

# Ondas de calor y el efecto de mayores temperaturas en los precios de frutas y verduras

Extracto del Reporte sobre las Economías Regionales Abril - Junio 2023, Recuadro 4, pp. 55-57, documento publicado el 14 de septiembre de 2023.

*Nota: En la versión electrónica de este documento se puede obtener la información que permite generar todas las gráficas y tablas que contiene dando clic sobre ellas, con excepción de aquella que no es producida ni elaborada por el Banco de México.*

## 1. Introducción

Las ondas de calor son anomalías térmicas de al menos tres días de duración en las que las temperaturas máximas y mínimas registradas en un día exceden simultáneamente un valor de referencia. En la última década, la recurrencia de las ondas de calor se ha incrementado en todo el país. Estos eventos extremos de temperatura tienen el potencial de disminuir el rendimiento de los cultivos de las frutas y verduras, reduciendo su oferta en los mercados y, posiblemente, incrementando el precio de estos productos. En este Recuadro, en primer lugar, se ilustra este incremento en la recurrencia de las ondas de calor, el cual ha sido diferenciado entre regiones. En segundo lugar, se estima un modelo econométrico que relaciona la temperatura con el índice de precios de frutas y verduras. El modelo permite estimar los efectos de estos eventos térmicos extremos. Las estimaciones sugieren que han tenido un impacto sobre los precios de las frutas y verduras.

## 2. Las temperaturas extremas y la producción de frutas y verduras a nivel regional

La Gráfica 1 muestra diagramas de caja y brazos de la distribución de la temperatura promedio diaria entre enero de 2001 y junio de 2023 para las entidades del país. En el sur se concentran las entidades más calientes, siendo Tabasco y Yucatán las entidades con mayor temperatura promedio de todo el país. Por el contrario, las entidades con menores temperaturas promedio se localizan en la región centro destacando Tlaxcala y el Estado de México como las entidades más frías. En general, las entidades ubicadas en el norte y en el centro presentan la mayor y menor dispersión en su distribución de temperatura, respectivamente. La Gráfica 1 también muestra la temperatura promedio diaria de junio de 2023, cuando la mayoría de las entidades del país resintieron los efectos de una onda de calor que se extendió durante casi todo el mes.<sup>1</sup> Se aprecia que la temperatura promedio observada durante la onda de calor de junio de 2023 en varias entidades se ubicó por encima de sus valores extremos.

Estos eventos térmicos extremos se han vuelto cada vez más frecuentes. Al respecto, la Gráfica 2 muestra el número de días clasificados como ondas de calor acumulados por año calendario entre enero de 2001 y junio de 2023. Para generar la Gráfica 2 primero se contabilizaron los días clasificados como ondas de calor por entidad y por mes. Posteriormente, estos días se agregaron promediando la información de las entidades pertenecientes a la región. Destaca que, aunque la duración de las ondas de calor ha aumentado de forma sostenida desde 2010, su incremento ha sido notable desde 2019, sobre todo en el sur y centro.

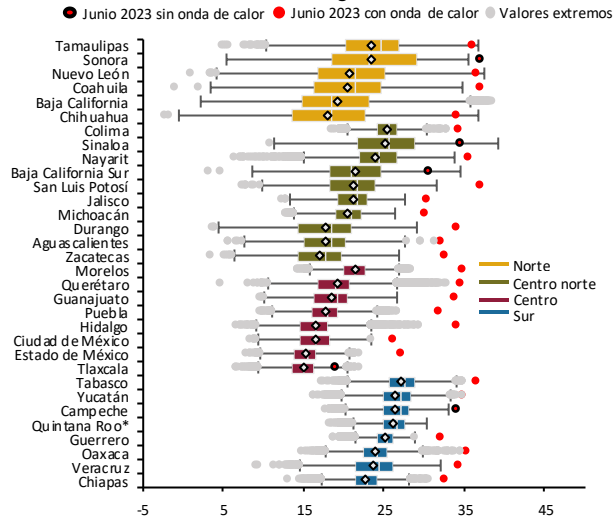
Aunque las frutas y verduras se producen en casi todo el territorio nacional, las regiones centro norte y sur destacan por su aportación a la producción nacional. Al respecto, la Gráfica 3 muestra el patrón histórico de

