

Mejora de las condiciones de habitabilidad y del cambio climático a partir de ecotechos extensivos.

Estudio de caso: barrio La Isla, Altos de Cazucá, Soacha, Cundinamarca*

Fecha de recepción: 16 de mayo del 2011 Fecha de aceptación: 26 de agosto del 2011

Carolina Forero Cortés

Ecóloga

Directora del Programa Productivo y Educación Ambiental

Fundación Catalina Muñoz

deissy.forero@javeriana.edu.co

Carlos Alfonso Devia Castillo

Ingeniero forestal. Magíster en Desarrollo Rural

Profesor asociado

Facultad de Estudios Ambientales y Rurales, Pontificia Universidad Javeriana

cdevia@javeriana.edu.co

Resumen El cambio climático generado por la expansión del área urbana incide en el aumento de temperatura por las propiedades térmicas de los materiales de construcción. La escasez de áreas verdes (que aumenta las superficies impermeables) provoca desequilibrios climáticos que deterioran la calidad habitacional en el interior de la vivienda. En este sentido, este artículo se propone estimar y comparar la atenuación térmica y la captura de CO₂ en viviendas de interés prioritario ubicadas en Altos de Cazucá, que utilizaron cultivos de hortalizas como *ecotechos*. El diseño experimental requirió desarrollos tecnológicos como un sistema de riego que optimiza el agua de precipitación y contenedores independientes para el sustrato y las plantas. Los cultivos están divididos en: 1) lechuga y rábano; 2) cebolla larga, cilantro y lechuga, y 3) espinaca y perejil. Se estudió también una vivienda testigo sin *ecotecho*. Luego, se cuantificaron las variables térmicas dentro de la vivienda y el carbono capturado. Los resultados son una atenuación térmica del techo (4 °C) y del ambiente (3 °C), un aumento de la humedad relativa del 10% y un total de CO₂ capturado de 16,1 kg, 38,6 kg y 8,3 kg, anualmente.

Palabras clave autor **Atenuación térmica, captura de dióxido de carbono, techos verdes.**

Palabras clave descriptor **Ecología urbana, Vivienda popular- Aspectos ambientales, Casas ecológicas, Urbanismo - Aspectos ambientales - Barrio Altos de Cazucá (Bogotá, Colombia).**

* Artículo derivado de la investigación realizada por la estudiante Carolina Forero Cortés, bajo la dirección del profesor Carlos Alfonso Devia Castillo, entre el 2010 y 2011, para optar al Título de Ecólogo en la Facultad de Estudios Ambientales y Rurales de la Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá.

Improving the housing conditions and climate change on the basis on extensive eco-ceilings.

Case study: La Isla neighborhood, Altos de Cazucá, Soacha, Cundinamarca

Abstract Climate change generated by the expansion of the urban area affects the temperature rise by the thermal properties of the materials of construction. The shortage of green areas (which increases impervious surfaces) causes climatic imbalances that diminish quality within the housing. In this sense, this paper aims to estimate and compare the thermal attenuation and CO₂ capture in priority interest housing located in Altos de Cazucá, who used eco ceilings as vegetable crops. The experimental design required technological developments such as an irrigation system that optimizes the rushing water and separate containers for the substrate and plants. Crops are divided into: 1) lettuce and radish, 2) green onions, coriander and lettuce, and 3) Spinach and parsley. Control housing without eco ceiling was also studied. Then, thermal variables were quantified within the housing and carbon sequestration. The results are a thermal attenuation of the roof (4 ° C) and atmosphere (3 ° C), increasing the relative humidity of 10% and a total of 16.1 kg CO₂ captured, 38.6 kg and 8, 3 kg annually.

Key words thermal attenuation, carbon dioxide capture, green roofs.

Key words plus Urban ecology, Public Housing - Environmental aspects, Ecological houses, Town planning - Environmental aspects - Altos de Cazucá (Bogota, Colombia).

Melhoramento das condições de habitabilidade e mudança climática a partir de ecotetos extensivos. Estudo de caso: Bairro La Isla, Altos de Cazucá, Soacha, Cundinamarca

Resumo Mudança climática gerada pela expansão da área urbana diz respeito ao acréscimo da temperatura devido às propriedades térmicas dos materiais de construção. A míngua de áreas verdes (que aumenta as superfícies impermeáveis) provoca desequilíbrios climáticos que deterioram a qualidade habitacional no interior das moradias. Neste sentido, o artigo propõe-se estimar e comparar a atenuação térmica e captura de CO₂ em moradias sociais (de interesse prioritário) localizados em Altos de Cazucá que usaram ecotetos feitos com cultivos de hortaliças. O desenho experimental exigiu desenvolvimentos tecnológicos tais como sistema de irrigação que otimiza a água de precipitação e recipientes separados para o substrato e as plantas. Cultivos estão divididos em: 1) alface e rabanete, 2) cebolinha, coentro e alface, e 3) Espinafre e salsa. Também foi estudada uma moradia controle sem ecoteto. Em seguida, as variáveis térmicas no interior da habitação e o carbono capturado foram quantificados. Os resultados foram uma atenuação térmica do telhado (4° C) e do ambiente (3° C), aumento da humidade relativa de 10% e um total de 16,1 kg, 38,6 kg e 8, 3 kg de CO₂ capturado por ano.

Palavras-chave atenuação térmica, captura de dióxido de carbono, tetos verdes.

