



Estimación del rango de confort higrotérmico para exteriores en dos bioclimas extremos de México

Hygrothermal comfort in outdoor environments for two extreme bioclimates of Mexico

Rincón-Martínez Julio César

Universidad Autónoma de Baja California
Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño, México
Correo: julio.rincon@uabc.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0002-1946-3609>

González-Trevizo Marcos Eduardo

Universidad Autónoma de Baja California
Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño, México
Correo: eduardo.gonzalez35@uabc.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0002-7382-2641>

García-Gómez Carmen

Universidad Autónoma de Yucatán
Facultad de Ciencias Antropológicas, México
Correo: ggomez@correo.uady.mx
<https://orcid.org/0000-0001-6899-5444>

Resumen

Los estudios sobre confort térmico desarrollados bajo las bases metodológicas del enfoque adaptativo advierten una dependencia importante de la sensación térmica de los sujetos respecto a las condiciones climáticas exteriores del lugar habitado. Las condiciones adversas del ambiente térmico pueden influir negativamente en el bienestar, la eficiencia y el confort de los sujetos, lo que deriva en la subutilización de los espacios cuyas condiciones higrotérmicas son inapropiadas para la actividad para la que fueron construidos. El objetivo de este trabajo consiste en estimar el rango de confort higrotérmico para espacios exteriores en dos bioclimas representativamente extremos en México: Cálido-húmedo y semifrío-seco. El primero presenta una temperatura media anual de 26.2 °C y una precipitación total anual de 1,094.8 mm, mientras que el segundo, una de 17.3 °C y una de 217.3 mm, respectivamente. Los estudios son de tipo correlacional y fueron analizados con 605 evaluaciones y el registro simultáneo de la temperatura, la humedad relativa y la velocidad de viento durante el periodo cálido. Los cuestionarios aplicados se diseñaron con base en la ISO 10551 y la ANSI/ASHRAE 55; asimismo, los instrumentos de medición física se establecieron a partir de la ISO 7726. Los datos recabados fueron procesados estadísticamente con el método de Medias por Intervalos de Sensación Térmica. El rango de confort higrotérmico estimado para el bioclima cálido-húmedo fue de 21.8 °C a 34.9 °C para la temperatura y de 38.3 % a 85.8 % para la humedad relativa, mientras que para el semifrío-seco fue de 19.4 °C a 25.0 °C y de 54.2 % a 84.0 %, respectivamente. Estas estimaciones responden a la adaptación que las personas presentan con su ambiente inmediato, a razón de las condiciones climáticas locales de cada lugar y el periodo de evaluación estudiado.

Descriptores: Bioclima extremo, cálido-húmedo, confort higrotérmico, enfoque adaptativo, espacios exteriores, semifrío-seco, adaptación al ambiente térmico.

Abstract

Thermal comfort studies developed from the adaptive approach note an important dependence of the subjects' thermal sensation with the outdoor climatic conditions of the inhabited space. Adverse thermal environment can negatively influence the well-being, performance and comfort of the subjects, which results in the underutilization of spaces whose hygrothermal conditions are inappropriate for the activity for which they were built. This paper shows the estimation the hygrothermal comfort range for outdoor spaces in two representatively extreme bioclimates in Mexico: Warm-humid and semi-cold-dry. The first one has an annual mean temperature of 26.2 °C and a total annual precipitation of 1,094.8 mm, while the second one has an annual mean temperature of 17.3 °C and a total annual precipitation of 217.3 mm. The studies are correlational type and were analyzed with 605 evaluations and the simultaneous recording of temperature, relative humidity and wind speed, during the warm period. Used questionnaires were designed based on ISO 10551 and ANSI/ASHRAE 55; and environmental measurement instruments were based on ISO 7726. Data were processed by Averages by Thermal Sensation Intervals method. For the warm-humid bioclimatic, the thermal comfort range results from 21.8 °C a 34.9 °C and the hydric comfort range was from 38.3 % a 85.8 %, while for the Semi-cold-dry bioclimatic it was from 19.4 °C a 25.0 °C and 54.2 % a 84.0 %, respectively. These estimates respond to the adaptation that people present with their immediate environment, due to the local climatic conditions of each place and the study period.

Keywords: Extreme bioclimatic, warm-humid, hygrothermal comfort, adaptive approach, outdoor spaces, semi-cold-dry, adaptation to the thermal environment.

INTRODUCCIÓN

Las condiciones atmosféricas que se presentan durante un día pueden influir en el desempeño y la salud de las personas; así, mientras en algunos casos pueden ser estimulantes para el desarrollo de las actividades, en otros pueden reprimir los esfuerzos físicos y mentales que permiten realizarlas (Olgay, 1963). En este sentido, el consumo energético requerido para lograr la adaptación al entorno está en función de las condiciones climáticas del sitio; en calor o frío extremos, el consumo energético es mayor.

La ISO 7730 (2005) define al confort térmico como la condición de la mente que expresa satisfacción con el ambiente térmico, el cual, según la ANSI/ASHRAE 55 (2017), se determina a partir de evaluaciones subjetivas. De acuerdo con Nikolopoulou & Steemers, (2003), la adaptación térmica es el decremento gradual de respuesta del organismo a repetidas exposiciones a estímulos que se reciben de un medio ambiente específico.

En un espacio habitable, los parámetros que constituyen el ambiente térmico son de tipo meteorológico, fisiológico, espacial y circunstancial (Szokolay, 2004). La temperatura del aire, la temperatura radiante, la humedad relativa y la velocidad de viento, forman parte de los parámetros considerados en la primera de las clasificaciones y son los factores primarios que influyen principalmente en la sensación higrotérmica de las personas (ANSI/ASHRAE 55, 2017).

Humphreys y Nicol (1998) mencionan que el fenómeno del confort térmico puede ser estudiado a partir de dos enfoques: El adaptativo y el predictivo. Según ellos (2002), las bases que validan al enfoque adaptativo son:

- Los datos con los que se trabaja son resultado de evaluaciones en sitio (campo).
- Las condiciones de evaluación tienen variación continua, no existe control sobre los parámetros físicos que afectan la sensación térmica de las personas.
- Trabaja con las reacciones fisiológicas (aclimatación) y psicológicas (adaptación, tolerancia, expectativa, experiencia, conducta) de las personas.
- Involucra una dependencia de la temperatura de confort con la temperatura exterior.
- El confort térmico varía de localidad a localidad, de un estrato sociocultural a otro e inclusive de individuo a individuo (Brager y de Dear, 2003).
- La persona es considerada como receptor activo en busca del confort térmico, reaccionan por instinto con el fin de restaurar las condiciones de comodidad.

En el enfoque adaptativo, la percepción térmica de las personas se define principalmente por la aclimatación

que ellas experimentan frente a las condiciones físicas del entorno inmediato, así como por el tiempo de permanencia que pasan en determinado lugar (Humphreys & Nicol, 2002).

El confort higrotérmico en espacios exteriores es una de las características esenciales de la calidad del medio ambiente urbano; además, puede influir en el desempeño, el bienestar y la sensación higrotérmica de las personas. Por ello, en el diseño de los espacios exteriores deben considerarse los índices higrotérmicos de confortabilidad como respuesta a las condiciones climatológicas del entorno en aras de promover su uso frecuente y saludable.

El proyecto *Rediscovering the Urban Realm and Open Spaces* (RUROS) demostró la importancia que tiene la investigación sobre confort térmico en exteriores, generando modelos en cada uno de los casos de estudio con aportes en proyectos de tipo turístico, recreativo y áreas de exposiciones al aire libre (Nikolopoulou & Lykoudis, 2006).

Los estudios del confort térmico en exteriores pueden tener repercusiones importantes en las disciplinas que dan forma al entorno urbano formal e informal, debido a la cantidad e intensidad de las actividades realizadas en espacios abiertos se ve afectada por el nivel de incomodidad experimentado por los usuarios cuando se exponen a las condiciones climatológicas del exterior la percepción térmica y la temporada climática del año (Guzmán & Ochoa, 2014; Baruti *et al.*, 2020), lo que ha podido evaluarse incluso en el ámbito biometeorológico (Banerjee *et al.*, 2020). En el diseño de los espacios exteriores, así como el análisis de impactos en las configuraciones urbanas deben atenderse indicadores de confort térmico, pues en ellos, el sujeto se ve expuesto a las condiciones climáticas. Por ello, existen múltiples investigaciones en torno al confort térmico en exteriores a nivel internacional (Shooshtarian *et al.*, 2020; Binarti *et al.*, 2020; He *et al.*, 2020; Chen *et al.*, 2020) y a nivel nacional (Del Campo *et al.*, 2020; Vargas *et al.*, 2019; Guzmán & Ochoa, 2014; Bojórquez, 2010; Abdollahzadeh & Biloría, 2021).

