



ISSN 2448-508X

# KUXULKAB'

-Tierra viva o naturaleza en voz Chontal-

Volumen 29

Número 63

Enero-Abril 2023

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco  
División Académica de Ciencias Biológicas



« REVISTA DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA »



**PRÁCTICA DE CAMPO DE UNA ESTUDIANTE DE LA LICENCIATURA EN BIOLOGÍA DURANTE UNA ESTANCIA ACADÉMICA.**  
División Académica de Ciencias Biológicas (DACBio), Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT), Villahermosa, Tabasco; México.

*Fotografía: cortesía de Ma. Guadalupe Rivas Acuña.*



# UJAT

UNIVERSIDAD JUÁREZ  
AUTÓNOMA DE TABASCO

“ ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE ”

## DIRECTORIO

L.D. Guillermo Narváez Osorio  
Rector

Dra. Dora María Frias Márquez  
Secretaria de Servicios Académicos

Dr. Wilfrido Miguel Contreras Sánchez  
Secretario de Investigación, Posgrado y Vinculación

Lic. Alejandro Bastar Cordero  
Encargado de despacho de la Secretaría de Servicios Administrativos

Mtro. Miguel Armando Vélez Téllez  
Secretario de Finanzas

Dr. Arturo Garrido Mora  
Director de la División Académica de Ciencias Biológicas

Dra. Ana Rosa Rodríguez Luna  
Coordinadora de Investigación y Posgrado, DACBioI-UJAT

M. en A. Emilio Ocampo Morales  
Coordinador Administrativo, DACBioI-UJAT

M.I.P.A. Araceli Guadalupe Pérez Gómez  
Coordinadora de Docencia, DACBioI-UJAT

M.C.A. Yessenia Sánchez Alcudia  
Coordinadora de Difusión Cultural y Extensión, DACBioI-UJAT

## COMITÉ EDITORIAL DE KUXULKAB'

Dr. Andrés Reséndez Medina †  
Editor fundador

Biól. Fernando Rodríguez Quevedo  
Editor ejecutivo y encargado

Dra. Coral Jazvel Pacheco Figueroa

Dr. Jesús García Grajales

Dra. Carolina Zequeira Laríos

Dr. Rodrigo García Morales

Dra. María Elena Macías-Valadez Treviño

Ocean. Rafael García de Quevedo Machain

M.C.A. Ma. Guadalupe Rivas Acuña

Dr. Nicolás Álvarez Pliego

Dra. Nelly del Carmen Jiménez Pérez

Dr. Marco Antonio Altamirano González Ortega

Dra. Rocío Guerrero Zárate

Dr. Eduardo Salvador López Hernández

Dra. Nadia Florencia Ojeda Robertos

Dr. Maximiano Antonio Estrada Botello

Dra. Melina del Carmen Uribe López

Dr. José Guadalupe Chan Quijano

Dra. Martha Alicia Perera García

Editores asociados

Dra. Ramona Elizabeth Sanlúcar Estrada

M.C.A. Alma Deysi Anacléto Rosas

Dra. Ena Edith Mata Zayas

M. en Pub. Magally Guadalupe Sánchez Domínguez

Correctores de estilo

M.C.A. María del Rosario Barragán Vázquez

M. en C. Leonardo Noriel López Jiménez

Dra. Violeta Ruiz Carrera

Correctores de pruebas

M.Arq. Marcela Zurita Macías-Valadez

M. en C. Sulma Guadalupe Gómez Jiménez

Traductores

L.I.A. Ervey Baltazar Esponda

Soporte técnico institucional

Téc. Juan Pablo Quiñonez Rodríguez †

Apoyo técnico

## CONSEJO EDITORIAL (EXTERNO)

Dra. Lilia María Gama Campillo

División Académica de Ciencias Biológicas, UJAT - México

Dr. Roberto Carlos González Fócil

Jefe del Departamento de Revistas Científicas, UJAT - México

Dra. Juliana Álvarez Rodríguez

División Académica de Ciencias Económico Administrativas, UJAT - México

Dr. Jesús María San Martín Toro

Universidad de Valladolid (UVA) - España

ISSN 2448-508X

# KUXULKAB'

La revista KUXULKAB' (vocablo chontal que significa «tierra viva» o «naturaleza») es una publicación cuatrimestral de divulgación científica la cual forma parte de las publicaciones periódicas de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco; aquí se exhiben tópicos sobre la situación de nuestros recursos naturales, además de avances o resultados de las líneas de investigación dentro de las ciencias biológicas, agropecuarias y ambientales principalmente.

El objetivo fundamental de la revista es transmitir conocimientos con la aspiración de lograr su más amplia presencia dentro de la propia comunidad universitaria y fuera de ella, pretendiendo igualmente, una vinculación con la sociedad. Se publican trabajos de autores nacionales o extranjeros en español, con un breve resumen en inglés.

KUXULKAB' se encuentra disponible en su portal electrónico a **texto completo** y en **acceso abierto**, así como en diversas plataformas editoriales, directorios y catálogos de revistas:



### Revistas Universitarias

Portal electrónico de las publicaciones periódicas de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT).



### Repositorio Institucional UJAT

Plataforma desarrollada con el aval del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT); cuenta con un acervo académico, científico, tecnológico y de innovación de la universidad.



### Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Red de instituciones que reúnen y diseminan información sobre las publicaciones científicas seriadas producidas en Iberoamérica.



### PERIÓDICA - Índice de Revistas Latinoamericanas en Ciencias

Base de datos bibliográfica de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), con registros publicados América Latina y el Caribe, especializadas en ciencia y tecnología.



### Google académico - Google Scholar

Buscador de Google enfocado y especializado en la búsqueda de contenido y bibliografía científico-académica (artículos, tesis, libros, patentes, etcétera).



### BASE - Bielefeld Academic Search Engine

Motor de búsqueda más voluminosos del mundo, especialmente para recursos web académicos; es operado por la biblioteca de la Universidad de Bielefeld (Bielefeld, Alemania).