Palavras-chave descritor Ecología urbana, Habitación Popular - Aspectos ambientales, Casas verdes, Urbanismo - Aspectos ambientales - Bairro Altos de Cazucá (Bogotá, Colômbia)

Introducción

Los *ecotechos* (cubiertas vegetales o techos verdes) constituyen un sistema de capas continuas para la propagación de la vegetación (Zinco, 1998), que proveen servicios ecosistémicos en las zonas urbanas (Oberndorfer et ál., 2007) y que se han convertido en una tendencia en el diseño urbano (Berndtsson, Bengtsson y Jinno, 2009). Estos promueven una imagen ambiental al fomentar soluciones locales con beneficios ambientales, sociales y económicos, potenciales para el desarrollo de la sociedad (Berndtsson, Emilsson y Bengtsson, 2006). El sistema de techos verdes productivo tiene retorno de inversión (Rowe, 2010), fomenta la agricultura urbana (Carter y Keeler, 2008) y permite cambiar el flujo de la energía y la materia en los ecosistemas urbanos (Oberndorfer et ál., 2007).

La investigación se realizó en viviendas de interés prioritario, cuyo valor máximo no supera los setenta salarios mínimos mensuales legales vigentes (Bedoya, 2009), establecidas en estratos 1 y 2 construidas por la Fundación Catalina Muñoz¹ en el barrio La Isla, Altos de Cazucá, en el municipio de Soacha, Cundinamarca, Colombia. El sistema propuesto cumple con los requerimientos de las cubiertas extensivas: espesor de entre 5 cm y 15 cm, poco mantenimiento y cultivo de plantas generalmente herbáceas. Cabe anotar que hay otro tipo de cubiertas conocidas como intensivas, que requieren un espesor de entre 20 cm y 90 cm y

utilizan árboles y arbustos con raíces más amplias y demandan mayor mantenimiento (Berndtsson, 2010).

El diseño experimental de cubiertas extensivas tiende a mejorar la calidad de vida de las personas que viven en estas casas, por medio de la atenuación de variables térmicas en el interior de la vivienda que mejora las condiciones de habitabilidad y la captura de carbono por parte de la vegetación establecida y aporta a la mitigación del cambio climático. Además, sirve para: aprovechar los espacios generalmente no utilizados, controlar la escorrentía superficial, mejorar la calidad del aire, ahorrar en el consumo de energía para calefacción o ventilación, crear nichos para algunas especies de aves e insectos, reutilizar los residuos sólidos, mantener la estructura, facilitar el mantenimiento, aumentar la durabilidad del techo de la vivienda, habilitar espacios de integración comunitaria, rescatar el saber local y hacer aportes económicos y alimentarios a las familias participantes (Alexandri y Jones, 2008; Berndtsson et ál., 2006; Kowalczyk, 2011).

La degradación del medio ambiente como consecuencia de la industrialización y el consecuente aumento de la temperatura, generan cambios climáticos a escala global (Atehortúa, 2007; Kowalczyk, 2011). Estos cambios afectan directamente el clima local, especialmente a algunas

¹ Esta fundación es una organización sin ánimo de lucro que, sumada a la labor de un grupo de jóvenes con amplia trayectoria en temas de desarrollo comunitario y responsabilidad social, ha creado programas para el mejoramiento de la calidad de vida de la población colombiana.

partes de la ciudad, alterando la temperatura (Alexandri y Jones, 2008). Otras causas de la transformación climática son: el cambio en el uso del suelo, ligado a la disminución de masa forestal; el abandono de tierras de cultivo, y el aumento en la frecuencia de los eventos de precipitación como lo explican Arnell (1999), Bates et ál. (2008) en Berndtsson (2010). Esto produce exceso de aguas de escorrentía; superficies duras e impermeables, que alteran patrones climáticos (Gutiérrez, 2008); destrucción del hábitat natural; proliferación de escombros y residuos sólidos, y contaminación visual (Minke, 2004).

Del mismo modo, las altas temperaturas en la ciudad causan el efecto de *islas urbanas de calor*, que son la causa aproximada de una tercera parte del calentamiento global. Esto ha sido experimentado desde comienzos del siglo XX y se relaciona con la expansión del área urbana que ha dado lugar al aumento de temperatura, por las propiedades térmicas de los materiales de construcción, la sustitución de áreas verdes y el aumento de superficies impermeables (Susca, Gaffin y Dell'Osso, 2011).

Con base en lo anterior, el objetivo general de la investigación fue estimar y comparar la atenuación térmica y la captura de CO₂ cuando se utilizan techos cultivados con diferentes hortalizas, a fin de contribuir a minimizar el efecto de isla de calor y el cambio climático, para ello fue necesario: 1) cuantificar la temperatura ambiente, del techo y la humedad relativa dentro de las viviendas, y 2) estimar la captura de CO₂ por parte de las plantas establecidas, como una estrategia de mitigación para el cambio climático en áreas urbanas (Takebayashi y Moriyama, 2007).