Con lo anterior y derivado de que con el enfoque adaptativo, el confort térmico refleja una fuerte relación con las condiciones climáticas del sitio de estudio y con las características específicas de la población blanco, el objetivo principal de este trabajo es estimar los rangos de confort higrotérmico para espacios exteriores de dos bioclimas extremos en México: Cálido-húmedo y semi-frío-seco, con el fin de identificar el grado de influencia que las condiciones climáticas exteriores inmediatas ejercen sobre la percepción y confort higrotérmicos de las personas. Para ello, se tomaron como referentes dos estudios realizados: El primero se desarrolló en 2016 en

la ciudad de Mérida, Yucatán, ubicada al sureste mexicano y agrupada en el bioclima cálido-húmedo (Fuentes & Figueroa, 1990). El segundo estudio se llevó a cabo en 2019 en la ciudad de Ensenada, Baja California, localizada en el noroeste de México, cuyas condiciones climáticas permiten agruparla en el bioclima semifrío-seco (Fuentes y Figueroa, 1990).

METODOLOGÍA

La metodología empleada en cada estudio se llevó a cabo a partir de las bases metodológicas del enfoque adaptativo (Humpreys y Nicol, 2002) y atendió lo que la normativa internacional especializada en el tema sugiere al respecto (ANSI/ASHRAE 55, 2017; ISO 7730, 2005; ISO 8996, 2004; ISO 7726, 1998; ISO 10551, 1995). Se pueden distinguir las siguientes siete secciones de ella.

DELIMITACIÓN DEL ESTUDIO Y POBLACIÓN BLANCO

El primer estudio se llevó a cabo en la ciudad de Mérida, Yucatán, ubicada al sureste de México, con coordenadas geográficas de 20.9670° latitud norte, 89.6238° longitud oeste y 10.0 msnm de altitud (Figura 1). De acuerdo con García (2004), cuenta con un clima cálido-subhúmedo con lluvias durante el verano (Awo), mientras que, según Fuentes y Figueroa (1990), su bioclima se agrupa en cálido-húmedo. Las condiciones climáticas anuales que presenta son: Temperatura media de 26.2 °C, humedad relativa media de 66.2 %, precipitación pluvial total de 1,094.8 mm y velocidad media de viento de 2.4 m/s, cuya incidencia predominante es del noreste-sureste (SMN-CONAGUA, 2019a).

En este caso, la población de estudio se enfocó en aquellas personas cuya estadía mínima en la ciudad fuera de 15 días, con el fin de garantizar el periodo mí-

nimo de adaptación humana a las condiciones del ambiente. El trabajo de campo se desarrolló en los espacios exteriores de la Plaza Grande ubicada en el Centro de la ciudad de Mérida (Figura 1). A este estudio, en adelante, se le denominará *MER Cálido-húmedo*.

El segundo estudio se realizó en la ciudad de Ensenada, Baja California, localizada en el noroeste mexicano, con coordenadas geográficas: Latitud norte 31.8643°, longitud oeste 116.6681° y altitud de 8.0 msnm (Figura 2). Su clima se clasifica como seco extremoso (BS0 ks(e)) (García, 2004) y su bioclima se agrupa en semifrío-seco (Fuentes y Figueroa, 1990). Las condiciones climáticas anuales son: Temperatura media de 17.3 °C, humedad relativa media de 75.8 %, precipitación pluvial total de 217.3 mm y velocidad media de viento de 2.5 m/s originada en el rango geográfico suroeste-noroeste (SMN-CONAGUA, 2019b).

En este caso, la población blanco correspondió con la poblacional total de Ensenada que contará con un periodo mayor a un año viviendo en la ciudad, en caso de no ser originarios de ella. El estudio se desarrolló en los espacios exteriores de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC): Plazas, malecón, áreas verdes (recreación, estudio y descanso) y circulaciones, entre otros (Figura 2). En adelante, a este estudio se le denominará *ENS Semifrío-seco*.

DISEÑO ESTADÍSTICO DE LA MUESTRA POBLACIONAL

La recolección de datos en el estudio *MER Cálido-húmedo* se acotó a un sondeo de opinión de 180 observaciones. De ellas, 153 contaron con el grado de certidumbre necesario que permitió garantizar la validez externa del estudio (70 mujeres y 83 hombres).

Por su parte, la muestra poblacional utilizada en el estudio *ENS Semifrío-seco* se diseñó estadísticamente

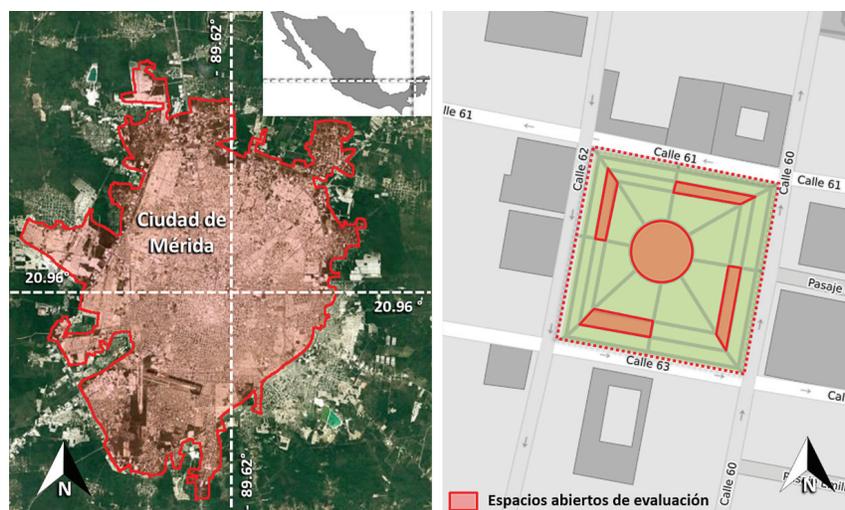


Figura 1. Izquierda: Ubicación geográfica de la ciudad de Mérida, Yucatán. Derecha: Espacios abiertos en los que se llevaron a cabo las evaluaciones en la Plaza Grande de la ciudad (Elaboración propia a partir de Google Earth y Open Street Maps)

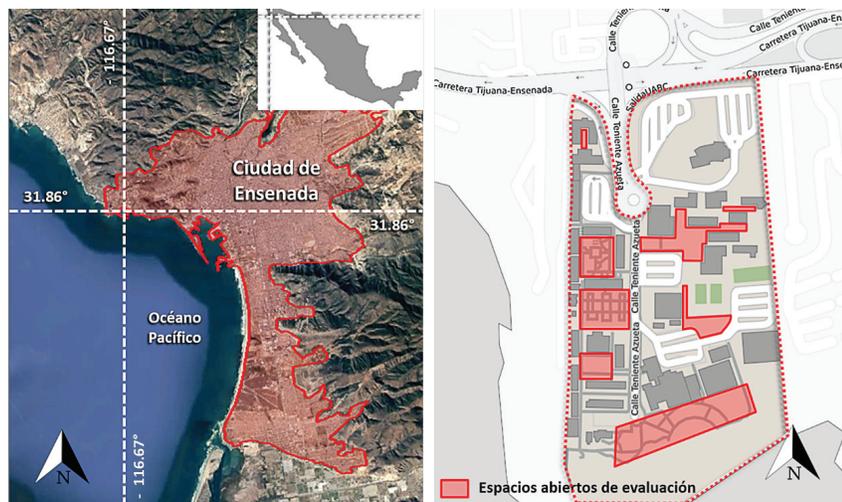


Figura 2. Izquierda: Ubicación geográfica de la ciudad de Ensenada, Baja California. Derecha: Espacios abiertos en los que se llevaron a cabo las evaluaciones en las instalaciones de la UABC (Elaboración propia a partir de Google Earth y Open Street Maps)

con el programa Sample Size Calculator® (Creative Research Systems®, 2012). El nivel de confianza empleado fue de 95 % y el intervalo de confianza de 5 %. De esta manera, el tamaño de la muestra resultó en 383 observaciones; no obstante, fue posible recabar 425 durante el estudio, de las cuales, 352 contaron con el grado de certidumbre necesario para realizar el procesamiento de datos (184 mujeres y 168 hombres).

(Figura 3). Por su parte, en el estudio *ENS Semifrio-seco* se desarrolló durante agosto y septiembre, donde las temperaturas máxima, media y mínima son de 24.9 °C, 21.1 °C y 17.3 °C; las humedades máxima, media y mínima son de 92.8 %, 83.4 % y 65.3 %; la precipitación total de 3.8 mm; y, el viento de 2.2 m/s del suroeste (SMN-CONAGUA, 2019b) (Figura 3).

