

# Efecto del calentamiento global en la franja de condensación atmosférica en la península de Yucatán

## Effect of global warming on the moisture condensation band in the Yucatan peninsula

Mario Castelán Lorenzo<sup>1</sup>

• Recibido: 23/05/2024  
• Aceptado: 04/10/2024  
• Publicado: 07/11/2024

### Resumen

El calentamiento global tiene varios efectos en el comportamiento de los fenómenos atmosféricos, uno de ellos es la afectación en la condensación de humedad atmosférica. El objetivo de este trabajo fue determinar la franja de condensación en tres localidades de la Península de Yucatán, México, utilizando datos climatológicos correspondientes a las décadas de 1980 y 2010. Se utilizaron los parámetros temperatura de bulbo seco y bulbo húmedo para calcular la altitud de condensación empleando tablas psicrométricas. Los resultados indican un aumento en la temperatura media, lo cual evidencia un cambio en la altitud de condensación. En Mérida, Yucatán, para el primer periodo la franja de condensación oscilaba entre 308 y 862 m de altitud con una temperatura de 25.2°C. Con un incremento de 1.1°C, esta franja se desplazó a un rango de 523 a 1246 m. En Valladolid, Yucatán, la franja de condensación se situaba entre 615 y 1185 m con una temperatura de 26.6°C, y con un aumento de 0.6°C se extendió a 646-1400 m. Finalmente, en Chetumal, Quintana Roo, con una temperatura de 27°C, la franja de condensación iba de 523 a 1092 m, y con un incremento de 0.3°C se desplazó a 569-1154 m. Estos cambios en la altitud de condensación podrían afectar el ciclo hidrológico, reduciendo la condensación de humedad atmosférica que potencialmente recargaría los ríos atmosféricos. Esto subraya la necesidad de reforestar las áreas de bosques y selvas para mitigar los efectos ambientales negativos provocados por el desequilibrio climático.

### Palabras clave

Altitud de condensación, Cambio climático, Desplazamiento altitudinal, Humedad atmosférica, Ríos atmosféricos.

### Abstract

Global warming has various effects on the behavior of atmospheric phenomena, one of which is the impact on atmospheric moisture condensation. The objective of this work was to determine the condensation zone in three locations on the Yucatán Peninsula, Mexico, using climatological data from the 1980s and 2010s. Dry-bulb and wet-bulb temperature parameters were used to calculate the condensation altitude, employing psychrometric tables. The results indicate an increase in average temperature, demonstrating a change in condensation altitude. In Mérida, Yucatán, during the first period, the condensation zone ranged from 308 to 862 m in altitude with a temperature of 25.2°C. With an increase of 1.1°C, this range shifted to 523 to 1246 m. In Valladolid, Yucatán, the condensation zone was between 615 and 1185 m with a temperature of 26.6°C, and with an increase of 0.6°C, it extended to 646-1400 m. Finally, in Chetumal, Quintana Roo, with a temperature of 27°C, the condensation zone ranged from 523 to 1092 m, and with an increase of 0.3°C, it shifted to 569-1154 m. These changes in condensation altitude could affect the hydrological cycle, reducing atmospheric moisture condensation that could potentially recharge atmospheric rivers. This underscores the need to reforest forested and jungle areas to mitigate the negative environmental effects caused by climate imbalance.

### Keywords

Atmospheric rivers, Atmospheric humidity, Condensation altitude, Climate change, Altitudinal shift

<sup>1</sup> Universidad Autónoma Chapingo. Academia de Meteorología. Centro de Investigación en Biología, Educación Ambiental y Agricultura Orgánica. Carretera México-Texcoco, Km. 38.5 CP 56230. [mcastelanl@chapingo.mx](mailto:mcastelanl@chapingo.mx)  
 <https://orcid.org/0000-0002-9587-7192>

## Introducción

De acuerdo con el Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2014), el calentamiento global se refiere al aumento de la temperatura media global como consecuencia de los gases de efecto invernadero que se han acumulado en la atmósfera provocando su alteración. De esta manera, el calentamiento global constituye una consecuencia importante del cambio climático antropogénico cuyas manifestaciones ya se han hecho evidentes. Así lo refiere Thunberg (2022) con evidencias que muestran los efectos, impactos y consecuencias, con la participación de más de 100 científicos de todo el mundo. El último informe del IPCC en marzo de 2023 señaló que la temperatura ha aumentado 1.1°C desde los niveles preindustriales.

El IPCC (2014) denomina cambio climático a la modificación del clima en relación con su historial climático tanto global como regional. Esta modificación afecta principalmente los parámetros temperatura y precipitación, cuyos cambios se producen en escalas de tiempo temporales de corto, mediano y largo plazo, desde décadas a siglos, como los ciclos glaciales, hasta millones de años, como la alteración de la órbita terrestre alrededor del sol conocida como los ciclos de Milankovitch. Esta teoría señala que las variaciones en el registro de isótopos de oxígeno del carbonato de calcio presentes en conchas de plancton enterradas en sedimentos oceánicos, proporcionan un registro de la temperatura oceánica en el pasado y el volumen global de hielo. Este análisis ha revelado que el ciclo de oblicuidad, que dura cuarenta y un mil años, dominó las variaciones climáticas entre hace 2,700,000 y 900,000 años (Martínez, Lorenzo y Álvarez, 2017; Lieberman y Gordon, 2021).

