

Naturación de azoteas aplicando *aptenia cordifolia* y su efecto sobre la temperatura y humedad relativa en un sistema piloto

Nature of roofs applying *aptenia cordifolia* and its effect on temperature and relative humidity in a pilot system

Recibido: 15 setiembre de 2017 | Revisado: 23 octubre de 2017 | Aceptado: 15 noviembre de 2017

FREDY PORFIRIO CONDORI HUAMÁN¹
DIANA CAROLINA LIMAS MOYA¹

ABSTRACT

The objective of this research is to know the effects of *Aptenia cordifolia* on temperature and relative humidity in a pilot roof, using cash registers and vegetation cover cells, with the purpose of proposing the naturation of roofs to increase areas Green in the Districts of Lima, for which an experimental design was used, selecting two areas with similar characteristics, applying in one of them plant covers of *Aptenia cordifolia*, and maintaining the other without vegetation cover. The obtained results were registered during the 24 hours for a period of five months, arriving at the following conclusions, the variation of the temperatures obtained in the roof with vegetal cover (4 m²), manage to reduce until 4.46 °C in average, with respect to the temperatures obtained on the roof without vegetation cover, in the case of relative humidity, it is possible to increase up to 17.41%.

Key words: naturation, roof, temperature and relative humidity

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo, conocer los efectos de la aplicación de *Aptenia cordifolia*, sobre la temperatura y humedad relativa, en una azotea piloto, mediante estaciones registradoras y celdas de cubierta vegetal, con la finalidad de proponer la naturación de azoteas para incrementar áreas verdes en los distritos de Lima, para lo cual se utilizó un diseño experimental, seleccionando dos áreas con características similares, aplicando en una de ellas cubiertas vegetales de *Aptenia cordifolia*, y manteniendo la otra sin cubierta vegetal. Los resultados obtenidos fueron registrados durante cinco meses, las 24 horas del día, llegando a las siguientes conclusiones, la variación de las temperaturas obtenidas en la azotea con cubierta vegetal (4 m²), logran reducir hasta un 4.46 °C en promedio, con respecto a las temperaturas obtenidas en la azotea sin cubierta vegetal, en el caso de la humedad relativa, se logra incrementar hasta un 17.41 % en promedio.

Palabras clave: naturación, azotea, temperatura y humedad relativa

¹ Universidad Nacional Federico Villarreal, Lima - Perú
E-mail: ing.fredycondori@gmail.com

Introducción

El crecimiento y desarrollo urbano de Lima ha creado una ciudad tapizada de concreto, quedándose cada vez con menos cobertura vegetal. Al disminuir la cantidad de áreas verdes, se reduce la cantidad de absorción de rayos solares por la vegetación, lo que deviene en un incremento en la temperatura debido a la liberación nocturna de la energía calórica, absorbida durante el día por las construcciones y superficies impermeables, lo que genera cambios en el clima y microclima de la ciudad. Para contrarrestar estos efectos ante la pérdida de áreas verdes en las zonas urbanas se propone como alternativa la naturación de azoteas aplicando *Aptenia cordifolia*.

Los techos verdes, que sustituyen las superficies duras pavimentadas, filtran las partículas de polvo y suciedad del aire y absorben las nocivas, evitan el recalentamiento de los techos, reducen las variaciones de temperatura y humedad relativa del aire. (Pérez, 2010).

La presente investigación tiene como objetivo conocer los efectos de la aplicación de *Aptenia cordifolia* sobre la temperatura y humedad relativa, en una azotea piloto mediante estaciones registradoras y celdas de cubierta vegetal, con la finalidad de proponer la naturación de azoteas para incrementar áreas verdes en los distritos de Lima.

Materiales y métodos

Materiales

Los materiales utilizados para el desarrollo de la investigación fueron:

a) Materiales de campo:

- Especies vegetales (*Aptenia Cordifolia*)
- Maderas para las celdas
- Kit de jardinería
- Tablero para de recolección de datos
- Tierra de chacra
- Abonos (compost, humus)

- Virutas de madera (sustrato)
- Impermeables (geomembrana)
- Tecnopor (aislante térmico)
- Pilas (3C alcalinas)
- Wincha / cinta métrica
- Regaderos
- Balde graduado
- Pegamento THF
- Martillo y clavos
- Fichas y formatos para recolección de datos

b) Equipos:

- Estación registradora de temperatura y humedad relativa NZ y RH T10
- Calculadora científica, fx – 82 ES PLUS
- Cámara digital, SZ 8 Panasonic
- Computadora personal, Intel COREi3

c) Cartografía utilizada

- Plano de áreas verdes y componentes del distrito de Breña en escala de 1:5000.
- Plano de lotización del distrito de Breña en escala de 1:5000

d) Software utilizado

- Weatherlink (programar y visualizar los datos registrados de T° y HR.)
- AutoCAD versión 2013 (para elaborar planos)

Método

La presente investigación se basa en la aplicación del método científico.