PERIODO DE ESTUDIO

Con el objetivo de atender el periodo de mayor incidencia en la percepción higrotérmica de las personas, el estudio se llevó a cabo durante el periodo cálido de cada ciudad. De esta manera, en el estudio *MER Cálido-húmedo* se desarrolló durante abril y mayo, con temperaturas máxima, media y mínima de 35.6 °C, 28.1 °C y 20.6 °C; humedades máxima, media y mínima de 91.5 %, 83.4 % y 68.0 %; precipitación total de 115.9 mm; y, viento de 2.9 m/s del sureste (SMN-CONAGUA, 2019a)

DISEÑO DEL INSTRUMENTO DE MEDICIÓN

En ambos estudios el cuestionario se diseñó atendiendo el instrumento utilizado por algunos referentes especializados en el tema (González, 2012; Budawi, 2007; Gómez *et al.*, 2007a, Stoops, 2001) y lo que la normativa nacional (STPS, 2001) e internacional sugieren al respecto (ISO 10551, 1995; ANSI/ASHRAE 55, 2017; ISO 8996, 2004). Las preguntas relacionadas con la sensación higrotérmica del ambiente se basaron en la escala subjetiva de siete puntos contenida en la ISO 10551

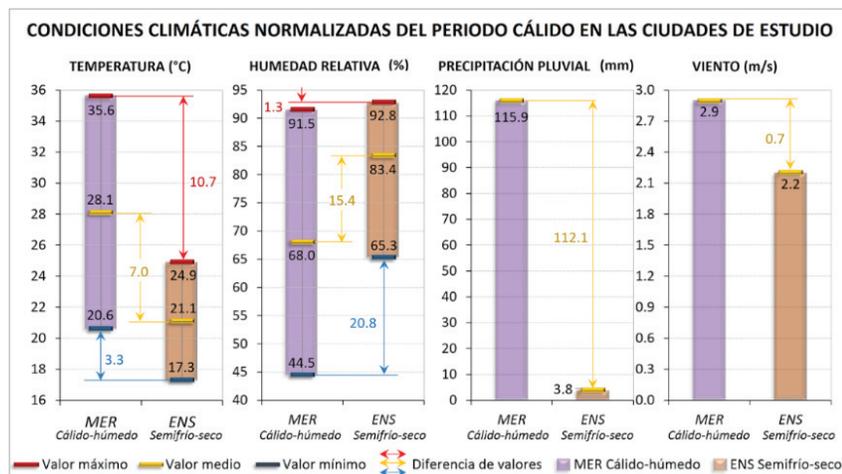


Figura 3. Comparativa de las condiciones térmicas, higras, hídricas y eólicas dadas durante el periodo cálido en los estudios MER cálido-húmedo (barra morada) y ENS semifrio-seco (barra café) (Elaboración propia con base en SMN-CONAGUA, 2019a y b)

(1995) y la ANSI/ASHRAE 55 (2017), y fue adaptada como se indica en la Tabla 1.

VARIABLES AMBIENTALES Y EQUIPO DE MEDICIÓN Y REGISTRO

Las variables del ambiente térmico que se registraron simultáneamente con la aplicación de cuestionarios fueron: Temperatura de Bulbo Seco (TBS), Temperatura de Globo Negro (TGN), Humedad Relativa (HR) y Velocidad de Viento (VV), entre otras; así como la resistencia térmica por arropamiento y la actividad metabólica.

Los instrumentos de medición física utilizados en el estudio *MER Cálido-húmedo* fueron, por un lado, un medidor de estrés térmico (marca Extech, modelo HT30) con el que se midió y registró la TBS, la TGN y la HR, y, por otro, un anemómetro (marca Extech, modelo AN10) con el que se monitoreó la VV (Figura 4). El medidor de estrés térmico cuenta con una resolución de 0.1 °C para la TGN y la TBS, y 0.1 % para la HR, asimismo, presenta una precisión de ± 2.0 °C para la TGN, ± 1.0 °C para la TBS y ± 3.0 % para la HR (Extech, 2016a); en tanto, el anemómetro cuenta con una resolución de 0.1 m/s y una precisión de ± 0.3 m/s (Extech, 2016b). La selección, la distribución y la operación del equipo de medición se realizó parcialmente apoyados de lo que en la materia sugiere la ISO 7726 (1998) y la ANSI/ASHRAE 55 (2017), lo que permitió clasificar a la base de datos como clase II de acuerdo con Brager & de Dear (1998).

Por su parte, en el estudio *ENS Semifrío-seco* la TBS, la TGN, la HR y la VV fueron medidas con un monitor de ambiente térmico de tres arreglos (marca 3M, modelo QUESTemp 36-3) (Figura 4). Este equipo de monitoreo ambiental cuenta con una resolución de 0.1 °C para la TGN y la TBS, 0.1 % para la HR y 0.1 m/s para la VV, y una precisión de ± 0.5 °C para la TBS y la TGN, ± 3.0 % para la HR y ± 0.1 m/s para la VV (3M, 2019). La selección, la distribución y la operación del equipo de medición se realizó con base en la ISO 7726 (1998) y la ANSI/ASHRAE 55 (2017), lo que permitió clasificar a la base de datos como clase I (Brager & de Dear, 1998).

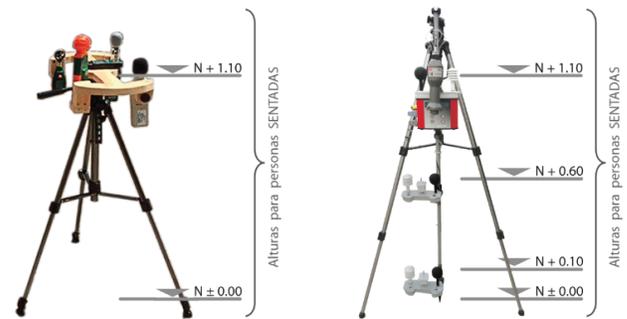


Figura 4. Izquierda: Instrumentos y alturas empleados en el estudio *MER Cálido-húmedo*. Derecha: Instrumentos y alturas empleados en el estudio *ENS Semifrío-seco* (Elaboración propia con base en ISO 10551, 1995 y ANSI/ASHRAE 55, 2017)

APLICACIÓN DE CUESTIONARIOS EN SITIO

El procedimiento sistemático a partir del cual se llevó a cabo la aplicación del cuestionario en ambos estudios fue:

1. Después de la estabilización ambiental del equipo de medición por 20 min, se seleccionaba aleatoriamente un espacio abierto de los indicados en párrafos anteriores, considerando lo siguiente:
 - a) Que estuvieran ocupados por diferentes personas, ambos géneros; y,
 - b) Que no se encontraran alterados respecto a sus condiciones normales de uso.
2. Ya en el lugar, el equipo de trabajo procedía a aplicar la evaluación a cualquiera de las personas que voluntariamente participara, preguntándoles principalmente acerca de la sensación y la preferencia ambientales que percibían del espacio (térmica, hídrica y eólica, entre otras).
3. Simultáneamente, un segundo evaluador se encargaba de registrar la lectura de las variables ambientales y elaborar el reporte fotográfico

Tabla 1. Escala de sensación higrotérmica utilizada en los cuestionarios aplicados en campo

Sensación térmica	Sensación hídrica	ISO 10551 (1995) ANSI/ASHRAE 55 (2017)	Escala adaptada
Mucho calor	Muy seco	+ 3	7
Calor	Seco	+ 2	6
Algo de calor	Algo seco	+ 1	5
Ni calor, ni frío	Normal	0	4
Algo de frío	Algo húmedo	- 1	3
Frío	Húmedo	- 2	2
Mucho frío	Muy húmedo	- 3	1

Fuente: Elaboración propia a partir de ISO 10551 (1995) y la ANSI/ASHRAE 55 (2017)

correspondiente. El instrumental de medición se ubicaba, por lo regular, a 1.20 m del evaluado.

4. Concluida la evaluación, se le explicaba al participante sobre el impacto que tendrían sus respuestas en los hallazgos esperados en el estudio.

En todos los casos, los cuestionarios se aplicaron en las condiciones en las que se encontraban los sujetos evaluados previo a la entrevista: Condiciones naturales de ventilación; expuestos o no al Sol (sombra); de pie, sentados o acostados; sin modificar la actividad ni el nivel de arropamiento en los que se encontraban; y, sin alterar su entorno inmediato ni las acciones de adaptación que pudieran manifestar (ingesta de bebidas, empleo de gorra o gafas, etcétera), con el fin de atender rangos higrotérmicos universales aplicables a la población blanco en cada caso (Figura 5).