### MIAR - Matriz de Información para el Análisis de Revistas

Matriz con repertorio de revistas y bases de datos de indexación (citas, multidisciplinarias o especializadas), con el propósito de identificar revistas científicas.



### fatcat! - Perpetual Access to the Scholarly Record

Catálogo de publicaciones de investigación que incluye artículos de revistas, actas de congresos y conjuntos de datos.



### OAJI - Open Academic Journals Index

Base de datos internacional para indexar revistas científicas de acceso abierto; es manejada por la Universidad Global de Cherkas (United States of America).



## Nuestra portada:

«Uno de los maculís (*Tabebuia rosea*) del Jardín Botánico 'José N. Rovirosa' de la DACBioI-UJAT».

## Diseño de:

Fernando Rodríguez Quevedo (DACBioI-UJAT).

Fotografías de: Marcela Alejandra Cid Martínez, (DACBioI-UJAT).

KUXULKAB', año 29, No. 63, enero-abril 2023; es una publicación cuatrimestral editada por la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT) a través de la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBioI). Av. Universidad s/n, Zona de la Cultura; Col. Magisterial; Villahermosa, Centro, Tabasco, México; C.P. 86040; Tel. (993) 358 1500, 354 4308, extensión 6415; <https://revistas.ujat.mx>; [kuxulkab@ujat.mx](mailto:kuxulkab@ujat.mx). Editor responsable: Fernando Rodríguez Quevedo (encargado). Reservas de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2013-090610320400-203; ISSN: 2448-508X, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número: Editor ejecutivo, Fernando Rodríguez Quevedo; Carretera Villahermosa-Cárdenas km 0.5; entronque a Bosques de Saloya; CP. 86039; Villahermosa, Centro, Tabasco; Tel. (993) 358 1500, 354 4308, extensión 6415; Fecha de la última modificación: 16 de enero de 2023.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la revista, ni de la DACBioI y mucho menos de la UJAT. Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.



# Editorial

## Estimados lectores:

Desearo se encuentren bien, e iniciando un promotor año nuevo; en esta oportunidad nos dirigimos para presentar el primer número de **Kuxulkab'** para este 2023; continuando en reforzar los esfuerzos para mantener nuestra presencia. Este número, cuenta con tres aportaciones donde, tenemos información respecto a diversos procesos de manejo ambiental así como de aspectos microbiológicos hasta un estudio a un parque ecológico- turístico.

En exposición a la forma de trabajo en la revista, proporcionamos una sinopsis de las aportaciones que conforman esta publicación:

«**EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN TÉRMICA DE UN ESPACIO INTERIOR: UN ENFOQUE SIMPLE, PRÁCTICO Y ECONÓMICO**»; texto en el cual se muestra un procedimiento para evaluar la condición térmica (temporada de calor), de un espacio interior como lo es un cubículo de profesores.

«**MICROBIOLOGÍA: LA PALINOLOGÍA Y SU IMPORTANCIA**», aportación que manifiesta la relevancia del estudio del polen y esporas dentro de los campos de trabajo de la microbiología tomando en cuenta la dispersión, preservación y su aplicación para beneficio de la sociedad.

«**CAPACIDAD DE CARGA Y REFERENTE DE RESILIENCIA ECOLÓGICA DEL PARQUE ESTATAL AGUA BLANCA**»; participación que brinda un análisis respecto a la capacidad de carga turística de cada una de las áreas de uso turístico que integran el Parque Estatal Agua Blanca, en Tabasco (México).

La consolidación de este número es un esfuerzo en conjunto con autores, evaluadores, editores asociados y demás miembros del comité editorial de esta revista. Agradecemos, a cada uno de ellos, su apoyo y entusiasmo de colaborar en la divulgación de la ciencia con estándares de calidad emanados por esta casa de estudios. Esperamos vernos pronto.

*Arturo Garrido Mora*  
DIRECTOR DE LA DACBIOL-UJAT

*Fernando Rodríguez Queredo*  
EDITOR EJECUTIVO DE KUXULKAB'

# Contenido

---

## **EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN TÉRMICA DE UN ESPACIO INTERIOR: UN ENFOQUE SIMPLE, PRÁCTICO Y ECONÓMICO** e5291

EVALUATION OF THE THERMAL CONDITION OF AN INTERIOR SPACE: A SIMPLE, PRACTICAL AND ECONOMIC APPROACH

*Sergio Ramos Herrera, Elizabeth Magaña Villegas & Jesús Manuel Carrera Velueta*

## **MICROBIOLOGÍA: LA PALINOLOGÍA Y SU IMPORTANCIA** e5549

MICROBIOLOGY: PALYNOLOGY AND ITS IMPORTANCE

*Marcela Alejandra Cid Martínez*

## **CAPACIDAD DE CARGA Y REFERENTE DE RESILIENCIA ECOLÓGICA DEL PARQUE ESTATAL AGUA BLANCA** e5317

CARRYING CAPACITY AND REFERENCE OF ECOLOGICAL RESILIENCE OF THE AGUA BLANCA STATE PARK

*Mariela Conchita Romero Juárez, Carolina Zequeira Larios, Lilia María Gama Campillo & José Luis Martínez Sánchez*

---

LA SCILLINA ES NO PERDER DE VISTA LO QUE SE DESEA ALCANZAR





## EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN TÉRMICA DE UN ESPACIO INTERIOR: UN ENFOQUE SIMPLE, PRÁCTICO Y ECONÓMICO

### EVALUATION OF THE THERMAL CONDITION OF AN INTERIOR SPACE: A SIMPLE, PRACTICAL AND ECONOMIC APPROACH

Sergio Ramos Herrera<sup>1</sup>✉, Elizabeth Magaña Villegas<sup>2</sup> & Jesús Manuel Carrera Velueta<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Maestro en Ingeniería y Protección Ambiental (MIPA) por la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT). Actualmente, profesor-investigador e integrante del Cuerpo Académico Consolidado de «Evaluación y Tecnología Ambiental (CACETI)» en la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBioI) de la UJAT. <sup>2</sup>Maestra en Ingeniería en Sistemas Ambientales por el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM). Es profesora-investigadora e integrante del CACETI en la DACBioI-UJAT. <sup>3</sup>Maestro en Inteligencia Artificial por la Universidad Veracruzana (UV). Presentemente profesor-investigador e integrante del CACETI en la DACBioI-UJAT.

