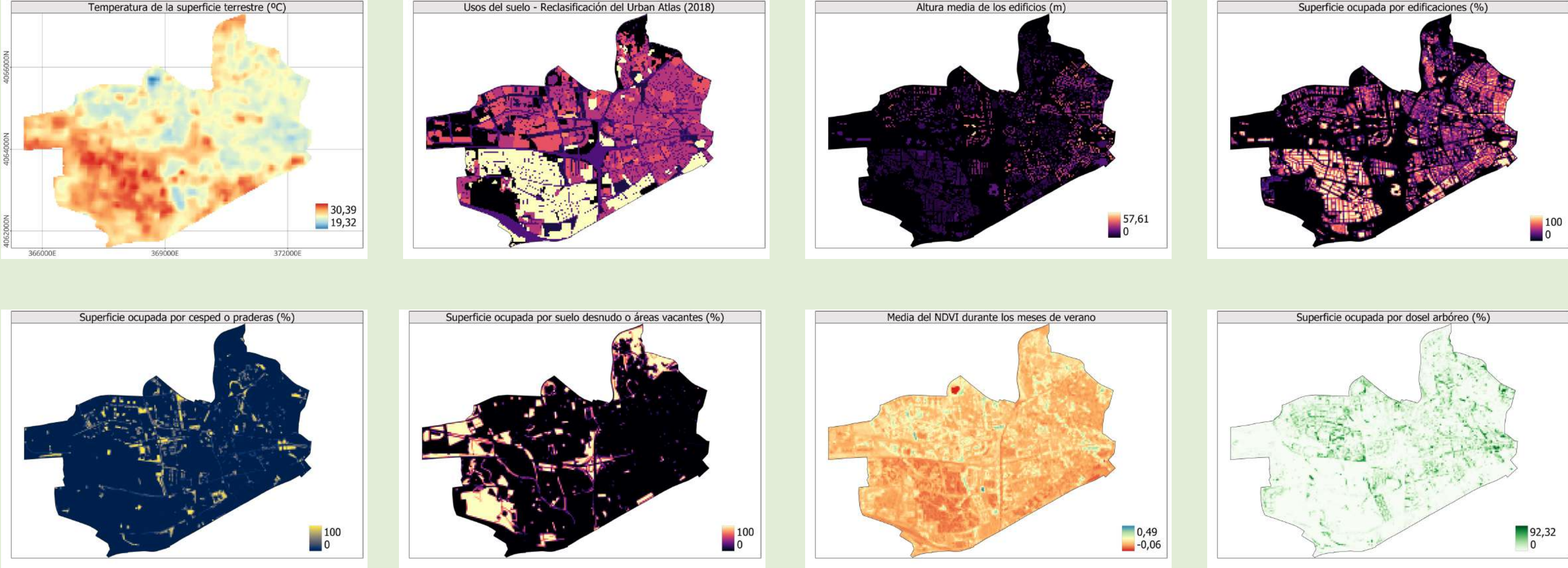
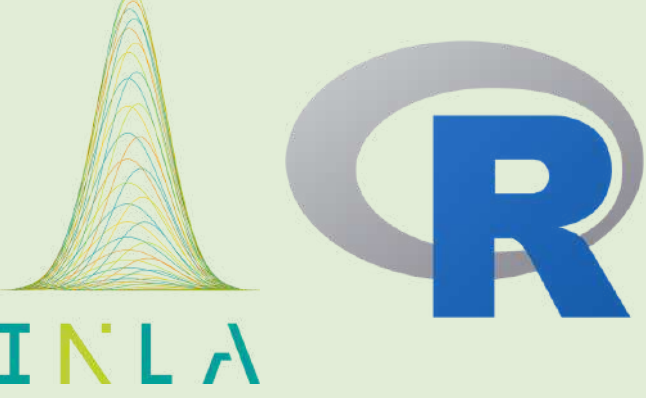