PROCESAMIENTO DE DATOS

El procesamiento de datos se llevó a cabo con el método denominado Medias por Intervalos de Sensación Térmica (MIST) (Gómez *et al.*, 2007b). Este consiste en agrupar los votos de confort por categoría de sensación térmica (ST) y obtener el valor medio de la variable ambiental registrada en cada una de ellas; agregar y sustraer ± 1 desviación estándar (DS) (rango de confort reducido) y ± 2 DS (rango de confort extenso) a la media de cada nivel; graficar los pares de datos obtenidos y trazar las líneas de regresión simple; la temperatura neutra (Tn) y los rangos de confort resultan del cruce de estas y el nivel 4 de ST. El análisis de datos con este

método sugiere que la ecuación lineal que resulta de cada línea de regresión corresponde con los modelos matemáticos de confort. Para mayor detalle acerca de este método, consultar a Rincón (2019).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El grado de influencia que cada una de las variables físicas registradas ejerció sobre la ST de los sujetos, según su coeficiente de determinación (r^2), en cada uno de los estudios, se presenta en la Tabla 2. En ambos casos se puede observar que las variables ambientales con mayor influencia fueron la TBS y la HR, variables del medio físico directamente relacionadas con el confort higrotérmico, objeto de esta publicación. Por lo anterior, los resultados de esta sección corresponden únicamente a la correlación de la TBS y la HR con la ST percibida en cada uno de los estudios.

ESTIMACIÓN DEL CONFORT HIGROTÉRMICO PARA EL ESTUDIO MER CÁLIDO-HÚMEDO

De acuerdo con la Figura 6, la Temperatura Neutra (Tn) estimada para el periodo cálido del bioclima cálido-húmedo es de 28.6 °C, con un rango reducido de confort de 25.2 °C a 31.8 °C y un rango extenso de confort de 21.8 °C a 34.9 °C; equivalente a una amplitud asimétrica de 6.6 K y 13.1 K, respectivamente. La temperatura de confort corresponde con la abscisa que resulta de intersectar la línea de regresión media con el nivel 4 de ST; mientras que los límites de los rangos reducido y extenso de confort corresponden con la abscisa que re-



Figura 5. Izquierda: Evaluación tipo desarrollada durante el periodo cálido en el estudio MER Cálido-húmedo. Derecha: Evaluación tipo desarrollada durante el periodo cálido en el estudio ENS Semifrio-seco (Fuente: Capturas en sitio)

Tabla 2. Coeficiente de determinación (r^2) obtenido para cada variable física registrada en los estudios MER Cálido-húmedo y ENS Semifrio-seco

Variable ambiental	r^2 en estudio MER Cálido-húmedo	r^2 en estudio ENS Semifrio-seco
Temperatura de bulbo seco (TBS)	0.4911	0.1908
Temperatura de globo negro (TGN)	0.0004	0.0216
Humedad relativa (HR)	0.3799	0.0600
Velocidad de viento (VV)	0.0066	0.0001

Fuente: Elaboración propia

sulta de intersectar la línea de regresión de ± 1 DS y ± 2 DS, respectivamente, con el nivel 4 de ST (Gómez *et al.*, 2007b).

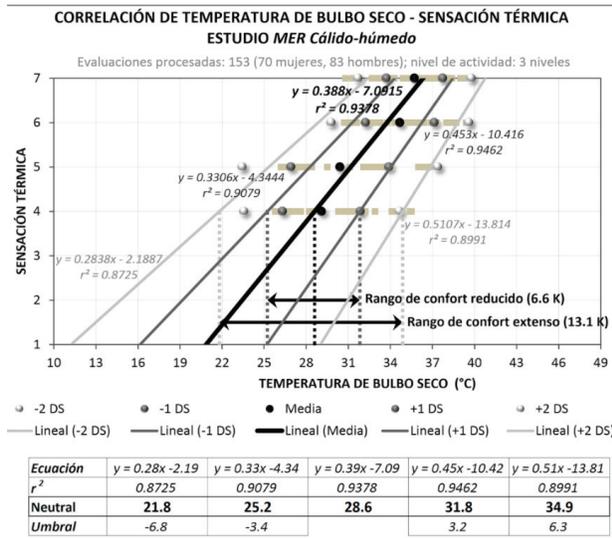


Figura 6. Correlación de la TBS y la ST con el método estadístico MIST para el periodo cálido del estudio MER Cálido-húmedo (Elaboración propia con base en Gómez *et al.*, 2007b)

De acuerdo con Bojórquez (2010), la correlación que permitió estimar cada uno de los valores mencionados es muy alta, ya que se obtuvo una $r^2=0.9378$ para la Tn; una $r^2=0.9079$ y una $r^2=0.9462$ para los límites del rango reducido de confort; y, una $r^2=0.8725$ y una $r^2=0.8991$ para los límites del rango extenso de confort. El valor de la pendiente en cada caso se ubica entre 0.2838 y 0.5107, esta se incrementa en dirección a los límites superiores de los rangos de confort.

Los modelos matemáticos obtenidos para estimar el confort térmico, son: $y = 0.388x - 7.0915$ para la Tn; $y = 0.3306x - 4.3444$ y $y = 0.5107x - 13.814$ para los límites inferior y superior del rango reducido de confort, respectivamente; y, $y = 0.2838x - 2.1887$ y $y = 0.5107x - 13.814$ para los límites inferior y superior del rango extenso de confort, respectivamente. En este caso, cada modelo matemático (ecuación lineal) describe numéricamente el comportamiento de la regresión lineal desde la cual se estima tanto el valor neutral (confort) como los límites superior e inferior de cada rango de confort, por lo que al despejar a X como variable independiente y sustituir a Y con un valor constante de 4 (categoría de ni calor, ni frío en la escala subjetiva de ST) es posible obtener el valor térmico que correspondería a la Tn y sus rangos de confort, respectivamente. Por su parte, el valor del coeficiente de determinación (r^2) da razón del grado de asociación que cada observación recabada representa en relación con la línea de tendencia obtenida

con el total de datos que conforman la nube de dispersión en cada caso.

De acuerdo con el mismo diagrama (Figura 6), los votos de confort emitidos por los sujetos reflejaron mayor concentración en las categorías de ST tendientes a lo caluroso (Algo de calor, Calor y Mucho calor), fenómeno cuya naturaleza corresponde con las condiciones ambientales que dan lugar durante este periodo y que es atendido por los sujetos a partir de acciones adaptativas para conseguir el confort; por ejemplo: Modificación del nivel de arropamiento, cambio de postura, resguardo en microclimas sombreados y con vegetación, cambio de actividad, etcétera. No obstante, si se observa el comportamiento de las cinco líneas de regresión, es posible advertir aún mayor adaptación conforme la temperatura ambiente presenta condiciones de descenso.

Por su parte, la estimación de valores higrícos se puede apreciar en la Figura 7, en la que la Humedad Relativa Neutra (HRn) resultó en 61.1 %, con un rango reducido de confort de 49.2 % a 73.4 % y un rango extenso de confort de 38.4 % a 85.8 %; equivalente a una amplitud asimétrica de 24.2 % y 47.4 %, respectivamente.

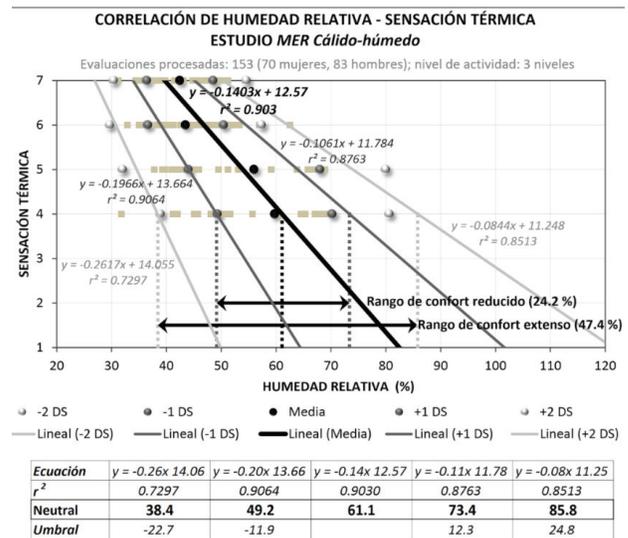


Figura 7. Correlación de la HR y la ST con el método estadístico MIST para el periodo cálido del estudio MER Cálido-húmedo (Elaboración propia con base en Gómez *et al.*, 2007b)

De acuerdo con Bojórquez (2010), es alta la concentración de los puntos que permitieron estimar cada uno de los valores mencionados, pues la HRn obtuvo una $r^2=0.9030$; los límites del rango reducido de confort, una $r^2=0.9064$ y una $r^2=0.8763$; y, los límites del rango extenso de confort, una $r^2=0.7297$ y una $r^2=0.8513$. El porcentaje de la pendiente en cada caso se ubica entre 8 % y 26 %, esta se incrementa en dirección a los límites inferiores de los rangos de confort.