Este fenómeno global afecta el equilibrio de los bosques tanto templados como tropicales. Aumenta la tasa de evapotranspiración y está acompañado del registro de altas temperaturas en todo el mundo que han provocado intensas olas de calor, sequías e incendios forestales, entre otros efectos. Al mismo tiempo, las precipitaciones han disminuido en algunos lugares, mientras que en otros se ha intensificado, lo que ha llevado a errar en las predicciones del tiempo atmosférico. Tan solo en la década de 1990, el IPCC pronosticó un aumento de la temperatura media mundial probable de aproximadamente 1°C para el año 2025, mismo que se rebasó en 2023 (OMM-PNUMA, 1992; Monterroso-Rivas y Gómez-Díaz, 2021; IPCC, 2023).

Según Rojas, Sosa y Ornelas (2012) el cambio climático afectará la formación de nubes. Una serie de modelos climáticos globales plantea una reducción del nivel de nubosidad como consecuencia de este fenómeno global (Rosas *et al.*, 2019), estimada entre un 54% y un 76% para el año 2050. Este cambio podría modificar la dinámica natural y equilibrio de los ecosistemas, principalmente los bosques de niebla o mesófilos de montaña que se han reducido a menos del 0.75%. Lo anterior conlleva a la pérdida de biodiversidad como resultado del desplazamiento altitudinal en la distribución de las especies y probablemente su extinción. Incluso las selvas tropicales no están exentas de esta dinámica de cambio (Krömer, *et al.*, 2013; Rosas *et al.*, 2019; Williams-Linera, 2019).

Por otra parte, los cambios en los microclimas generados por la deforestación y fragmentación de los bosques han acelerado el cambio climático. Sus efectos ya se hacen notorios en todo el mundo. Las principales amenazas son numerosas, Aguilar (2016) refiere la tala clandestina, los incendios, los desmontes para agricultura, ganadería, desarrollo urbano y construcción de caminos. Estas actividades afectan al bosque o selva de niebla y son también causas importantes del cambio climático. Como resultado, los ecosistemas son considerados frágiles, en peligro de extinción y con prioridad de conservación, debido a su lenta regeneración. A esto se suma la reducción de su distribución y la continua perturbación en forma de fragmentación (Arasa-Gisbert, Arroyo-Rodríguez y Andresen, 2021).

Por lo anterior, es de resaltar la importancia de la humedad atmosférica, por ser el agua que constituye los ríos atmosféricos. Estos se denominan como extensas bandas de vapor de agua que transportan grandes cantidades de agua en forma de nubes desde los trópicos. Los ríos atmosféricos cubren una gran extensión en la franja tropical y son los responsables de más de la mitad del total de la lluvia que precipita anualmente, cerca del 90% del agua que precipita en las latitudes medias es producto de los ríos atmosféricos (Pearce, 2019; Ionita, Nagavciuc y Guan, 2020).

Por ello, de manera específica, el presente trabajo consistió en comparar dos periodos de tiempo: la década de los ochentas y la década de 2010. Se analizó el parámetro climático temperatura para encontrar evidencias de cambio. Con ello, se buscó identificar modificaciones en la franja de condensación de humedad para tres lugares de la Península de Yucatán.

## Materiales y métodos

Se tomaron como referencia los observatorios de Mérida y Valladolid, Yucatán, así como el de Chetumal, Quintana Roo. De acuerdo con Köppen modificado por García (2004) los climas correspondientes a esos lugares son del tipo Aw (cálidos subhúmedos con lluvias en verano).

Se emplearon las normales climatológicas reportadas para los meses de enero a diciembre de 1981 y enero-diciembre de 2010 proporcionados por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Con base en lo reportado, se analizaron las temperaturas de bulbo húmedo y bulbo seco (ambiental), lo que permitió comparar y observar si hubo cambios en el parámetro considerado a lo largo de las tres décadas transcurridas.

Con los datos de temperatura ambiental y la temperatura de bulbo húmedo, se estimó la temperatura del punto de rocío ( $T_d$ ), la tensión de vapor actual ( $e_a$ ), la tensión de vapor a saturación ( $e_s$ ) y la humedad relativa (%) (Tejeda et al., 2018, Quevedo et al., 2023), empleando las tablas psicrométricas (CONAGUA, 2010). Las siguientes ecuaciones expresan los datos anteriores:

$$T_d = 8 \sqrt{\frac{HR}{100}} * (112 + 0.09T) + 0.1T - 112$$

$$e_a = e(T_d) = 0.611 \exp\left(\frac{17.27T_d}{T_d + 237.3}\right)$$

$$e_s = \exp\left(\frac{21.4T + 494.41}{T + 273.15}\right)$$

$$HR = \frac{e_a}{e_s} * 100$$

Donde:

$T_d$  = temperatura del punto de rocío ( °C )

$HR$  = humedad relativa (%)

$T$  = temperatura ambiental o bulbo seco ( °C )

$e_a$  = presión de vapor actual (hPa)

$e_s$  = presión de vapor a saturación (hPa)

Con la temperatura del punto de rocío y la temperatura ambiental se obtuvo la altitud de condensación. Esta se define como la altura en la que se presenta el enfriamiento y precipitación de las gotitas de agua o nubes existentes en la atmósfera (Tejeda et al., 2018), constituyendo la franja altitudinal donde se presenta la condensación de humedad. Cuando existe vegetación, ocurre el fenómeno de la precipitación horizontal, cuya cantidad varía de acuerdo con la época del año y la cantidad de humedad existente, que puede expresarse en litros de agua por unidad de tiempo (Quevedo et al., 2023).