División Académica de Ciencias Biológicas (DACBioI); Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT); Carretera Federal #180 (Villahermosa-Cárdenas) km 0.5 S/N; entronque a Bosques de Saloya; C.P. 86150. Villahermosa, Tabasco; México.

✉ sergiorhe@hotmail.com

 <sup>1</sup> 0000-0001-6618-0452  <sup>2</sup> 0000-0003-1373-5703

 <sup>3</sup> 0000-0001-6707-183X

#### Como referenciar:

Ramos Herrera, S.; Magaña Villegas, E. & Carrera Velueta, J.M. (2023). Evaluación de la condición térmica de un espacio interior: un enfoque simple, práctico y económico. *Kuxulkab'*, 29(63): e5291, enero-abril. <https://doi.org/10.19136/kuxulkab.a29n63.5291>

#### Disponible en:

<https://revistas.ujat.mx>

<https://revistas.ujat.mx/index.php/kuxulkab>

<https://revistas.ujat.mx/index.php/kuxulkab/article/view/5291>

#### DOI:

<https://doi.org/10.19136/kuxulkab.a29n63.5291>

#### Resumen

Gran parte de nuestro tiempo lo pasamos en espacios cerrados, que en el mejor de los casos cuenta con aire acondicionado como sinónimo de confort térmico adecuado. Pero cuando falla la energía o el equipo de aire acondicionado, abrir puertas y ventanas muchas veces no produce la comodidad esperada por los ocupantes. El objetivo de este texto es mostrar un procedimiento sencillo para evaluar la condición térmica, en temporada de calor, de un espacio interior ocupado tomando como ejemplo un cubículo de profesores. Los parámetros ambientales del interior se obtuvieron de equipo sencillo y sensores de bajo costo programados con la tarjeta Arduino Uno. Se muestra el uso de calculadoras simples en internet y modelos matemáticos sencillos para estimar la concentración esperada de dióxido de carbono en el cubículo, un indicador del nivel de ventilación. Empleando el índice de calor se obtuvo que la condición térmica del cubículo fue de «precaución extrema».

**Palabras clave:** Índice de calor; Ventilación natural; Modelo matemático; Arduino Uno; Calculadoras de CO<sub>2</sub>.

#### Abstract

Much of our time is spent in closed spaces, which in the best of cases have air conditioning as a synonym for adequate thermal comfort. But when the power or air conditioning equipment fails, opening doors and windows often does not produce the comfort expected by the occupants. The objective of this article was to show a simple procedure to evaluate the thermal condition, in hot season, of an occupied interior space using a teacher's cubicle as an example. The environmental parameters of the interior were obtained from simple equipment and low-cost sensors programmed with the Arduino uno card. Simple calculators on the internet and simple mathematical models are shown to be used to estimate the expected carbon dioxide concentration in the cubicle, an indicator of the level of ventilation. Using the heat index, it was obtained that the thermal condition of the cubicle was «extreme caution».

**Keywords:** Heat Index; Natural ventilation; Mathematical model; Arduino Uno; CO<sub>2</sub> calculators.

Las personas pasan más tiempo en oficinas, gimnasios, aulas de clase, auditorios, en su casa y otros tipos de espacio interior ocupado, que en espacios abiertos o públicos. Por lo tanto, no solo es importante cuidar la calidad del aire interior que respiran, sino también mantener condiciones térmicas —por ejemplo, humedad y temperatura interior— adecuadas para brindar buen confort térmico a los ocupantes.

La forma típica de lograr estas condiciones es colocando algún tipo de aislante térmico en el techo de las casas o edificios o el uso de equipo de aire acondicionado. Todo marcha bien hasta que falla la energía eléctrica o se descompone el equipo. La medida que se toma en esos casos es ventilar naturalmente el espacio abriendo puertas y ventanas y encendiendo ventiladores de techo o de pared mientras se resuelve el problema.

Aquellos espacios que de manera prolongada o de forma permanente carecen de aire acondicionado, son más propensos a mantener niveles de incomodidad térmica. Si bien la ventilación natural puede ayudar a mejorar el comodidad térmica, no garantiza un nivel de confort adecuado, tal vez por las condiciones térmicas del exterior o porque el edificio no se diseñó para beneficiarse al máximo de la ventilación natural. Algunos factores que se deben tomar en cuenta en el diseño son: la orientación del edificio, la ubicación de las ventanas, la cercanía de otros edificios, la temporada o época del año y el tipo de ventilación natural más adecuado (Stouhi, 2021; Alghamdi, Tang, Kanjanabootra & Alterman, 2022).

Ahora bien, para evaluar la condición térmica de un espacio lo ideal sería registrar de forma automática la temperatura y humedad relativa interior y cada cierto intervalo de tiempo, por ejemplo, cada dos minutos.

Aquí lo adecuado es un dispositivo que tome la lectura y registre automáticamente el dato. Un dispositivo así tiene un costo que ronda entre los \$ 2,000 y \$ 5,000 pesos (mexicanos). Otra opción, es emplear sensores económicos controlados con el microcontrolador «Arduino uno». El costo de este dispositivo es de aproximadamente \$ 400 pesos. Claro, requiere de alguien que pueda programarlo, pero ya que tal dispositivo es muy conocido, hay mucha ayuda en internet sobre como armar el circuito y programar los sensores. Además, es una aplicación práctica para quienes tomaron algún curso de programación básica, y cuya competencia también tiene que ver con el monitoreo de variables ambientales.

