

# Construcción experimental de jardines verticales y su relación con el confort termohigrométrico en ambientes cerrados

RECIBIDO: 18/04/2016

ACEPTADO: 10/11/2016

MARIO CABRERA-VALLEJO\*  
WILFRIDO SALAZAR YÉPEZ \*\*

## RESUMEN

El objetivo de la investigación es mejorar el confort termohigrométrico en ambientes cerrados, a través de la implementación de dos prototipos de jardines verticales, uno conformado por helechos y otro por una asociación de plantas, se realizó el registro de las condiciones ambientales con el equipo Questem p<sup>34</sup>, por 5 días, para un volumen de la cabina de 15,35 m<sup>3</sup> y una área de 4 m<sup>2</sup> de jardín, estas son: la temperatura del bulbo húmedo (Tbh °C), temperatura de bulbo seco (Tbs °C), temperatura de globo (Tg °C), humedad relativa (% Hr), temperatura global de bulbo húmedo para interiores (TGBHi °C) y velocidad del aire (v m/s), en las cabinas de ensayo con prototipo y sin prototipo de jardín vertical en convección natural y forzada, de acuerdo al análisis estadístico de correlación de Pearson se concluye que con la implementación del prototipo de jardín vertical de asociación de plantas se tiene cambios en las condiciones termohigrométricas, temperatura de aire, humedad del aire, en ambientes cerrados con convección natural y forzada.

**Palabras clave:** confort termohigrométrico, temperatura global de bulbo húmedo para interiores, convección natural y forzada, jardines pasivos

## EXPERIMENTAL CONSTRUCTION OF VERTICAL GARDENS AND ITS RELATION WITH THERMOHYGROMETRIC COMFORT IN CLOSED ENVIRONMENTS

### ABSTRACT

The aim of the research is to improve the thermo-hygrometric comfort indoors, through the implementation of two prototypes of vertical gardens, one consisting of ferns and another by an association of plants, recording environmental conditions was performed with the Questem team p 34, for 5 days for a cabin volume of 15,35 m<sup>3</sup> and an area of 4 m<sup>2</sup> of garden, these are the wet bulb temperature (Tbh °C), dry bulb temperature (Tbs °C), globe temperature (Tg °C), relative humidity (% RH), the global wet bulb temperature indoor (TGBHi °C) and air velocity (v m/s) in booths test prototype without prototype vertical garden in natural and forced convection, according to statistical analysis Pearson correlation is concluded that with the implementation of the prototype of vertical garden plant association have changes in temperature and humidity conditions, air temperature, air humidity environments closed with natural and forced convection.

**Keywords:** thermohygrometric comfort, global temperature wet bulb indoor, natural and forced convection, liabilities gardens

## 1. INTRODUCCIÓN

Hoyano (1998) señala que la humanidad enfrenta los efectos del Cambio Climático, proceso meteorológico que se presenta como un problema global y se manifiesta con mayor intensidad en los países en desarrollo, atribuido directa o indirectamente a la actividades humanas, producto de procesos negativos de desarrollo desde el punto de vista ecológico y social, el mal uso y sobre explotación de los recursos naturales, causando la alteración de la composición de la atmósfera mundial que repercute en la variabilidad del clima. Dando como resultado el deterioro del ambiente y el aumento de la vulnerabilidad de los ecosistemas naturales y de la misma humanidad frente a las posibles afectaciones adversas.

Neufer, Peter, Neff & Ludwin (2009) manifiestan que la sociedad actual se encuentra inmersa en un torbellino de avances científico-técnicos que está afectando a la actividad diaria, y de manera muy particular al ámbito del trabajo.

Hoy en día, preservar la seguridad y la salud de quienes trabajan se ha convertido en un objetivo prioritario para las instituciones europeas y nacionales. Las mejoras logradas en nuestra calidad de vida se han visto empañadas por unas estadísticas que denotan que no hemos sabido controlar con eficiencia los factores de riesgo que provocan los accidentes de trabajo y las enfermedades profesionales (Neufer, Peter, Neff & Ludwin, 2009).

La cantidad de posibles contaminantes es grande debido a que pueden tener muy diversos orígenes. Los propios habitantes del edificio pueden ser una de las fuentes más importantes ya que el ser humano produce de forma natural dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), vapor de agua, partículas y aerosoles biológicos, siendo a la vez responsable de la presencia de otros contaminantes entre los que destaca el humo de tabaco que en sí contiene más de 3000 compuestos, entre ellos, monóxido de carbono (CO), aldehídos, óxidos de nitrógeno, metales, etc., (Geeter & Rowe, 2008).

\* Escuela de Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Chimborazo. Ecuador, EC01050. E-mail: [mcabrera@unach.edu.ec](mailto:mcabrera@unach.edu.ec)

\*\* Escuela de Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Chimborazo. Ecuador, EC01050. E-mail: [hsalazar@unach.edu.ec](mailto:hsalazar@unach.edu.ec)

## 1.1 Viviendas confortables

The Luxury Jurnal (2012) manifiesta que los jardines verticales son signos de una arquitectura innovadora. Los sistemas de plantado modernos nos permiten cubrir las fachadas verticales, dan vida a los espacios y rompen con el concepto de que "lo verde va en el suelo". Dan vida a los edificios y los hacen más ligeros; literalmente, un edificio verde.

Berenguer Subils (2010), Licenciada en Ciencias Químicas del Centro Nacional de condiciones de trabajo manifiesta que la prevención sobre la calidad del aire en los ambientes cerrados se inicia el tratamiento de un problema que no solo afecta a la población laboral, sino también al resto de la comunidad, ya que está demostrado que el hombre urbano pasa entre el 80 y el 90% de su tiempo en ambientes cerrados, contaminados en mayor o menor grado. Este problema se ha visto potenciado desde que una creciente necesidad de ahorro energético ha llevado al diseño de edificios más herméticos, con una mayor recirculación del aire, y en consecuencia con un posible aumento de la contaminación interior.

Los trabajos iniciales de Humpreys (1978) establecieron varios conceptos importantes que han permitido el desarrollo posterior de los modelos de adaptación.

Uno de ellos es el concepto de temperatura de neutralidad, asumida generalmente como temperatura de confort, la cual se obtiene de un análisis de regresión lineal que correlaciona las respuestas dadas por personas en un estudio de campo (subjetivas) y los valores de los parámetros climáticos medidos con instrumentos (objetivos).

