

# Agricultura en edificios urbanos: Metodología para la implementación de invernaderos en azoteas de áreas no residenciales urbanas

Nadal, A.<sup>1</sup> | Pipia, L.<sup>2</sup> | Alamús, R.<sup>2</sup> | Ruiz, A.<sup>2</sup> | Cerón, I.<sup>3</sup> | Cuerva, E.<sup>4</sup>  
Rieradevall, J.<sup>1,5</sup> | Josa, A.<sup>6,7</sup>

## RESUMEN

La agricultura urbana forma parte de las estrategias de sostenibilidad urbana y ambiental que promueve el urbanismo verde, debido a que posee la capacidad de satisfacer las múltiples demandas de alimentos, mediante una considerable diversidad de escalas, funciones, orientaciones, tecnologías y especialmente de formas o modos de integración al contexto construido.

La integración de invernaderos en cubierta de edificios urbanos (RTG's) es una práctica que cada día cobra mayor importancia en el mundo por su aportación a la seguridad alimentaria y al desarrollo sostenible. Sin embargo la oferta de herramientas y procedimientos para facilitar su implementación resulta limitada y laboriosa. En este sentido, el presente trabajo, en el marco del proyecto Fertilecity, tiene como objetivo exponer una metodología que facilite la implementación de RTG's en áreas no residenciales urbanas de ciudades compactas, mediante el empleo de sensores aerotransportados

- 
- 1 Instituto de Ciencia y Tecnología Ambientales (ICTA) de la Universidad Autónoma de Barcelona. Edificio Z del Campus UAB, 08193 Bellaterra, Barcelona, España. Ana.Nadal@uab.cat
  - 2 Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya, Parc de Montjuïc, 08038, Barcelona, España. luca.pipia@icgc.cat, ramon.alamus@icgc.cat, antonio.ruiz@icgc.cat
  - 3 Inèdit. Ecoinnovación e Investigación Ambiental. TECNIA, Parque tecnológico y de innovación km 15.5 carretera Mérida-Progreso, Mérida, Yucatán, México. ileana@ineditinnova.mx
  - 4 Departamento de Ingeniería de la Construcción, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona (ETSEIB), Universidad Politécnica de Cataluña (UPC-Barcelona Tech), Avenida Diagonal 647, 08028 Barcelona, España. eva.cuerva@upc.edu
  - 5 Departamento de Ingeniería Química de la Universidad Autónoma de Barcelona, Campus UAB, 08193 Bellaterra, Barcelona, España. Joan.Rieradevall@uab.cat
  - 6 Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, E.T.S. de Ingenieros de Caminos, C. y P., Universidad Politécnica de Cataluña (UPC-Barcelona Tech), Campus Nord, C/Jordi Girona 1-3, 08034 Barcelona, España. alejandro.josa@upc.edu
  - 7 Instituto de Sostenibilidad (IS.UPC), Universidad Politécnica de Cataluña (UPC-Barcelona Tech), Campus Nord, C/Jordi Girona 31, 08034 Barcelona, España.

para la identificación de azoteas que posean el potencial y las características adecuadas para dicha intervención, en base a tipología de materiales, inclinación, insolación, superficies óptimas y resistencia estructural.

El resultado es un procedimiento detallado que facilita la labor de profesionales relacionados con el planeamiento, la gestión urbana y la construcción, que por medio de la interpretación de imágenes de las huellas de emisividad y requerimientos técnicos específicos pueden optimizar el tiempo para sus labores y toma de decisiones urbano-políticas y sociales. Los primeros resultados indican que la determinación de las características de las huellas de emisividad de las diferentes superficies y tipologías de azoteas presentan una mayor complejidad que aquellos aspectos de inclinación e insolación. El desarrollo de estas herramientas permitiría de forma rápida determinar en el futuro las superficies óptimas de implantación de la agricultura urbana en cubierta en ciudades y la determinación de indicadores de la potencial producción y reducción de emisiones gases efecto invernadero al reducir las importaciones de alimentos.