Este fue el enfoque que se siguió en un ejercicio para determinar la condición térmica de un espacio interior ubicado en las instalaciones de la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBiología) de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT). El objetivo fue mostrar una metodología sencilla para evaluar la condición térmica de cualquier espacio interior, pero en condiciones de ventilación natural, sin el uso del aire acondicionado. Algunas preguntas que saltan a la vista son las siguientes: ¿Qué niveles de temperatura y humedad relativa se alcanzarían si no hay aire acondicionado?, ¿Qué tan bien ventilado está el espacio?

El espacio seleccionado fue un cubículo ocupado por seis profesores pero que, debido a las diversas actividades, comúnmente coinciden cuando mucho hasta tres profesores en un momento dado del día. El cubículo tiene un volumen de 173 metros cúbicos ( $m^3$ ) y un área de 58 metros cuadrados ( $m^2$ ), que corresponde a una densidad de ocupación de 6.6  $m^2$ /persona. Tiene una puerta de acceso de 1.00×2.20 metros y dos ventanas que dan hacia el exterior de 1.11×1.52 metros, pero solo una de estas ventanas es de fácil apertura (figura 1).

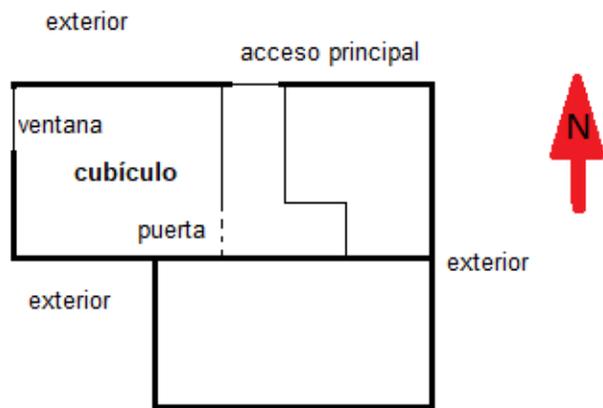


Figura 1. Boceto del cubículo de profesores.

La idea surgió a raíz de la falta de aire acondicionado y la época del año. En Tabasco, en los meses de marzo a mayo, son períodos muy calurosos. De hecho, según las normales climatológicas, para la ciudad de Villahermosa, donde se ubica la DACBioI, mayo es el mes más caluroso del año. Tiene la temperatura máxima más alta (43.5 grados Celsius) y la temperatura promedio más alta (35.2 °C) con relación a los otros meses del año (SMN, s.f.). Además, el viento dominante de la zona proviene del este y no favorece significativamente la ventilación impulsada por el viento, ya que el edificio tiene una orientación este-oeste.

Para determinar la condición térmica del cubículo, se decidió medir la temperatura y humedad relativa con un «Sensor DHT22» programado con una «tarjeta Arduino uno» para tomar lecturas cada dos minutos y llevar un registro automático de los datos. Para lograr esto se buscó en internet tutoriales que muestran detalladamente el circuito y el código para obtener los datos (Afzal, 2016; Padin, s.f.) afortunadamente hay mucha información al respecto.

Para determinar las condiciones de ventilación se midió la concentración interior de dióxido de carbono

(CO<sub>2</sub>) con un detector portátil, tomando lecturas manuales cada 10 minutos; esto último implicó estar presente durante la jornada de trabajo, ya que el dispositivo es económico y no cuenta con registro automático de datos. Las lecturas normalmente se llevaron a cabo entre las 09:00 y 15:00 horas. Las mediciones se realizaron en dos periodos: del 14 al 24 de marzo y del 01 al 24 de mayo del 2022.

### Condición térmica del cubículo

Durante los dos periodos de mediciones, los ocupantes del cubículo entraban a distintas horas y de acuerdo con su percepción abrían una puerta, la ventana o ambas, o usaban el ventilador del aire acondicionado para refrescar el espacio. Al inicio pareció buena idea anotar la hora del día que la puerta y la ventana permanecían abierta pero después se volvió tedioso y se optó por no llevar el registro. Así que la condición térmica del cubículo se evaluó en condiciones de uso real.

Una forma sencilla de evaluar la condición térmica de un espacio interior es determinando el rango de temperatura y humedad que se alcanzan, es decir, indicando el valor máximo y mínimo observado. Esto se puede hacer con los datos originales, por supuesto, después de validarlos. Por ejemplo, en marzo, la temperatura interior del cubículo varió entre los 24.9 y 31.9 grados Celsius y la humedad relativa varió entre 63 y 80 %. En mayo, la temperatura se registró y varió entre los 29.3 y 35.0 °C y la humedad relativa varió entre 44 y 73 %.

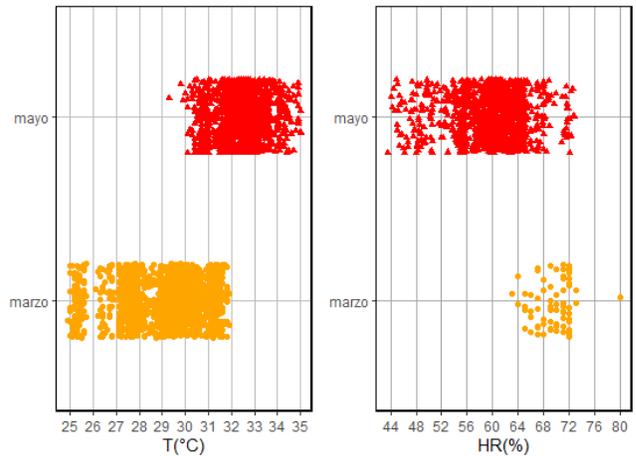
Una forma de representar esta información de forma visual es mediante una gráfica de dispersión unidimensional como la de la gráfica 1; claramente se observa que en mayo las temperaturas fueron mayores que en marzo, por ejemplo. Otra forma sencilla de hacer la evaluación es indicando la variación de la temperatura con la hora del día.