Mondelo (2000) señala, dentro de las condiciones de trabajo, la temperatura es un factor determinante en el rendimiento de un trabajador. Temperaturas muy altas o demasiado bajas repercuten en el operador de manera perjudicial, no solo para su labor sino también en su salud.

Toftum (2004) hace un análisis de las preferencias de velocidad del viento dentro de los edificios usando los estudios de campo expuestos por la ASHRAE, con los datos presentados por De Dear (1998). Así examina las preferencias de movimiento de aire de las personas que registraron un rango entre "ligeramente fresco" hasta "ligeramente caluroso", pasando por el voto neutro. (sensaciones térmicas desde -1 hasta +1, según la escala de valoración térmica de Fanger), es decir, a las personas cercanas o dentro de la zona de confort, e hizo una restricción en el rango de temperatura desde los 22.5 °C hasta los 23.5 °C y dividió los datos en

dos partes, una que abarcaba el movimiento del aire por debajo del límite (0.15 m/s con temperatura del aire o temperatura de bulbo seco de 23 °C) y otra con movimiento de aire sobre el límite (0.15 a 0.25 m/s).

## 1.2 Estudios sobre parámetros del confort térmico

El confort térmico es definido por la American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), como aquella condición de mente en la que se expresa la satisfacción con el ambiente térmico. Es decir, el punto de equilibrio entre las sensaciones psíquicas y fisiológicas del ser humano y su entorno inmediato, por lo que se considera al confort térmico como un estado mental en el que se involucran variables objetivas y subjetivas entre el cuerpo humano y su contexto. Por su parte, B. Givoni (1998) define al confort térmico como "la ausencia de irritación o malestar térmico".

Givoni (1969) definió la sensación térmica como "la percepción del calor o frío del ambiente a partir de la actividad neurálgica originada en los nervios de la piel que actúan como receptores térmicos". A su vez la percepción de las condiciones atmosféricas se ve afectada por los procesos fisiológicos, el vestuario y la actividad de los individuos.

La explicación operativa del confort térmico se reduce en consecuencia a un estado de equilibrio resultante del balance de las cargas térmicas que se intercambian entre el cuerpo humano y su ambiente inmediato. (Critchfield, 1974).

Para estudios de temperatura el ser humano se modela como un cilindro con cubierta, que corresponde a la piel, los tejidos superficiales y las extremidades, con un núcleo correspondiente a los tejidos más profundos del tronco y la cabeza. Las temperaturas del núcleo presentan un intervalo pequeño alrededor de un valor normal de 37 °C y para intervalos entre 37.8 °C y 38.9 °C el desempeño cae de forma abrupta. (Cortez 2002)

Para temperaturas superiores a 40.6 °C el mecanismo de sudor puede fallar y causar una elevación rápida del núcleo y con el tiempo la muerte (Garabito, 2009).

### 1.2.1 Índices para la evaluación del calor

Garabito. Julio (2009), manifiesta que todos los índices tienen como finalidad establecer una relación cuantitativa entre los parámetros de una condición ambiental con relación a una situación referencial límite.

Los índices más utilizados para evaluar el estrés térmico son:

- Índices para determinar grados de confort.
- Índice de la temperatura efectiva.
- Índice de la temperatura efectiva corregida.
- Índices PMV, PPD y norma ISO 7730.
- Índices para determinar situaciones de riesgo.
- Índice WBGT (Temperatura de Globo y Bulbo Húmedo).
- Índice de estrés Térmico IST.

En esta investigación, se utilizará el método WBGT, para realizar el estudio de las condiciones térmicas.

### 1.2.2 Índice WBGT o TGBH (Temperatura Global de Bulbo Húmedo)

Este índice fue establecido por Young y Minard, en los años 50, para la Marina Norteamericana, como método para estudiar el ambiente térmico durante la ejecución de ejercicios y entrenamientos militares. La gran ventaja de este método radica en su sencillez de aplicación: mediciones, cálculos e interpretación (Garabito, 2009)-

El indicador aceptado por la legislación colombiana es el índice TGBH, de acuerdo con lo estipulado en la resolución 2400 de 1979.

Es un índice basado en la combinación de las cargas de calor ambiental y cargas de calor metabólico.

### 1.2.3 Estimación del índice TGBH

Este indicador consiste en la ponderación fraccionada de las temperaturas húmedas, de globo y a veces temperaturas secas. Las principales fórmulas que lo definen son:

En Exteriores (con exposición solar)

$$TGBH = 0.7*TBH + 0.2*TG + 0.1*TBS (^{\circ}C) (1)$$

En Interiores (sin exposición solar - a la sombra)

$$TGBH = 0,7*TBH + 0.3*TG (^{\circ}C) (2)$$

Siendo:

TBS (Temperatura de bulbo seco o de referencia  $^{\circ}C$ ): Es la temperatura indicada por un termómetro de mercurio cuyo bulbo se ha apantallado de la radiación por algún medio que no restrinja la circulación natural del aire a su alrededor.

Es la temperatura tomada con el termómetro convencional para tener un parámetro de comparación frente a las otras dos. Tiene

importancia cuando las mediciones se realizan en exteriores con carga solar. (Garabito, 2009)

El sensor debe tener las siguientes características:

- Forma cilíndrica.
- Diámetro externo de  $6\text{mm} \pm 1\text{ mm}$ .
- Longitud  $30\text{mm} \pm 5\text{mm}$ .
- Rango de medida  $5\text{ }^{\circ}C$   $40\text{ }^{\circ}C$ .
- Precisión  $\pm 0,5\text{ }^{\circ}C$ .

El soporte del sensor debe tener un diámetro de 6mm, y parte de él (20 mm) debe estar cubierto por un tejido, para reducir el calor transmitido por conducción desde el soporte al sensor.

El tejido debe formar una manga que ajuste sobre el sensor. No debe estar demasiado apretado ni demasiado holgado.

El tejido debe mantenerse limpio.

TBH (Temperatura Húmeda  $^{\circ}C$ ): Es la temperatura indicada por un termómetro de mercurio cuyo bulbo se encuentra recubierto por una muselina empapada de agua, ventilado únicamente de forma natural y no apantallado de las fuentes de radiación.