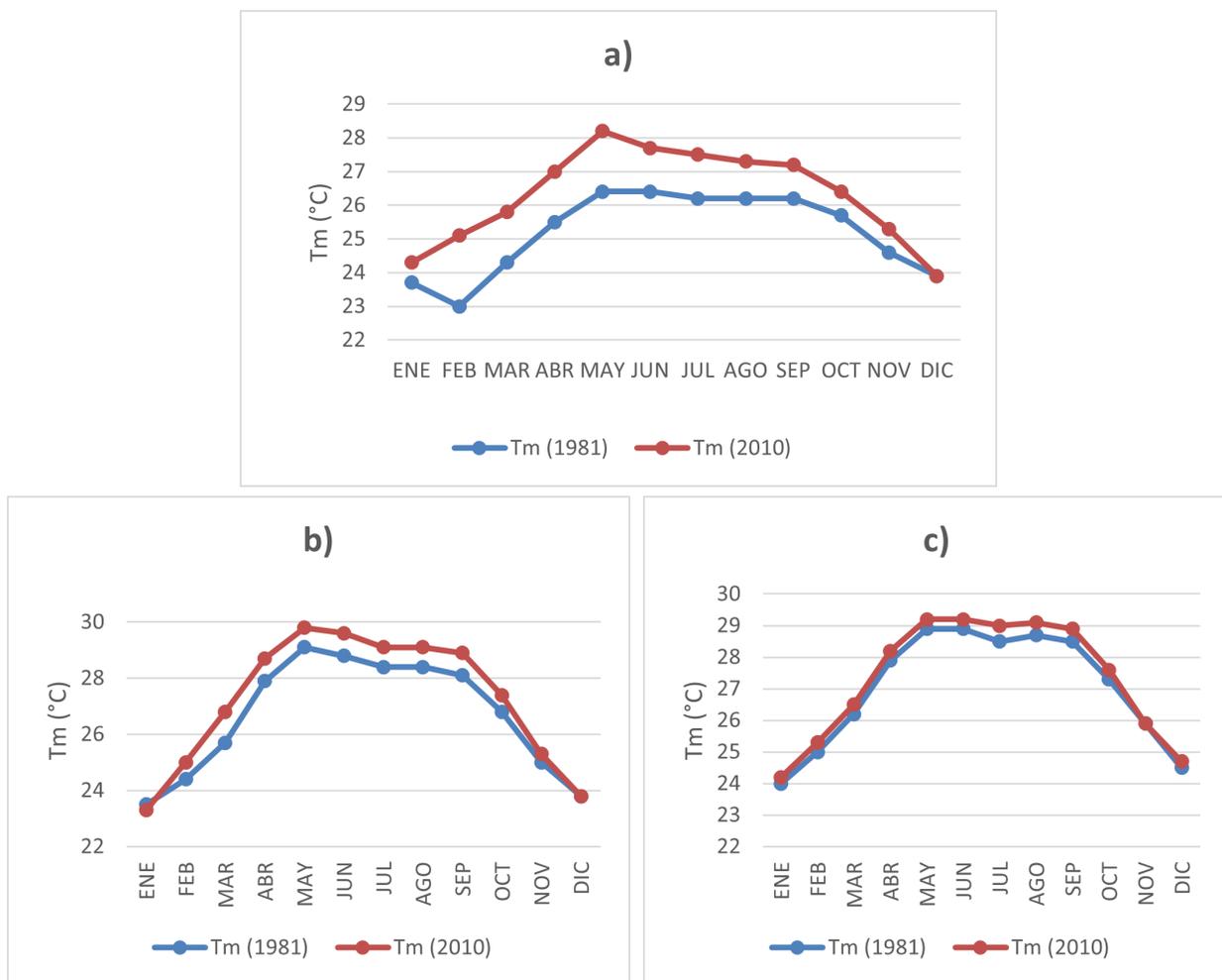
Para el cálculo de la altitud de condensación se obtuvo la diferencia entre los valores  $T_d$  y  $T$  considerada como un indicador de humedad relativa. Con el empleo del Gradiente Altotérmico Estandarizado, cuyo valor es de 6.5°C por cada 1000 m de acuerdo con la International Standar Atmosphere (Arbogast, 2014), referido como enfriamiento adiabático, se obtuvieron las alturas de condensación de cada mes.

Con el fin de observar la variación en las temperaturas se obtuvieron los estadísticos desviación estándar ( $\sigma$ ) a partir de la varianza, coeficiente de variación y rango de variación (diferencia entre el valor mayor y el menor de la variable temperatura media).