Para esto, los datos originales se agrupan por hora del día sin importar la fecha en particular y para cada grupo se obtienen estadísticos simples como la media o la mediana. Los gráficos de caja son idóneos para mostrar los resultados. La gráfica 2 es un ejemplo de este tipo de gráficas y muestra como varió la temperatura en el cubículo según la hora del día y el mes. Es fácil ver que en mayo la temperatura con la hora del día fue mayor que en marzo. La gráfica se puede explicar con más detalles si se usan como medidas de tendencia central la mediana (indicado por la barra negra horizontal dentro de las cajas) o la media (indicada por el punto negro dentro de las cajas).

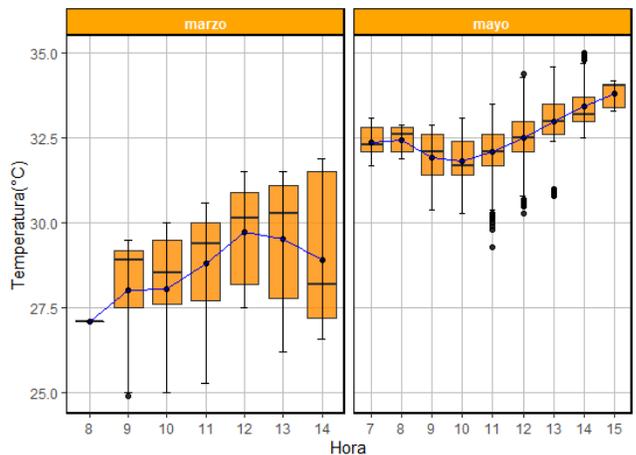
De acuerdo con la gráfica 2, en marzo la temperatura más alta fue de 30.3 grados Celsius y se presentó a las 13:00 horas, mientras que en mayo fue de 34 °C y ocurrió a las 15:00 horas. Particularmente en mayo, la temperatura del aire interior del cubículo fue aumentando desde las 10:00 hasta las 15:00 h a un ritmo de casi medio grado de temperatura por hora (0.46 C/h).

En la gráfica 3 se puede observar el comportamiento de la humedad relativa con la hora del día, y muestra que en marzo la humedad fue mayor a las 08:00 h (72 %) y en mayo fue mayor a las 09:00 h (64 %). En ambos casos, la humedad descendió con la hora del día: desde las 08:00 h en marzo y a partir de las 09:00 h en mayo a un ritmo de 0.7 y 2.0 porcentual por hora (%h<sup>-1</sup>) respectivamente.

Por último, la condición térmica de un espacio se puede evaluar también con el índice de calor (IC). El IC combina la temperatura del aire y la humedad relativa para obtener una temperatura equivalente percibida por el ser humano; por eso, también se le conoce como temperatura aparente.

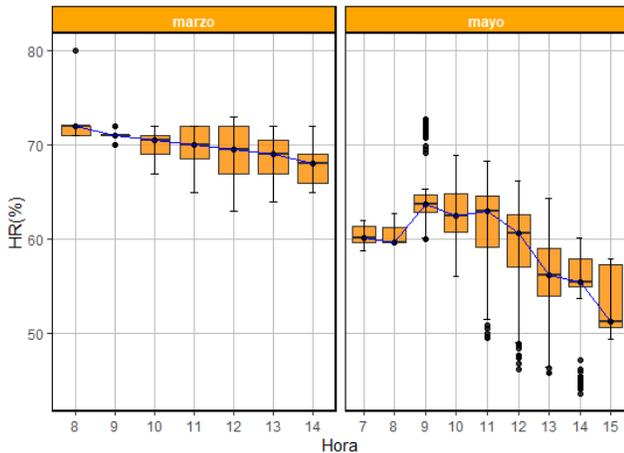


**Gráfica 1.** Variación de la temperatura y humedad relativa interior del cubículo en los meses de marzo y mayo.

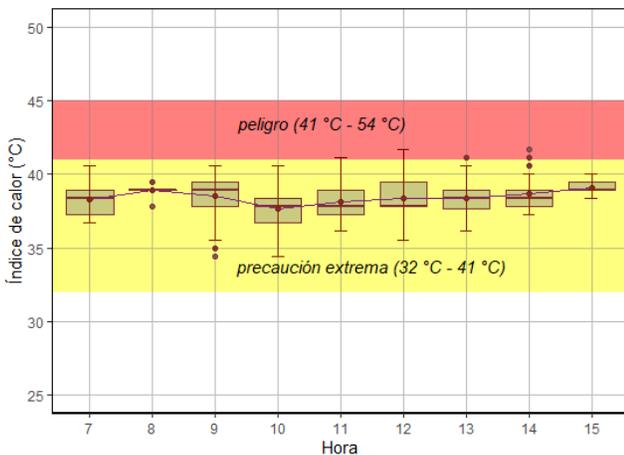


**Gráfica 2.** Comportamiento de la temperatura con la hora del día en el cubículo durante marzo y mayo de 2022.

Este índice tiene cuatro escalas de temperatura aparente y una calificación del posible riesgo. Por ejemplo, «precaución» si la temperatura varía entre 27 y 32 grados Celsius y «precaución extrema» si varía entre 32 y 41 °C. La ecuación que se utiliza para el cálculo del IC requiere de los datos de temperatura y humedad relativa del interior y se puede consultar en varias referencias de internet (NWS, 2022a; Wikipedia, 2022).



**Gráfica 3.** Comportamiento de la humedad relativa con la hora del día en el cubículo durante marzo y mayo de 2022.



**Gráfica 4.** Comportamiento del índice de calor con la hora del día en el cubículo en mayo de 2022.

La gráfica 4 muestra el índice de calor (IC) percibido en el interior del cubículo en el mes de mayo y con franjas de colores el rango del IC que corresponde a «precaución» y «precaución extrema» según el diagrama de «Probabilidad de trastornos por calor con exposición prolongada o actividad extenuante» (NWS, 2022b; Wikipedia, 2022). Definitivamente, el IC percibido en el cubículo estuvo en el rango de «precaución extrema».