Esta es la temperatura que parte de evaluar la velocidad aproximada a la que el trabajador esta perdiendo agua a causa de su exposición al calor. (Garabito, 2009)

TG (Temperatura de globo  $^{\circ}C$ ): Es la temperatura indicada por un termómetro cuyo bulbo se encuentra alojado en el centro de una esfera de cobre hueca, de 15 cm de diámetro y pintada exteriormente de negro mate. (Garabito, 2009)

Es la temperatura a la que se encuentra sometido el trabajador a causa de la radiación (una de las formas en que se transmite el calor) de una fuente de calor que se encuentra cercana a la zona donde este desempeña sus funciones. Este componente

es la que indica la temperatura proveniente de la radiación en el sitio de la evaluación.

La esfera debe tener las siguientes características:

- 150 mm de diámetro.
- Coeficiente de emisión medio: 90 (negro y mate).
- Grosor: tan delgado como sea posible.
- Escala de medición:  $20\text{ }^{\circ}C$ - $120\text{ }^{\circ}C$ .
- Precisión:  $\pm 0,5\text{ }^{\circ}C$  de  $20\text{ }^{\circ}C$  a  $50\text{ }^{\circ}C$  y  $\pm 1\text{ }^{\circ}C$  de  $50\text{ }^{\circ}C$  a  $120\text{ }^{\circ}C$ .

## 2. CUERPO DEL ARTÍCULO

### 2.1 Diseño de la investigación

Se empleó un diseño cuasi experimental explicativo, utilizando un método (estrategia), inductivo, deductivo.

### 2.2 Tipo de Investigación

Es cuasi experimental porque se aplica estímulos (X) a “sujetos o unidades experimentales (UE)”: jardines verticales plantas. Se observa la reacción (Y), temperatura, humedad, confort termo higrométrico y se registra el resultado u observación (O). Establece la relación causa-efecto.

Se utilizó un método inductivo por que se observó y se registró los hechos, luego se realizó un análisis y clasificación de los hechos y finalmente se realizó una derivación inductiva de una generalización de los hechos, también se utilizó un método deductivo porque a partir de principios generales, con la ayuda de una serie de reglas de inferencia se demuestra teoremas y principios secundarios.

### 2.3 Método de investigación

cuasi experimental por que se determinó las plantas de ciertas características, para el jardín básico con un solo tipo de plantas, se utilizó helechos, nombre científico (*Nephrolepis exaltata*) y para el jardín convencional cuatro tipos de plantas, helechos, mala madre o cinta, nombre científico (*Chlorophytum comosum*), Hiedra (*Hedera hélix*) y espada de San Jorge o lengua de suegra, nombre científico (*Sansevieria triifasciata*), estas plantas se colocó en una cabina y se comparó con otra cabina sin plantas para ver el aporte en el confort termo higrométrico y luego encontrar la relación del jardín vertical con el confort termo higrométrico.

### 2.4 Procedimiento

#### 2.4.1 Tipos de jardines verticales

Para iniciar con el procedimiento en primer lugar se definirá los tipos de jardines verticales.

Félix Maocho (2010), considera que existen tres tipos de jardines verticales.

Jardines verticales a dos caras.

Utilizado a modo de tapia de separación de espacios o a veces como paredes de sombra y humedad destinadas a crear un clima agradable en un espacio como puede ser una pérgola cenador o simplemente un banco que de otra forma quedaría en peor situación climática.

### Jardines verticales pasivos

Son los más habituales. “Tapizan” de verde una pared vertical, es decir son iguales a los anteriores pero con una sola cara pueden ser instalados tanto en interior como en exterior, y aparte de su belleza aportan beneficios ambientales y energéticos, pues aumentan el aislamiento térmico del muro donde se encuentra y en consecuencia ahorran energía, tanto por reducir la ventilación necesaria al actuar como biofiltro del aire.

### Jardines verticales activos

Se utilizan tanto en el interior como en el exterior, componente auxiliar de la ventilación y climatización de los edificios, actuando como sistemas ecológicos de acondicionamiento y biofiltrado de aire en combinación con los sistemas de climatización y ventilación convencionales de los edificios.

Situado en el propio interior de la edificación la pared verde funciona es como un gigantesco filtro de aire que no solo humidifica y refresca, sino que además lo filtra de impurezas y oxigena. Esta solución ecológica es propugnada por la joven compañía Terapia Urbana, que como su nombre indica ha nacido con la vocación de “sanar” las ciudades mediante la “cirugía verde”.

#### 2.4.2 Elementos de un Jardín Vertical

El Jardín Vertical lo forman los siguientes elementos;

- La estructura portante
- La cara posterior (si es a una cara vista).
- La cara verde (dos caras si es a dos caras vistas).
- La cubeta de escorrentías.
- El sustrato.
- El sistema de riego.
- Las plantas.

#### Determinación de las plantas más adecuadas que permiten condiciones ambientales favorables

Para la asociación de las plantas en el prototipo de jardín vertical se tomó cuatro especies: Helecho (*Nephrolepis exaltata*), Cintas (*Chlorophytum comosum*), Hiedra (*Hedera hélix*) y Espada de San Jorge (*Sansevieria trifasciata*), estas plantas son recomendadas por la NASA ya que purifican el aire en el interior de los edificios.

Los espacios entre plantas a ser sembradas en las bandejas se determinó de la siguiente manera.

$$x = d \cdot n(n+1) \cdot (e) \quad (3)$$

Donde:

x = longitud total de la bandeja

d = diámetro del agujeros

n = número de agujeros

e = espacios entre agujeros

Resultando los valores presentados en la Figura 1.

### Diseño y construcción de cabinas de ensayo para la experimentación

Se diseñó y se construyó dos cabinas de ensayo de las mismas características, en una de ellas se colocó 4 bandejas de 1 m de largo por 1 m de ancho y 0,15 m de profundidad en las que se colocó las plantas y la otra quedó libre como testigo, las paredes son de ladrillo recubiertos con una capa de enlucido, las dimensiones de las cabinas son: largo de 3,25 m, ancho de 1,75, altura de la parte frontal 2 m y la parte posterior de las cabinas de 2,70 m con techo de zinc, cielo raso, ventanas de un 1 metro cuadrado y puertas de madera color mango.