En este sentido, la investigación es importante, porque aborda elementos de agricultura urbana y aporta datos sobre el mejoramiento de la habitabilidad en el interior de la vivienda y sobre el balance de carbono (C) por parte de las plantas

establecidas (Kowalczyk, 2011). Razón por la cual es necesario nombrar algunos de los beneficios de las plantas utilizadas. Estas, aparte de tener un uso alimenticio, pueden reducir el calor que llega a la edificación (Li et ál., 2010) y absorber la parte de la radiación solar para hacer sus funciones biológicas de fotosíntesis, respiración, transpiración y evapotranspiración (Niachou, Papakonstantinou, Santamouris, Tsangrassoulis y Mihalakakou, 2001). En otras palabras, las plantas utilizadas interceptan y disipan la radiación solar (Oberndorfer et ál., 2007), reducen los contaminantes, mejoran la calidad del aire (Li et ál., 2010), capturan carbono en sus tejidos (Rowe, 2010), por medio de la reacción fotosintética y producen biomasa, hidrógeno y oxígeno (Stewart y Hessami, 2005).

Se debe resaltar que los resultados encontrados son aplicados al caso colombiano y son necesarios como tema de investigación de acuerdo a la lista de investigación alemana, para identificar las especies de plantas adecuadas, para diferentes regiones (Oberndorfer et ál., 2007). Los resultados de la investigación aportan a la ampliación de la temática, por el uso de diferentes combinaciones vegetales, en el que se encontró un sistema productivo ecoeficiente, capaz de mejorar la climatización interna, que reduce la temperatura ambiente en 3 °C, la temperatura del techo en 4 °C y aumenta la humedad relativa en un 10%, en el interior de la vivienda. Respecto a la captura de carbono anual por metro cuadrado, se estimaron para el tratamiento 1 16,1 kg, para el tratamiento 2, 38,6 kg y para el tratamiento 3, 8,3 kg.

Finalmente, la investigación realizada es un diseño experimental inicial y fue realizada durante un mes de toma de datos en la temporada de marzo a abril del 2011. Este tiene una serie de limitaciones en cuanto a la muestra de los datos, por su duración. Se recomienda realizar futuros estudios científicos para obtener un conjunto de datos mayor a este u otros casos.

Área de estudio

El estudio fue realizado en el municipio de Soacha (Cundinamarca, Colombia) (figura 1) en el barrio La Isla, Altos de Cazucá, que pertenece a la cuenca alta del río Bogotá y subcuenca del río Soacha (Rozo, 2008). El barrio se encuentra entre la latitud N 04° 35' 14" y la latitud W 74° 15' 17", su clima presenta una temperatura promedio de 11,5 °C (temperatura máxima de 23 °C y mínima de 8 °C) y una precipitación media anual de 698 mm, con una distribución de lluvias de dos periodos definidos, de abril a julio y de octubre a diciembre (Sitio oficial de Soacha Cundinamarca, 2011).

El área urbanizada de Soacha, según Pérez en estudios realizados en el 2004, está dividida en usos comerciales, explotación de canteras y equipamientos industriales. Ello ha causado la crisis en el sector rural y la absorción de fuentes de empleo,

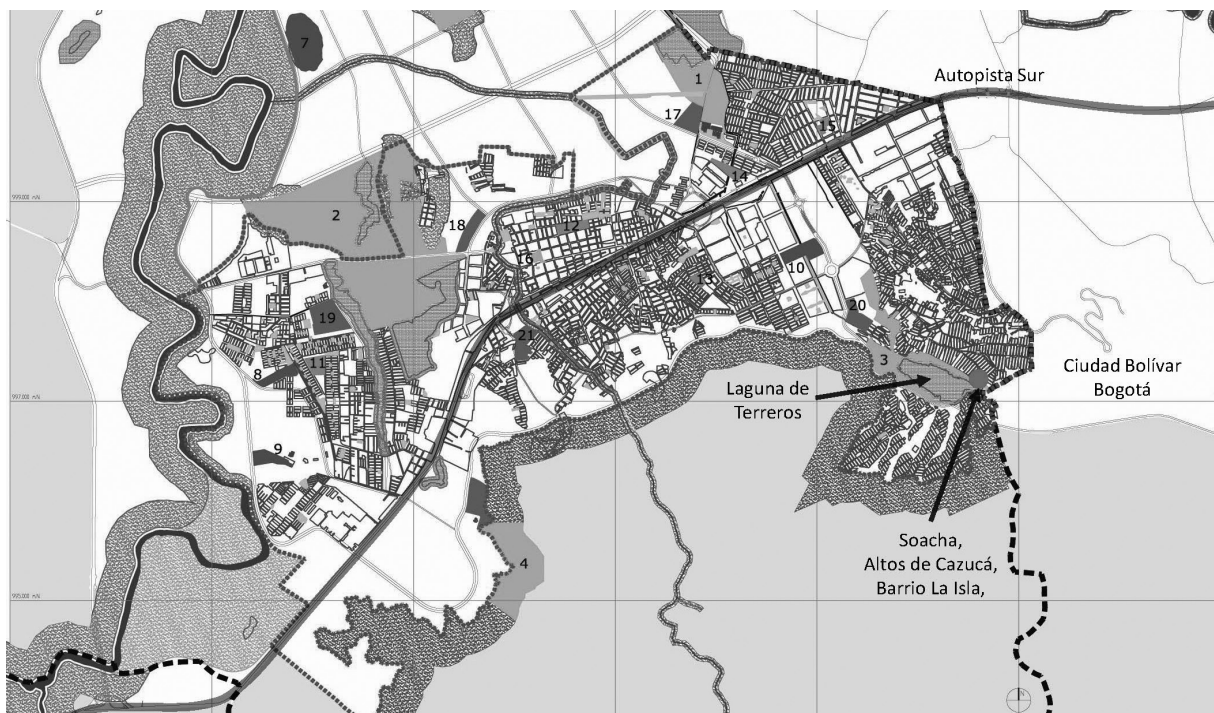
producto de la industrialización, migración, violencia y acceso de la vivienda.