*Palabras clave: RTGsPlaneamiento urbano, Agricultura urbana vertical, Imágenes hiperespectrales, Áreas urbanas no residenciales, Ciudades verdes.*

## 1. INTRODUCCIÓN

Durante décadas, la población rural emigró a las ciudades en busca de nuevas oportunidades como respuesta estratégica para afrontar los riesgos y las dificultades relacionadas con cambios sociales y ambientales <sup>[1], [2]</sup>; pero el aumento de la población, la rápida urbanización y la movilidad de población generaron en gran medida numerosos problemas en los nuevos asentamientos urbanos.

Como medida actual para hacer frente a estos problemas, el urbanismo verde busca crear comunidades beneficiosas para la salud humana y el medio ambiente, por medio de procesos interdisciplinarios <sup>[3], [4]</sup>; entre ellos, la Agricultura Urbana (AU) juega un papel fundamental en el objetivo de una ciudad del futuro y ayuda a dar forma a ciudades más sostenibles mediante la capacidad de satisfacción de la demanda de alimentos que tiene repercusión en la armonización social, ambiental y económica del desarrollo sostenible <sup>[5]</sup>.

Los sistemas de producción urbana han variado y los productores se han adaptado para manejar éstas y otras presiones urbanas <sup>[6]</sup>, en parte a través de la operación de invernaderos en la azotea (Rooftop Greenhouses, RTG's).

Hay muchos ejemplos de aplicación de invernaderos en la azotea de supermercados, hospitales, estacionamientos y centros comerciales; sin embargo, hay áreas que aunque poseen grandes superficies y ubicaciones estratégicas dentro de la ciudad, no han sido explotados a nivel de la AU, como por ejemplo ciudades universitarias y parques industriales. Ambas áreas

representan zonas con gran potencial para la aplicación de RTG's, sistemas de energía solar y captación de agua pluvial.

Aunque los RTG's representan una opción viable, las herramientas disponibles para la identificación de las azoteas con potencial para su implementación resultan algo laboriosas y por lo general se centran en el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG), la aplicación informática Google Earth (GE) y el software Argis; pero a pesar del uso de estas tecnologías, el proceso es a menudo complejo y lento y es necesario crear una base de datos para poder analizar las posibilidades en tiempo real de la zona de estudio.

Es este sentido el uso de sensores aerotransportados, TASI-600 (Infrarrojos de onda larga) y Leica ALS50-II (Light Detection And Ranging) (tecnología de datos LIDAR) son ampliamente usados en el sector minero y en el mantenimiento de las carreteras ya que son capaces de aportar información sobre el estado y características de las superficies rocosas y desgastes de las superficies asfálticas <sup>[7]</sup>. Sin embargo estas tecnologías no han sido empleadas en el sector de la construcción; ante esto es necesario apoyar el uso de nuevas tecnologías que automaticen el proceso de análisis y selección de las superficies de las azoteas con potencial para la aplicación de RTG's y que además apoyen la labor de todos aquellos profesionales relacionados con el planeamiento urbano y con la toma de decisiones en las ciudades.

## **1.2. Objetivo**

La presente contribución tiene como objetivo exponer los avances en el diseño de una metodología que facilite la implementación de RTG's en áreas no residenciales urbanas de ciudades compactas, mediante el empleo de sensores aerotransportados (LIDAR y TASI) para la identificación de azoteas que posean el potencial y las características adecuadas para dicha intervención, en base a tipología de materiales, inclinación, insolación, superficies óptimas y resistencia estructural.

## **2. METODOLOGÍA**

En este trabajo se retoman los criterios fundamentales para identificar los tejados factibles para la implementación de RTG's propuestos por Sanye-Mengual, E., Ceron-Palma, I., Oliver-Solà, J. Montero, JI y Rieradevall, J. (2015) <sup>[8]</sup>.

### **2.1 Descripción general de la metodología RTG**

Esta metodología se centra en un sistema de cultivo hidropónico (sustrato) sin suelo, de manera que no crea problemas relevantes de sobrecarga estructural del edificio. El enfoque es el desarrollo de una agricultura comercial.

La metodología propuesta consiste en dos pasos generales (Imagen 1). El primer paso abarca las necesidades urbanas básicas que puedan estar relacionadas con la implementación de un RTG, en un edificio existente o nuevo, y se basan en criterios económicos y jurídicos, ambos de gran importancia para la implementación de RTG's ya que representan aspectos muy generales

y amplios sin los cuales no se podría acceder al segundo paso de la metodología. A continuación se comentan brevemente.