En las cabinas se analizó las variables temperatura de bulbo seco, temperatura húmeda, temperatura de globo, humedad y velocidad del aire, luego calcularemos el índice TGBH con la ecuación (2), en convección natural y en convección forzada, se debe tomar en cuenta que la temperatura del aire, que es el parámetro al que normalmente se hace referencia para definir un ambiente caluroso, no interviene directamente en el cálculo del TGBH. En realidad la temperatura del aire está escondida en los valores de la temperatura de globo y de la temperatura húmeda natural, junto con los otros factores que también inciden en el riesgo de estrés térmico (radiación, humedad y velocidad del aire).

Se determinó el confort termohigrométrico bueno de acuerdo a la normativa Ecuatoriana, cuando se cumpla las siguientes condiciones, para trabajos ligeros, la temperatura debe estar entre (14-25) °C, (30-70)% de humedad, velocidades de aire menores al 0.25 m/s en ambientes no calurosos y menores a 0.5 m/s en ambientes calurosos.

Con estos requerimientos se diseñó el marco metálico que soporta los jardines verticales para lo cual se elabora un diagrama de procesos.

En la elaboración del marco metálico, primero realizamos la recepción de la materia prima (tubos metálicos) la cual se almacena, luego se transporta los tubos al lugar de trabajo que está a una distancia

de 5 metros de la bodega, ya en el lugar de trabajo se procede a medir los tubos metálicos, una vez medido se procede a cortar y soldar, dándole la forma del marco, luego se lo pinta, se inspecciona y se lo deja secar, se inspecciona por segunda ocasión y se lo transporta a la bodega para almacenarlo.

### Diseño y construcción del prototipo de jardín vertical

Se construyó ocho bandejas de 1 m de largo por 1 m de ancho y 0,15 m de profundidad, con tubo metálico cuadrado de 3/4 pulgada, luego se las recubrió con malla electro soldada por todos los lados para evitar que el sustrato se derrame, también se colocó en las paredes los soportes de las bandejas los cuales separan de la pared 0,20 m para su aireación, el riego se lo realizó por goteo.

### Distribución de las plantas en las bandejas con cuatro tipos de plantas (convencionales).

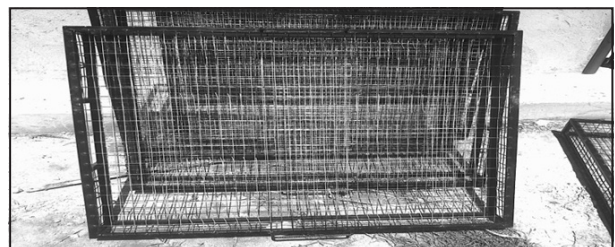
Ver Figura 1.

### Trasplante de las plantas en las bandejas del prototipo de jardín vertical

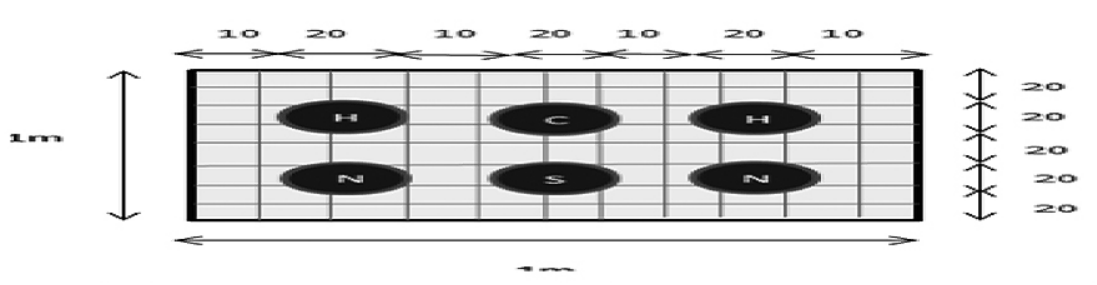
El trasplante se realizó una vez diseñadas y construidas las bandejas de los prototipos de jardín vertical de asociación de plantas, se procedió a cubrir por la parte interior de las bandejas con plástico polietileno de color negro como se muestra en la Fotografía 2, para evitar que se derrame el sustrato seleccionado para el trasplante.

Una vez cubierto con el plástico las bandejas se introduce el sustrato (shunshine mix 3) hasta llenar cada bandeja, en donde se procedió el trasplante de las plantas en cada una de las bandejas de las especies vegetales a plantar una vez trasplantado se procedió a realizar el riego por goteo. (Ver Fotografía 3).

### Fotografía 1. Diseño de las bandejas del prototipo de jardín vertical.



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 1.** Distribución de las plantas en las bandejas con cuatro tipos de plantas.

Donde:

N = Helecho (*Nephrolepis exaltata*).

C = Cinta (*Chlorophytum comosum*).

H = Hiedra (*Hedera hélix*).

S= Espada de San Jorge (*Sansevieria trifasciata*).

Fuente: Elaboración propia.

**Fotografía 2.** Bandejas cubiertas con plástico de polietileno.

Fuente: Elaboración propia.

**Fotografía 3.** Trasplante de las plantas en los prototipos.

Fuente: Elaboración propia.

Procedimiento de la medición de las condiciones ambientales como: la temperatura del bulbo húmedo, temperatura de bulbo seco, temperatura de globo, temperatura global de bulbo húmedo, humedad relativa y velocidad del aire, en las cabinas de ensayo con el prototipo y sin prototipo de jardín vertical en convección natural y forzada.

#### a. Equipos de medición de las condiciones ambientales

Se utilizó un Anemómetro con sensor independiente TMA10, que permitió medir la velocidad del aire en (m/s), y el equipo Questem p°34 que permitió medir la temperatura del bulbo húmedo, temperatura del bulbo seco, temperatura del globo, temperatura global de bulbo húmedo y el porcentaje de humedad

relativa y un ventilador fan TEKNOFS1609A, que permitió generar convección forzada.

#### b. Medición de las condiciones ambientales con el prototipo de jardín vertical con la asociación en convección natural y forzada.