• Diseño Investigación

Experimental, ya que se manipula la variable independiente, con la instalación de cubiertas vegetales (azoteas verdes).

• Tipo de Investigación

Aplicativo porque se plantea resolver el problema de carencia de áreas verdes en los distritos de Lima.

• Unidad de Análisis

En la presente investigación se utilizó el muestreo no probabilístico, ya que la elección del lugar se realizó a juicio del investigador (caso de uso).

Ubicación: azotea del pabellón “B” (parcela de la estación meteorológica FIGAE) del anexo 8 de la Universidad Nacional Federico Villarreal, Av. Oscar Benavides (ex Colonial) N° 450 Cercado de Lima.

Procedimientos

El procedimiento para el desarrollo de la investigación constó de las siguientes fases:



Figura 1. Propuesta de los componentes para en celdas de naturación
Fuente. Elaboración propia

Fase 3

En esta etapa se diseñó y estableció las consideraciones técnicas para la instalación de los registradores de temperatura y humedad rela-

Fase 1

En la primera fase, se realizó un diagnóstico situacional del área de estudio y habilitó la zona de trabajo para facilitar el desarrollo de esta investigación (Anexo 1).

Fase 2

En este período se determinaron los componentes de la celda, por cada capa, considerando las condiciones climatológicas como escasez de precipitaciones en la zona de estudio; además, se estableció el riego periódico y el mantenimiento de las cubiertas vegetales.

tiva, (50 cm de altura sobre la cubierta vegetal) en la azotea con cubierta vegetal y la otra a la misma altura en la azotea sin cubierta vegetal, con la ayuda de dos brazos metálicos.

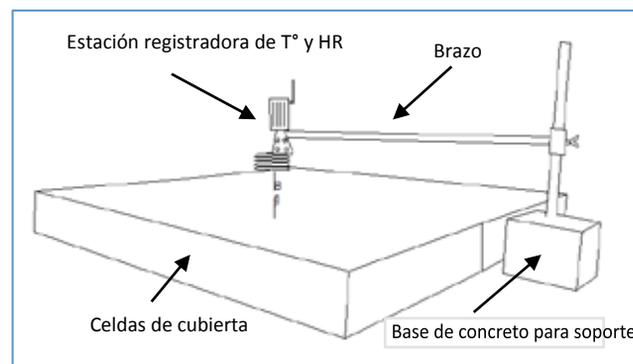


Figura 2. Diseño de los componentes del sistema piloto
Fuente: Elaboración propia

Fase 4

En esta fase se dimensionó e instaló la cubierta vegetal en dos celdas de madera de 1m de ancho x 2 m. de largo, en la zona de estudio

(azotea piloto), con la finalidad de naturar un área de 4 m² Se instalaron dos celdas, cubriendo un total de 4 m² de azotea, área mínima para la evaluación, con las siguientes características (Tabla 1).

Tabla 1

Características de la cubierta vegetal desarrollada

Clasificación	Tipo de techo verde	Peso aproximado
Liviano	Extensivo auto regulado	80kg/m ²

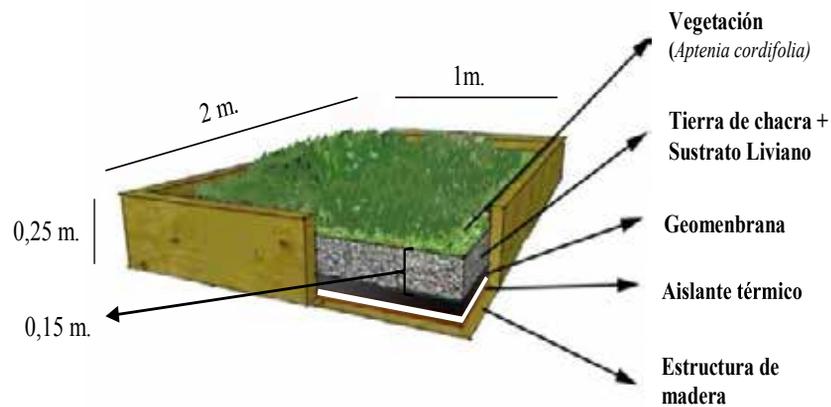


Figura 3. Dimensiones de la celda de naturación

Fuente: Elaboración propia

Fase 5

Se realizó la programación de las estaciones registradoras, considerando el registro

de datos cada 60 minutos (software Weather-link), monitoreados desde una computadora personal transmitidas por una consola.



Figura 4. Dimensiones de la celda de naturación

Fase 6

Se procesaron y seleccionaron los datos registrados en simultáneo de ambas azoteas, libre de distracciones e interrupciones por efectos secundarios. Del total registrado durante un año y seis meses, se seleccionaron cinco meses, (agosto a diciembre), los cuales fueron graficados y analizados.