- *Criterio económico:* debido al enfoque comercial de la agricultura urbana que se maneja en el presente trabajo, es esencial que la inversión realizada al instalar un RTG y para la producción sea recuperada en su totalidad y en el menor tiempo, por lo que sólo se consideran viables techos con un mínimo de 500 m<sup>2</sup>. Este criterio es geográficamente variable, y se recomienda llevar a cabo una revisión bibliográfica para estimar el área mínima factible dependiendo de la zona, y se puede validar mediante tecnología Light Detection And Ranging (LIDAR).
- *Criterio jurídico:* hace referencia a los códigos de construcción existentes relacionados con la estabilidad y seguridad estructural de los edificios y a las restricciones legales y de uso de azoteas. Es necesario llevar a cabo una revisión exhaustiva de la literatura sobre los códigos técnicos urbanos, planes de desarrollo urbano, códigos técnicos de construcción, normas de seguridad y otros, dependiendo de la ubicación del edificio a intervenir, todo ello con el objetivo de generar la integración adecuada del RTG con su contexto construido inmediato y cumplir con los requisitos legales para su construcción. También es importante saber si existen restricciones en el uso de cubiertas en el área a intervenir o si por el contrario hay algún reglamento o decreto para fomentar la construcción de RTG's. Este criterio es geográficamente variable y se recomienda llevar a cabo una revisión de bibliografía dependiendo de la zona geográfica.

El segundo paso es más específico e individual y se relaciona con los requisitos del edificio donde se planea implementar un RTG. Se refiere a los criterios técnicos y agrícolas básicos para el crecimiento y productividad del cultivo: luz solar, pendiente y material del tejado, entre otros; ambos criterios se determinan utilizando datos de Light Detection And Ranging (LIDAR) por medio del sensor Leica ALS50-II y datos Long Wavelength Infrared (LWIR) por medio del sensor TASI-600.

- *Criterio de agricultura o agronómico:* se basa en los requisitos básicos o mínimos para que la actividad agrícola se pueda llevar a cabo, (A) La zona de la cubierta debe estar libre y (B) debe estar soleada. Debido a la actividad agronómica que se llevará a cabo en la azotea es necesario que el área esté libre de cualquier elemento que impida utilizar el máximo aprovechamiento; así mismo, la incidencia de la luz solar para la fotosíntesis de las plantas y otros procesos biológicos que permiten la germinación, el crecimiento, fructificación y maduración es necesaria, por lo tanto es preciso tener un "suministro seguro y estable" de radiación solar en el que no hayan impedimentos físicos que limiten su impacto en la cubierta durante la mayor parte del año. Todas las azoteas que presenten sombras durante el día se consideran no viables. Este criterio se puede validar mediante tecnología LIDAR.
- *Criterio técnico:* se basa en los requisitos mínimos estructurales para la implementación de un RTG. (A) pendiente de la azotea y (B) resistencia del material de la

azotea. A partir de los criterios técnicos se puede establecer si la implementación de un RTG es viable a corto, medio o largo plazo.

- Todas aquellas cubiertas que posean una pendiente mayor al 5%, inclinadas, cilíndricas, a dos aguas o más no resultan adecuadas; únicamente se consideran viables aquellas consideradas planas y horizontales para la implementación a corto plazo. Este criterio se puede validar mediante datos LIDAR.
- En cuanto a la resistencia del material de la azotea, se consideran resistentes y viables aquellos construidos con hormigón ya que usualmente suelen ser diseñados para soportar grandes cargas, por ello factibles para la implementación de un RTG a corto plazo. Las azoteas de materiales metálicos, dependiendo de la capacidad de carga que posean, pueden considerarse viables a medio plazo. En este caso es necesario una validación in situ y un análisis de la capacidad estructural de cada azotea específica para poder validar en su totalidad este criterio debido a que el sensor TASI-600 únicamente puede proporcionar información referente a la diferencia de materiales de cada cubierta y no a la capacidad estructural de éstos. Este criterio se puede validar mediante datos LWIR .