Según el diagrama citado, una persona podría experimentar calambre y agotamiento por calor y de continuar en esa condición, hasta un golpe de calor. El NWS (2022b) considera que hay que estar alerta cuando el índice supera los 41.5 grados Celsius durante dos días consecutivos.

### Ventilación del cubículo

Todas las personas emiten al ambiente dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) debido al proceso de la respiración humana. La cantidad, en masa o volumen, que se emite por unidad de tiempo —tasa de generación de CO<sub>2</sub>— depende del tipo de actividad que la persona esté realizando. En términos generales, se estima que una persona adulta que está sentada leyendo, escribiendo a máquina o realizando una actividad parecida, libera unos 20 litros de CO<sub>2</sub> por hora (The Engineering ToolBox, 2004a; 2004b).

Si estas personas se encuentran en un espacio cerrado, la concentración de CO<sub>2</sub> aumentará con el tiempo y si tiene ventilación natural (a través de puertas y ventanas abiertas) o forzada (con extractor de aire, por ejemplo) alcanzará un valor fijo después de cierto tiempo. Por lo que, los niveles alcanzados de CO<sub>2</sub> indican si un espacio está bien ventilado o no.

Típicamente, si la concentración de CO<sub>2</sub> es menor que 1,000 partes por millón (ppm) se considera que el espacio está bien ventilado. Si la concentración es muy superior a 1,000 ppm se considera que el espacio está mal ventilado. Si hay mala ventilación, una exposición prolongada a concentraciones superiores a 1,000 ppm produce efectos que, aunque podrían no ser mortales, si generan incomodidad, por ejemplo, somnolencia, mareo, falta de aire, etcétera, debido a que el mismo CO<sub>2</sub> que la persona exhala lo vuelve a respirar (The Engineering Toolbox, 2008; Bonino, 2016).

Una forma sencilla de saber que concentración de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) se pueden alcanzar en un espacio cerrado ocupado por cierta cantidad de personas es el uso de calculadoras online.

La calculadora de la página web "The Engineering Toolbox" es fácil de usar (The Engineering Toolbox, 2004b). Por ejemplo, considerando a tres personas en una habitación de  $173 \text{ m}^3$ , respirando 20 litros de  $\text{CO}_2$  por hora, con una concentración inicial y entrante de 380 ppm, tasa de intercambio de aire de  $0.25 \text{ h}^{-1}$  y un tiempo de permanencia de una hora, la concentración estimada fue de 687 ppm (figura 2). Cuando han pasado dos, tres y cuatro horas, las concentraciones respectivas estimadas fueron 926, 1,122 y 1,257 ppm. Según la calculadora, tres horas después la concentración de  $\text{CO}_2$  será superior a 1,000 ppm.

Hay calculadoras un poco más sofisticadas como la de la página web "Omni Calculator". Suponiendo un cuarto no ventilado, que está vacío originalmente, donde tres personas permanecen durante ocho horas realizando trabajo no extenuante, la calculadora estima concentraciones de 15,098 a 22,035 ppm; si suponemos una oficina de negocios la concentración esperada es de 377 ppm y si suponemos un cuarto de conferencias 283 ppm (Alambra & Czernia, 2022).

Calculadoras, como las anteriores, emplean ecuaciones matemáticas para estimar la concentración de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) en espacios ocupados. Para obtener estas ecuaciones, primero se realiza un balance de masa para el  $\text{CO}_2$  que emiten las personas en el proceso de respiración. El balance corresponde a una habitación, cuarto u oficina con puertas y ventanas que puede estar cerradas o abiertas y en donde hay cierta cantidad de personas (figura 3).

El resultado del balance es una ecuación diferencial cuya solución es otra ecuación que permite calcular la concentración de  $\text{CO}_2$  en el aire interior. Es fácil hacer este tipo de balances de masa.

Si deseas saber más de este tema, recomendamos visitar el sitio electrónico "LearnChemE" (<https://learncheme.com>). También puedes resolver la ecuación diferencial de balance de masa con ayuda de motores matemáticos en internet como "WolframAlpha" ([www.wolframalpha.com](http://www.wolframalpha.com)).

Figura 2. Imagen de una calculadora que estima  $\text{CO}_2$  en un compartimento simple ocupado.

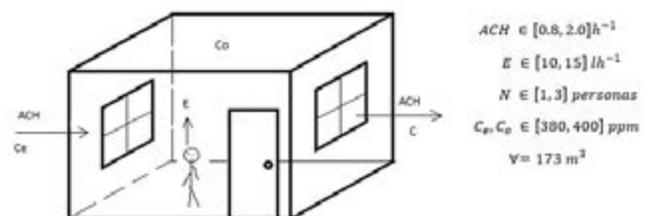


Figura 3. Esquema de un balance de masa del  $\text{CO}_2$  interior en un compartimento simple.

Así, si el espacio está cerrado, el cálculo de la concentración de  $\text{CO}_2$  se hace con la ecuación uno y si esta ventilado (natural o artificialmente) con la ecuación dos (figura 4).

**Ecuación 1:**

$$C(t) = C_o + \left(\frac{N \cdot E}{V}\right) \cdot t$$

**Ecuación 2:**

$$C(t) = \left(C_e + \frac{N \cdot E}{ACH \cdot V}\right) \cdot (1 - e^{-ACH \cdot t}) + C_o \cdot e^{-ACH \cdot t}$$

**Figura 4.** Ecuaciones para el cálculo de la concentración de CO<sub>2</sub>.

En ambas ecuaciones,  $E$  es la tasa de emisión de CO<sub>2</sub> en litros por hora por persona,  $C_o$  es la concentración inicial de CO<sub>2</sub> en la habitación y  $C_e$  es la concentración de CO<sub>2</sub> en el aire exterior, que en áreas no contaminadas puede ser de 380 a 400 ppm, es el volumen del espacio en metros cúbicos (m<sup>3</sup>),  $N$  es el número de ocupantes en el cuarto y  $ACH$ , es la tasa de intercambio de aire por hora.