## Resultados y discusión

Para el caso de los observatorios de Mérida y Valladolid, Yucatán, en las tres décadas analizadas se observaron aumentos de 1.1°C y 0.6°C en la temperatura media anual respectivamente. Para Chetumal se observó un aumento de 0.3°C. El aumento para el caso de Mérida concuerda con el aumento de 1.1°C que reporta a nivel global el IPCC al año 2021, que es el año en que publicó su Sexto Informe de Evaluación (IPCC, 2023).

En la **Figura 1** se muestra el comportamiento de las temperaturas de los períodos señalados donde se observa el incremento en las tres décadas, así como los estadísticos básicos estimados que reflejan dicha variación (**Tabla 1**). En este sentido, sólo se encontraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) para Mérida, mientras que para Valladolid y Chetumal no se encontraron diferencias significativas ( $p > 0.05$ ). Sin embargo, en el estudio de los fenómenos atmosféricos y cambio climático, puesto que son fenómenos irrepetibles y no sujetos a experimentación, Di Leo y Sardanelli (2020) señalan que una etiqueta de significancia estadística no significa ni implica que una asociación o efecto sea altamente probable, real o importante, ni una etiqueta de no significancia conduce a que la asociación o efecto sea improbable, ausente, falsa o poco importante.



**Figura 1.** Variación en la temperatura media mensual en tres observatorios meteorológicos de la Península de Yucatán, a) Mérida, b) Valladolid, c) Chetumal. Fuente: Creación propia con base en información del Servicio Meteorológico Nacional.

**Tabla 1.** Estadísticos estimados para la variable temperatura media mensual en la década de los ochentas y la década de 2010 en tres ciudades de la Península de Yucatán.

Parámetros	Mérida, Yuc.		Valladolid, Yuc.		Chetumal, Q. Roo	
	Tmm	Tmm	Tmm	Tmm	Tmm	Tmm
	(1981)	(2010)	(1981)	(2010)	(1981)	(2010)
<b>Promedio</b>	25.17	26.31	26.65	27.23	27.02	27.31
<b>Desviación estándar</b>	1.16	1.34	1.98	2.24	1.74	1.82
<b>Coefficiente de Variación</b>	4.6%	5.12%	7.44%	8.23%	6.46%	6.66%
<b>Mínimo</b>	23	28.9	23.5	23.3	24	24.2
<b>Máximo</b>	26.4	28.2	29.1	29.8	28.9	29.2
<b>Rango</b>	3.4	4.3	5.6	6.5	4.9	5
<b>Valor p</b>		0.038		0.457		0.678

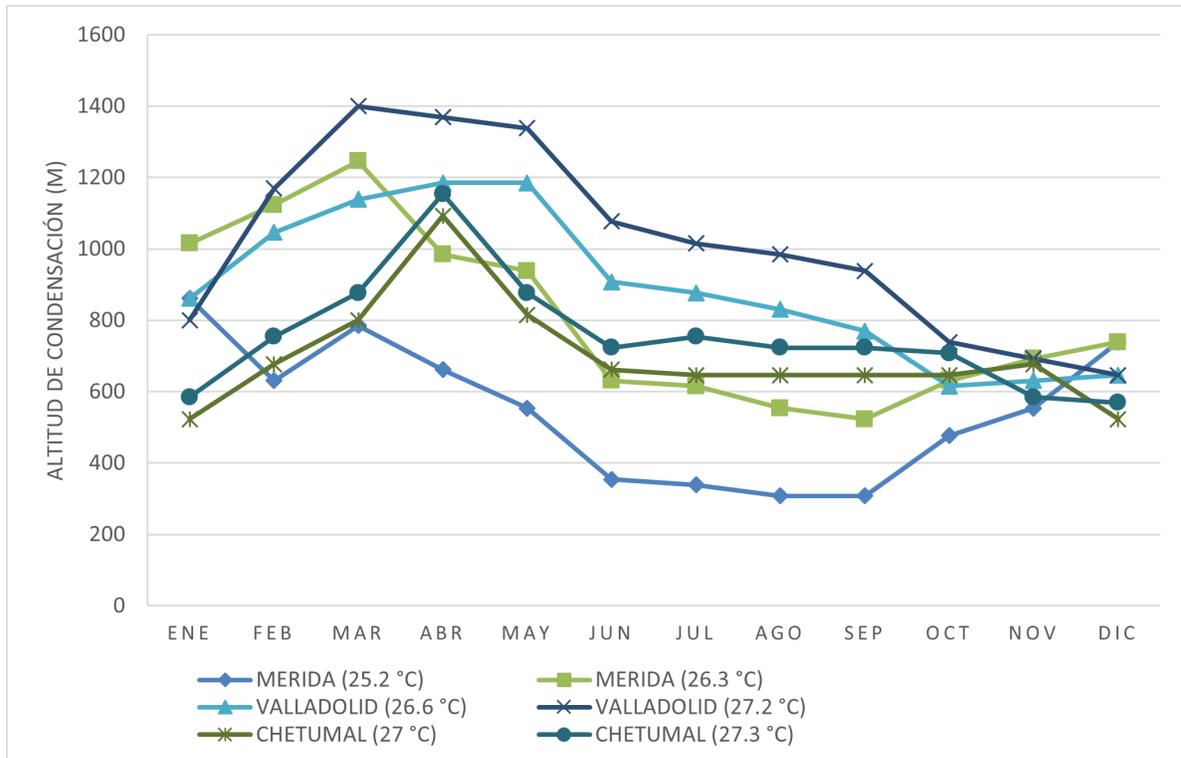
Tmm: temperatura media mensual (°C)