Se realizó la medición con los equipos y se registró los datos de las condiciones ambientales como son: Temperatura del bulbo húmedo, temperatura del bulbo seco, temperatura del globo, humedad relativa y velocidad del aire, a cada hora dentro de las cabinas de ensayo con y sin prototipo de jardín vertical desde las 9 a.m. a 12 p.m. y 14 p.m. a 17 p.m. durante los 5 días laborales de la semana en convección natural y 5 días laborales en convección forzada.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### Resultados de la asociación de plantas. Helecho (*Nephrolepis exaltata*), Cintas (*Chlorophytum comosum*), Hiedra (*Hedera hélix*) y Espada de San Jorge (*Sansevieria trifasciata*)

Diseñado el prototipo de jardín vertical de la asociación de plantas mediante la aplicación de la fórmula (3) mencionada en el apartado de los procedimientos tenemos como resultado 6 plantas en cada bandeja con un total de 24 plantas ornamentales de distinta especie la distribución de las plantas se muestra en la Figura 1.

**Procesamiento de la medición de las condiciones ambientales como: la temperatura del bulbo húmedo (Tbh °C), temperatura de bulbo seco (Tbs °C), temperatura de globo (Tg °C), humedad relativa (% Hr), temperatura global de bulbo húmedo (TGBHi °C) y velocidad del aire (v m/s), en las cabinas de ensayo con prototipo y sin prototipo de jardín vertical en convección natural y forzada**

**Procesamiento de las condiciones ambientales de las cabinas de ensayos con el prototipo de jardín vertical de plantas asociadas en convección natural**

Se realizó el registro de los datos promedios, de cada una de las condiciones ambientales medidas por 5 días en convección natural. (Ver Tabla 1).

**Procesamiento de las condiciones ambientales de las cabinas de ensayos sin el prototipo de jardín vertical de plantas asociadas, en convección natural**

Se realizó el registro de los datos promedios, de cada una de las condiciones ambientales medidas por 5 días en convección natural. (Ver Tabla 2 y Figura 2).

En la Figura 2, la temperatura global de bulbo húmedo (TGBH °C) de la cabina con jardín se encuentra por arriba de la cabina sin jardín observando un

valor máximo de 19.81 °C en la cabina con jardín en comparación de 18.93 °C en la cabina sin jardín dando una diferencia de 0.88 °C a las 17h 00 y un valor mínimo de 15.7°C en la cabina con jardín en comparación de 15.36 de la cabina sin jardín a las 09h00, esto indica que la cabina con jardín si regula el TGBH °C. Sacando la diferencia de los promedios generales del TGBH °C = 17.97 de la cabina con jardín y un TGBH °C = 17.51 en la cabina sin jardín encontramos una diferencia de 0.46 °C.

**Procesamiento de las condiciones ambientales de la cabina de ensayo con el prototipo de jardín vertical de plantas asociadas en convección forzada.**

Se realizó el registro de los datos promedios, de cada una de las condiciones ambientales medidas por 5 días en convección forzada. (Ver Tabla 3).

**Procesamiento de las condiciones ambientales de la cabina de ensayo sin el prototipo de jardín vertical de plantas asociadas en convección forzada.**

Se realizó el registro de los datos promedios, de cada una de las condiciones ambientales medidas por 5 días en convección forzada. (Ver Tabla 4 y Figura 3).

En la Figura 3, la temperatura global de bulbo húmedo (TGBH °C) de la cabina con jardín se encuentra por arriba de la cabina sin jardín observando un valor máximo de 19.84 °C en la cabina con jardín a las 16h00, en comparación de 19.14 °C en la cabina sin jardín a las 15h 00, dando una diferencia de 0.7 °C, y un valor mínimo de 15.75 °C en la cabina con jardín en comparación de 15.49 de la cabina sin jardín a las 09h 00, esto indica que la cabina con jardín si regula el TGBH °C. Sacando la diferencia de los promedios generales del TGBH °C = 17.98 de la cabina con jardín y un TGBH °C = 17.36 en cabina sin jardín encontramos una diferencia de 0.62 °C.

**Tabla 1.** Registro de datos con el prototipo de jardín vertical de asociación de plantas en convección natural (v = 0 m/s)

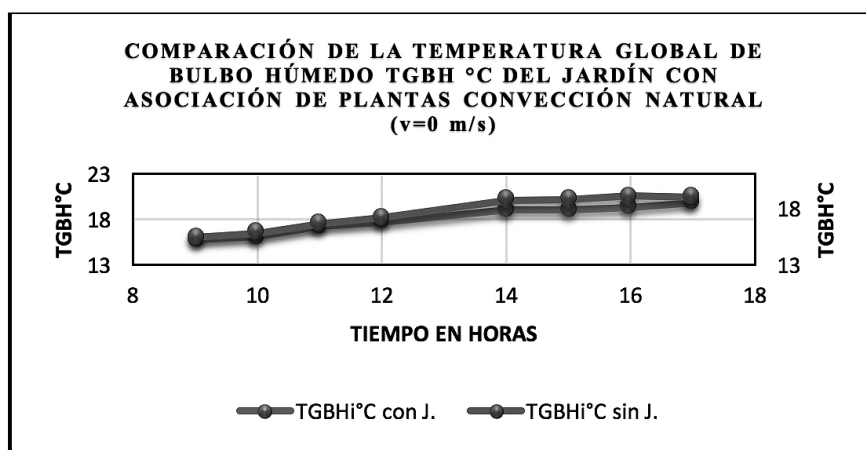
HORA	Tbh°C Prom con Jardín	Tbs°C Prom con Jardín	Tg°C Prom con Jardín	%.HR Prom con Jardín.	TGBHi°C con Jardín
9	15,42	15,92	16,5	80,4	15,744
10	15,84	16,32	16,7	83	16,098
11	16,76	15,06	18,06	83,2	17,15
12	17,04	17,94	19,06	78,6	17,646
14	18,16	19,52	20,94	76,2	18,994
15	18,22	19,78	20,96	73,2	19,042
16	18,5	20,54	21,18	71,8	19,304

Fuente: Elaboración propia. (Febrero 2015).

**Tabla 2.** Registro de datos sin el prototipo de jardín vertical de asociación de plantas en convección natural ( $v = 0$  m/s)

HORA	Tbh°C Prom sin Jardín	Tbs°C Prom sin Jardín	Tg°C Prom sin Jardín	%.HR Prom sin Jardín	TGBHi°C sin Jardín
9	14,64	16,3	17,04	71,2	15,36
10	14,96	16,82	17,62	70,6	15,758
11	15,5	17,82	18,94	68	16,532
12	15,92	18,66	19,98	65,4	17,138
14	17	20,4	22,44	60,8	18,632
15	17	21,16	22,7	58	18,71
16	17,32	21,6	23,02	55,4	19,03
17	17,24	21,66	22,86	53,4	18,926

Fuente: Elaboración propia. (Febrero 2015).