Muchas veces, la concentración obtenida con un modelo matemático y el valor medido no son el mismo. Esto se debe a la incertidumbre asociada a los valores de los parámetros de los modelos. Por ejemplo, en condiciones de uso reales, a veces es impráctico llevar un registro exacto del número  $N$  de personas que ocuparon el espacio durante cada hora de trabajo o estancia. También hay que considerar que la tasa de emisión  $E$  de CO<sub>2</sub> de cada individuo es variable; no solo depende de la actividad que realice la persona, sino que incluso depende de su edad, peso y talla. Por otra parte, aún en un caso sencillo es difícil conocer de antemano la tasa de intercambio de aire  $ACH$  que se asocia al flujo de aire que entra del exterior al interior. Porque habrán de saber que, aunque un espacio esté cerrado, hay aberturas alrededor de ventanas y puertas por donde el aire puede fluir del exterior al interior y viceversa.

Una forma de lograr que las ecuaciones uno y dos den resultados comparables con los valores observados, es asociar en lugar de un valor fijo, un rango adecuado de valores a los parámetros:  $ACH$ ,  $E$ ,  $N$ ,  $C_o$  y  $C_e$ . Posteriormente, la concentración se calcula muchas veces permitiendo que se asigne un

valor aleatorio a los parámetros cada vez que se realiza un cálculo y después se toma un valor representativo como la media o la mediana. Esto requiere un poco de programación y fue el procedimiento seguido para simular la concentración de CO<sub>2</sub> esperada en el cubículo de profesores.

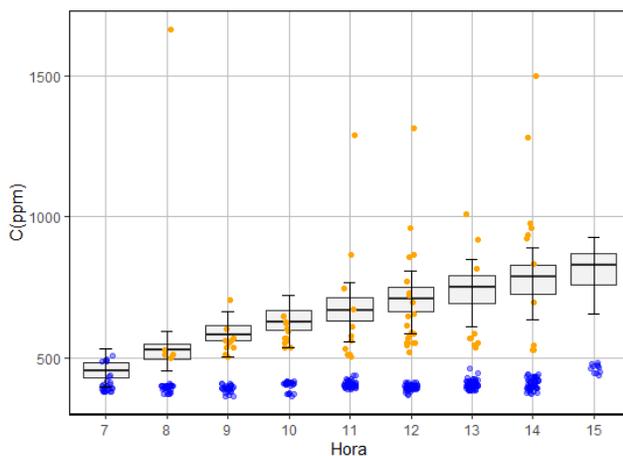
Mediante y a través de un entorno y lenguaje de programación con un enfoque al análisis estadístico como es el programa «R<sup>®</sup>», se calculó la concentración de CO<sub>2</sub> asignando valores aleatorios a  $ACH$ ,  $E$ ,  $N$ ,  $C_o$  y  $C_e$  dentro del rango mostrado en la figura 3. Por ejemplo, con la función "sample" se seleccionó un valor de entre 1, 2, 3 para  $N$  y del mismo modo se seleccionó la condición del cubículo: 0 con puertas y ventanas cerradas y 1 con puertas y ventanas abiertas. Con la función "runif" se simuló una distribución uniforme de los parámetros  $ACH$ ,  $E$ ,  $C_o$  y  $C_e$ . Los detalles de la corrida pueden consultarse en línea en el portal de publicaciones de «Rpubs» (Ramos, 2022).

La gráfica 5 muestra la concentración de CO<sub>2</sub> medida en el cubículo y los valores estimados con las ecuaciones uno y dos anteriores. Los marcadores de color naranja corresponden a las lecturas de la concentración en el mes de marzo con el detector portátil. Los marcadores azules corresponden a los valores medidos el 23 y 24 de mayo con un detector con registro automático de datos cada dos minutos y no fue necesario estar presente, así que la mayor parte del tiempo el cubículo permaneció desocupado. La gráfica de cajas corresponde a los resultados obtenidos con las ecuaciones uno y dos, donde para cada hora del día se hicieron mil repeticiones del cálculo de la concentración de CO<sub>2</sub>.

En marzo, la concentración de CO<sub>2</sub> en el cubículo varió entre 498 y 1,665 ppm. Durante mayo, la concentración de CO<sub>2</sub> varió entre 364 y 507 ppm. Los datos de marzo muestran que la concentración de CO<sub>2</sub> aumento con la hora del día.

Las concentraciones simuladas mostraron también la misma tendencia. Aunque hubo valores individuales que en marzo excedieron las 1,000 ppm (el 7 % del total), la tendencia horaria fue a registrar concentraciones medianas menores a 1,000 ppm en el cubículo.

Se puede ultimar que el cubículo tiene una ventilación adecuada que no permite que se acumule el CO<sub>2</sub> o también podría significar que el volumen, 173 m<sup>3</sup>, es grande como para que el aire interior mantenga diluida la concentración por varias horas.



Gráfica 5. Comportamiento de la concentración de CO<sub>2</sub> en ppm en condiciones de uso reales

## Conclusión

Usando como criterio el índice de calor y el diagrama de «Probabilidad de trastornos por calor con exposición prolongada o actividad extenuante», la temperatura y la humedad relativa ubicaron la condición térmica del cubículo en el rango de «precaución extrema» en el mes de mayo.

Por otro lado, los niveles de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) indicaron que el cubículo tiene una ventilación

aceptable en condiciones de uso real aun con la condición térmica observada que hace la estancia desagradable a los ocupantes. La condición térmica se podría mejorar si se instala por lo menos un ventilador de techo y se adecua una ventana para favorecer más el intercambio de aire con el exterior.