Es de resaltar el incremento en la temperatura media de 1.1°C para el caso de Mérida, que coincide con el aumento progresivo que reportan Espadas, Reyes y Carrillo (2021) al analizar la temperatura promedio de 1960 hasta 2020, quienes señalan un incremento de 1.8°C al 2020 con respecto a la década de 1960, que se le atribuye a la urbanización acelerada de los últimos 20 años. Siendo los últimos 13 años la temperatura histórica más alta registrada, destacando los años 2009 y 2015 como los que han roto récords de temperatura con 43.5°C y 43.6°C (Palma, 2023).

La evidencia muestra que estos aumentos en la temperatura han alterado la altitud de condensación de humedad. Como lo refieren Pearce (2019) y Ionita, Nagavciuc y Guan (2020), la humedad ambiental se concentra en un rango altitudinal que permite la formación de los ríos atmosféricos. Dichos ríos influyen en las lluvias que ocurren en las regiones tropicales.

En la **Figura 2** se muestra el desplazamiento de la franja de condensación para los tres lugares estudiados. Se observa un cambio considerable para Mérida puesto que, en el año 1981, la franja era de 308 m a 862 m misma que se desplazó de 523 m a 1246 m en 2010. A su vez, Valladolid registra una franja que va de 615 m a 1185 m de altura en 1981 desplazándose de 646 m a 1400 m en 2010. Para Chetumal, en 1981 la franja iba de 523 m a 1092 m de altura y ha cambiado de 569 m a 1154 m en 2010.

Lo anterior indica que la altitud más baja se ha desplazado 215 m y 31 m mientras que la más alta se ha desplazado 384 m y 215 m para los casos de Mérida y Valladolid, respectivamente. Para Chetumal, aún siendo bajo el aumento en la temperatura (0.3°C), ha habido un desplazamiento de 46 m en el valor más bajo y en el más alto ha sido de 62 metros.



**Figura 2.** Desplazamiento de la franja de condensación de humedad en la Península de Yucatán en las décadas de los ochentas y el 2010. Se puede observar el cambio en los meses de marzo a mayo en los tres lugares estudiados. Fuente: Creación propia con base en información del Servicio Meteorológico Nacional.

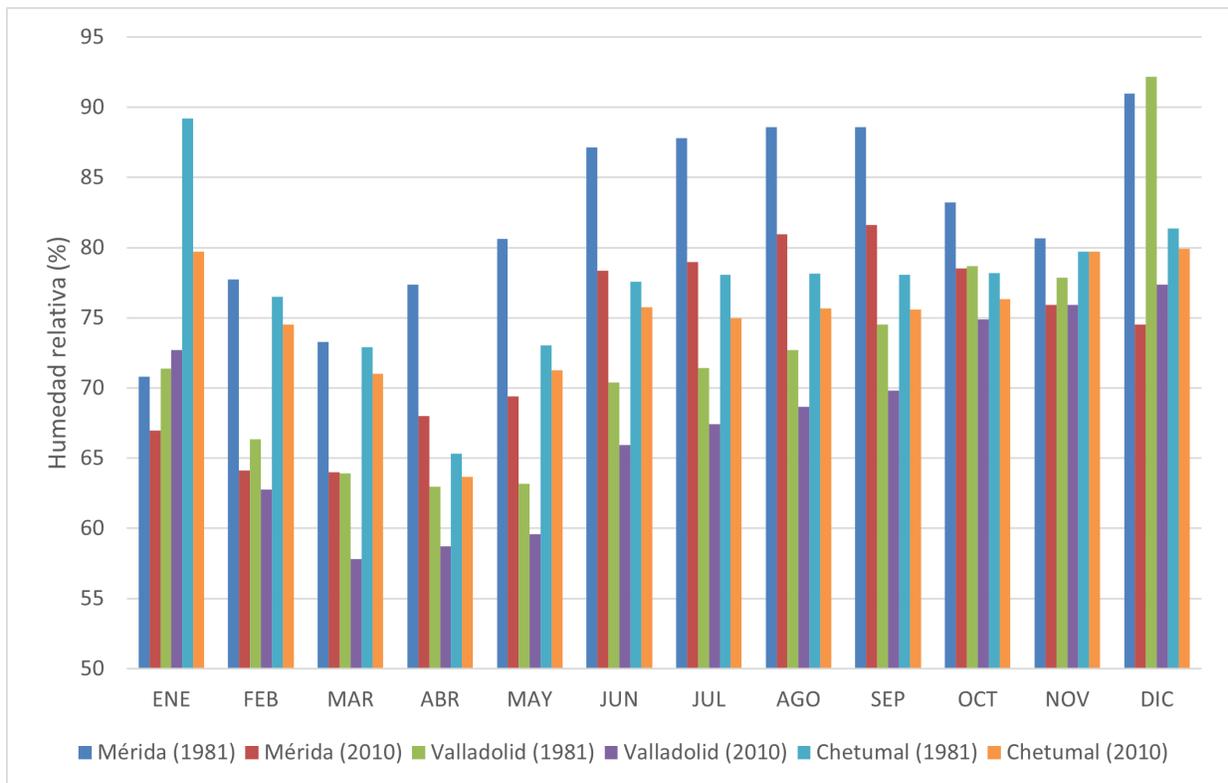
De acuerdo a lo que señalan García *et al.*, (2009), junto con el incremento en la temperatura ambiental, el incremento de la temperatura del suelo y los incendios forestales favorecen que el vapor de agua que ingresa por el movimiento ascendente de masas de aire, no encuentre las condiciones para formar la neblina. Lo anterior, sobre todo, en el bosque de niebla en el pacífico mexicano. De esta manera, si se incrementa gradualmente la temperatura ambiental y de seguir con el aumento proyectado de 1.5 °C por el IPCC para el año 2030, la condensación se presentará en altitudes mayores mientras existan las condiciones para que la humedad condense.