En cuanto a las características socioculturales, el sector de Altos de Cazucá y Ciudadela Sucre ha tenido un difícil proceso de ocupación ilegal de tierras. Las dinámicas de apropiación y comercialización del suelo han sido realizadas por los denominados terreros (grupos de pobladores foráneos o habitantes de la zona que han capitalizado las áreas desocupadas del sector), quienes realizan adecuaciones en los terrenos para luego venderlos a las familias que van ingresando a la zona y generalmente están en situación de desplazamiento (Pérez, 2004).

Materiales, métodos y metodología

Se revisaron fuentes de información secundaria y toma de datos del área de estudio para justificar la viabilidad de la investigación. Después se hizo

Figura 1
Ubicación del barrio la Isla (sector Altos de Cazucá, municipio de Soacha, Cundinamarca)



Fuente: Alcaldía Municipal de Soacha. Plano de la Revisión y Ajuste del Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Soacha, 2010.

un taller con estudiantes y profesores de la carrera de Diseño Industrial de la Pontificia Universidad Javeriana (2011), con el fin de intercambiar ideas acerca del diseño operativo. Luego, se logró la participación de cuatro familias, el apoyo de la Fundación Catalina Muñoz y la Fundación Semillas de Amor y Alegría.

Posteriormente, se determinó la capacidad de carga de las viviendas la cual es de 20 kg/m², máximo. Los techos de las viviendas son tejas onduladas de fibrocemento, con cubierta a dos aguas que cubren un área total de 24 m², de los cuales se utilizaron 12 m², y una inclinación del 30%. Se determinó que la mejor opción es el uso de recipientes individuales, por lo cual se optó por botellas de PET (tereftalato de polietileno) de 3 L, para la adecuación se hizo un molde con tres orificios de 7 cm x 10 cm y tres perforaciones mínimas a 5 cm de la boquilla de la botella, para el drenaje del agua ya que al ser individuales resulta más adecuado para su operatividad (figura 2). El sustrato fue una mezcla entre tierra negra y cascarilla de arroz (relación 2:1).

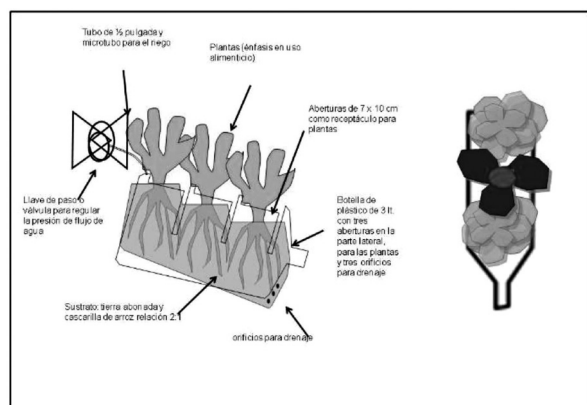
Las plantas utilizadas fueron siete, distribuidas en diferentes tratamientos y viviendas. En el tratamiento 1 se sembró lechuga cresa (*Lactuca sativa*) y rábano (*Rhaphanus sativa*), combinación

utilizada con frecuencia porque las sustancias alelopáticas del rábano combaten las plagas que atacan la lechuga; en el tratamiento 2, cebolla larga (*Allium fistulosum*), cilantro (*Coriandrum sativum*) y lechuga lisa (*Lactuca sativa*), y en tratamiento 3, espinaca (*Spinaca oleracea*) y perejil (*Petroselinum crispum*). Se dejó una vivienda sin ningún tipo de cobertura, identificada como testigo sin ecotechos. Las plantas escogidas cuentan con demanda baja de nutrientes, raíces poco profundas y rápido crecimiento. Cabe anotar que se parte de que cada especie, por su follaje, podría generar diferentes resultados en cuanto a temperatura, humedad y captura de CO₂ (figura 3).

Así mismo, se calculó que el peso que alcanza una botella con el sustrato saturado y las plantas en su máximo tamaño varía entre 0,97 kg y 2,65 kg (tabla 1); de esta manera, se definió que el número de recipientes posibles era de 96, con 288 orificios para cada planta, por cada tratamiento.

Considerando el techo es una fuente permanente de agua se creó un sistema de conducción, formado por un conjunto de canaletas o tuberías de diferentes materiales y formas, que conducen el agua lluvia del área de captación del sistema de almacenamiento a través de bajantes con tubos de PVC (Herrera, 2011) con el fin de no utilizar

Figura 2
Adecuación de botellas para el sistema de techos verdes extensivos



Fuente: Carolina Forero Cortés.

Figura 3

Tratamientos de especies 1) lechuga crespa y rábano; 2) cebolla larga, cilantro y lechuga lisa, y 3) espinaca y perejil



Fuente: Carolina Forero Cortés.