<sup>1</sup> Para la identificación de ondas de calor se realizaron los siguientes pasos. Primero, se definió una ventana móvil de 15 días para cada día de 1980 a 2010 (la ventana móvil comprende los 7 días previos y los 7 días posteriores a cada fecha). Enseguida, se identificó el máximo y el mínimo de la temperatura de la ventana móvil de 15 días para cada uno de los días del periodo. Posteriormente, se calcularon dos distribuciones, una con la información de los máximos y otra con la de los mínimos. Finalmente, se identificó una onda de calor cuando por al menos tres días consecutivos las temperaturas máxima y mínima observadas excedieron simultáneamente el valor del percentil 95 de su respectiva distribución (véase Perkins y Alexander, 2013). Se empleó información diaria de estaciones meteorológicas provista por el Servicio Meteorológico Nacional.

producción regional de las 19 frutas y verduras que por su importancia en la categoría “frutas y verduras” del INPC y su disponibilidad de información se incluyeron en el análisis.<sup>2</sup> En promedio, las regiones centro norte y sur concentran en conjunto el 74% de la oferta nacional de las 19 frutas y verduras consideradas en el análisis. La producción nacional de frutas y verduras será más susceptible a ondas de calor que ocurren en estas regiones. También se aprecia que la contribución regional a la producción es relativamente constante a lo largo del año, si bien la del norte se incrementa durante el verano.

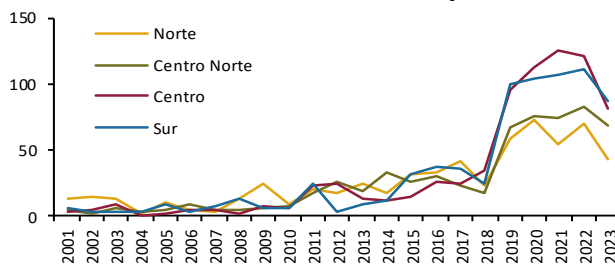
**Gráfica 1**

**Diagrama de caja y brazos de la temperatura diaria por entidad de enero de 2001 a junio de 2023**  
Grados centígrados



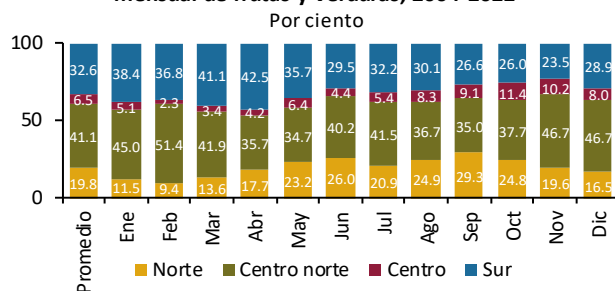
Nota: \* Quintana Roo no cuenta con información para junio de 2023. Las cajas para cada fila representan el intervalo intercuartílico de la distribución, la línea al centro de la caja corresponde a la mediana, el diamante blanco al centro es la media, los brazos simbolizan la amplitud de la distribución sin valores atípicos. Los puntos grises corresponden a los valores extremos. Los puntos rojos indican la temperatura promedio diaria de la onda de calor de junio 2023, y los puntos rojos con contorno negro denotan la temperatura promedio de junio de 2023 para los casos en los que no se registró una onda de calor. Fuente: Elaboración del Banco de México con información diaria de estaciones meteorológicas del Servicio Meteorológico Nacional (SMN).

<sup>2</sup> En el análisis se utilizaron 19 de los 31 productos que forman la categoría de frutas y verduras del INPC (aguacate, calabacita, cebolla, chile serrano, frijol, guayaba, jitomate, lechuga y col, limón, melón, naranja, papa y otros tubérculos, papaya, pepino, piña, plátano, sandía, tomate verde y zanahoria). El resto de los productos fueron excluidos del análisis por la falta de información sobre redes de comercialización entre entidades. En conjunto, estos 19 productos representan el 71.5% del ponderador del INPC asignado a la categoría de frutas y verduras.

**Gráfica 2**
**Número de días acumulados por región en el año clasificados como ondas de calor de enero de 2001 a junio de 2023**


Nota: Esta gráfica se elaboró con datos diarios para el periodo de enero 2001 a junio 2023. La metodología de identificación de ondas de calor se describe en la nota al pie 1.