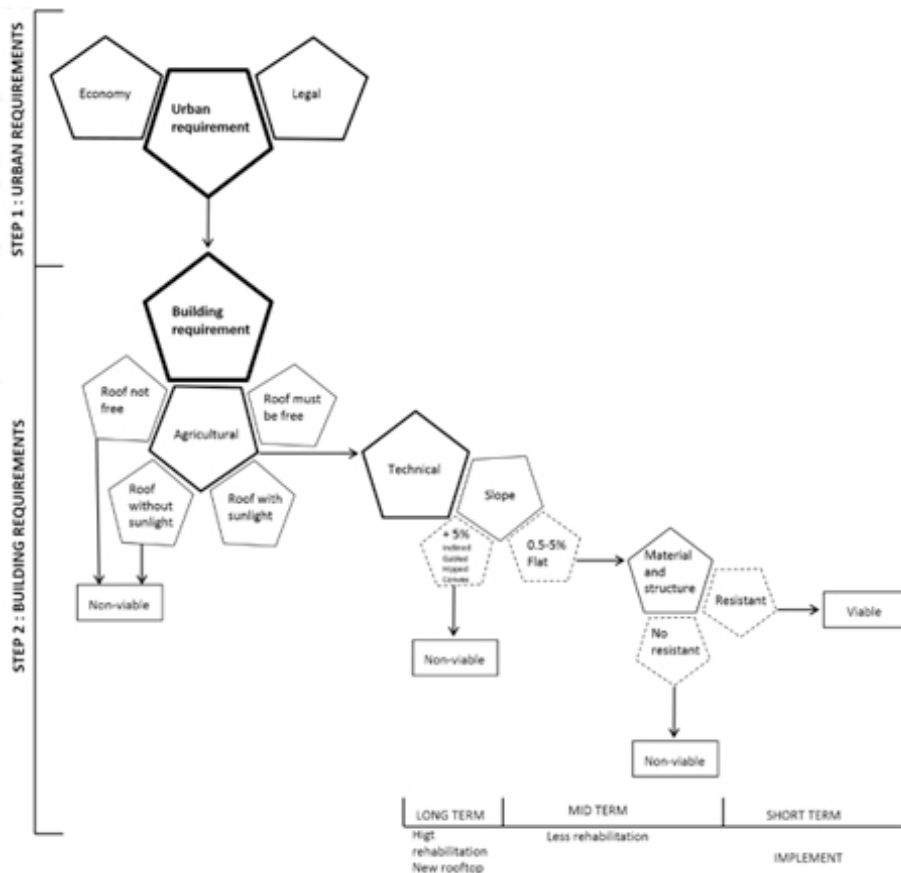


Imagen1. Metodología para la selección de azoteas con potencial para la implementación de RTG's con fines comerciales. Fuente: Elaboración propia.

## 2.2 Descripción de los instrumentos

- El sensor hiperespectral TASI-600 (Thermal Airborne Spectrographic Imager 600) (Imagen 2) de la marca Itres© se basa en el análisis de las ondas infrarrojas de onda larga (Long Wave Infrared, LWIR). El TASI-600 da la oportunidad de medir y recuperar información relativa a la temperatura superficial de un material y el espectro de emisividad de la escena fotografiada, por lo tanto el TASI-600 es un instrumento fiable para la detección de fugas de calor a través de azoteas, mientras que los patrones detectados en imágenes hiperespectrales emisividad normalmente representan diferentes propiedades del material de cubierta <sup>[9], [10]</sup>.
- El sensor Leica ALS50-II de la marca Leica Geosystems© hace uso de datos LIDAR (Imagen 2) y está diseñado para la adquisición y retorno de datos topográficos. Los datos se calcula utilizando mediciones de la intensidad y rango señal de retorno registrados durante el vuelo, junto con los datos de posición y actitud derivados de GPS en el aire y subsistemas inerciales.



Imagen 2. Sensor TASI-600 y Leica ALS50-II, Fuente: Itres© Company y Leica Geosystems©.

## 3 ACCIONES EN CURSO

### 3.1 Descripción del área de estudio

Para el presente estudio se han determinado dos áreas de estudio (Imagen 3), la zona industrial en el municipio de Rubí y la zona del Campus de la Universidad Autónoma de Barcelona (UAB) en Bellaterra. Ambas zonas se encuentran en la periferia norte de Barcelona (España).