Fig. 3: (a) Temperatura de la superficie terrestre (°C) (LST) invertida de Landast 8 con fecha...; (b) Porcentaje de la superficie del pixel ocupado por césped o praderas; (c) Porcentaje de superficie ocupado por el dosel arbóreo; (d) Porcentaje de la superficie ocupado por edificaciones; (e) Porcentaje de la superficie ocupado por suelo desnudo o por áreas sin uso; (f) Altura media en metros del dosel arbóreo; (g) Altura media en metros de las edificaciones; (h) Usos del suelo reclasificados de Urban Atlas en: Tejidos urbanos, carreteras, masas de agua, zonas de uso industrial y zonas verdes; (i) Índice Normalizado de Vegetación (NDVI)

Ecuación 1. Modelo Lineal Mixto Generalizado Bayesiano con validación cruzada espacial en bloques



$$Y(s_i)|\beta, u_i, \phi \sim N(\eta_i, \phi)$$
$$\eta_i = \alpha + \sum_k^K \beta_k X_{ik} + u_i$$
$$U\{u_i\} \sim GF(0, \Sigma)$$
$$\Sigma = \begin{pmatrix} c_{11} & & c_{1n} \\ & \ddots & \\ c_{21} & & c_{2n} \\ & \ddots & \\ c_{n1} & & c_{nn} \end{pmatrix}$$
$$c(s_i, s_j) = \sigma^2 \frac{2^{1-\nu}}{\Gamma(\nu)} \left(\frac{\sqrt{8\nu} \|s_i - s_j\|}{\rho} \right)^\nu K_\nu \left(\frac{\sqrt{8\nu} \|s_i - s_j\|}{\rho} \right)$$
$$\alpha, \beta_k \sim N(0, \frac{1}{1000})$$
$$\phi \sim Gamma(0.001, 0.001)$$
$$P(\rho, \sigma) = \frac{dR}{2} \rho^{-1-\frac{d}{2}} \exp\left(-R\rho^{-\frac{d}{2}}\right) S \exp(-S\sigma)$$
$$P(\rho < 1266) = 0.5$$
$$P(\sigma > 2) = 0.5$$