En este caso, los modelos matemáticos que permiten estimar el confort higrúico resultaron de la siguiente manera: $y = -0.1403x + 12.57$ para la HRn; $y = -0.1966x + 13.664$ y $y = -0.1061 + 11.784$ para los límites inferior y superior del rango reducido de confort, respectivamente; y, $y = -0.2617x + 14.055$ y $y = -0.0844x + 11.248$ para los límites inferior y superior del rango extenso de confort, respectivamente.

En resumen, el rango de confort higrotérmico estimado con el estudio *MER Cálido-húmedo* para espacios exteriores en el periodo cálido, corresponde de 21.8 °C a 34.9 °C (con una amplitud térmica de 13.1 K) y de 38.4 % a 85.8 % (con una amplitud higrúica de 47.4 %); en tanto, el valor higrotérmico óptimo es de 28.6 °C de TBS y 61.1 % de HR. Ahora bien, si se analizan estos valores bajo las condiciones climáticas normalizadas del periodo cálido (ver apartado *Periodo de estudio*), es posible advertir que el rango de confort higrotérmico estimado queda implícito en ellas; en otras palabras, que las condiciones higrotérmicas que dan lugar de forma natural en ese periodo, regularmente son percibidas como confortables o tolerables por los sujetos (Figura 8).

CONTEXTUALIZACIÓN DEL RANGO DE CONFORT HIGROTÉRMICO EN CONDICIONES REALES ESTUDIO *MER Cálido-húmedo*

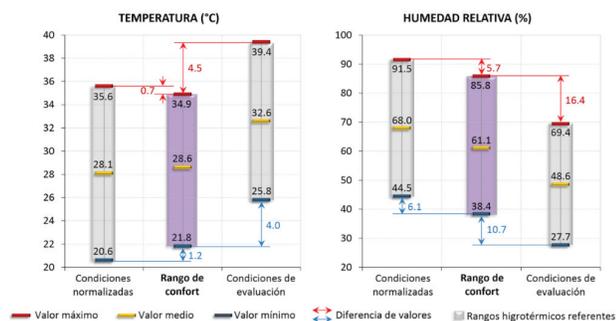


Figura 8. Relación del rango de confort higrotérmico con las condiciones normalizadas del periodo cálido y las condiciones de evaluación observadas en el estudio *MER Cálido-húmedo* (Elaboración propia)

No obstante, durante el periodo de evaluación hubo una tendencia de los votos de confort hacia las categorías de ST calurosas (Algo de calor, Calor y Mucho calor), esto se debe a que el rango higrotérmico que dio lugar durante ese periodo (abril y mayo de 2016) fue de 25.8 °C a 39.4 °C y de 27.7 % a 69.4 %; en este caso, los valores térmicos son superiores a los estimados para el rango de confort y a los presentados de forma normalizada en el periodo cálido (Figura 8).

Con lo anterior, es posible visualizar la influencia contundente que las condiciones ambientales del entorno inmediato –ya sean las normalizadas para el periodo cálido, o las que dieron lugar durante el periodo de evaluación–, ejercen sobre la percepción higrotérmica de

los sujetos y, en consecuencia, sobre su confort higrotérmico.

ESTIMACIÓN DEL CONFORT HIGROTÉRMICO PARA EL ESTUDIO ENS SEMIFRÍO-SECO

De acuerdo con la Figura 9, la Temperatura Neutra (Tn) estimada para el periodo cálido del bioclima semifrío-seco es de 22.2 °C, con un rango reducido de confort de 20.8 °C a 23.6 °C y un rango extenso de confort de 19.4 °C a 25.0 °C; equivalente a una amplitud asimétrica de 2.8 K y 5.6 K, respectivamente.

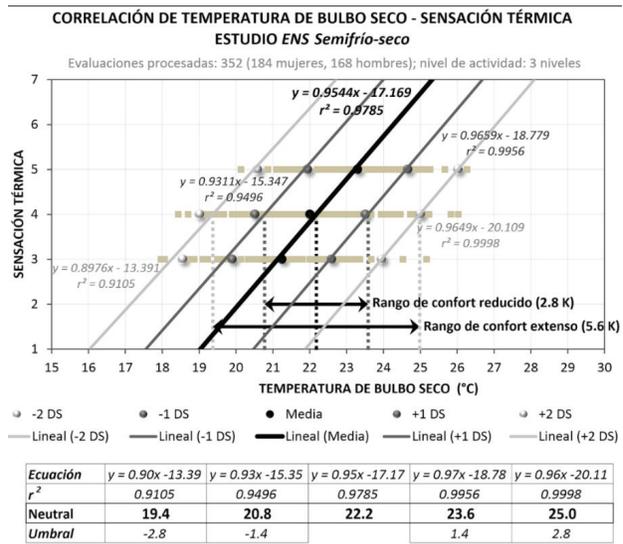


Figura 9. Correlación de la TBS y la ST con el método estadístico MIST para el periodo cálido del estudio ENS Semifrio-seco (Elaboración propia con base en Gómez et al., 2007b)

De acuerdo con Bojórquez (2010), es muy alta la correlación de los pares de datos que permitieron estimar cada uno de los valores mencionados, ya que se obtuvo una $r^2=0.9785$ para la Tn; una $r^2=0.9496$ y una $r^2=0.99956$ para los límites del rango reducido de confort; y, una $r^2=0.9105$ y una $r^2=0.9998$ para los límites del rango extenso de confort. El valor de la pendiente en cada caso se ubica entre 0.8976 y 0.9659, esta se incrementa en dirección a los límites superiores de los rangos de confort.

Los modelos matemáticos obtenidos para estimar el confort térmico, son: $y = 0.9544x - 17.169$ para la Tn; $y = 0.9311x - 15.347$ y $y = 0.9659x - 18.779$ para los límites inferior y superior del rango reducido de confort, respectivamente; y, $y = 0.8976x - 13.391$ y $y = 0.9649x - 20.109$ para los límites inferior y superior del rango extenso de confort, respectivamente.

Los votos de confort emitidos por los sujetos reflejaron mayor concentración en las categorías centrales de ST (Algo de frío; Ni calor, ni frío; Algo de calor), lo que evidencia las condiciones semifrías típicas en la ciudad

de Ensenada y, particularmente, en el periodo cálido (nueve de los doce meses en la ciudad son fríos), en el cual los sujetos promueven acciones de adaptación habitual para conseguir el confort, tales como: Arropamiento moderado (no ligero, como en el caso del bioclima cálido-húmedo), cambios de posición y resguardo en microclimas, por mencionar algunas. Si se observa el comportamiento de las cinco líneas de regresión, es posible advertir mayor adaptación a temperaturas por debajo de la T_n que por encima de esta (Figura 9).

En cuanto a la estimación de los valores de confort higríco, en la Figura 10 se puede apreciar que la HRn resultó en 69.1 %, con un rango reducido de confort de 61.6 % a 76.5 % y un rango extenso de confort de 54.2 % a 84.0 %; equivalente a una amplitud simétrica de 14.9 % y 29.8 %, respectivamente.

De acuerdo con Bojórquez (2010), los puntos que permitieron estimar cada uno de los valores mencionados presentan una correlación media para la HRn y el rango reducido de confort, mientras que una alta para el rango extenso de confort, pues la HRn obtuvo una $r^2 = 0.7349$; los límites del rango reducido de confort, una $r^2 = 0.3582$ y una $r^2 = 0.7736$; y, los límites del rango extenso de confort, una $r^2 = 0.9242$ y una $r^2 = 0.7878$.

En este caso, los modelos matemáticos que permiten estimar el confort higríco resultaron de la siguiente manera: $y = -2.5785x + 181.77$ para la HRn; $y = -8.3993 + 521.62$ y $y = -1.4637x + 116.01$ para los límites inferior y superior

del rango reducido de confort, respectivamente; y, $y = 4.6149x - 246.02$ y $y = -1.0212x + 89.757$ para los límites inferior y superior del rango extenso de confort, respectivamente.

