

# Los bosques colindantes a las grandes ciudades como reguladores de los efectos del cambio climático; Caso Bosque La Primavera - Zona Metropolitana de Guadalajara

The forests surrounding big cities as regulators of the effects of climate change: The Case of La Primavera Forest - Guadalajara Metropolitan Area

Karla Vanessa Frutos-González \*

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Arturo Curiel Ballesteros

Universidad de Guadalajara.

\*Autor para correspondencia: kvanessafrutosg@gmail.com

## Resumen

Actualmente se viven efectos del cambio climático (CC) con grandes consecuencias. Se evaluó el efecto regulador del Bosque La Primavera (BLP) a la Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG). El indicador de cambio climático fue temperatura máxima de los meses más cálidos considerado como normal (2004) y con anomalía  $>1.5^{\circ}\text{C}$  (2005). Los resultados fueron que en un año normal los vientos que vienen del Bosque La Primavera reducen a más del 50% la probabilidad de tener olas de calor, mientras que, en año con anomalía, el bosque regula la presencia de temperaturas de disparo de enfermedades mortales en las zonas más cercanas de la Zona Metropolitana de Guadalajara al Bosque La Primavera.

**Palabras clave:** Adaptación al Cambio Climático, Ciudades, Áreas Naturales.

## Abstract

Currently, the effects of climate change (CC) are being experienced with big consequences. The regulatory effect of the Primavera Forest (BLP) over the Guadalajara Metropolitan Area (ZMG) was evaluated. The climate change indicator was maximum temperature of the warmest months considered as normal (2004) and with an anomaly  $>1.5^{\circ}\text{C}$  (2005). The results were that in a normal year the winds coming from the Primavera Forest reduce the probability of having heat waves by more than 50%, while in a year with anomaly, the Primavera Forest regulates the presence of high temperatures that trigger fatal diseases in Guadalajara Metropolitan Area.

**Keywords:** Adaptation to Climate Change, Cities, Natural Areas.

## Introducción

El cambio climático se puede definir técnicamente como la tendencia de variación de parámetros como la temperatura que se observa a través de siglos o decenios; en la actualidad, es atribuido a la emisión de gases de efecto invernadero por la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables (Ballesteros, 2015).

En el presente siglo XXI se viven efectos del cambio global del clima con consecuencias catastróficas en la salud, el ambiente y el patrimonio, incrementando el riesgo a desastres hidrometeorológicos, climáticos y biológicos tanto en zonas rurales como en las grandes ciudades.

El estilo de vida de las comunidades urbanas se va alterando por peligros cada vez más frecuentes e intensos, como las temperaturas extremas y olas de calor, los grandes incendios forestales, mordeduras y piquetes de animales; mientras se vive la paradoja de las ciudades, centro de bienestar, se vuelven cada vez más vulnerables ante distintas problemáticas derivadas de los cambios en las capas vitales del planeta.

Hay rangos de temperatura a los que, según el lugar del planeta, los seres vivos se han habituado y considera normales. Pero, cuando ellos salen del valor normal, se habla de una anomalía climática, estas son las que ayudan a medir la diferencia de temperaturas que van en a lo largo del tiempo (Ballesteros, 2015).

La vulnerabilidad social y humana ante el cambio climático es alta y con tendencia positiva. México se encuentra en estado de amenaza y el riesgo va en incremento, el cual se expresa en una amplia diversidad de variables, sea en la emisión de gases de efecto invernadero, en el incremento de la temperatura y la intensidad de la lluvia o en el efecto en la morbilidad y mortalidad de la población expuesta.

Ciudades en expansión como Guadalajara, se caracterizan por presentar un crecimiento acelerado que la hace más vulnerable a los efectos del cambio climático; a ello hay que sumarle la variación climática conocida como isla de calor, que consiste en el aumento de temperatura a medida que las ciudades van creciendo debido a la alteración del

albedo por el sellado de los suelos con infraestructura y una notable ausencia de áreas verdes, de modo que mientras más extensa sea la ciudad, mayor será el contraste térmico urbano/rural (Jáuregui, 2004). En la Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG) este contraste llega ser de 8°C entre la ciudad y los ecosistemas circundantes, el más valioso por su impacto regulador para Guadalajara, es el Bosque La Primavera (BLP).