Fuente: Elaboración del Banco de México con información diaria de estaciones meteorológicas del SMN.

**Gráfica 3**
**Participación regional promedio en la producción histórica mensual de frutas y verduras, 2004-2022**


Nota: La gráfica muestra la contribución promedio de cada región en la producción nacional mensual de frutas y verduras durante el periodo 2004-2022 (los datos mensuales de producción por entidad están disponibles a partir de 2004). Esta gráfica emplea información de producción mensual de 19 frutas y verduras que se agrega usando como ponderador la participación de cada fruta o verdura en el valor total de la producción. Estas 19 frutas y verduras representan, en conjunto, el 71.5% del peso total de la categoría de frutas y verduras en el INPC.

Fuente: Estimación del Banco de México con datos del SIAP.

Los choques de temperatura asociados a ondas de calor tendrán un impacto en el índice de precios de frutas y verduras si ocurren en un área productora importante durante una etapa crítica del ciclo productivo. Estos choques de temperatura locales impactarían primero los precios de los mercados más cercanos a las zonas productoras y, eventualmente, su efecto se diseminaría al resto de los mercados a través de las redes de comercialización de frutas y verduras entre entidades.

### 3. Estimación del efecto del aumento en las temperaturas por ondas de calor en los precios de las frutas y verduras

Para aproximar el efecto de ondas de calor en el precio de las frutas y verduras, primero se estimó la relación funcional entre el índice de precios de frutas y verduras y la temperatura usando un modelo econométrico de datos en panel. El análisis comprende el periodo de enero de 2001 a diciembre de 2022 y considera información de 45 ciudades.<sup>3</sup> El modelo es:

$$\ln IPFyV_{it} = \sum_{s=0}^2 \varphi_s T_{i,t-s} + \sum_{s=0}^2 \gamma_s T_{i,t-s}^2 + \sum_{s=0}^2 \alpha_s Pr_{i,t-s} + \sum_{s=0}^2 \vartheta_s Pr_{i,t-s}^2 \quad (1) + \mu_i + \tau_t + \epsilon_{it}$$

en donde  $IPFyV_{it}$  corresponde al índice de precios de frutas y verduras en la ciudad  $i$  en el año-mes  $t$ , el cual se expresa como una función lineal y cuadrática de la *temperatura relevante agregada*,  $T_{i,t}$ . También se incluye la variable *precipitación relevante agregada* ( $Pr$ ) de forma lineal y cuadrática para controlar por su potencial correlación con la temperatura. Estas variables son *relevantes* porque reflejan el promedio de la temperatura y la precipitación observadas en las entidades productoras que le venden frutas y verduras a cada ciudad de la muestra y son *agregadas* porque resumen en un solo valor la temperatura y la precipitación en las entidades productoras de las 19 frutas y verduras que se incluyen en el análisis.<sup>4</sup> En el modelo se incluyen hasta dos rezagos de ambas variables. La estimación también adiciona efectos fijos por ciudad ( $\mu_i$ ) y año-mes ( $\tau_t$ ). El Cuadro 1 presenta los resultados de la estimación que sugieren una relación no lineal en forma de U entre la temperatura del mes inmediato anterior y el valor contemporáneo del índice de precios de frutas y verduras.<sup>5</sup> La Gráfica 4 ilustra esta relación no lineal en la que temperaturas en los extremos de la distribución en el mes inmediato anterior estarían asociadas a mayores precios contemporáneos de frutas y verduras.

Con los resultados del modelo de temperatura se simuló el impacto de tres episodios recientes de ondas de calor sobre el índice de precios de frutas y verduras aproximando el incremento en la temperatura promedio mensual asociado a las ondas de calor. Para ello, se siguió una metodología en tres pasos. Primero, se identificaron los tres meses con el mayor número de días promedio clasificados como ondas de calor en las regiones de México. Estos meses fueron: agosto de 2019 (12.7 días), julio de 2020 (12.6 días) y agosto de 2022 (13.9 días).<sup>6</sup> En el segundo paso, se cuantificó cómo estas ondas de calor incrementaron la temperatura promedio mensual por encima de su nivel histórico.