**Figura 2.** Comparación de la temperatura global de bulbo húmedo TGBH °C del jardín con asociación de plantas en convección natural ( $v=0$  m/s).

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 3.** Registro de datos con el prototipo de jardín vertical de asociación de plantas en convección forzada

HORA	Tbh°C Prom con Jardín	Tbs°C Prom con Jardín	Tg°C Prom con Jardín	%.HR Prom con Jardín	TGBHi°C con Jardín	Veloc. m/s con Jardín
9	15,54	16,24	16,25	82,2	15,753	0.20
10	16,12	16,58	17,26	85,4	16,462	0.20
11	16,4	17,2	17,82	84,6	16,826	0.20
12	16,68	17,9	18,76	81,4	17,304	0.20
14	17,8	19,78	20,72	70,8	18,676	0.20
15	18,52	20,46	21,16	74,2	19,312	0.20
16	19,08	20,92	21,6	74	19,836	0.20
17	18,9	20,94	21,42	71,2	19,656	0.20
					PROM	0.20

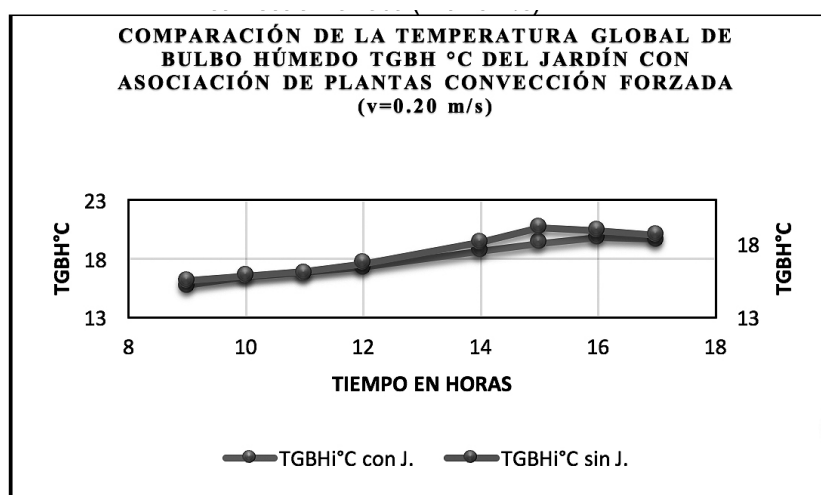
Fuente: Elaboración propia. (Febrero 2015).



**Tabla 4.** Registro de datos sin el prototipo de jardín vertical de asociación de plantas en convección forzada

HORA	Tbh°C Prom sin Jardín	Tbs°C Prom sin Jardín	Tg°C Prom sin Jardín	%HR Prom sin Jardín	TGBHi°C sin Jardín	Veloc. m/s sin Jardín
9	14,7	17	17,32	72,6	15,486	0.20
10	14,86	17,06	17,98	71	15,796	0.20
11	15,02	18,18	18,64	67,6	16,106	0.20
12	15,32	19,26	19,76	62,8	16,652	0.20
14	16,46	21,6	22,1	56,4	18,152	0.20
15	17,48	22,18	23,02	54,2	19,142	0.20
16	17	22,86	23,42	51,4	18,926	0.20
17	16,74	22,66	22,98	50,8	18,612	0.20
					PROM	0.20

Fuente: Elaboración propia. (Febrero 2015).

**Figura 3.** Comparación de la temperatura global de bulbo húmedo TGBH °C del jardín con asociación de plantas en convección forzada ( $v=0.20$  m/s).

Fuente: Elaboración propia.

### 4.3. Prueba de Hipótesis

#### 4.3.1. Hipótesis general

H<sub>i</sub>) La construcción del jardín vertical en presencia y ausencia de convección forzada tiene una relación con el confort termohigrométrico en ambientes cerrados.

Grupo de control 1 (cabina con jardín) →

Grupo de control 2 (cabina sin jardín)

H<sub>0</sub>) La construcción del jardín vertical en presencia y ausencia de convección forzada no tiene una relación con el confort termohigrométrico en ambientes cerrados.

#### 4.3.2. Hipótesis específicas

H<sub>1</sub>) La construcción del jardín vertical con cuatro tipos de plantas (convencional) en presencia de convección natural tiene una relación con el confort termohigrométrico, en ambientes cerrados.

H<sub>0</sub>) La construcción del jardín vertical con cuatro tipos de plantas (convencional) en presencia de convección natural no tiene una relación con el confort termohigrométrico, en ambientes cerrados.

Para la comprobación de esta hipótesis se tomó 40 datos para contrarrestar las dos variables, temperatura global de bulbo húmedo utilizando asociación de plantas con jardín vertical en

convección natural (TGBHVPCJCN) y la temperatura de global de bulbo húmedo utilizando asociación de plantas sin jardín vertical en convección natural (TGBHVPSJCN), misma que será aceptada o refutada por el método de correlación mediante el coeficiente de Pearson.

**Conclusión de las variables:** Las dos variables en estudio están relacionadas en un 96.2%, su relación es directa teniendo una covarianza positiva  $S_{xy} > 0$ . Por tanto se acepta la hipótesis de investigación (ver Tabla 5 y Figura 4).

Hi La construcción del jardín vertical con cuatro tipos de plantas (convencional) en presencia de convección forzada tiene una relación con el confort termohigrométrico en ambientes cerrados.

Ho La construcción del jardín vertical con cuatro tipos de plantas (convencional) en presencia de

convección forzada no tiene una relación con el confort termohigrométrico en ambientes cerrados.

Para la comprobación de esta hipótesis se tomó 40 datos para contrarrestar las dos variables, temperatura global de bulbo húmedo utilizando cuatro tipo de plantas con jardín vertical en convección forzada (TGBHVPCJCF) y la temperatura de global de bulbo húmedo utilizando cuatro tipos de plantas sin jardín vertical en convección forzada (TGBHVPSJCF), misma que será aceptada o refutada por el método de correlación mediante el coeficiente de Pearson.