Fase 7

Con los resultados obtenidos en la investigación, se propuso proyectar la naturación

de azoteas, en el distrito de Breña, con la finalidad de incrementar áreas verdes y generar beneficios ambientales.

Resultados

Resultados de las variaciones de la temperatura (T°) y la humedad relativa (HR)

Datos obtenidos de las estaciones registradoras (del periodo de cinco meses), monitoreados en simultáneo tanto en la azotea con naturación y la azotea sin naturación.

Mes de agosto

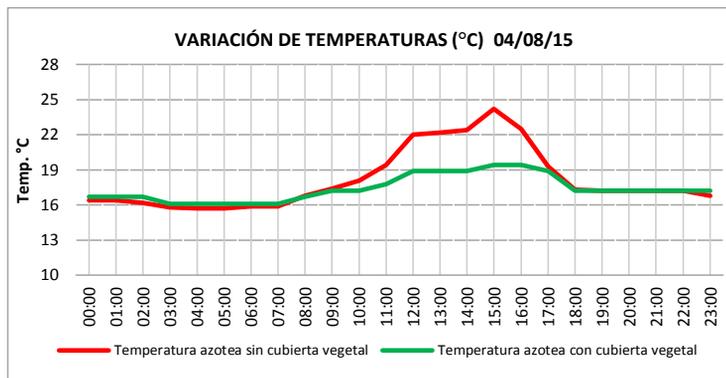


Figura 5. Variación de temperaturas obtenida el 04/08/15

Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 5 de temperaturas se observa que entre las 11 a.m. y las 16 horas se presenta el rango de mayor incremento de la temperatura en la azotea sin cubierta vegetal, llegando a alcanzar un valor máximo de 24,2°C a las 15:00 horas durante el día 4 del mes de agosto.

Los resultados de las temperaturas obtenidos en la azotea con cubierta vegetal utili-

zando *Aptenia cordifolia* reducen la temperatura en 1.6 °C hasta 4.8 °C. Obtuvieron una máxima de 19.4 °C, regularon y crearon una diferencia de temperaturas importante entre las dos superficies. En las horas donde las temperaturas eran más bajas para la azotea sin cubierta vegetal, la azotea con cubierta vegetal generó un incremento de temperatura entre 0.2 °C a 0.5 °C.

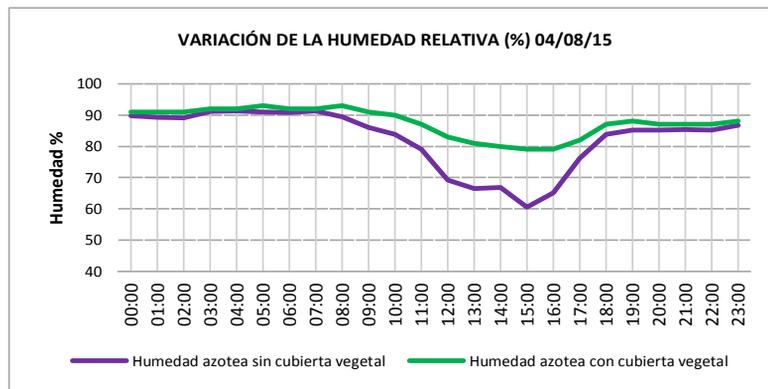


Figura 6. Variación de la humedad relativa obtenida el 04/08/15

Fuente. Elaboración propia

En la Figura 6 se observa que entre las 10 a. m. y las 16 horas se presentó el intervalo de mayor disminución de la HR en la azotea sin cubierta vegetal que llegó a alcanzar un mínimo de 60.2 %, a las 15 horas durante el día 4

de agosto. Los resultados obtenidos en la azotea con cubierta vegetal nos grafican un incremento de HR en 6.2 % hasta un 18.5 % entre las 9 a. m. y las 17 horas.

Mes de setiembre

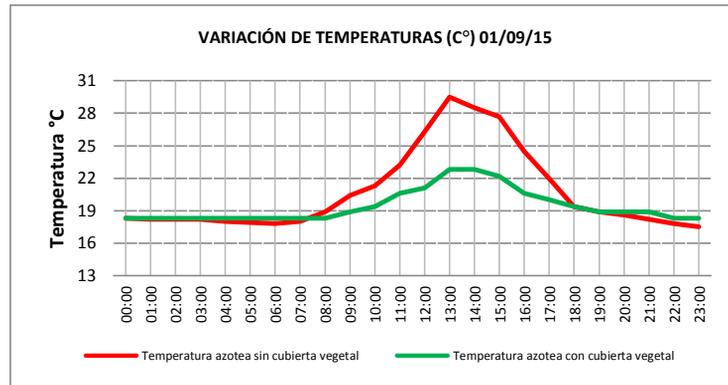


Figura 7. Variación de las temperaturas obtenidas el 01/09/15

Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 7 se observa que entre las 9 a. m. y las 17 horas se presenta el rango de mayor incremento de la temperatura en la azotea sin cubierta vegetal, llegando a alcanzar un valor máximo de 29,5 ° C a las 13:00 horas durante el día 1 de setiembre.