En este sentido, el rango de confort higrotérmico estimado con el estudio ENS Semifrío-seco para espacios exteriores en el periodo cálido, corresponde a un intervalo de 19.4 °C a 25.0 °C (con una amplitud térmica de 5.6 K) y de 54.2 % a 84.0 % (con una amplitud higríca de 29.8 %); en tanto, el valor higrotérmico óptimo estimado para este periodo es de 22.2 °C de TBS y 69.1 % de HR.

Si estos valores se contextualizan en las condiciones climáticas normalizadas del periodo cálido (ver apartado *Periodo de estudio*), es posible advertir que el rango térmico estimado queda implícito en ellas, mientras que el rango higríco queda desplazado en valores inferiores de humedad relativa; esto quiere decir que en tanto las condiciones térmicas del periodo cálido son regularmente confortables para los sujetos, las condiciones higrícas son percibidas como sobrehumedad que genera incomodidad por las mañanas (Figura 11).

Asimismo, durante el periodo de evaluación la tendencia de los votos de confort fue hacia las categorías centrales de ST (Algo de frío; Ni calor, ni frío; Algo de calor) debido a que el rango higrotérmico en el que las evaluaciones se desarrollaron durante ese periodo (agosto y septiembre de 2019) fue de 18.0 °C a 27.5 °C de TBS y de 50.0 % a 88.3 % de HR, rango cuya magni-

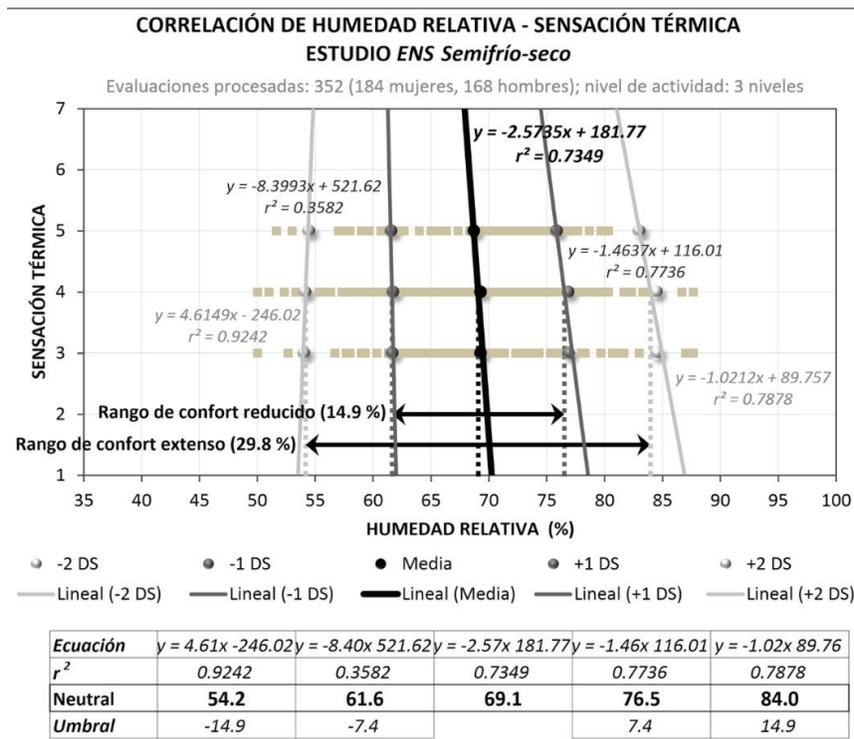


Figura 10. Correlación de la HR y la ST con el método estadístico MIST para el periodo cálido del estudio ENS Semifrío-seco (Elaboración propia con base en Gómez et al., 2007b)

tud térmica es superior tanto a las condiciones normalizadas del periodo cálido, como al rango de confort estimado, lo que evidencia la razón por la cual los sujetos percibieron predominantemente confortables las condiciones higrotérmicas del periodo de evaluación (Figura 11).

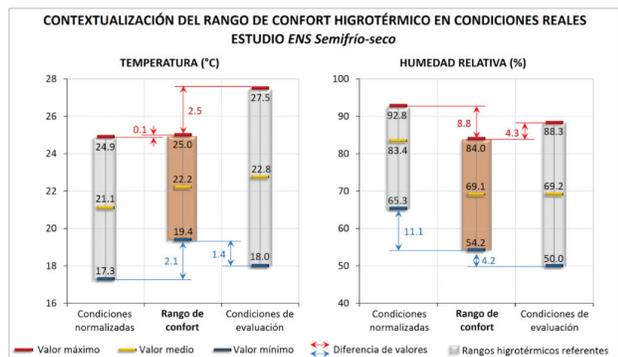


Figura 11. Relación del rango de confort higrotérmico con las condiciones normalizadas del periodo cálido y las condiciones de evaluación observadas en el estudio ENS Semifrio-seco (Elaboración propia)

CONCLUSIONES

Con base en el análisis simultáneo de los estudios sobre confort higrotérmico en bioclimas extremos en México para espacios exteriores (*MER Cálido-húmedo* y *ENS Semifrio-seco*), se confirma la influencia determinante que las condiciones climáticas ejercen sobre la percepción higrotérmica humana y, por ende, sobre su confort térmico e higríco. Si las condiciones higrotérmicas predominantes de un sitio son elevadas, el rango de confort esperado sigue su tendencia; caso similar se presenta en los sitios donde las condiciones predominantes son de bajo calentamiento, el rango de confort sigue la tendencia a bajas temperaturas. En este caso, ambos estudios permitieron advertir una dependencia clara del rango de confort sobre las condiciones higrotérmicas del sitio, por lo que se confirma lo mencionado por Brager & de Dear (2003) relativo a que los resultados en los que concluye una

investigación que finca sus bases en el enfoque adaptativo, varían de localidad a localidad e, inclusive, de un estrato sociocultural a otro con acceso a condiciones de clima artificial. En consecuencia, los estudios desarrollados bajo este enfoque se relacionan estrechamente con la aclimatación higrotérmica y el tiempo de permanencia que los sujetos experimentan en un lugar (Humphreys & Nicol, 2002; Buonocore *et al.*, 2020).

Con lo anterior, el confort higrotérmico estimado para las condiciones específicas de cada estudio analizado se presentan en la Tabla 3; en ella, es posible visualizar la divergencia que presentan los rangos de confort estimados para el bioclima cálido-húmedo respecto a los obtenidos para el bioclima semifrio-seco, fenómeno natural que deriva de las condiciones climáticas de cada sitio.

La diferencia identificada entre los valores térmicos del límite superior equivale a prácticamente 10 °C, mientras que la obtenida con los valores del límite inferior corresponde a 2.5 °C en términos prácticos. No obstante, la diferencia con mayor contundencia se presenta en la amplitud que guarda cada rango de confort térmico, la cual equivale a 13.1 K para el estudio *MER Cálido-seco* y 5.6 K para el estudio *ENS Semifrio-seco*; naturalmente, el confort térmico estimado con este último tiende a bajas temperaturas.

Estas diferencias se deben invariablemente a las condiciones climáticas que cada sitio presentó durante el periodo cálido de evaluación, así como a las diferentes acciones que cada sujeto en lo individual emprende para alcanzar la confortabilidad en su entorno inmediato.

Por su parte, el rango de confort higríco estimado en ambos estudios presentó una característica peculiar: El valor de los límites superiores prácticamente es el mismo (tienen una diferencia estrecha de 1.8 %); no así, el valor de los límites inferiores que presentan una diferencia de 15.9 %. Paradójicamente, el rango higríco del estudio *ENS Semifrio-seco* cuenta con una amplitud más reducida, sin embargo, se presenta en una posición más alta respecto a la escala de HR. Esto se debe a su proxi-

Tabla 3. Valores de confort higrotérmico estimados con el método MIST (Gómez *et al.*, 2007b)

Parámetros de confort higrotérmico estimados	Estudio	Estudio
	<i>MER Cálido-húmedo</i>	<i>ENS Semifrio-seco</i>
Límite superior del rango de confort térmico*	34.9 °C	25.0 °C
Temperatura neutra	28.6 °C	22.2 °C
Límite inferior del rango de confort térmico*	21.8 °C	19.4 °C
Amplitud térmica del rango de confort	13.1 K	5.6 K
Límite superior del rango de confort higríco*	85.8 %	84.0 %
Humedad relativa neutra	61.1 %	69.1 %
Límite inferior del rango de confort higríco*	38.3 %	54.2 %
Amplitud higríca del rango de confort	47.4 %	29.8 %

* Valor correspondiente al rango extenso de confort estimado con el método MIST (Gómez *et al.*, 2007b)

Fuente: Elaboración propia

midad con el mar, cuyo fenómeno frecuente es la incidencia de brisa marina sobre la ciudad y, por ende, sobre la percepción higrótérmica de las personas.