El BLP brinda diversos servicios ambientales, entre ellos el de regulación ambiental (Martínez-Hernández, 2016), lo que significa que el bosque propicia una regulación de temperatura y por ende, finca una base estratégica de adaptación al cambio climático. ¿Cuáles son los alcances de esa regulación del Bosque La Primavera a la Zona Metropolitana de Guadalajara?, esa es la pregunta central de la presente investigación.

El objetivo del presente trabajo fue distinguir la influencia del Bosque La Primavera en la regulación de las temperaturas máximas en la Zona Metropolitana de Guadalajara.

## Materiales y métodos

Para realizar este trabajo, se tomó como área de estudio la comprendida por la Zona Metropolitana de Guadalajara y el Área Natural Protegida (ANP) de bosque nativo de pino – encino Bosque La Primavera, con una superficie de 35,000 hectáreas ubicada al occidente de la conurbación de la ciudad capital del Estado de Jalisco que se constituye como la tercera más poblada del país.

Las variables de estudio se centraron de inicio en identificar la influencia del BLP en la regulación de temperaturas máximas en la ZMG, para ello se consideró como variable independiente la distancia de las estaciones de Monitoreo Atmosférico al BLP en kilómetros calculados con Google Earth y como variables dependientes la frecuencia de los vientos que provienen del BLP en % y las temperatura máxima alcanzadas en diversos puntos de la ZMG en número de días con temperaturas mayores a 36°C, con lo anterior se busca distinguir si a mayor cantidad de vientos en la ZMG que provienen con una dirección referida al BLP, traen beneficios a la regulación de las temperaturas extremas máximas que representan una amenaza a la salud a la población. Tanto la

dirección de los vientos como el valor de temperatura máxima se obtuvieron del Sistema de Monitoreo Atmosférico de Jalisco, utilizando seis estaciones que cumplieron con los criterios de calidad. Estas estaciones son las ubicadas en los municipios conurbados de: Zapopan, Guadalajara y Tlaquepaque.

En un segundo momento y con la intención de vincular la posible regulación del BLP en las temperaturas máximas de la ZMG, con los beneficios a la salud de la población, se planteó como variable independiente la temperatura máxima alcanzada en los meses de calor en la ZMG en dos años consecutivos, un año normal y otro con máxima anomalía, con datos obtenidos por el Sistema de Monitoreo Atmosférico de Jalisco y como variable dependiente el número de muertes en la ZMG con datos obtenidos de la Secretaría de Salud Jalisco. De esta forma reconocer si la regulación de temperatura por la cercanía al BLP guarda alguna relación con diferencias en la mortalidad de la población en la ZMG.

Al final, estas variables de estudio permitirían reconocer con una mayor consistencia al BLP como regulador de temperatura y una función estratégica en la adaptación al cambio climático para la ZMG.

Para evaluar la condición del cambio climático, se utilizó como indicador la temperatura máxima promedio de los meses más cálidos (marzo, abril, mayo y junio); de manera adicional se consideró la anomalía de temperatura promedio mensual y el número de días con temperaturas mayores a los 36°C -temperatura de disparo de mortalidad- (Estrella, 2017)). En esta evaluación se consideró un año climático normal (testigo) y un año con evidencias de anomalías positivas, siendo estos 2004 y 2005 respectivamente.

Para evaluar el efecto del BLP como regulador de temperatura se usaron como indicadores la temperatura en la ZMG cuando los vientos vienen de la dirección del BLP y la cercanía al BLP (km), obtenida por Google Earth. Esto con la finalidad de conocer si la presencia de vientos provenientes del BLP influye en una regulación de la temperatura máxima en la ZMG.

Se obtuvieron los porcentajes de vientos provenientes del BLP y los vientos provenientes de otras regiones, de la misma forma su temperatura

máxima promedio de los meses más cálidos de cada uno para conocer el comportamiento de temperatura y si existía alguna diferencia cuando los vientos provenían del BLP.