En las horas donde las temperaturas son más bajas para la azotea sin cubierta vegetal, la azotea con cubierta vegetal, genera un incremento de temperatura entre 0.1 °C a 0.8 °C, como se observa en la imagen.

Los resultados de las temperaturas obtenidos en la azotea con cubierta vegetal utilizando *Aptenia cordifolia*, reducen la temperatu-

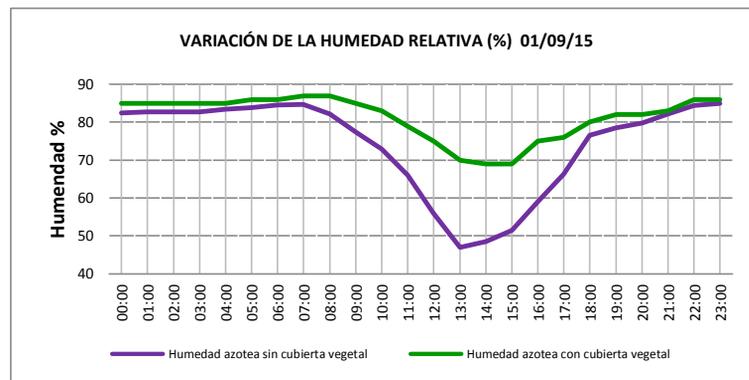


Figura 8. Variación de la humedad relativa obtenida el 01/09/15

Fuente. Elaboración Propia

En la Figura 8 se observa que entre las 9 a. m. y las 17 horas se presenta el intervalo de mayor disminución de la HR en la azotea sin cubierta vegetal que alcanzó hasta un mínimo de 47 %, a las 13 horas.

Los resultados obtenidos en la azotea con cubierta vegetal grafican un incremento importante de la HR en 7.6 % hasta un 23 % entre las 9 a.m. y las 17 horas, donde la temperatura se presenta con mayor magnitud.

Mes de octubre

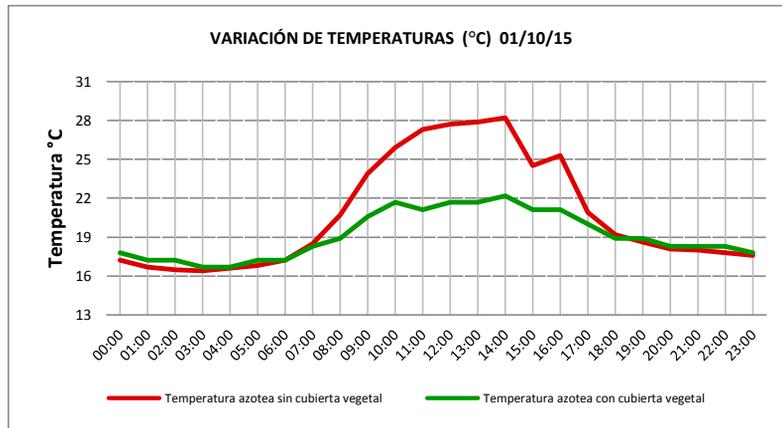


Figura 9. Variación de temperaturas obtenidas el 01/10/15
Fuente. Elaboración propia

En la Figura 9 se aprecia que entre las 9 a. m. y las 16 horas se observó el rango de mayor incremento de la temperatura en la azotea sin cubierta vegetal. Alcanzó un valor máximo de 27,9 °C a las 13:00 horas durante el día 1 del mes de octubre. Los resultados de las temperaturas obtenidos en la azotea con cubierta vegetal utilizando *Aptenia cordifolia* reducen la temperatura en 3.3 °C hasta 6.2 °C alcanzan-

do como máximo valor de 21.7 °C, regulando y creando una diferencia de temperaturas bien notable entre las dos superficies.

En las horas donde las temperaturas son más bajas para la azotea sin cubierta vegetal, esta genera un incremento de temperatura entre 0.1 °C a 0.7 °C.