**Conclusión de las variables:** Las dos variables en estudio están relacionadas en un 94.1%, su relación es directa teniendo una covarianza positiva  $S_{xy} > 0$ . Por tanto se acepta la hipótesis de investigación (ver tabla 6 y figura 5).

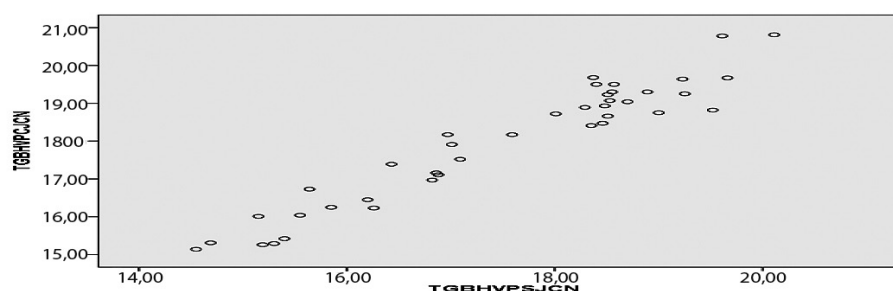
**Tabla 5.** Correlaciones entre las variables temperatura global de bulbo húmedo utilizando asociación de plantas con jardín vertical en convección natural (TGBHVPCJCN) y la temperatura global de bulbo húmedo utilizando asociación de plantas sin jardín vertical en convección natural (TGBHVPSJCN)

		TGBHVPCJCN	TGBHVPSJCN
TGBHVPCJCN	Correlación de Pearson	1	,962**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	40	40
TGBHVPSJCN	Correlación de Pearson	,962**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	40	40

\*\* La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

Fuente: Elaboración propia. (Febrero 2016).

**Figura 4.** Diagrama de dispersión de la correlación entre las variables temperatura global de bulbo húmedo utilizando asociación de plantas con jardín vertical en convección natural (TGBHVPCJCN) y la temperatura de global de bulbo húmedo utilizando asociación de plantas sin jardín vertical en convección natural (TGBHVPSJCN)



Fuente: Elaboración propia. (Febrero 2016).

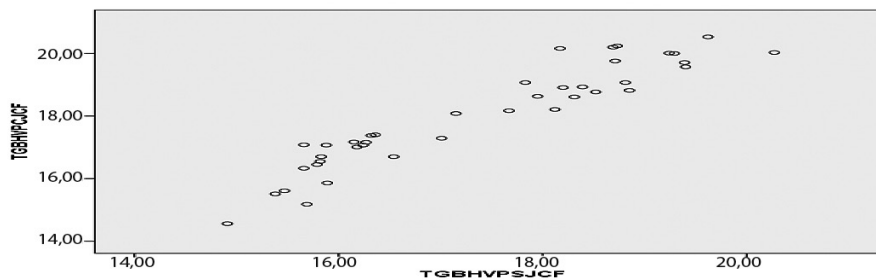
**Tabla 6.** Correlaciones entre las variables temperatura global de bulbo húmedo utilizando cuatro tipos de plantas con jardín vertical en convección forzada (TGBHVPCJCF) y la temperatura de global de bulbo húmedo utilizando cuatro tipos de plantas sin jardín vertical en convección forzada (TGBHVPSJCF)

		TGBHVPCJCF	TGBHVPSJCF
TGBHVPCJCF	Correlación de Pearson	1	,941**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	40	40
TGBHVPSJCF	Correlación de Pearson	,941**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	40	40

\*\* La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

Fuente: Elaboración propia. (Febrero 2016).

**Figura 5.** Diagrama de dispersión de la correlación entre las variables temperatura global de bulbo húmedo utilizando cuatro tipos de plantas con jardín vertical en convección forzada (TGBHVPCJCF) y la temperatura de global de bulbo húmedo utilizando cuatro tipos de plantas sin jardín vertical en convección forzada (TGBHVPSJCF)



Fuente: Elaboración propia. (Febrero 2016).

#### 4. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Resultados de la comparación de los valores de los promedios semanales de las condiciones ambientales en convección natural y forzada de la cabina de ensayo con el prototipo de jardín vertical de asociación de plantas con el Reglamento de Seguridad y Salud de los trabajadores y mejoramiento del medio ambiente de trabajo (Decreto Ejecutivo 2393).

En la Tabla 7 se muestra los valores de las variables de las Condiciones Ambientales, en donde la Temperatura del bulbo húmedo es de 17,39 °C, la Temperatura de bulbo seco de 18,22 °C y la Velocidad del viento de 0, encontrándose dentro del rango de los valores establecidos por decreto ejecutivo 2393 y el Porcentaje de humedad de 77,38% se encuentra fuera de los valores establecidos por el decreto 2393.

En la Tabla 8 se muestra los valores de las variables de las Condiciones Ambientales, en donde la Temperatura del bulbo húmedo es de 17,38 °C y la Temperatura de bulbo seco de 18,75 °C, la Velocidad del viento de 0,20 se encuentran dentro del rango de los valores establecidos por decreto ejecutivo 2393, mientras que el Porcentaje de humedad de 77,38% se encuentra fuera del rango establecido por el decreto 2393.

De la correlación entre las variables temperatura global de bulbo húmedo utilizando asociación de plantas con jardín vertical en convección natural (TGBHVPCJCN) y la temperatura de global de bulbo húmedo utilizando asociación de plantas sin jardín vertical en convección natural (TGBHVPSJCN), se encontró un valor de 96,2% y su diferencia de 3,8%.

De la correlación entre las variables temperatura global de bulbo húmedo utilizando cuatro tipos de

**Tabla 7.** Comparación de las Condiciones Ambientales de la cabina con el prototipo de jardín vertical de asociación de plantas en convección natural con el Reglamento de Seguridad y Salud de los trabajadores y mejoramiento del medio ambiente de trabajo (Decreto ejecutivo 2393)

VARIABLES DE LAS CONDICIONES AMBIENTALES	Valor de las variables	Valores del (Decreto ejecutivo 2393)
Temperatura del bulbo húmedo	17,39 °C	(14-25)°C
Temperatura del bulbo seco	18,22°C	(14-25)°C
Porcentaje de humedad		
77,38%	(30-70)%	
Velocidad del viento	0	<0.25 m/s en Ambiente natural y < 0.45 m/s en Ambientes calurosos.