Tabla 1

Registros de pesos por contenedor y por tratamiento

Tratamiento	Especie	Tiempo de producción (meses)	Nº de cosechas anual	Peso del contenedor estado normal (kg)	Peso del contenedor estado saturado (kg)
1	Rabanitos (<i>Raphanus sativa</i>)	2	6	0,975	1,615
	Lechuga romana (<i>Lactuca sativa</i>)	2	6		
2	Cebolla (<i>Allium cepa</i>)	4	3	1,515	2,155
	Cilantro (<i>Coriandrum sativum</i>)	1	12	1,375	2,015
	Lechuga lisa (<i>Lactuca sativa</i>)	2	6	2,01	2,65
3	Perejil (<i>Petroselinum crispus</i>)	2	6	1,785	2,42
	Espinaca (<i>Spinaca oleracea</i>)	2	6		
4	Testigo (sin cubierta verde)				

Fuente: elaboración propia.

riego adicional, sino recircular el agua lluvia para el crecimiento de las especies. Para ello, fue necesario utilizar una caneca reciclada de 15 L, que fue ubicada en el caballete del tejado de la vivienda. Con el uso de tubos de PVC de media pulgada y

microtubos se suministró el agua para cada uno de los contenedores de PET (figura 4). Teniendo en cuenta que el sistema de riego se localiza en una pendiente inclinada del 30%, se utilizaron llaves de paso para regular la presión y garantizar

Figura 4
Sistema de conducción, área efectiva 12 m², teja de fibrocemento con ondulaciones



Fuente: Carolina Forero Cortés.

el suministro homogéneo de agua para todos los recipientes. La recolección y almacenamiento del agua se realizó por medio de un canal de 3 m y un tanque de 250 L por vivienda, para garantizar las demandas hídricas de las especies utilizadas.

De acuerdo con lo anterior, se obtuvo el diseño y montaje de un sistema productivo de ecotechos en tres viviendas que tuvieron diferentes especies vegetales. Sin embargo, cabe anotar que la vivienda testigo fue adecuada con canaletas y tanques

para asegurar las mismas condiciones (figura 5) y tener la misma geometría de comparación (Li et ál., 2010).

Para la cuantificación de las variables térmicas, se realizaron muestreos durante un mes, registrando valores de parámetros climáticos. Para la temperatura del techo se utilizó un termómetro láser infrarrojo, modelo 15036, marca Termotrace y para la toma de la temperatura ambiente y humedad relativa, se utilizó un medidor digital referencia

Figura 5
Sistemas productivos de techos verdes tratamientos y familias participantes



Fuente: Carolina Forero Cortés.

AC 58163, diariamente, con intervalos de cuatro horas desde las 8:00 hasta las 20:00, para cada vivienda, incluyendo la vivienda testigo que no contaba con cobertura vegetal.

Para estimar el carbono capturado fue necesario pesar la biomasa de cada especie y estimar el peso en seco, llevándola a un horno con una temperatura de 90 °C, es decir hasta liberar las moléculas de hidrógeno y oxígeno para que quedara convertido en carbono (Consejería de Agricultura y Agua, 2010). Los pesos secos fueron tomados con una balanza digital referencia SV 051415, marca Clever. Después, se relacionaron con los datos de captura de carbono de la lechuga de los autores (Consejería de Agricultura y Agua, 2010) para luego aplicar la ecuación que relaciona el coeficiente de masas (44/12), en la que se convierte el carbono a CO₂ por relación de pesos atómicos. Así se estimó el carbono capturado por cosecha anual (Environmental Protection Agency, 2011). Finalmente, los datos fueron transcritos a un soporte electrónico y analizados con el programa Microsoft Excel®, por medio de tablas y gráficos de dispersión.

Resultados y discusión

Mejoramiento de habitabilidad

El mejoramiento de la habitualidad en el interior de la vivienda se evidencia en el confort térmico que percibieron los habitantes de las viviendas y que puede favorecer la disminución del efecto de isla de calor urbana, definido como una manifestación climática causada por el aumento en las construcciones, que genera un incremento en la temperatura del aire y una mayor formación de niebla en épocas de verano (Lopes et ál., 2001). Es también la diferencia de temperatura entre la zona urbana y su entorno (Oberndorfer et ál., 2007).

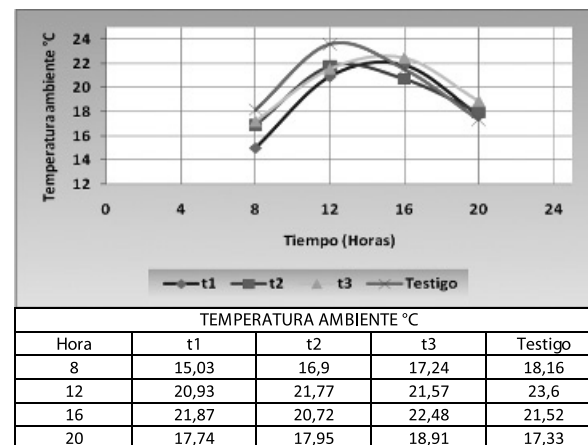
Los resultados de la investigación permitieron determinar que la implementación de ecotechos

atenúa la temperatura ambiente dentro de la vivienda, aproximadamente en 3 °C, en comparación con la vivienda testigo como se muestra en la (figura 6). “Con el calentamiento global las temperaturas son más fuertes, en mi casa los medios días son más frescos desde que tenemos los techos verdes”, manifestó una mujer desplazada de Montería, de 53 años y participante del proyecto, confirmando los registros de las variables analizadas durante la investigación.