Para ello, se calculó el promedio de la *temperatura relevante agregada* que se observó en cada uno de los tres meses mencionados ( $T_{t-1}^{OC}$ ) y su correspondiente promedio para el mismo mes calendario de 2001 a 2022 ( $T_{t-1}^H$ ).<sup>7</sup> Este último representa una aproximación de su nivel “usual” durante ese mes. En el tercer paso, el efecto en el índice de precios de frutas y verduras se obtuvo de evaluar la siguiente expresión:

$$\Delta \ln \widehat{IPFyV}_t = \hat{\varphi}_{t-1} * (T_{t-1}^{OC} - T_{t-1}^H) + \hat{\gamma}_{t-1} * ((T_{t-1}^{OC})^2 - (T_{t-1}^H)^2) \quad (2)$$

<sup>3</sup> Se excluyeron las 9 ciudades que se adicionaron al INPC en la primera quincena de 2018 (Atzacolmulco, Cancún, Coatzacoalcos, Esperanza, Izúcar de Matamoros, Pachuca, Saltillo, Tuxtla Gutiérrez y Zacatecas). También se excluyó Tlaxcala por no contar con información sobre sus redes de comercialización. Las 45 entidades consideradas en la muestra abarcan 31 entidades del país.

<sup>4</sup> Las variables de *temperatura* y *precipitación relevante agregada* se construyeron siguiendo la metodología propuesta por Arellano et al. (2023). En general, este método calcula *temperaturas* y *precipitaciones relevantes* por genérico usando promedios ponderados de los valores observados en las principales entidades proveedoras para cada ciudad en cada mes. Para este Recuadro, primero se calculó la *temperatura* y la *precipitación relevante* para cada uno de los 19 genéricos incluidos. En un segundo paso, estas se ponderaron utilizando el peso de cada genérico en el INPC de cada ciudad para generar la *temperatura* y la *precipitación relevante agregada*. Esta ponderación considera que cada genérico tienen un peso distinto en cada ciudad dependiendo de la composición de su canasta de consumo.

<sup>5</sup> Los criterios de información Akaike (AIC) y Bayesiano (BIC) sugieren que el número óptimo de rezagos no es mayor a 2. El resultado es robusto a la inclusión de rezagos adicionales.

<sup>6</sup> Durante la onda de calor de junio de 2023 el promedio fue menor con 10.2 días. Sin embargo, su intensidad fue mayor en el sentido que la desviación de la temperatura por encima de sus niveles usuales alcanzó 2.85°C.

<sup>7</sup> Por ejemplo, para agosto de 2022  $T_{t-1}^{OC}$  es igual a la temperatura promedio observada en ese mes (25.9°C) mientras que  $T_{t-1}^H$  es igual al promedio de la temperatura observada en todos los agostos entre 2001 y 2022 (24.5°C).

en donde  $\hat{\varphi}_{t-1}$  y  $\hat{\gamma}_{t-1}$  son los parámetros estimados para el primer rezago de temperatura (Cuadro 1). El cambio porcentual en el índice de precios de frutas y verduras ( $\Delta \ln IPFyV$ ) se ilustra como la diferencia entre los puntos A y B que se muestran en la Gráfica 4. Así, el incremento porcentual asociado a los choques de temperatura por ondas de calor se interpreta con respecto a una situación en la que la temperatura se hubiera mantenido en su nivel “usual”.

**Cuadro 1**

**Estimación de la relación entre la temperatura y el índice de precios de frutas y verduras**

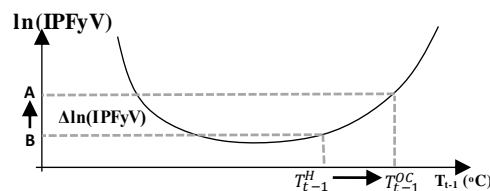
Var Dep. $\Delta \ln IPFyV$	(1)
$T_t$	-0.0072 (0.0072)
$T_t^2$	0.0001 (0.0001)
$T_{t-1}$	<b>-0.0137*</b> <b>(0.0079)</b>
$T_{t-1}^2$	<b>0.0003**</b> <b>(0.0002)</b>
$T_{t-2}$	-0.0118 (0.0167)
$T_{t-2}^2$	0.0004 (0.0004)
Akaike (AIC)	-38924
Bayesiano (BIC)	-36903.3
$R^2$	0.9844
N	11790