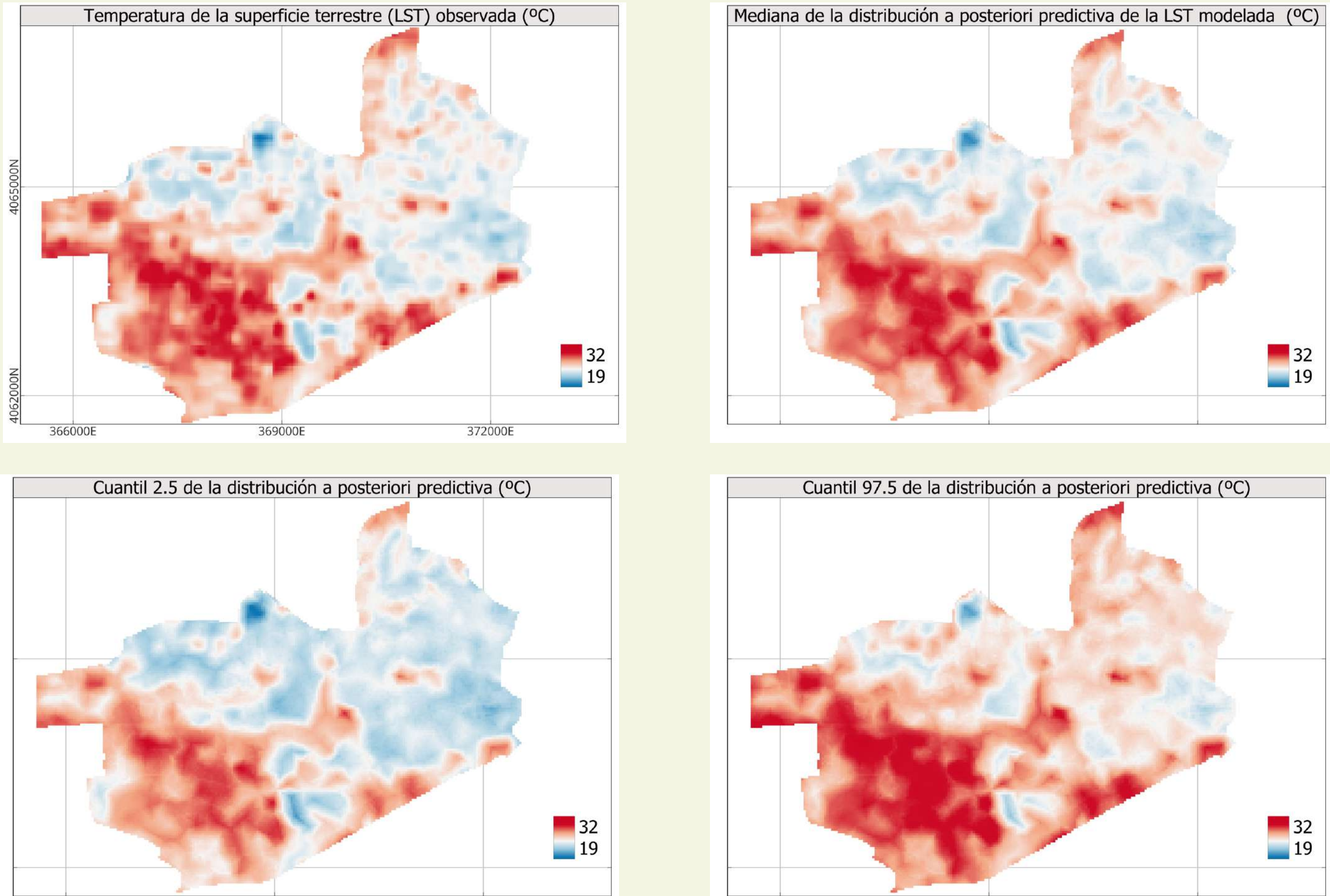


Fig. 4: (a) Temperatura de la superficie terrestre invertida de Landsat 8. (b) Mediana de la temperatura de la superficie terrestre modelada. (c) Cuantil 2.5 de la temperatura de la superficie terrestre modelada. (d) Cuantil 97.5 de la superficie terrestre modelada