Respecto a la atenuación térmica de la temperatura del techo de teja de fibrocemento se registró una reducción de 4 °C en promedio con el uso de cubiertas ecológicas. Con la radiación del medio día, a las 8:00 y a las 16:00, la temperatura funciona relativamente igual, mientras que para las 20:00 disminuye en 2 °C con el uso de cubiertas verdes y en comparación con la vivienda testigo (figura 7).

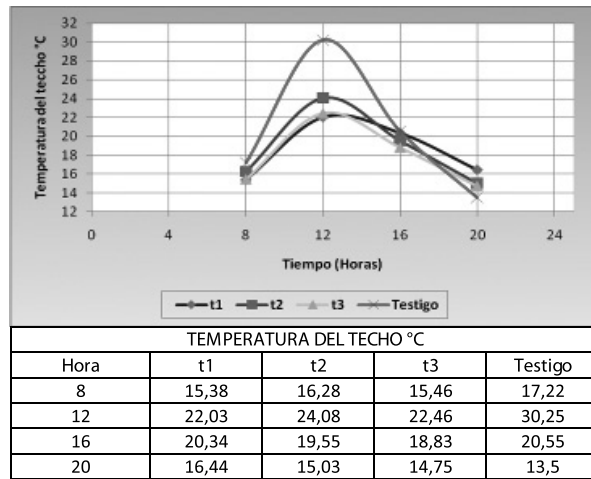
Se evidencia una estabilización del clima en la vivienda como lo afirman (Lopes et ál., 2001). El diseño mostró una disminución de temperatura (Carter y Keeler, 2008) de 0,1 °C a 0,8 °C respecto de otros diseños. También existen otro tipo de cubiertas que tienen mayor profundidad de

Figura 6
Registros promedio de la temperatura ambiente desde las 8:00 hasta las 20:00 con intervalos de cuatro horas



Fuente: elaboración propia.

Figura 7
Registros promedio de la temperatura del techo desde las 8:00 hasta las 20:00 con intervalos de cuatro horas



Fuente: elaboración propia.

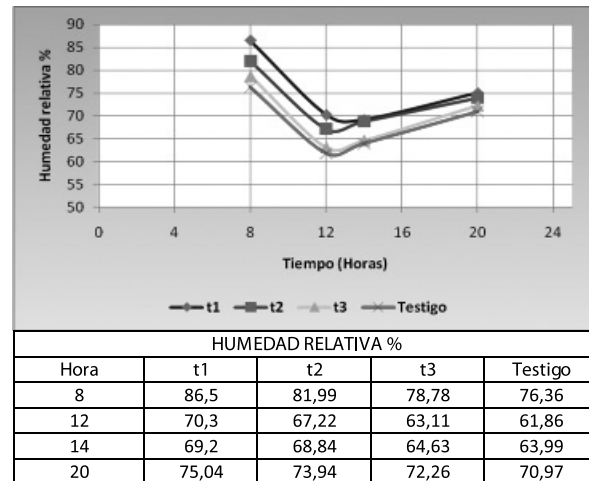
sustrato y reducen la temperatura de 3 °C a 4 °C. Cabe anotar que el tratamiento 1 tiene temperaturas más bajas y esto puede ser debido al área de las hojas y el crecimiento arrocetado ya que, acumula mayor cantidad de agua en las hojas y genera mayor aislamiento (Getter y Rowe, 2006).

La humedad relativa aumentó en un promedio del 10% dependiendo del follaje de las plantas (Niachou et ál., 2001), de la exposición al sol, al viento o a la lluvia, comparadas con la vivienda testigo (figura 8).

La humedad relativa se define como la relación que ejercen las moléculas de agua en fase de gas y la presión de vapor del agua pura (Figueruelo y Mijangos, 2006). El efecto de la humedad que se mantiene en los techos verdes mejora las condiciones (Li et ál., 2010), la humedad del suelo decrece del 40% al 20% y funciona como aislante térmico (Castleton, Stovin, Beck y Davison, 2010).

El confort térmico está determinado por los materiales y sus espesores (Castleton et ál., 2010). Entre mayor sea el grosor del sustrato, se reducirá mejor la temperatura (Castleton et ál., 2010); aunque otros estudios de balance energético en

Figura 8
Registros promedio de la humedad relativa desde las 8:00 hasta las 20:00 con intervalos de cuatro horas



Fuente: elaboración propia.

los sistemas de techos verdes concluyeron que la forma dominante de disipar el calor fue a través de la evapotranspiración, del tamaño de la hoja de las especies utilizadas (Feng, Meng y Zhang, 2010) o de los flujos de aire en el ambiente (Li et ál., 2010).

Mitigación al cambio climático

Captura de CO₂

El incremento de las emisiones de CO₂ no es generado exclusivamente por la quema de combustibles fósiles, sino también por la disminución de la capacidad fotosintética del carbono inorgánico (CO₂) que se transforma en a carbohidrato (CH₄O) (Figueruelo y Mijangos, 2006). De todos los gases de efecto invernadero, el CO₂ tiene una larga permanencia en la atmósfera, por ejemplo del 50% emitido a la atmósfera, un 30% permanecerá varios siglos y el 20% restante durará varios millares de años (Environmental Protection Agency, 2011).