Se consideraron de manera adicional los datos de las anomalías de temperatura promedio mensual y los días con temperaturas mayores a los 36°C comparándolas con en año climático normal y el año con evidencias de anomalías positivas, 2004 y 2005 para conocer el comportamiento de temperaturas y la diferencia de un año con el otro.

De igual forma se consideraron la frecuencia de días con temperaturas de disparo (mayores a 36°C) con respecto a la distancia de las estaciones al BLP. Esto con la finalidad de conocer si las zonas más cercanas al bosque tienen un menor número de días críticos de temperatura.

Como variable dependiente se consideró la mortalidad en época de calor con los siguientes indicadores: mortalidad total, mortalidad prematura y mortalidad a causa de enfermedades cardiovasculares. Esto con la finalidad de conocer si existe un mayor nivel de mortalidad en la ZMG cuando aumenta el número de días con temperaturas máximas.

Se realizaron análisis gráficos, correlaciones y coeficientes de determinación para conocer asociaciones entre las variables.

## Resultados y Discusión

Para comprobar si los vientos en la ZMG que provienen con una dirección referida al BLP, trae beneficios a la regulación de las temperaturas extremas máximas, se tomó la dirección de los vientos de las estaciones de monitoreo que registran valores cada hora, la primera confirmación fue que no toda la ZMG registra que la mayoría de los vientos provienen del BLP, sino sólo aquellas estaciones ubicadas a una distancia menor de 8 kilómetros del límite del BLP, estas son la estación Las Águilas en Zapopan, que es la más cercana -6.6 kilómetros de distancia al límite del bosque- donde el 64% de vientos registrados durante la época de calor (marzo-junio), provienen del BLP; la segunda estación es Vallarta, en Zapopan -ubicada a 7.5 kilómetros-, con un 60% de vientos provenientes del BLP sólo en el mes de marzo, para después disminuir, cerrando el periodo de calor con un 28% de los vientos provenientes del BLP.

El resto de estaciones localizadas de 13 a 18 kilómetros de distancia del BLP ya no reciben los vientos predominantes del bosque de manera significativa (< 20%). Figura 1.

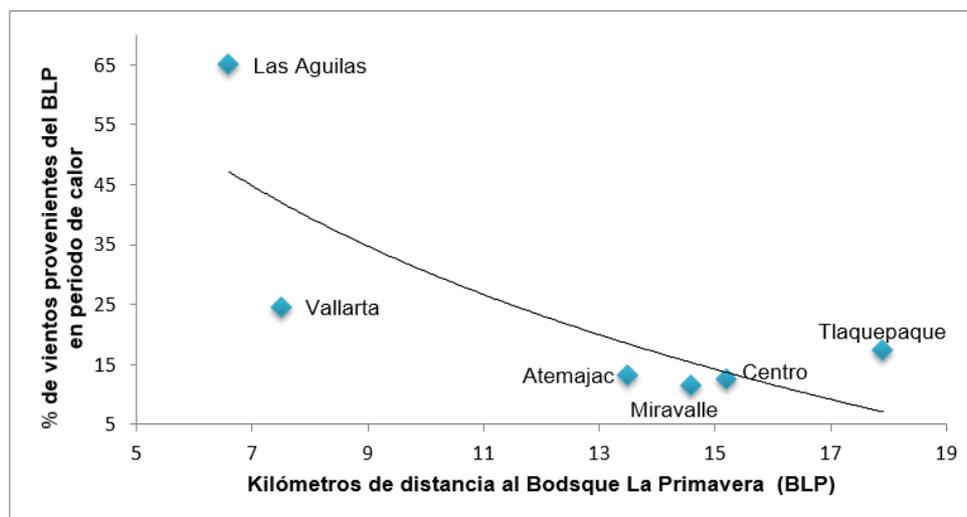


Figura 1. Relación entre la distancia al Bosque La Primavera de estaciones de monitoreo en la Zona Metropolitana de Guadalajara y el porcentaje de viento proveniente del bosque en periodo de calor.