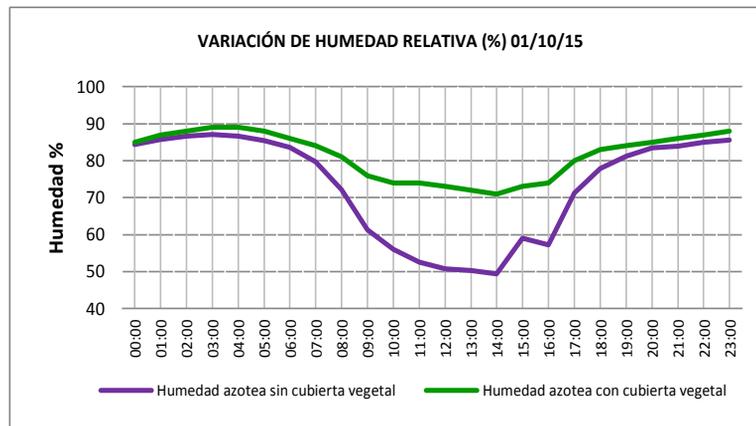


Figura 10. Variación de la humedad relativa obtenidas el 01/10/15
Fuente. Elaboración propia

En la Figura 10 se observa que entre las 8 a.m. y las 16 horas se presenta el intervalo de mayor disminución en la azotea sin cubierta vegetal, llegando a alcanzar hasta un mínimo de 50.7 % de HR, a las 12 horas del mismo día 01 de octubre. Los resultados obtenidos en la azotea con cubierta vegetal nos grafican un incremento importante de la HR, entre las 9 a.m.

y las 16 horas, en un 14.7 % hasta un 22.3 % a las 12 horas donde la temperatura se presenta con mayor magnitud.

En las horas donde las temperaturas son más bajas para la azotea sin cubierta vegetal, esta genera un incremento de temperatura entre 0.1 °C a 0.5 °C.

Mes de noviembre

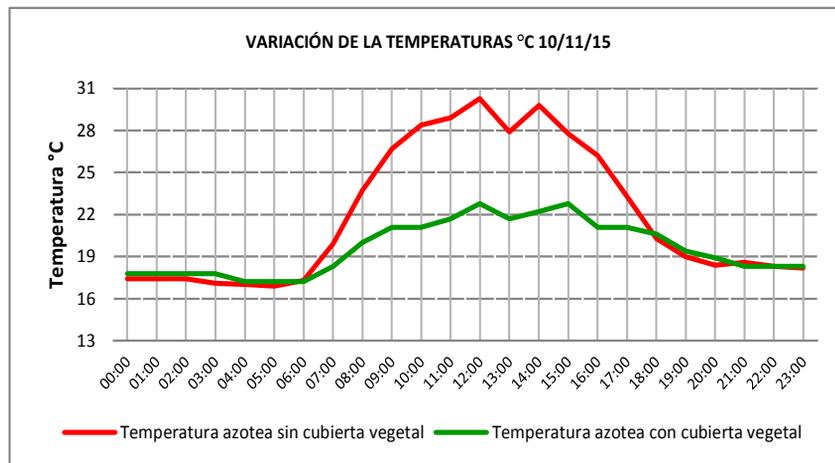


Figura 11. Variación de temperaturas obtenidas el 10/11/15

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 11 se observa que entre las 8:00 a.m. y las 17 horas, se presenta el rango de mayor incremento de las temperaturas en la azotea sin cubierta vegetal, llegando a alcanzar un valor máximo de 29,8 °C a las 14:00 horas durante el día 10 del mes de noviembre.

Los resultados de las temperaturas, obtenidos en la azotea con cubierta vegetal utilizando *Aptenia cordifolia* reducen las temperatu-

ras en 2.2 °C hasta 7.6 °C alcanzando como máximo valor de 22.2 °C, regulando y creando una diferencia de temperaturas bien notable entre las dos superficies.

En las horas donde las temperaturas son más bajas, para la azotea sin cubierta vegetal, la azotea con cubierta vegetal, genera un incremento de temperatura entre 0.1 °C a 0.5 °C.

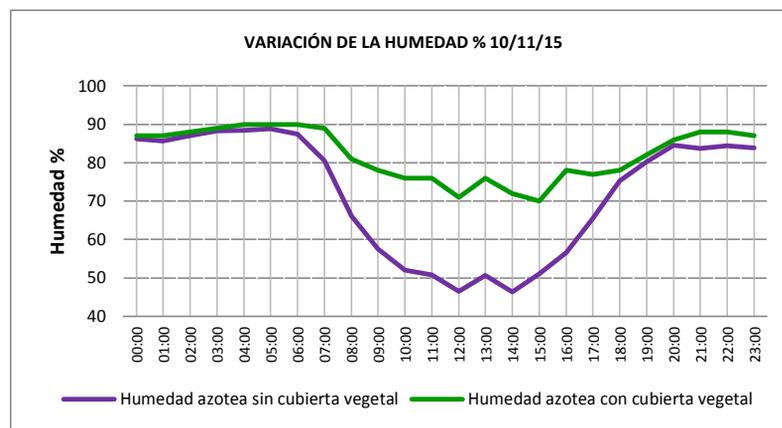


Figura 12. Variación de la humedad relativa obtenida el 10/11/15

Fuente. Elaboración propia

En la Figura 12 se observa que entre las 8 a. m. y las 17 horas se presenta el intervalo de mayor disminución en la azotea sin cubierta vegetal que alcanzó hasta un mínimo de 46.3 % de HR, a las 14 horas del mismo día 10 de noviembre.