Se ha comprobado que el calentamiento puede hacer que la base de las nubes se eleve modificando el ciclo hidrológico. Esto sucede principalmente de los flujos de agua atmosférica llamados ríos atmosféricos, que toman el agua que transpiran las plantas y, por procesos de convección, vuelven a generar las lluvias que alimentan a las selvas tropicales. Del total de lluvia anual que ocurre en los trópicos, el 50% es producto de la transpiración de las plantas, de ellas la selva mediana y baja caducifolia transpira entre el 34 y el 48% (Pearce, 2019; Ionita, Nagavciuc y Guan 2020; Salas-Acosta *et al.*, 2022).

No obstante lo anterior, la alteración térmica provocaría que, ante una mayor temperatura se evapore más agua del océano, puesto que el aire puede retener un 7% más de vapor de agua por cada grado más de temperatura (IPCC, 2014). De esta forma, los ríos atmosféricos pueden ser más húmedos y fuertes en el verano provocando mayores estragos en la alteración del ciclo hidrológico.

La urbanización requiere que se deforesten nuevas áreas para hacer cambio de uso de suelo, de bosque a construcciones urbanas. Un ejemplo de ello son los manglares que se han talado cambiando a zonas hoteleras. Como refieren Hiraes-Cota *et al.* (2010), la tasa de deforestación en manglares es de 0.85% anual, reportando una pérdida de 1070 ha de manglar en el periodo 1995-2007 tan sólo para la región de Mahahual-Xacalak, Quintana Roo.

Al comparar la humedad relativa calculada para las tres décadas se observa una disminución (**Figura 3**). Lo anterior se explica por la alta temperatura que evapora más humedad superficial, desplazándose a altitudes mayores afectando la franja de condensación y por la cantidad de agua condensada, siendo menor cuando la humedad es baja y la temperatura es alta (Galindo, Gregorio y Mendoza, 2015). Al respecto, Yuan (2021) señala que la humedad al ser mayor en las partes altas incrementa la capacidad de retención de agua en las nubes. Por cada grado centígrado que se calienta el planeta, el aire puede absorber un 7% más de agua. Sin embargo, cuando esa agua se libera, provoca más lluvias extremas; por otra parte, las nubes se vuelven más densas sin que lleguen a ser más abundantes. El hecho de que las nubes retengan mayor cantidad de agua no significa que llueva más, como en el caso de las nubes cumuliformes, que cubren la capa de nubes en los trópicos alterando el ciclo hidrológico (Laing y Evans, 2016).



**Figura 3.** Comportamiento de la humedad relativa en las tres décadas (década de los ochentas y década de 2010) en la Península de Yucatán. Fuente: Creación propia con base en información del Servicio Meteorológico Nacional.

Asociado a la transpiración de la vegetación, la deforestación causa en lo inmediato la desertificación, debido a la pérdida del agua transpirada por la vegetación, aunado al desplazamiento de la franja de condensación. Por ello, la reforestación y forestación debe ser una estrategia clave y urgente para restaurar el ciclo del agua a través de la recarga de los ríos atmosféricos, además de la captura de CO<sub>2</sub> que como servicio ambiental proveen los árboles.

## Conclusiones

Los incrementos en las temperaturas de los tres lugares analizados, muestran cambios en la franja de condensación a lo largo de las tres décadas observadas, que en última instancia repercutirán probablemente en la disponibilidad de agua atmosférica. El aumento significativo ( $p=0.038$ ) en la temperatura es para Mérida con 1.1 °C, con un desplazamiento en la altitud de condensación de 384 m para el mes más cálido.

Si las proyecciones actuales de un incremento de 2°C o más en la temperatura se cumplen, las repercusiones sobre los ecosistemas y las comunidades humanas en la región serán severas, especialmente en términos de disponibilidad de agua atmosférica. Por lo anterior, es necesario e importante llevar a cabo acciones y medidas cuyo fin sea mitigar y amortiguar los efectos del calentamiento global, destacando como una de las principales estrategias la conservación y restauración del bosque tropical.