Ahora, tomando en cuenta que las olas de calor están aumentando, sería bueno empezar a evaluar la condición térmica y la tasa de ventilación de los espacios interiores comunes, como viviendas familiares, por ejemplo, para proporcionar alternativas que mejoren el confort térmico en condiciones naturales o con ventilación forzada, pero económica. Esto permitirá hacer ajustes al espacio.

Pensando un poco más allá, quienes diseñan oficinas, residencias familiares, etcétera, deberían incluir simulaciones computacionales para evaluar el confort térmico de modo que se premie la ventilación natural al máximo.

## Referencias

Afzal, M. (2016, April 17). Temperature monitoring with DHT22 & Arduino. *Hackster, community dedicated to learning hardware* [Web]. Accessed July 27, 2022 in <https://www.hackster.io/mafzal/temperature-monitoring-with-dht22-arduino-15b013>

**Alambra, K. & Czernia, D.** (2022). CO<sub>2</sub> Breathing Emission Calculator. *Omni Calculator* [Web]. Accessed July 27, 2022, in <https://www.omnicalculator.com/ecology/co2-breathing-emission#do-humans-breathe-out-carbon-dioxide>

**Alghamdi, S.; Tang, W.; Kanjanabootra, S. & Alterman, D.** (2022). Effect of architectural building design parameters on thermal comfort and energy Consumption in higher education buildings. *Buildings*, 12(4): 329. <https://dx.doi.org/10.3390/buildings12030329>

**Bonino, S.** (2016, April 01). Carbon dioxide detection and indoor air quality control. *Occupational Health & Safety (OH&S)* [Web]. Accessed July 27, 2022, in <https://ohsonline.com/articles/2016/04/01/carbon-dioxide-detection-and-indoor-air-quality-control.aspx>

**NWS (National Weather Services).** (2022a). What is the heat index?. *NWS - National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)* [Web]. Accessed July, 27, 2022, in <https://www.weather.gov/ama/heatindex>

**NWS (National Weather Services).** (2022b). Heat forecast tools?. *NWS - National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)* [Web]. Accessed July, 27, 2022, in <https://www.weather.gov/safety/heat-index>

**Padin Romero, B.** (s.f.). Sensores: Sensor DHT22 de humedad y temperatura. *Sensores de bajo coste en el laboratorio de Física - Física con Arduino* [Web]. Consultado el 29 de julio del 2022, en <https://fisica-arduino.gitbook.io/sensores/sensores/sensor-de-humedad-dht22>

**Ramos Herrera, S.** (2022, septiembre). Simulación de la calidad del aire interior con R. *R Pubs by RStudio - Easy web publishing from R* [Web]. Consultado el 04 de septiembre de 2022, en <https://rpubs.com/Sergiorhe/calidad-aire-interior>

**SMN (Servicio Meteorológico Nacional).** (s.f.) Normales climatológicas por Estado: Tabasco. *SMN - Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)* [Web]. Consultado el 29 de julio del 2022, en <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/normales-climatologicas-por-estado?estado=tab>

**Stouhi D.** (2021, June 23). Back to basics: natural ventilation and its use in different contexts. *ArchDaily, part of DAAily platforms AG* [Web]. Accessed July, 24, 2022, in <https://www.archdaily.com/963706/back-to-basics-natural-ventilation-and-its-use-in-different-contexts>

**The Engineering ToolBox.** (2004a). Carbon dioxide emission from the human body vs. Activity. *The engineering ToolBox - Resources, Tools and Basic Information for Engineering and Design of Technical Applications!* [Web]. Accessed July 27, 2022, in [https://www.engineeringtoolbox.com/co2-persons-d\\_691.html](https://www.engineeringtoolbox.com/co2-persons-d_691.html)

**The Engineering ToolBox.** (2004b). Carbon dioxide concentration in rooms occupied with people. *The engineering ToolBox - Resources, Tools and Basic Information for Engineering and Design of Technical Applications!* [Web]. Accessed July 27, 2022, in [https://www.engineeringtoolbox.com/pollution-concentration-rooms-d\\_692.html](https://www.engineeringtoolbox.com/pollution-concentration-rooms-d_692.html)

**The Engineering ToolBox.** (2008). Carbon Dioxide Concentration - Comfort Levels. *The engineering ToolBox - Resources, Tools and Basic Information for Engineering and Design of Technical Applications!* [Web]. Accessed July 27, 2022, in [https://www.engineeringtoolbox.com/co2-comfort-level-d\\_1024.html](https://www.engineeringtoolbox.com/co2-comfort-level-d_1024.html)

**Wikipedia.** (2022). Heat index. *Wikipedia, The Free Encyclopedia* [Web]. Accessed July, 29, 2022, in [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Heat\\_index&oldid=1275214313](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Heat_index&oldid=1275214313)





**ÁRBOL DE MACULÍS *Tabebuia rosea* (Bertol.) Bertero ex A.DC., EN EL «JARDÍN BOTÁNICO JOSÉ N. ROVIROSA».**  
División Académica de Ciencias Biológicas (DACBIol); Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT), Villahermosa, Tabasco; México.

*Fotografía: cortesía de Marcela Alejandra Cid Martínez.*

«La disciplina es no perder de vista lo que se desea alcanzar»

DACBiol



**EJEMPLAR DE JABONCILLO (*Sapindus saponaria*), FRENTE A LA BIBLIOTECA «DR. JUAN JOSÉ BEAUREGARD CRUZ».**  
División Académica de Ciencias Biológicas (DACBiol); Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT). Villahermosa, Tabasco; México.

*Fotografía: cortesía de Jaquelina Gamboa Aguilar.*



**KUXULKAB'**

División Académica de Ciencias Biológicas; Universidad Juárez Autónoma de Tabasco

☎ +52 (993) 358 1500, 354 4308 ext. 6415

✉ kuxulkab@ujat.mx

🌐 www.revistas.ujat.mx

Carretera Villahermosa-Cárdenas km 0.5, entronque a Bosques de Saloya. C.P. 86039.  
Villahermosa, Tabasco. México.