Los resultados, obtenidos en la azotea con cubierta vegetal nos grafican un incremento importante de la HR, entre las 8 a. m. y las 17 horas, en un 11.50 % hasta un 25.7 % a las 14 horas, donde la temperatura se presenta con mayor magnitud.

Mes de diciembre

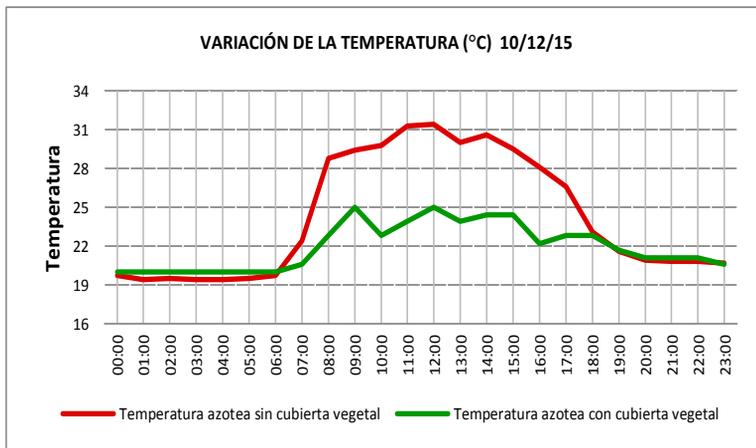


Figura 13. Variación de temperaturas obtenida el 10/12/15
Fuente. Elaboración propia

En la Figura 13 se observa que entre las 8:00 a. m. y las 17 horas se presenta un incremento brusco de la temperatura en la azotea sin cubierta vegetal, llegando a alcanzar un valor máximo de 31,4 °C a las 12:00 horas durante el día.

Los resultados de las temperaturas, obtenidos en la azotea con cubierta vegetal, presentan una reducción de 3.8 °C hasta 7.4 °C, ob-

teniendo un promedio de 5.83 °C por 4m2 de cubierta vegetal, (temperaturas promediadas durante 10 horas de 8:00 a. m. a 5:00 p. m.), alcanzando como máximo valor de 22.8 °C, regulando y creando una diferencia de temperaturas bien notable entre las dos superficies. En las horas donde las temperaturas son más bajas para la azotea sin cubierta vegetal, la azotea con cubierta vegetal genera un incremento de temperatura entre 0.1 °C a 0.6 °C.

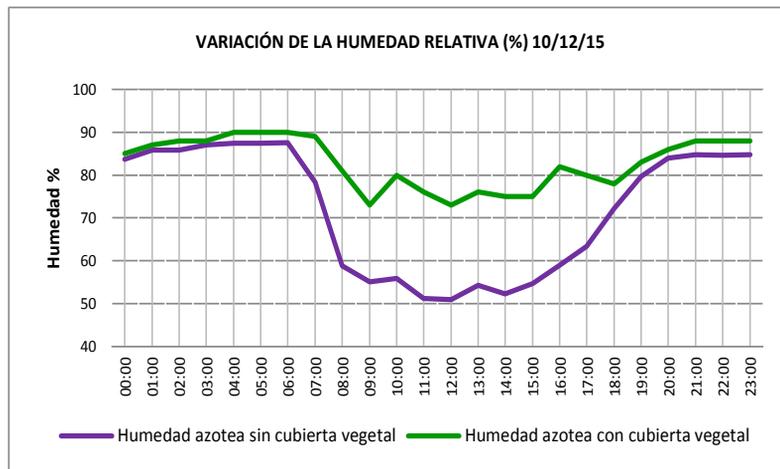


Figura 14. Variación de la humedad relativa obtenida el 10/12/15
Fuente. Elaboración propia

En la Figura 14 se observa que entre las 8 a. m. y las 17 horas se presenta el intervalo de mayor disminución de la humedad relativa en la azotea sin cubierta vegetal llegando a alcanzar hasta un mínimo de 50.9 %, a las 12 horas del 10 de diciembre. Los resultados,

obtenidos en la azotea con cubierta vegetal nos grafican un incremento importante de la humedad, entre las 8 a. m. y las 17 horas, en un 16.70 % hasta un 24.8 % a las 11 horas, donde la temperatura se presenta con mayor magnitud.

Resultado del promedio mensual de la temperatura y humedad relativa

Para realizar el comportamiento mensual de la T° y HR se promediaron todos los valores del mes, por cada hora obtenida durante los 31 días del mes de diciembre.

Comportamiento y análisis del promedio mensual de las temperaturas en el mes de diciembre.