La captura de CO₂ depende del clima, de la topografía, del tipo de sustrato, de la vegetación, de la eficiencia del uso del agua y de los fertilizantes

Tabla 2
Captura de carbono por especie y tratamiento anualmente

Tratamiento	Especie	Número de plantas	Peso seco unitario (g)	Captura por especie relacionado con la lechuga	Captura (C) anual	Captura (CO ₂) anual (g)	Total CO ₂ por tratamiento (kg m ²)
1	Rabanitos (<i>Raphanus sativa</i>)	92	0,9	0,3	181,7	666,2	16,1
	Lechuga romana (<i>Lactuca sativa</i>)	192	10	3,7	4.212,9	15.447,2	
2	Cebolla (<i>Allium cepa</i>)	96	35	12,8	7.372,5	27.032,5	38,6
	Cilantro (<i>Coriandrum sativum</i>)	96	10	3,7	2.106,4	7.723,6	
	Lechuga lisa (<i>Lactuca sativa</i>)	96	5	1,8	1.053,2	3.861,8	
3	Perejil (<i>Petroselinum crispus</i>)	96	0,7	0,3	147,5	540,7	8,3
	Espinaca (<i>Spinaca oleracea</i>)	192	5	1,8	2.106,4	7.723,6	

Fuente: elaboración propia.

(Consejería de Agricultura y Agua, 2010). Una gestión eficiente de los cultivos puede conducir a un almacenamiento neto de CO₂. Según las condiciones climáticas y la eficiencia de la agricultura, los cultivos podrían actuar como sumideros de CO₂. En este caso (tabla 2) el tratamiento 2 es el que mayor CO₂ captura. Se conoce como sumidero todo sistema o proceso por el que se extrae de la atmósfera y se almacena un gas o gases. Las formaciones vegetales actúan como sumideros de carbono por su función vital principal, la fotosíntesis. Mediante esta función, los vegetales absorben CO₂ que compensa tanto las pérdidas de este gas que se producen por la respiración como por las emisiones producidas en otros procesos naturales (descomposición de materia orgánica). El carbono es el mayor componente de la estructura de las plantas (Rowe, 2010). La captura de CO₂ por m² como se presenta en la (tabla 2). De esta manera, se registra que el cultivo con mayor captura de CO₂ anualmente es el tratamiento 2

con 38,6 kg, después el tratamiento 1 con un captura de 32,2 kg y finalmente el tratamiento 3 con 15,5 kg.

Teóricamente las cubiertas vegetales pueden absorber y filtrar la contaminación (Berndtsson et ál., 2006), por ello es necesario cuantificar el carbono capturado con el fin de proponer techos más sofisticados y resistentes al cambio climático (Rowe, 2010).

La rotación de cultivos, ampliamente practicada en agricultura ecológica (cultivos herbáceos), además de ayudar a reducir las pérdidas de nitrógeno, aumenta la biomasa subterránea y, por tanto, la capacidad de retención de CO₂ (Oberndorfer et ál., 2007). Se recomienda estimar el CO₂ contenido en las diferentes hortalizas, por medio de absorción atómica para mayor precisión en los datos, para futuros desarrollos tecnológicos.

Conclusiones

Las condiciones de habitabilidad son evidenciadas en una atenuación de la temperatura del techo en 4 °C y ambiente en 3 °C, el aumento de la humedad relativa fue de 10%, es decir, que estos nuevos sistemas de producción mejoran las condiciones de habitabilidad. Las personas participantes evidenciaron los cambios de temperatura al medio día. Estos sistemas son tan versátiles que pueden utilizarse en diferentes regiones, con diferentes tratamientos de especies vegetales y sustratos que sean aptos para cada condición teniendo en cuenta las características climáticas y la geometría de la edificación. Muchos estudios establecen la correlación entre el incremento de áreas verdes y la reducción local de temperatura.

El total de dióxido de carbono corresponde a 1) 16,1 kg para la lechuga (*Lactuca sativa*) y el rábano (*Rhaphanus sativa*); 2) 38,6 kg para la cebolla larga (*Allium fistulosum*), el cilantro (*Coriandrum sativum*) y la lechuga (*Lactuca sativa*), y 3) 8,3 kg para la espinaca (*Spinaca oleracea*) y el perejil (*Petroselinum crispum*), al año. Esto es menor a la captura de las plantas leñosas; sin embargo si se amplía su cobertura, se podría doblar la captura y se podrían comercializar los productos en el mercado. Se recomienda el uso del tratamiento 2, ideal para la captura de CO₂.

La innovación permitió implementar los ecotechos en este tipo de viviendas, produjo alimentos en el lugar de vivienda, con bajos requerimientos de recursos y fortaleció los procesos de investigación, formación e información respecto a la agricultura urbana en territorios populares, lo cual puede utilizarse para futuros estudios abordados desde la investigación interdisciplinaria.

Las ventajas con el sistema de ecotechos propuesto fueron: el aprovechamiento de materiales, la posibilidad de ser fabricado por personas de la co-

munidad en poco tiempo, la facilidad de reparar y la oportunidad de potencializar las cualidades humanas de los niños, jóvenes y adultos participantes. Además se dio un proceso de diálogo y cooperación permanente, con particularidades locales que pueden ser proyectadas a escala regional y global.

Es necesario identificar un lugar, un espacio, un territorio concreto en el que se puedan ensayar y consolidar procesos de sostenibilidad, con una visión articulada interdisciplinariamente, que permita intercambiar los múltiples saberes y la reintegración de las ciencias.

Agradecimientos

A la Pontificia Universidad Javeriana, Fundación Semillas de Amor y Alegría, Fundación Catalina Muñoz, Jardín Botánico de Bogotá y a las familias participantes del proyecto por su compromiso y apoyo.