Los bosques y selvas son los ecosistemas responsables del suministro de grandes cantidades de agua a la atmósfera por transpiración, cuyo aporte representa una buena parte de las lluvias que ocurren en todo el mundo. Por ello es de suma importancia reforestar las zonas tropicales para incrementar el potencial de transpiración y captura del agua de lluvia por troncos, ramas y hojas. Además es importante restaurar en gran escala las regiones que anteriormente estaban cubiertas de vegetación selvática para no alterar el ciclo hidrológico y recargar los ríos atmosféricos que son los que suministran de agua a los bosques, pero igualmente dependen de la transpiración vegetal junto con la evaporación de los océanos. De no ser así, es de esperarse que el desequilibrio climático tendrá implicaciones climatológicas y ambientales negativas en la región estudiada ya que al no haber cubierta vegetal, las lluvias torrenciales causan estragos mayores.

## Agradecimientos

El autor agradece a la Dra. Nadia Rosa Chaviano Rodríguez de la Universidad Autónoma Chapingo por leer el manuscrito y realizar observaciones valiosas que ayudaron a mejorar la presentación de los resultados de la investigación.

Un agradecimiento especial a los revisores anónimos, cuyas acertadas observaciones y aportaciones mejoraron notablemente la redacción del trabajo.

## Conflictos de interés

El autor declara no tener conflictos de interés que puedan influir en la objetividad, la integridad o la interpretación de los resultados presentados en este artículo.

## Uso de inteligencia artificial

Durante la elaboración del presente trabajo el autor no utilizó ninguna herramienta o servicio de IA.

## Referencias

- Aguilar, D. M. (2016). *Adaptación e integración de las escuelas rurales dentro del estado de Chiapas, para regenerar su espacio ambiental, respetando su entorno socio-cultural*. Tesis de Maestría. Universidad del Medio Ambiente. <https://umamexico.com/wp-content/uploads/2016/04/MADCS-2016-Aguilar-D%C3%ADaz-Mariajose.pdf>
- Arasa-Gisbert, R., Arroyo-Rodríguez, V., & Andresen, E. (2021). El debate sobre los efectos de la fragmentación del hábitat: causas y consecuencias. *Ecosistemas*, 30(3), 2156. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2156>
- Arbogast, S. (2014). *Atmósfera Estándar Internacional: cómo afecta al vuelo. Conceptos básicos*. Universal Weather and Aviation, Inc. <https://n9.cl/u2xnl>
- CONAGUA. (2010). Manual teórico práctico del observador meteorológico de superficie. SEMARNAT, CONAGUA. <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2011/CD001679.pdf>
- Espadas M. C., Reyes, G. C. y Carrillo, N. G. (2021). La expansión urbana de Mérida, la de Yucatán, México y su contribución al cambio climático. *Desde el Herbario CICY* (13), 232–238. [http://www.cicy.mx/sitios/desde\\_herbario/](http://www.cicy.mx/sitios/desde_herbario/)
- Galindo, T. M. D., Gregorio, C. J. y Mendoza, O. A. (2015). Condensación de la humedad del aire: solución a la escasez de agua en regiones de Colombia como La Guajira y San Andrés Isla. Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central. 15-24. <https://dialnet.unirioja.es > descarga > articulo>
- García, D. E., Noriega, A. G. y Cruz, H. S. (2009). El cambio climático y su impacto en el bosque de niebla del pacífico mexicano. En: Noriega, A. G., Cruz, H. S., Vidal, B. J., Leyva B. J. y García D. E. (Eds.) *Condiciones agroclimáticas del bosque de niebla en Pluma Hidalgo, Oaxaca*. (pp. 1-9). Universidad Autónoma Chapingo. <https://n9.cl/arqtd>
- García, E. (2004). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F. <http://www.publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/view/83/82/251-1>
- Hirales-Cota, M., Espinoza-Avalos, J., Schmook, B., Ruiz-Luna, A. y Ramos-Reyes, R. (2010). Agentes de deforestación de manglar en Mahahual-Xcalak, Quintana Roo, sureste de México. *Ciencias marinas*, 36(2), 147-159. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0185-38802010000200004&Ing=es&tIng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-38802010000200004&Ing=es&tIng=es)
- Lonita, M., Nagavciuc, V., & Guan, B. (2020). Rivers in the sky, flooding on the ground: the role of atmospheric rivers in inland flooding in central Europe. *Hydrology and Earth System Sciences*, 24(11), 5125-5147. <https://doi.org/10.5194/hess-2020-149>
- IPCC. (2014). *Cambio climático 2014: Informe de síntesis*. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo principal de redacción, R.K. Pachauri y L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Ginebra, Suiza. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR\\_AR5\\_FINAL\\_full\\_es.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_es.pdf)
- IPCC. (2023). Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 1-34, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001
- Krömer, T., Acebey, A., Kluge, J., & Kessler, M. (2013). Effects of altitude and climate in determining elevational plant species richness patterns: a case study from Los Tuxtlas, Mexico. *Flora-Morphology, Distribution Functional, Ecology of Plants*, 208(3), 197-210. Doi: 10.1016/j.flora.2013.03.003
- Laing, A. y Evans, J.L. (2016). *Introducción a la meteorología tropical*. 2da. Ed. COMET. University Corporation for Atmospheric Research. [https://www.met.ed.ucar.edu/tropical/textbook\\_2nd\\_edition\\_es/index.htm](https://www.met.ed.ucar.edu/tropical/textbook_2nd_edition_es/index.htm)
- Lieberman, B. y Gordon, E. (2021). *El cambio climático en la historia de la humanidad*. Almuzara. España.
- Magaña, V. & Gómez M. L. (2011). Escenarios regionales del cambio climático e impactos en áreas naturales protegidas: hacia una estrategia de adaptación. En: Sánchez R., Ballesteros C. y Pavón N. (Eds.) *Cambio Climático: aproximaciones para el estudio de su efecto sobre la biodiversidad* (pp. 39-48). Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. [https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/icbi/LI\\_EcoConserBiolo/gerardo\\_sanchez/2011Libro\\_CC.pdf](https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/icbi/LI_EcoConserBiolo/gerardo_sanchez/2011Libro_CC.pdf)
- Martínez, S. M., Lorenzo, G. E. & Álvarez, L. A. (2017). Los Ciclos de Milankovitch: Origen, Reconocimiento, Aplicaciones en Cicloestratigrafía y el estudio de Sistemas Petroleros. *Revista Científica y Tecnológica UPSE (RCTU)*, 4(3), 56-65. <https://doi.org/10.26423/rctu.v4i3.281>
- Monterroso-Rivas, A. I., & Gómez-Díaz, J. D. (2021). Impacto del cambio climático en la evapotranspiración potencial y periodo de crecimiento en México. *Revista terra latinoamericana*, (39), 1-19. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.774>
- OMM-PNUMA. (1992). *Cambio climático: Las evaluaciones del IPCC de 1990 y 1992*. Organización Meteorológica Mundial. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/ipcc\\_90\\_92\\_assessments\\_far\\_full\\_report\\_sp.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/ipcc_90_92_assessments_far_full_report_sp.pdf)
- Palma, J. A. (2023). Mérida ya es una "isla de calor" por efecto de la urbanización. Meteored <https://www.meteored.mx/noticias/actualidad/merida-ya-es-una-isla-de-calor-por-efecto-de-la-urbanizacion-y-planchar-de-concreto-mexico.html>