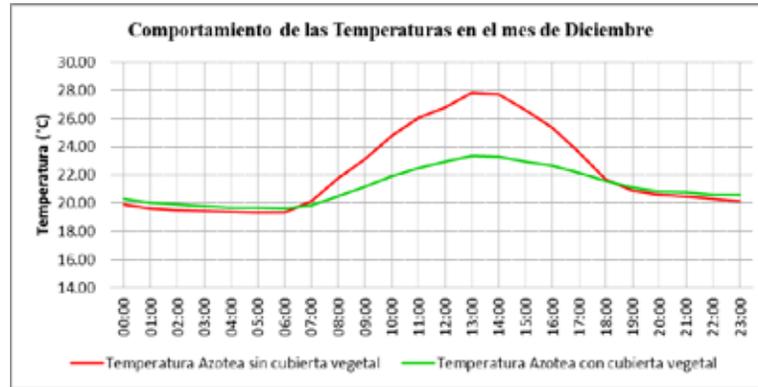


Figura 15. Comportamiento de las temperaturas promedio del mes de diciembre

Fuente. Elaboración propia

En la Figura 15, promedios de las temperaturas del mes de diciembre, se observa que entre las 8:00 a. m. y las 17 horas, se observa un incremento en la azotea sin cubierta vegetal, llegando a alcanzar un valor máximo de 27.85 °C a las 13:00 horas. Los resultados de las temperaturas obtenidos en la azotea con cubierta vegetal presentan una reducción que alcanza un máximo de 4.48 °C (de 27.85 °C azotea sin cubierta vegetal a 23.37 °C azotea con cubierta vegetal)

Así también, se observa un comportamiento temporal similar al análisis diario, entre las 00:00 horas y las 6 a. m. la cubierta vegetal, incrementa la temperatura en 0.36 °C en promedio, de igual manera desde las 19 hasta las 23 horas, ya que desde la 7 p. m. hasta las 18 horas tiene un comportamiento termorregulador, disminuyendo la temperatura con respecto a la azotea sin cubierta vegetal lo que crea una diferencia de temperaturas entre las dos superficies.

Comportamiento y análisis del promedio mensual de la humedad relativa en el mes de diciembre

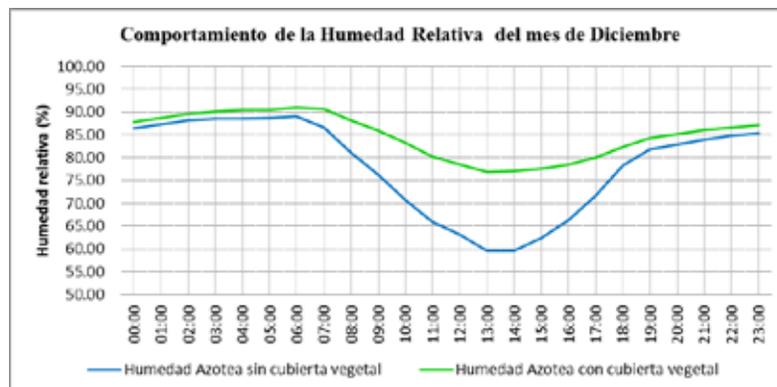


Figura 16. Comportamiento de la humedad relativa promedio del mes de diciembre

Fuente. Elaboración propia

En la Figura 16 de los promedios de la humedad relativa en el mes de diciembre, se observa que entre las 8 a. m. y las 17 horas se presenta el intervalo de mayor disminución en la azotea sin cubierta vegetal, llegando a alcanzar hasta un mínimo de 59.51 %, a las 13 horas.

Los resultados obtenidos en la azotea con cubierta vegetal presentan un incremento importante (17.39 % y 17.43 %) de la humedad relativa, entre las 13 y 14 horas, donde la temperatura se presenta con mayor magnitud.

Discusión

Ordóñez & Pérez (2015) realizaron la investigación titulada “Comparación del desempeño térmico de techos verdes y techos blancos mediante técnicas IR. México” que tuvo como objetivo determinar si las edificaciones con techo verde pueden reducir los gradientes temporales y espaciales de temperatura en comparación con el techo blanco, a través de sensores infrarrojos.

En la presente investigación, a diferencia de la realizada por Ordóñez & Pérez, se comparó los efectos sobre la temperatura y humedad relativa de una azotea naturada con *Aptenia cordifolia*, versus una azotea sin naturación, mediante estaciones registradoras por un periodo de un año y seis meses, de los cuales se seleccionaron cinco meses, con datos que no sufrieron perturbaciones durante el monitoreo de la investigación, obteniendo como resultados, la reducción de la temperatura en un 4.46 °C en promedio e incrementando la humedad relativa en un 17.41 %, en los días donde la temperatura alcanza su mayor magnitud.

- El diseño de la cubierta vegetal se realizó considerando la escasez de precipitaciones en la zona de estudio. La especie utilizada se adaptó rápidamente a las condiciones físicas del área de estudio, por lo cual este piloto puede ser replicado en otras edificaciones con similares características ambientales y físicas.