La ciudad de Rubí pertenece al área metropolitana de Barcelona se localiza a 23 km al noroeste de Barcelona, posee una población de 74.484 <sup>[12]</sup>. La ciudad se encuentra en la margen izquierda del río Rubí y tiene una actividad industrial muy importante que se refleja en sus 11 parques industriales, para el presente trabajo se ha seleccionado uno ellos ubicado al suroeste del centro de Rubí. Este parque industrial es de aproximadamente 307.200 m<sup>2</sup> donde hay seis unidades industriales, un centro comercial y varias empresas. El área total de la azotea del parque

industrial es 81,159.5 m<sup>2</sup>; en cuanto al Campus de la Universidad Autónoma de Barcelona (UAB) de Bellaterra, fue creado en 1968, posee un territorio de 3.242 km<sup>2</sup> dividido entre 12 facultades y 1 escuela universitaria. Además, tiene 9 escuelas universitarias adscritas y 4 centros vinculados, que dependen de otras instituciones a los cuales acuden 37,166 alumnos y 3 262 profesores. Además dispone de un conjunto residencial de 812 apartamentos y diversas instalaciones de servicios deportivos y de comercio<sup>[13]</sup>.



Imagen 3. Ubicación de la zona industrial de Rubí y del Campus de la Universidad Autónoma de Barcelona en Bellaterra, España. Fuente: Modificado de ERSI 2014; ICGC 2013 y UAB 2014. (Sin escala).

En la Tabla 1 se pueden observar los principales parámetros de los vuelos sobre las áreas de estudio. La zona de Rubí fue sobrevolada en febrero del 2013 en el marco del proyecto Rubí Brilla<sup>[14]</sup> con el objetivo de detectar fugas de energía y anomalías de temperatura<sup>[15]</sup>. Dos vuelos se realizaron a mediados de la noche y las 6 am.

El área de la UAB fue sobrevolada en noviembre del 2014 en el marco de un área más grande que cubre los municipios de Sant Cugat del Vallés y Cerdanyola. Un solo vuelo se llevó a cabo a la medianoche.

Tabla 1. Principales parámetros de vuelo sobre zonas Rubí y UAB.

<i>Principales parámetros del vuelo</i>	<i>Rubí</i>	<i>UAB</i>
<i>Sensor</i>	TASI-600	TASI-600
<i>Fecha</i>	5-6 – Feb – 2013	18-19 – Nov – 2014
<i>Horario primer vuelo</i>	12 am	12 am
<i>Horario segundo vuelo</i>	6am	-----
<i>Altura del vuelo (sobre tierra) [m]</i>	1600	2241
<i>Superposición [%]</i>	40	40
<i>Superficie [km<sup>2</sup>]</i>	35	150

Debido a la complejidad de variables en el criterio técnico que presentan las zonas urbanas es necesario llevar a cabo pruebas en el laboratorio para validar las huellas espectrales de los materiales de las azoteas adquiridas por medio del sensor aerotransportado TASI-600 en ambas zonas de estudio (Rubí y UAB) para poder garantizar que la huella concuerda totalmente con el material de construcción y que ésta no haya presentado alguna interferencia debido a las condiciones de la atmosfera que pueden modificar levemente el perfil analizado por el TASI.

Por lo tanto los resultados del presente trabajo únicamente exponen las huellas de emisividad aisladas para su posterior validación en el laboratorio, hasta no validar las huellas de emisividad no es posible exponer los resultados globales del proyecto.