- Pearce, F. (2019). Rivers in the Sky. *New Scientist*, 244 (3254), 40-43. [https://doi.org/10.1016/S0262-4079\(19\)32070-6](https://doi.org/10.1016/S0262-4079(19)32070-6)
- Quevedo, R. R. V., Villareal, S. R. C., Barrios, N. F. A., & Luque, M. P. A. (2023). Estudio de la obtención de agua a partir de la humedad atmosférica monitoreada bajo condiciones ambientales en Baja California. *Latin American Journal of Applied Engineering*, 6(1), 7–12. <https://doi.org/10.69681/lajae.v6i1.33>
- Rojas, S. O. R., Sosa, V. & Ornelas, J. F. (2012). Forecasting cloud forest in eastern and southern Mexico: conservation insights under future climate change scenarios. *Biodiversity and Conservation*, 21(10), 2671-2690. Doi: 10.1007/s10531-012-0327-x
- Rosas, R. D. M., Mendoza, M. E., Gómez, T. A. & Tobón, M. C. (2019). Avances y desafíos en el conocimiento de los bosques mesófilos de montaña en México. *Madera y Bosques*, 25(1), 1-19. Doi: 10.21829/myb.2019.2511759
- Salas-Acosta, E.R., Andrade, J.L., Perera-Burgos, J.A., Us-Santamaría, R., Figueroa-Espinoza, B., Uuh-Sonda, J.M., Cejudo, E. (2022). Transpiration of a Tropical Dry Deciduous Forest in Yucatan, Mexico. *Atmosphere* 13(271), 1-13. <https://doi.org/10.3390/atmos13020271>
- Tejeda, M. A., Méndez, P. I. R, Rodríguez, N. C. & Tejeda, Z. E. (2018). *La humedad en la atmósfera, bases físicas, instrumentos y aplicaciones*. Universidad de Colima. [http://ww.ucol.mx/content/publicacionesenlinea/adjuntos/La-humedad-en-la-atmosfera\\_466.pdf](http://ww.ucol.mx/content/publicacionesenlinea/adjuntos/La-humedad-en-la-atmosfera_466.pdf)
- Thunberg, G. (2022). El libro del clima. LUMEN.
- Ventura-León, J. L. (2017). El significado de la significancia estadística: comentarios a Martínez-Ferrer y colaboradores. *Salud Pública de México*, 59(5), 499-500. <https://doi.org/10.21149/8482>
- Williams-Linera, G. (2019). Bosque de niebla en peligro ante el cambio climático. *La Ciencia y el Hombre. Revista de Divulgación Científica y Tecnológica*, 32(75), 18-23. [https://www.researchgate.net/publication/336409702\\_Bosque\\_de\\_niebla\\_en\\_peligro\\_ante\\_el\\_cambio\\_climatico](https://www.researchgate.net/publication/336409702_Bosque_de_niebla_en_peligro_ante_el_cambio_climatico)
- Yuan, L. (2021). Rainfall becomes increasingly variable as climate warms. Chinese Academy of Sciences. <https://n9.cl/2btxf>