- La variación entre estos dos parámetros (temperatura y humedad relativa) con respecto a la cubierta vegetal, muestra un comportamiento termorregulador, reduciendo la temperatura cuando esta se presenta con mayor magnitud e incrementando la humedad relativa, cuando esta se presenta con valores muy bajos durante el día, gracias al proceso de evapotranspiración que generan las cubiertas vegetales.
- La naturación de azoteas proyectada para el distrito de Breña en 800 edificaciones con 40 m² aprox. de área naturada, incrementaría la densidad de áreas verdes de 0.74 m²/hab. (densidad actual) a 1.16 m²/hab. logrando aumentar en 0.42 m²/hab., generando nuevos espacios de atenuación, condiciones ambientales favorables para la población y un ecosistema paisajístico urbano.

Calcular la evapotranspiración potencial de las cubiertas vegetales con micro tanques de evaporación escalados, en simultaneo con el monitoreo de la temperatura y humedad relativa.

Para un estudio más especializado ejecutar cálculos de transferencia de calor de las cubiertas vegetales, utilizando todo el instrumental

Realizar un estudio técnico detallado y una evaluación estructural correspondiente, para determinar la factibilidad de la implementación de cubiertas vegetales, en las azoteas de las edificaciones donde se propone instalar la naturación.

Implementar un laboratorio de desarrollo de cubiertas vegetales, con fines de investigación y enseñanza, en la Facultad de Ingeniería Geográfica, Ambiental y Ecoturismo de la UNFV.

Elaborar una norma técnica para la instalación de sistemas de Naturación en el Perú.

Agradecimiento

Al Dr. Walter Gómez Lora por su apoyo para la realización de esta investigación y al equipos de promotores del Programa de Estudiantes Investigadores de la Oficina Central de Investigación del Vicerrectorado de Investigación por su ayuda en mi formación como investigador.

Referencias

- Arboleda, M. (2011). *Efecto de la irradiancia en el crecimiento y desarrollo de Aptenia cordifolia (Lf) Schwantes Como cobertura ornamental*. *Bioagro*, 23(3), 175-184.
- Carrazana, P. (2009). *Naturación Urbana, Techo Verde para el Teatro Modesta Sanjinez de la Casa de la Cultura en la ciudad de La Paz, Bolivia*.
- Gómez de Perozo N. (2012) *Control ambiental del espacio urbano, estrategias para el control micro climático del espacio entre edificaciones en clima cálido – húmedo en Madrid - España*
- Gutiérrez, R. (2008). *Techos vivos extensivos: una práctica sostenible por descubrir e investigar en Colombia*. *Alarife: Revista de arquitectura*, (16), 21.
- Haro Carbajal, (2009) *Comportamiento de dos tipos de cubiertas vegetales, como dispositivos de climatización, para climas cálidos sub-húmedos*, Colima - México.
- Heredia A. (2012). *Infraestructura verde: un espacio para la innovación de la cubierta vegetal Universidad Politécnica de Madrid – España*.
- Mazzocco, P. (2013). *Cubiertas verdes, pasado para solucionar el futuro*. Negro & White. Recuperado de Sitio web: <http://negrowhite.net/artes-cultura-lifestyle/arquitectura-arte-culturalifestyle/cubiertas-verdes-pasado-para-solucionar-el-futuro>
- Ordóñez E., Zetina, C., & Pérez-Cortés, M. (2012). *Sobrevivencia y cobertura de plantas en techos verdes durante el estiaje en Yucatán*. *Ingeniería-Revista Académica Universidad Autónoma de Yucatán*, 16(2).
- Ordóñez López, E., & Pérez Sánchez, M. (2015). *Comparación del desempeño térmico de techos verdes y techos blancos mediante técnicas IR*. México.
- Pérez Sotéz, J. (2012). *Valoración de aspectos micro climáticos en CV. Tempranillo (vitis vinífera L.) gestionado mediante cubierta vegetal*. Recuperado de Sitio web: http://biblioteca.unirioja.es/tfe_e/TFE000096.pdf
- Rivera D. (2015). *Cubiertas vegetales en la región del Caribe, Caso de estudio: viviendas sociales de la República Dominicana*.
- Sahagun, M., & Gallegos, R. (2014). *Comportamiento térmico de techo verde desértico en módulo de prueba en clima cálido seco*. *Palapa*, 2(15), 18-28.
- Sánchez M. (2012). *Manual para el diseño e instalación de una azotea verde*. Ciudad Universitaria de México.
- Valbuena, R. (2012). *Implementación de un modelo de techo verde y su beneficio térmico en un hogar de Honda, Tolima (Colombia)*.
- Urbano - López de Meneses, B. (2013). *Naturación urbana, un desafío a la urbanización*. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*, 19(2), 225-236.
- Zielinski S. y García C. (2012). *Techos verdes: una herramienta viable para la gestión ambiental en el sector hotelero del Rodadero, Santa Marta – Colombia*.