Bibliografía

Alexandri, E. y Jones, P. (2008). Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates. *Building and Environment*, 43(4), 480-493.

Atehortúa, L. (2007). Bioagricultura urbana y cambio climático. *Bio-Agriculture*, U.

Bedoya, R. D. (2009). *Política pública de viviendas de interés prioritario del municipio de la Ceja del Tambo*. Recuperado el 22 de abril de 2011, de http://laceja-antioquia.gov.co/apc-aa-files/36666266343833356461626234373439/politicas_publicas_de_vivienda.

Berndtsson, C. (2010). Green roof performance towards management of run off water quantity and quality: a review. *Ecological Engineering*, 36(4), 351-360.

- Berndtsson, J. C.; Bengtsson, L. y Jinno, K. (2009). Run off water quality from intensive and extensive vegetated roofs. *Ecological Engineering*, 35(3), 369-380.
- Berndtsson, J. C.; Emilsson, T. y Bengtsson, L. (2006). The influence of extensive vegetated roofs on runoff water quality. *Science of the Total Environment*, 355(1-3), 48-63.
- Carter, T. y Keeler, A. (2008). Life-cycle cost-benefit analysis of extensive vegetated roof systems. *Journal of environmental management*, 87(3), 350-363.
- Castleton, H., Stovin, V., Beck, S., y Davison, J. (2010). Green roofs; building energy savings and the potential for retrofit. *Energy and Buildings*, 42(10), 1582-1591.
- Consejería de Agricultura y Agua (2010). Iniciativas para una economía baja en carbono. Recuperado el 11 de octubre de 2011, de <http://www.comunidadism.es/herramientas/iniciativas-para-una-economia-baja-en-carbono>.
- Environmental Protection Agency (2011). *ANNEX 2 Methodology and Data for Estimating CO2 Emissions from Fossil Fuel Combustion*. Recuperado 22 de abril de 2011, de <http://epa.gov/climatechange/emissions/downloads11/US-GHG-Inventory-2011-Annex-2.pdf>.
- Feng, C., Meng, Q. y Zhang, Y. (2010). Theoretical and experimental analysis of the energy balance of extensive green roofs. *Energy and Buildings*, 42(6), 959-965.
- Figueruelo, J. E. y Mijangos, F. (2006). Algunos cálculos químicos físicos en el fenómeno del calentamiento global. *Anales de la Real Sociedad Española de Química*, (1), 48-52.
- Getter, K. L. y Rowe, D. B. (2006). The role of extensive green roofs in sustainable development. *HortScience*, 41(5), 1276.
- Gutiérrez, A. (2008). Techos vivos extensivos. *Revista de arquitectura Alarife*, (16), 21.
- Kowalczyk, A. (2011). Green roofs as an opportunity for sustainable development in urban areas. *Sustainable Development Applications journal*, (2), 63-77.
- Li, J., Wai, O. W. H., Li, Y., Zhan, J., Ho, Y. A. y Lam, E. (2010). Effect of green roof on ambient CO2 concentration. *Building and Environment*, 45(12), 2644-2651.
- Lopes, C., Adnot, J., Santamouris, M., Klitsikas, N., Alvarez, S., y Sanchez, F. (2001). Managing the growth of the demand for cooling in urban areas and mitigating the urban heat island effect. *Summer Study Proceedings*, (1), 10-15.
- Minke, G. (2004). *Techos verdes—Planificación, ejecución, consejos prácticos*. Montevideo: Fin de siglo.
- Niachou, A., Papakonstantinou, K., Santamouris, M., Tsangrassoulis, A., y Mihalakakou, G. (2001). Analysis of the green roof thermal properties and investigation of its energy performance. *Energy and Buildings*, 33(7), 719-729.
- Oberndorfer, E., Lundholm, J., Bass, B., Coffman, R. R., Doshi, H., Dunnett, N., et ál. (2007). Green roofs as urban ecosystems: ecological structures, functions, and services. *Bioscience*, 57(10), 823-833.
- Pérez, M. (2004). *Territorio y desplazamiento el caso de Altos de Cazucá Municipio de Soacha. Un estudio exploratorio de los efectos sociales y am-*

- bientales del desplazamiento*. Bogotá: Facultad de Estudios Ambientales y Rurales, Pontificia Universidad Javeriana.
- Rowe, D. B. (2010). Green roofs as a means of pollution abatement. *Environmental Pollution*. 159(8-9) 2100-10
- Rozo, M. (2008). *Diagnóstico sociofamiliar comunas tres, cuatro y cinco del municipio de Soacha*. Tesis no publicada, Universidad Minuto de Dios, Bogotá, Colombia.
- Stewart, C. y Hessami, M. A. (2005). A study of methods of carbon dioxide capture and sequestration--The sustainability of a photosynthetic bioreactor approach. *Energy conversion and management*, 46(3), 403-420.
- Susca, T., Gaffin, S. y Dell'Osso, G. (2011). Positive effects of vegetation: Urban heat island and green roofs. *Environmental Pollution*.
- Takebayashi, H. y Moriyama, M. (2007). Surface heat budget on green roof and high reflection roof for mitigation of urban heat island. *Building and Environment*, 42(8), 2971-2979.
- Zinco (1998). *Concepto de techos verdes*. Recuperado 22 de abril de 2011, de <http://www.greenroofs.com/Greenroofs101/concept.htm>.