Nota: El Cuadro 1 reporta resultados de la estimación de la ecuación 1. Las regresiones utilizan datos por ciudad y están ponderadas por el peso de cada ciudad en el INPC. En ellas se controla por precipitación y efectos fijos por ciudad y año-mes. Errores estándar en paréntesis, aglomerados por ciudad y estado-año. \*\*\*, \*\* y \* indican significancia estadística al 1, 5 y 10%, respectivamente.

Fuente: Estimación del Banco de México con datos del INEGI, SIAP, SNIIM y DAYMET.

**Gráfica 4**

**Representación gráfica de la relación entre la temperatura y el índice de precios de frutas y verduras**



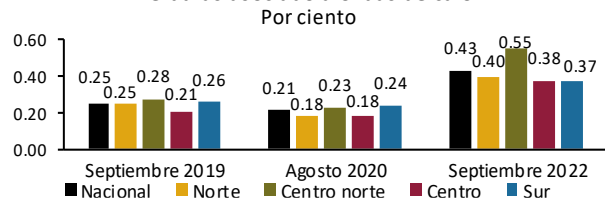
Fuente: Elaboración del Banco de México.

Los resultados de esta simulación se muestran en la Gráfica 5. De entre los tres episodios analizados, los mayores efectos se observan en septiembre de 2022 como producto de la onda de calor registrada en agosto del mismo año. En este último mes, el promedio de la *temperatura relevante agregada* que se observó superó en 1.4°C su nivel “usual”. Esta mayor temperatura se estima que podría haber incrementado el índice de precios nacional de frutas y verduras en septiembre de 2022 en 0.43%. En el periodo observado, el incremento mensual observado fue igual a 0.50%. Entre las regiones, el mayor aumento en el índice de precios en septiembre de 2022 se calcula para la región centro norte y es equivalente a 0.55%. Los efectos estimados para septiembre de 2019 y agosto de 2020 son menores debido a la menor diferencia entre la *temperatura relevante agregada* observada en agosto de 2019 y julio de 2020 (los meses previos) y su respectivo nivel “usual” (0.9 y 0.7°C, respectivamente). Así, la mayor temperatura por ondas de calor podría haber incrementado el índice de precios entre 0.21 y 0.25%

en promedio en el nivel nacional. El aumento observado fue de 0.32% y 2.97% en esos meses, respectivamente. En estos casos, los mayores efectos se observan en el centro norte y sur.

**Gráfica 5**

**Estimación del aumento en el índice de precios de frutas y verduras asociado a ondas de calor**



Nota: Estimaciones estadísticamente significativas con un 95% de confiabilidad.

Fuente: Estimación del Banco de México con datos del INEGI, SIAP, SNIIM y DAYMET.

## 4. Consideraciones finales

En el contexto de los efectos de eventos climáticos extremos en la actividad económica, este Recuadro muestra que las ondas de calor podrían haber afectado la producción generando, en el corto plazo, presiones al alza en los precios de las frutas y verduras. No obstante, la evidencia anecdótica contenida en este Reporte indica que estos choques transitorios también afectaron a otros sectores. Por ejemplo, la onda de calor de junio de 2023, con presencia en casi todas las entidades del país, limitó la afluencia en restaurantes. En contraste, favoreció la demanda de agua, bebidas y equipos de refrigeración. En la medida en que estos choques sean más frecuentes, como se ha observado en los últimos años, las medidas de adaptación podrían tener un rol cada vez más relevante en la mitigación de los efectos de estos eventos extremos en los distintos sectores de la economía.

## 5. Referencias

Arellano Gonzalez, J., Juárez-Torres M. y Zazueta Borboa F. 2023. “Temperature shocks and their effect on the price of agricultural products: panel data evidence from vegetables in Mexico”. Banco de México. Working Paper No. 2023-02.

Perkins, S. E. y L. V. Alexander. 2013. “On the Measurement of Heat Waves”, *Journal of Climate* (26): 4500–4517pp.