### 3.2 Aislamiento y validación de las huellas espectrales

Es así que se han aislado 11 huellas de emisividad (Imagen 4) de los materiales más comunes de las azoteas de Rubí y de la UAB, las cuales se presentan a continuación; sin embargo estas aun serán validadas en las instalaciones del Instituto Cartográfico y Geológico de Cataluña (ICGC) para corroborar su validez:

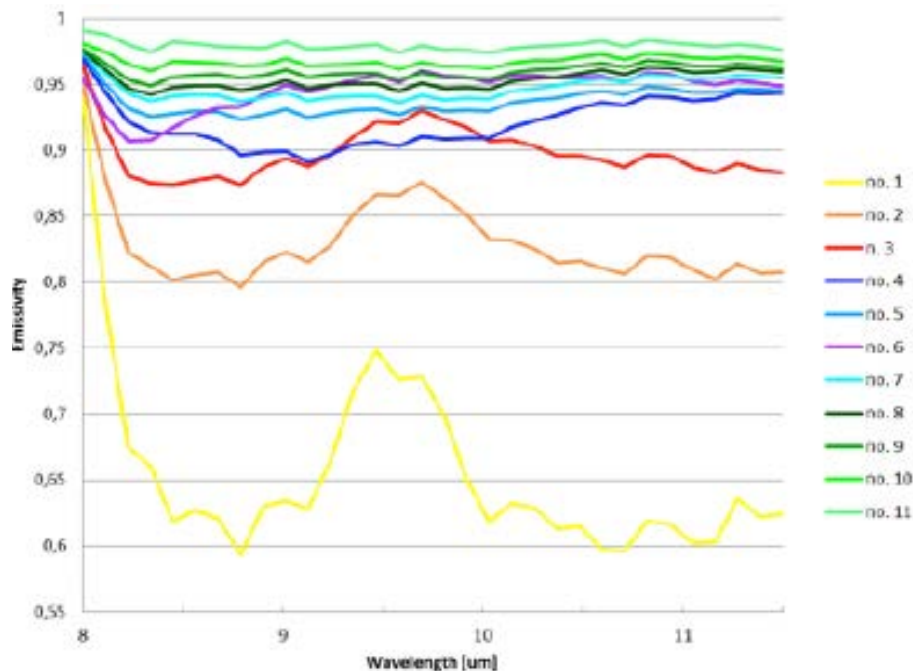


Imagen 4. 11 huellas de emisividad de los materiales de azoteas más comunes en Rubí y en la UAB.

De forma preliminar se han identificado 6 (Imagen 5) de las 11 huellas de emisividad mediante visitas el sitio:

Se espera que las pruebas de laboratorio repliquen la misma huella de emisividad de los materiales de azoteas o cubiertas encontradas mediante el vuelo; de comprobarse esto significaría



que mediante el uso del sensor TASI-600 es posible diferenciar de forma rápida y eficiente los diferentes materiales de la superficie de las azoteas, tanto en zonas industriales como en otras áreas de las ciudades.

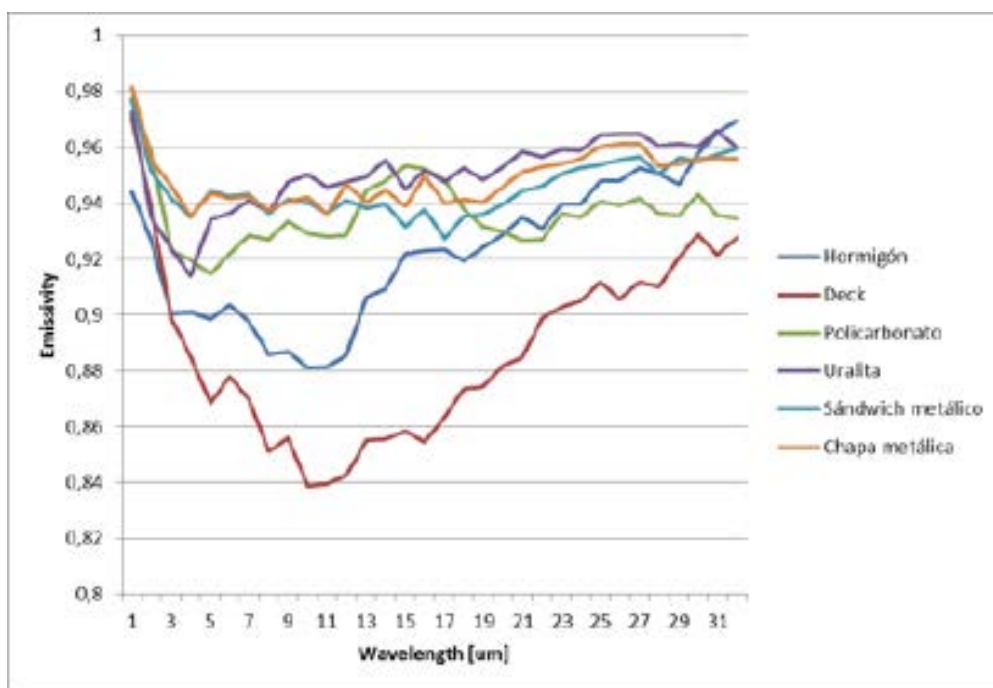


Imagen 5. Huellas de emisividad de los materiales de azoteas identificadas preliminarmente en Rubí y la UUB.