En base a lo aquí estudiado, se considera que los vientos que llegan a la ZMG provenientes del BLP están determinados en un 50% por la cercanía al bosque de las estaciones de monitoreo ( $r= 0.708$ ) y que se esperaría contar con los servicios de regulación de la temperatura en aquellos sitios de la ZMG ubicados a una distancia menor de los 8 kilómetros al límite del BLP. Son diversas las investigaciones que se han realizado sobre el efecto benéfico de los parques y bosques a las personas y a las poblaciones en su conjunto (Tzoulas *et al.* 2007) donde se reporta que vivir cerca de estos espacios es benéfico a la salud; también son diversos los estudios a las escalas de las ciudades, que se ha demostrado el efecto regulador de la temperatura por parte de los bosques cercanos (Safford *et al.* 2013). Un aporte que se da en este trabajo, es el identificar una zona de influencia del servicio de regulación de temperaturas perjudiciales a la salud pública.

Ahora bien, para saber el comportamiento de la temperatura con los vientos provenientes del BLP, se tomó en consideración la dirección de los vientos y la temperatura registrada entre las 16 a las 17 horas del día – donde se presentan las temperaturas máximas del día en el periodo de estudio-, el mayor contraste se presentó en el mes de abril dentro de un año en normalidad, donde el riesgo de tener olas de calor en la ZMG cuando los vientos venían del Bosque La Primavera fue de 5%, mientras que si los vientos venían de otra parte, el riesgo ascendía a un 30%, es decir, los

vientos provenientes del BLP, disminuyen en un 25% la probabilidad de sufrir olas de calor en abril y en mayo, disminuye un 13%. En resumen, en un año normal, los vientos que no vienen del BLP tienen una probabilidad de 21.5% a temperaturas mayores de 33 °C en la ZMG, mientras que, si los vientos vienen del BLP, esa probabilidad se reduce a más de la mitad: siendo su valor un 10%. La regulación de temperatura es uno de los servicios de los ecosistemas (Betts *et al.* 2005), donde se ha dado no solo una relación con la sombra, sino con el uso del suelo.

Para años con anomalía de 1.8°C en temporada de calor, el mes de mayor contraste fue mayo, donde la temperatura promedio para la estación más cercana, recibiendo los vientos del BLP, fue de 28.4 °C, una temperatura confortable, mientras que, para estaciones ubicadas a más de 10 kilómetros, como las ubicadas en el centro de Guadalajara, la temperatura presentó valores de 33.6 °C, que se sale de la zona de temperatura termoneutral (Gordon 2005) y representan riesgo a la salud.

Si tomamos la estación más cercana al BLP, el resultado nos muestra que mientras mayor sea el porcentaje de vientos recibidos desde el bosque, menores son las temperaturas máximas diarias registradas. Ya sea un año normal o anómalo, resultó una correlación de -0.82 y un coeficiente de determinación del 68%.

Siguiendo con el indicador de anomalías, las estaciones a una distancia menor del BLP, presentaron anomalías de 1.26°C, mientras que en



tura máxima. Utilizando un análisis gráfico, se puede observar que a partir de los 34 °C se incrementa la mortalidad en la ZMG arriba de 25 muertes que puede plantearse la hipótesis son atribuibles a la falta de una adaptación al cambio climático. Existe una relación confirmada entre el incremento de las temperatura y la mortalidad en las ciudades, que ha llevado a estimar para las ciudades de algunos países, como en los Estados Unidos de América, que el incremento de calor generaría 1 907 muertes adicionales al año (Bobb *et al.* 2014).

### Conclusiones

Los resultados arrojados con respecto a la variable del viento mostraron que los vientos que recibe la ZMG provenientes del BLP están determinados en un 50% por la cercanía al bosque ( $r= 0.708$ ).

Tomando a consideración el comportamiento de la temperatura con respecto al porcentaje de vientos proveniente del BLP, se sostiene que aquellas estaciones donde predomine los vientos del BLP, disminuye la probabilidad de sufrir olas de calor, esto al mostrar significativamente temperaturas menores en comparación con estaciones que se encuentran a mayor distancia de 10 km, concluyendo que mientras mayor sea el porcentaje de vientos recibidos desde el BLP, menores son las temperaturas máximas diarias registradas. Ya sea un año normal o anómalo, resultó una correlación de -0.82 y un coeficiente de determinación del 68%.