Cuando las condiciones del ambiente térmico representan variabilidad continua, los sujetos emprenden acciones, de forma consciente e inconsciente, que les permiten conseguir nuevamente una percepción eventual de equilibrio térmico entre el entorno inmediato y su organismo. Las acciones comúnmente adoptadas, e identificadas en estos estudios, fueron: Cambio en el nivel de arropamiento, ingesta de bebidas, cambio de posición, movilidad, resguardo en microclimas que asegura una pronta adaptación, cambio de actividad física y uso de accesorios que protegen del Sol (gorras, gafas, etcétera) y del viento, entre otros. Se observó un resguardo predominante bajo sombra y cerca de elementos vegetales, con un grado de arropamiento entre ligero y moderado; características típicas en condiciones cálidas, según Guyton (1987).

Lo anterior, ha sido estudiado desde la antigüedad, sobre todo en bioclimas áridos o semiáridos, debido a la notoria influencia que las variables climatológicas expresan en la formalidad de la arquitectura rural y vernácula y desde luego, el "termopreferendo" estudiado en sus espacios (Zhang *et al.*, 2018; Chang *et al.*, 2021; Atmaca & Gedik, 2019; Bassoud *et al.*, 2021). No solo variables de importancia como la temperatura media radiante, el factor de cielo visible o el albedo han definido los atributos físicos de las cubiertas de las edificaciones o sus sistemas constructivos (Manavvi & Rajasekar, 2020; 2021), sino el efecto combinado de la temperatura, la humedad y el movimiento del aire ha determinado la respuesta térmica de los habitantes en bioclimas de mayor humedad relativa (Yan *et al.*, 2020).

En resumen, este tipo de estudios ha sofisticado sustancialmente los hallazgos relacionados con el ambiente térmico exterior y la efectividad de las estrategias de diseño pasivo ante el cambio climático (Liu *et al.*, 2020); estos avances incluyen metodologías que incluyen aspectos relevantes de género (Cohen *et al.*, 2019) y van desde los espacios abiertos en donde los encuestados soportan variaciones térmicas en ambientes dominados por elementos naturales (S & Rajasekar, 2022), como para medir respuestas fisiológicas en intervalos térmicos en espacios de transición bajo estudios en cámaras climáticas (Zhang *et al.*, 2017) o bien, la reducción del rango de confort para personas en espacios cerrados y de alta ocupación con sistemas de aire acondicionado central (Zhang *et al.*, 2020). Aunque, es bien sabido que recientemente los estudios se orientan a través del uso de indicadores fisiológicos estudio del confort humano durante el verano (Liu *et al.*, 2020), cada vez es más necesario contrastar la evidencia entre las diferentes esta-

ciones climáticas, así como los distintos bioclimas, que incluso analizan variedades de clima frío (Amindeldar *et al.*, 2017; Yao *et al.*, 2018; Wei *et al.*, 2022)

Los indicadores de confort higrótérmico aquí presentados permiten contribuir de forma significativa en la toma de decisiones del diseño de espacios exteriores dirigidos a actividades sedentarias, de acuerdo con cada bioclima estudiado. De forma paralela, estos resultados pueden impactar positivamente en la habitabilidad de los espacios exteriores y, en consecuencia, promover su uso frecuente, al ofrecer un ambiente con rangos higrótérmicos favorables para el desempeño armónico de las actividades y el bienestar de las personas.

AGRADECIMIENTOS

Esta publicación forma parte de la línea de investigación de Confort Térmico del proyecto denominado: *Estudios del potencial térmico del suelo de Ensenada dirigido a la implementación de estrategias de acondicionamiento pasivo*, financiado por el Programa para el Desarrollo Profesional Docente para el Tipo Superior (PRODEP), con IDCA 28903, en el marco de la convocatoria 2018, Apoyo para el fortalecimiento de los CA y del proyecto denominado: *Confort térmico en espacios públicos exteriores turísticos en clima cálido húmedo*, con clave DCA/103.5/15/6926, financiado por el mismo programa, a quien se le reconoce y agradece los apoyos económicos para llevarlos a cabo.

Asimismo, se extiende el agradecimiento a la Universidad Autónoma de Baja California (UABC), por brindar las facilidades de acceso y recurso humano para el desarrollo de los trabajos de campo en las diferentes instalaciones de su unidad Sauzal; así como a la Universidad Autónoma de Yucatán (UADY), por la disposición para el desarrollo de la investigación.

Un agradecimiento especial al Dr. Gonzalo Bojórquez Morales, asesor externo de los proyectos, por su acompañamiento y orientación.

REFERENCIAS

- 3M (2019). Kit de entrada de datos para Monitor de Estrés Térmico 3M® QUESTemp™QT36 1 kit/caja. Recuperado de https://www.3m.com.mx/3M/es_MX/inicio/todos-los-productos-3m/~/3M-Monitor-de-Ambiente-T%C3%A9rmico-QT-36-3/?N=5002385+3294756751&preselect=8711405+8720539+8720541+8720786+3293786499&rt=rud
- Abdollahzadeh, N., & Biloría, N. (2021). Outdoor thermal comfort: Analyzing the impact of urban configurations on the thermal performance of street canyons in the humid subtropical climate of Sydney. *Frontiers of Architectural Research*, 10(2), 394-409. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2020.11.006>

- American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, ANSI/ASHRAE 55 (2017). Thermal environmental conditions for human occupancy, Atlanta.
- Amindeldar, S., Heidari, S., & Khalili, M. (2017). The effect of personal and microclimatic variables on outdoor thermal comfort: A field study in Tehran in cold season. *Sustainable Cities and Society*, 32(25), 153-159. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.03.024>
- Atmaca, A. B., & Gedik, G. Z. (2019). Evaluation of mosques in terms of thermal comfort and energy consumption in a temperate-humid climate. *Energy and Buildings*, 195, 195-204. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.04.044>
- Banerjee, S., Middel, A., & Chattopadhyay, S. (2020). Outdoor thermal comfort in various microentrepreneurial settings in hot humid tropical Kolkata: Human biometeorological assessment of objective and subjective parameters. *Science of the Total Environment*, 721. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137741>
- Baruti, M. M., Johansson, E., & Yahia, M. W. (2020). Urbanites' outdoor thermal comfort in the informal urban fabric of warm-humid Dar es Salaam, Tanzania. *Sustainable Cities and Society*, 62(July). <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102380>
- Bassoud, A., Khelafi, H., Mokhtari, A. M., & Bada, A. (2021). Evaluation of summer thermal comfort in arid desert areas. Case study: Old adobe building in Adrar (South of Algeria). *Building and Environment*, 205(July). <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108140>
- Binarti, F., Koerniawan, M. D., Triyadi, S., Utami, S. S., & Matzarakis, A. (2020). A review of outdoor thermal comfort indices and neutral ranges for hot-humid regions. *Urban Climate*, 31, 100531. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2019.100531>
- Bojórquez, G. (2010). *Confort térmico en exteriores: Actividades en espacios recreativos, en clima cálido seco extremo*. (Tesis de Doctorado), Universidad de Colima, Facultad de Arquitectura y Diseño, Colima, México.
- Brager, G., & R. de Dear (2003). Historical and cultural influences on comfort expectations, en Cole, R., & Lorch, R. (eds.). *Buildings, Culture and Environment: Informing Local and Global Practices*, London: Blackwell.
- Brager, G., & de Dear, R. (1998). Thermal adaptation in the build environment: A literature review. *Energy and Buildings*, 27.
- Buonocore, C., De Vecchi, R., Scalco, V., & Lamberts, R. (2020). Thermal preference and comfort assessment in air-conditioned and naturally-ventilated university classrooms under hot and humid conditions in Brazil. *Energy and Buildings*, 211. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109783>
- Chang, S., He, W., Yan, H., Yang, L., & Song, C. (2021). Influences of vernacular building spaces on human thermal comfort in China's arid climate areas. *Energy and Buildings*, 244. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.110978>
- Chen, X., Gao, L., Xue, P., Du, J., & Liu, J. (2020). Investigation of outdoor thermal sensation and comfort evaluation methods in severe cold area. *Science of the Total Environment*, 749(66), 141520. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141520>
- Cohen, P., Shashua, L., Keller, R., Gil, R., Yaakov, Y., Lukyanov, V., Bar (Kutiel), P., Tanny, J., Cohen, S., & Potchter, O. (2019). Urban outdoor thermal perception in hot arid Beer Sheva, Israel: Methodological and gender aspects. *Building and Environment*, 160. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106169>
- Creative Research Systems® (2012). Sample size calculator®. Recuperado de <https://www.surveysystem.com/sscalc.htm>
- Del Campo, J. M., Valladares, R., Bojórquez, B., & García, C. (2020). Estudio de habitabilidad térmica en periodo frío para espacios públicos exteriores. *Revista de Ciencias Tecnológicas*, 3(3), 145-172. <https://doi.org/10.37636/recit.v33145172>
- Extech (2016a). HT30: Heat Stress WBGT (Wet Bulb Globe Temperature) Meter. Recuperado de <http://www.extech.com/products/HT30>
- Extech (2016b). AN10: Pocket Series Anemometer. Recuperado de <http://www.extech.com/products/AN10>
- Fuentes, V., & Figueroa, A. (1990). *Criterios de adecuación bioclimática en la Arquitectura*. México: Instituto Mexicano del Seguro Social.
- García, E. (2004). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana)*. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Gómez, G., Ruiz, R., Bojórquez, G., & Romero, R. (2007a). *Confort térmico y ahorro de energía en la vivienda económica en México, regiones de clima cálido seco y húmedo*. México: Comisión Nacional del Fondo para Vivienda (CONAFOVI).
- Gómez, G., Ruiz, R., Bojórquez, G., & Romero, R. (2007b). Monitoreo de condiciones de confort térmico: Reporte técnico (Producto 3), CONAFOVI 2004-01-20, Comisión Nacional del Fondo para Vivienda, Proyecto Confort Térmico y Ahorro de Energía en la Vivienda Económica en México, Regiones de Clima Cálido Seco y Húmedo, Colima, México.
- González, F. (2012). *Zona de confort higrotérmico para adultos jóvenes de la ciudad de México*. (Tesis de Maestría), Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, Instituto Politécnico Nacional, México.
- Guyton, A. (1987). *Fisiología Humana*, 6ta. Edición, México: McGraw-Hill e Interamericana.
- Guzmán, F., & Ochoa de la Torre, J. (2014). Confort térmico en los espacios públicos urbanos. Clima cálido y frío semi-seco. *Revista Hábitat Sustentable*, 4(2), 52-63. <http://revistas.ubiobio.cl/index.php/RHS/article/view/450>
- He, B. J., Ding, L., & Prasad, D. (2020). Outdoor thermal environment of an open space under sea breeze: A mobile experience in a coastal city of Sydney, Australia. *Urban Climate*, 31, 100567. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2019.100567>
- Humphreys, M., & Nicol, F. (2002). The validity of ISO-PMV for predicting comfort votes in every-day thermal environments. *Energy and Buildings*, 34, 667-684.
- International Organization for Standardization, ISO 10551 (1995). Ergonomics of thermal environment-Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgement scales, Ginebra.