#### 4. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Ministerio de Economía y Competitividad de España (MINECO) el apoyo financiero para el proyecto de investigación «Sostenibilidad agrourbana mediante invernaderos en cubierta. Ecoinnovación en flujos residuales de energía, agua y CO2 para la producción de alimentos» (CTM2013-47067-C2-1-R) y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México (CONACYT) y al Consejo de Ciencia, Innovación y Tecnología de Estado de Yucatán (CONCIYTEY) por la beca para los estudios doctorales de Ana Nadal.

#### 5. REFERENCIAS

1. Laczko F, Aghazarm C.(2009). Introduction and Overview: Enhancing the Knowledge base. In Migration, Environment and Climate Change: Assessing the Evidence, IOM, UNU-EHS, CCEMA,. Edited by Laczko F, Aghazarm C. Rockefeller Foundation.7-39pp.
2. Warner, K. (2010). Global environmental change and migration: Governance challenges. *Global Environmental Change*, 20(3), 402–413. <http://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2009.12.001>.

3. Beatley, Timothy. (2000) *Green Urbanism: Lessons from European Cities*. Washington, D.C.: Island Press.
4. Lehmann, S. (2010). *Green Urbanism: Formulating a Series of Holistic Principles*. S.A.P.I.EN.S, (3.2). Retrieved from <http://sapiens.revues.org/1057>
5. Berger, D. (2013). *A GIS Suitability Analysis of The Potential for Rooftop Agriculture in New York City* (Doctoral dissertation, Columbia University).
6. Mougeot, L. J. (2000). Urban agriculture: definition, presence, potentials and risks. *Growing cities, growing food: Urban agriculture on the policy agenda*, 1-42.
7. Itres© Company: <http://www.itres.com/Home>.
8. Sanyé-Mengual, E., Cerón-Palma, I., Oliver-Solà, J., Montero, J. I., & Rieradevall, J. (2015). Integrating Horticulture into Cities: A Guide for Assessing the Implementation Potential of Rooftop Greenhouses (RTGs) in Industrial and Logistics Parks. *Journal of Urban Technology*, (ahead-of-print), 1-25.
9. L. Pipia, , F. Pérez, , A. Tardà, L. Martínez, V. Palà, R. Arbiol (2010). Thermal Airborne Spectrographic Imager for Temperature and Emissivity Retrieval," 3rd International Symposium on Recent Advances in Quantitative Remote Sensing (RAQRS III), Torrent.
10. L. Pipia, F.Pérez, A.Tardà, V.Palà, R.Arbiol, (2011). Potentials of the Thermal Airborne Spectrographic Imager for Environmental Studies", 9th International Geomatic Week, Barcelona, Spain.
11. Burman, H. (2000). *Calibration and Orientation of Airborne Image and Laser Scanner Data Using GPS and INS*, PhD Dissertation, Dep. Geodesy and Photogrammetry. Royal Institute of Technology. Photogrammetric Reports No 69. Stockholm, Sweden. doi=10.1.1.12.8986
12. Instituto Nacional de Estadística. (2012). "Population of Spain." <http://www.ine.es/en/welcome.shtml>
13. Universidad Autónoma de Barcelona. (2016). <http://www.uab.cat/web/universitat-autonoma-de-barcelona-1345467954409.html>
14. Proyecto Rubi Brilla: [http://www.rubi.cat/perfil/rubi/recursos/recursos/rubibrilla\\_project\\_short.pdf](http://www.rubi.cat/perfil/rubi/recursos/recursos/rubibrilla_project_short.pdf)
15. ITRES (2010). <http://www.itres.com/products/imagers/tasi600>.