Fuente: Elaboración propia. (Febrero 2016).

**Tabla 8.** Comparación de las Condiciones Ambientales de la cabina con el prototipo de jardín vertical de asociación de plantas en convección forzada con el Reglamento de Seguridad y Salud de los trabajadores y mejoramiento del medio ambiente de trabajo (Decreto ejecutivo 2393)

VARIABLES DE LAS CONDICIONES AMBIENTALES	Valor de las variables	Valores del (Decreto ejecutivo 2393)
Temperatura del bulbo húmedo	17,38°C	(14-25)°C
Temperatura del bulbo seco	18.75°C	(14-25)°C
Porcentaje de humedad		
77,98%	(30-70)%	
Velocidad del viento	0,20 m/s	<0.25 m/s en Ambiente natural y < 0.45 m/s en Ambientes calurosos.

Fuente: Elaboración propia. (Febrero 2016).

plantas con jardín vertical en convección forzada (TGBHVPCJCF) y la temperatura de global de bulbo húmedo utilizando cuatro tipos de plantas sin jardín vertical en convección forzada (TGBHVPSJCF), se encontró un valor de 94,1% y su diferencia de 5,9%.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

1. La especie helechos (*Nephrolepis exaltada*) en el prototipo de jardín vertical se obtuvo una mejor adaptación, días después del trasplante en el prototipo de jardín vertical creciendo y existiendo nueva brotes de ramas en los 10, 25 y 40 días, concluyendo que es una planta excelente en eliminar ciertas sustancias contaminantes de Formaldehído en interiores determinado por la NASA.
2. La temperatura global de bulbo húmedo (TGBH °C), de la cabina con jardín diseñado con cuatro tipos de plantas, en convección natural, se encuentra por arriba de la cabina sin jardín observando un valor máximo de 19.81 °C en la cabina con jardín en comparación de 18.93 °C en la cabina sin jardín dando una diferencia de 0.88 °C a las 17h 00 y un valor mínimo de 15.7 °C en la cabina con jardín en comparación de 15.36 de la cabina sin jardín a las 09h00, esto indica que la cabina con jardín si regula el TGBH °C., los promedios generales del TGBH °C = 17.97 de la cabina con jardín y un TGBH °C = 17.51 en cabina sin jardín encontramos una diferencia de 0.46 °C.
3. La temperatura global de bulbo húmedo (TGBH °C) de la cabina con jardín diseñado con cuatro tipo de plantas en convección forzada, se encuentra por arriba de la cabina sin jardín observando un valor máximo de 19.84 °C en la cabina con

jardín a las 16h 00, en comparación de 19.14 °C en la cabina sin jardín a las 15h 00, dando una diferencia de 0.7 °C, y un valor mínimo de 15.75 °C en la cabina con jardín en comparación de 15.49 de la cabina sin jardín a las 09h 00, esto indica que la cabina con jardín si regula el TGBH °C., los promedios generales del TGBH °C = 17.98 de la cabina con jardín y un TGBH °C = 17.36 en cabina sin jardín encontramos una diferencia de 0.62 °C.

4. Al comparar los promedios semanales de las variables de las condiciones ambientales de la cabina de ensayo con prototipo de jardín vertical de helechos y de asociación plantas en convección natural y forzada con los límites establecidos del Reglamento de seguridad y salud de los trabajadores y mejoramiento del medio ambiente de trabajo (Decreto ejecutivo 2393), se obtuvo que la Temperatura del bulbo húmedo, bulbo seco y la velocidad viento están dentro de los límites permisibles de la normativa y el porcentaje de humedad no se encuentra dentro del límite permisible el motivo es porque el equipo que registra el valor de humedad se colocó muy cerca al jardín sin embargo existe la ventaja que todo el material particulado suspendido en la atmósfera precipite con facilidad.
5. De acuerdo al análisis estadístico de correlación de Pearson se concluye que con la implementación del prototipo de jardín vertical de asociación de plantas se tiene cambios en las condiciones ambientales en ambientes cerrados en convección natural y forzada.

#### Recomendaciones

1. Realizar un prototipo de jardín vertical con asociación de plantas y de helechos sin las especies recomendadas por la NASA, para medir sus condiciones ambientales.
2. Analizar más sustratos que contengan elementos necesarios y mayor humedad para el desarrollo de las plantas, y la utilización de los mismos en estudios posteriores que resulten ser más económicas.
3. Recomiendo utilizar jardines pasivos construidos con helechos o con varias plantas pero con convección forzada para permitir una recirculación de aire adecuado, reduciendo el efecto de isla de calor, produciendo oxígeno y aportando una mejor estética al ambiente laboral.

#### Agradecimientos

Nuestro agradecimiento más profundo a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Chimborazo, especialmente al Laboratorio de servicios ambientales por el completo apoyo durante toda la fase de experimentación.

#### 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Ashrae, (1992). *Refrigerating and Air-conditioning Engineers. Thermal environmental conditions for human occupancy, American Society of Heating. ANSI/ASHRAE 55-1992*, Atlanta, USA.
- [2] Ashrae, (2001). *Refrigerating and Air-conditioning, Engineers. ASHRAE handbook fundamentals American Society of Heating*, Atlanta, USA.
- [3] Ashrae, (2004). *Refrigerating and Air-conditioning Engineers. Thermal environmental conditions for human occupancy, American Society of Heating. ANSI / ASHRAE 55-2004*, Atlanta, USA.
- [4] Garabito, J. (2009). *Guía de laboratorio de producción*. Escuela de ingeniería de Colombia.
- [5] Givoni, B. (1969). *Man, Climate and Architecture*. London: Elsevier Architectural Science Series.
- [6] Hoyano, A. (1998). *Climatological uses of plants for solar control, and the effects on the thermal environment of a bulding*. p.11.
- [7] Mondelo, P. Torada, G., & Uriz, S., (2001). *Ergonomía 2. Confort y Estrés Térmico*. México: Alfaomega – UPC.
- [8] Toftum, J. (2002). *Extension of the PMV model to non-air-conditioned buildings in warm climates, en Energy and Buildings*, pp. 533-536.