- International Organization for Standardization, ISO 7726 (1998). Ergonomics of the thermal environment-Instruments for measuring physical quantities, second edition, Ginebra.
- International Organization for Standardization, ISO 7730 (2005). Ergonomics of the thermal environment-Analytical determination and Interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria, third edition, Ginebra.
- Liu, S., Kwok, Y. T., Lau, K. K. L., Ouyang, W., & Ng, E. (2020). Effectiveness of passive design strategies in responding to future climate change for residential buildings in hot and humid Hong Kong. *Energy and Buildings*, 228. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110469>
- Manavvi, S., & Rajasekar, E. (2020). Estimating outdoor mean radiant temperature in a humid subtropical climate. *Building and Environment*, 171(January). <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106658>
- Manavvi, S., & Rajasekar, E. (2021). Evaluating outdoor thermal comfort in "Haats"-The open air markets in a humid subtropical region. *Building and Environment*, 190(December 2020). <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107527>
- Nikolopoulou, M., & Lykoudis, S. (2006). Thermal comfort in outdoor urban spaces: Analysis across different European countries. *Building and Environment*, 41(11), 1455-1470. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.05.031>
- Nikolopoulou, M., & Steemers, K. (2003). Thermal comfort and psychological adaptation as a guide for designing urban spaces. *Energy and Buildings*, 35, 95-101. [https://doi.org/10.1016/s0378-7788\(02\)00084-1](https://doi.org/10.1016/s0378-7788(02)00084-1)
- Olgay, V. (1963). *Arquitectura y clima. Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*, Barcelona: Ed. Gustavo Gili.
- Rincón, J. (2019). Confort térmico en interiores: Estimación con los enfoques adaptativo y predictivo. México: Universidad Autónoma de Baja California. Recuperado de <https://libreriaabc.com/products/confort-termico-en-interiores-estimacion-con-los-enfoques-adaptativo-y-predictivo-fragmento-de-julio-cesar-rincon-martinez-confort-termico-en-bioclima-semi-frio-estimacion-a-partir-de-los-enfoques-de-estudio-adaptativo-y-predictivo>
- Shoosharian, S., Lam, C. K. C., & Kenawy, I. (2020). Outdoor thermal comfort assessment: A review on thermal comfort research in Australia. *Building and Environment*, 177, 106917. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106917>
- S, M., & Rajasekar, E. (2022). Evaluating outdoor thermal comfort in urban open spaces in a humid subtropical climate: Chandigarh, India. *Building and Environment*, 209(August 2021). <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108659>
- SMN-CONAGUA (2019a). Datos climáticos registrados por la Estación Meteorológica 00031044 Mérida, Servicio Meteorológico Nacional (SMN-CONAGUA), periodo 1981-2010. Recuperado de <https://smn.conagua.gob.mx/es/informacion-climatologica-por-estado?estado=yuc>
- SMN-CONAGUA (2019b). Datos climáticos registrados por la Estación Meteorológica Automática BC-02 Ensenada, Servicio Meteorológico Nacional (SMN-CONAGUA), periodo 2000-2019. Recuperado de <https://smn.conagua.gob.mx/es/observando-el-tiempoestaciones-meteorologicas-automaticas-ema-s>
- Stoops, J. (2001). *The physical environment and occupant thermal perceptions in office buildings: an evaluation of sampled data from five european countries*. (Doctoral thesis), Chalmers University of Technology.
- STPS (2001). NOM-015-STPS-2001. Condiciones térmicas elevadas o abatidas-condiciones de seguridad e higiene, secretaria del trabajo y previsión social, México.
- Szokolay, S. (2004). *Introduction to architectural science: The basis of sustainable design*. London: Architectural Press, Elsevier.
- Vargas, L. A., Tovar, M., & Santos, G. J. (2019). Potencial de acondicionamiento térmico en exteriores urbanos, a través del uso de especies de árboles nativos: Caso de León, Guanajuato, XLIII Semana Nacional de Energía Solar. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/342797938_POTENCIAL_DE_ACONDICIONAMIENTO_TERMICO_EN_EXTERIORES_URBANOS_A_TRAVES_DEL_USO_DE_ESPECIES_DE_ARBOLES_NATIVOS_CASO_DE_LEON_GUANAJUATO
- Wei, D., Yang, L., Bao, Z., Lu, Y., & Yang, H. (2022). Variations in outdoor thermal comfort in an urban park in the hot-summer and cold-winter region of China. *Sustainable Cities and Society*, 77(September 2021). <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103535>
- Yan, H., Liu, Q., Zhao, W., Pang, C., Dong, M., Zhang, H., Gao, J., Wang, H., Hu, B., Yang, L., & Wang, L. (2020). The coupled effect of temperature, humidity, and air movement on human thermal response in hot-humid and hot-arid climates in summer in China. *Building and Environment*, 177(December 2019). <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106898>
- Yao, J., Yang, F., Zhuang, Z., Shao, Y., & Yuan, P. F. (2018). The effect of personal and microclimatic variables on outdoor thermal comfort: A field study in a cold season in Lujiazui CBD, Shanghai. *Sustainable Cities and Society*, 39(February), 181-188. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.02.025>
- Zhang, Z., Zhang, Y., & Ding, E. (2017). Acceptable temperature steps for transitional spaces in the hot-humid area of China. *Building and Environment*, 121, 190-199. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.05.026>
- Zhang, Z., Zhang, Y., & Jin, L. (2018). Thermal comfort in interior and semi-open spaces of rural folk houses in hot-humid areas. *Building and Environment*, 128 (2017), 336-347. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.10.028>
- Zhang, Z., Zhang, Y., & Khan, A. (2020). Thermal comfort of people in a super high-rise building with central air-conditioning system in the hot-humid area of China. *Energy and Buildings*, 209. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109727>

Cómo citar:

Rincón-Martínez J. C., García-Gómez C., & González-Trevizo M. E. (2022). Estimación del rango de confort higrotérmico para exteriores en dos bioclimas extremos de México. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 23 (02), 1-14. <https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2022.23.2.014>