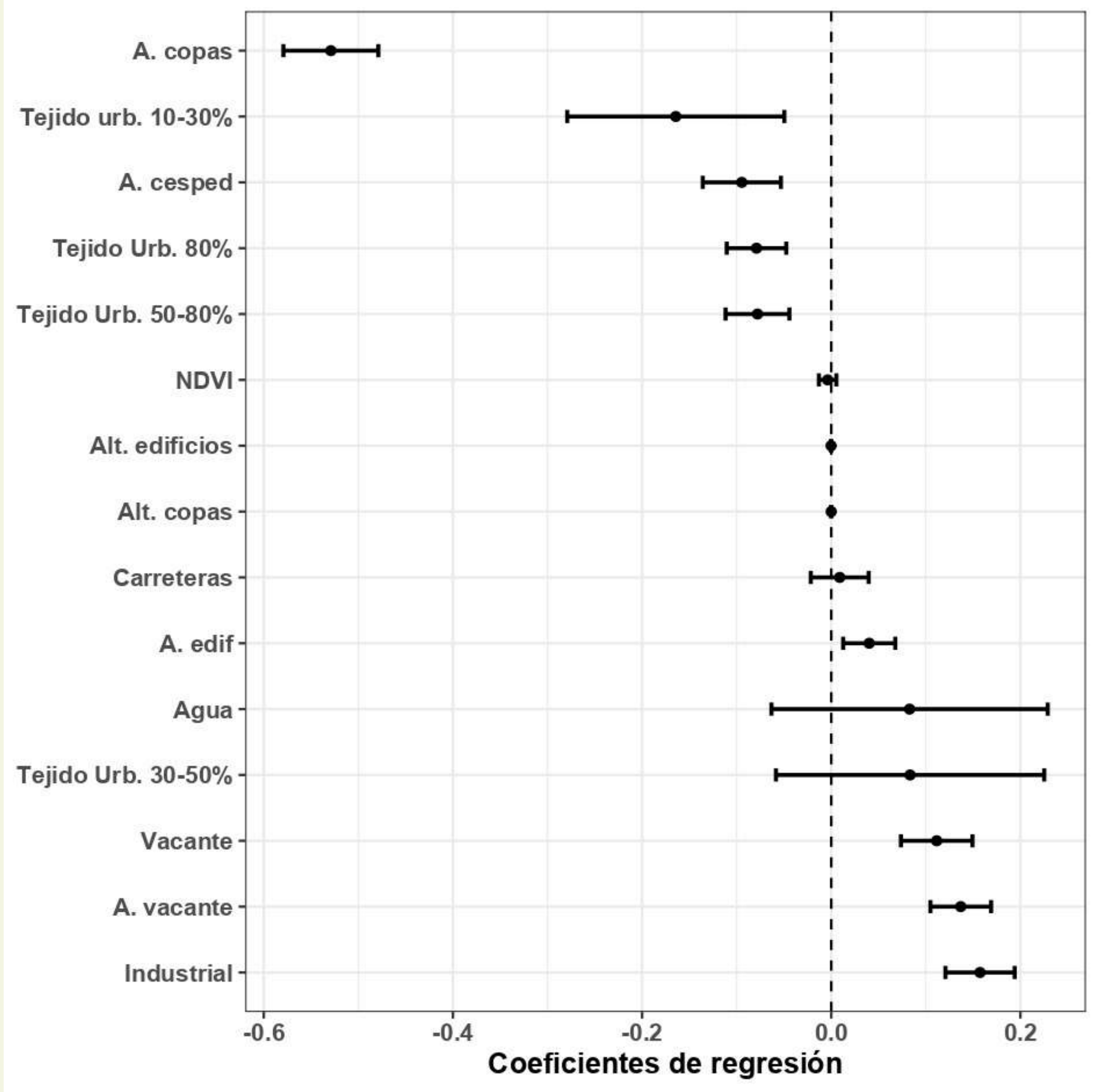


Fig. 5: Representación de los coeficientes de regresión del modelo basada en la media de su distribución posterior y el 95% del Intervalo de Credibilidad de Máxima Densidad Posterior (Highest Posterior Density Interval, HPDI).

Métricas de validación. (1) Criterio de Información de Watanabe-Akaike (WAIC): 17430 ± 199 ; (2) Raíz Cuadrada del Error Cuadrático Medio (RMSE): $0.98^\circ\text{C} \pm 0.25^\circ\text{C}$; y, (3) Proporción de observaciones de bloques de validación con Y_i dentro del Intervalo de Máxima Densidad de la Distribución a Posteriori Predictiva del modelo: 0.83 ± 0.065

Controlando otros factores explicativos se estima que un incremento de la cobertura arbórea de 450 m² se asocia con una disminución de la temperatura de la superficie terrestre de entre 0,3 y 0,24 °C

4. CONCLUSIONES

- La cuantificación de la distribución espacial de los servicios ecosistémicos permite identificar "puntos calientes" y "puntos fríos" en su provisión, detectar desigualdades en su acceso y orientar futuros proyectos de plantación de arbolado.
- Se ha observado que especies autóctonas suelen presentar la mayor eficiencia en la provisión de servicios ecosistémicos.
- El modelo desarrollado es capaz de reconstruir las temperaturas de la superficie terrestre observadas a través del satélite Landsat 8, así como de estimar la capacidad de enfriamiento del arbolado mediante la integración de información satelital y LiDAR.
- A futuro se plantea incorporar métodos automáticos de cuantificación de los servicios ecosistémicos y aprendizaje automático para modelar las relaciones no lineales e interacciones que rigen el proceso de enfriamiento del arbolado.

BIBLIOGRAFÍA

Oke T.R., Mills G., Christen A., Voogt J.A. (2017). Urban Climates. Cambridge University Press

IPCC, 2023: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 35-115, doi: [10.59327/IPCC/AR6-9789291691647](https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647).

Lovell, S. T., & Taylor, J. R. (2013). Supplying urban ecosystem services through multifunctional green infrastructure in the United States. Landscape Ecology, 28(8), 1447–1463. <https://doi.org/10.1007/s10980-013-9912-y>

Haines-Young, R. (2023): Common International Classifica3on of Ecosystem Services (CICES) V5.2 and Guidance on the Application of the Revised Structure. [Available from www.cices.eu]