Las zonas de la metrópoli más cercanas al BLP es dónde se encuentran las temperaturas más bajas, se estimó que una distancia mayor de 10 kilómetros al BLP determina el 51% de los días con temperaturas mayores a los 36 °C en la ZMG, que se consideran temperaturas de disparo en términos de daño a la salud. Esto servicio de regulación de temperaturas máximas en las zonas más cercanas al ecosistema bosque, se debe a su posición geográfica en el límite oeste de la ciudad y a su tamaño (35 000 hectáreas).

Por lo anterior, se considera que el Bosque La Primavera proporciona una adaptación al cambio climático para la Zona Metropolitana de Guadalajara, en la porción ubicada a menos de 10 kilómetros de distancia, donde habitan más de un

millón de personas. El mejor indicador fue que al disminuir la exposición a temperaturas máximas, se regula el exceso de mortalidad total. En el mes de junio del 2005, periodo tipo de efecto de olas de calor en la ZMG, las muertes totales en Guadalajara fueron determinadas en un 35% por las temperaturas máximas alcanzadas, que se presentaron en su mayor proporción, a más de 10 kilómetros de distancia del BLP.

El estudio mostró que el Bosque La Primavera tiene la función como regulador de temperatura y proporciona bienestar. Su presencia resulta fundamental para una adaptación al cambio climático en la Zona Metropolitana de Guadalajara, por lo que hay que darle la categoría de bosque protector.

**Literatura citada**

- Betts Richard, Bob Constanza, Maria Assuncao Silva Dias, Beth Holland, Corinne Le Que´re´, Nophea Kim Phat, Ulf Riebesell, Mary Scholes. (2005). Climate and Air Quality. En *Ecosystems and Human Well-being: Current State and Trends*, Volume 1. Rashid Hassan Robert Scholes Neville Ash (ed). p. 355-390. IslandPress.
- Bobb Jennifer F., Roger D. Peng, Michelle L. Bell, y Francesca Dominici. (2014). Heat-Related Mortality and Adaptation to Heat in the United States. *Environmental Health Perspective*, 122(8), 811-816. doi.org/10.1289/ehp.1307392
- Curiel Ballesteros, Arturo. (2015). El clima cambiante Conocimientos para la adaptación en Jalisco. Universidad de Guadalajara. <http://www.saludambiental.udg.mx/descargas/el-clima-cambiante.pdf>
- Estrella Rodriguez, Laura. (2017). Variabilidad climática y extremos de temperatura: efectos en la mortalidad por enfermedades del sistema circulatorio, Guadalajara, Jalisco 2000-2014. [Tesis de maestría en ciencias]. Universidad de Guadalajara.
- Gordon, Christopher J. 2005. *Temperature and toxicology; an integrative, comparative, and environmental approach*. CRC Press Taylor & Francis.
- Jáuregui, E. (2004). La variabilidad climática en los registros instrumentales de México. En: J. Martínez y A. Fernández (comps.), *Cambio climático: una visión desde México* (pp. 279–289). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales / Instituto Nacional de Ecología.
- Martínez-Hernández, Arturo. (2016). Áreas verdes como estrategia de adaptación a las olas de calor en la Zona Metropolitana de Guadalajara [Diapositivas de PowerPoint]. Congreso Delfín.
- Ossola, A., L. Staas y M. R. Leishman. (2020). *Urban Trees and People’s Yards Mitigate Extreme Heat in Western Adelaide*. Macquarie University. doi.org/10.25949/5df2ef1637124.
- SIMAJ. Calidad del aire AMG. Accedido el 16 de julio del 2019, desde <http://siga.jalisco.gob.mx/aire2018/mapag2019>.
- Safford, H., E. Larry, E. G. McPherson, D. J. Nowak, L. M. Westphal. (2013). *Urban Forests and Climate Change*. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Climate Change Resource Center. [www.fs.usda.gov/ccrc/topics/urban-forests](http://www.fs.usda.gov/ccrc/topics/urban-forests)
- Tzoulas, K., K. Korpela, S. Venn, V. YliPelkonen, A. Kazmierczak, J. Niemela y P. James. (2007). Promoting ecosystem and human health in urban areas using green infrastructure: A literature review. *Landscape and Urban Planning* 81. 167–178. doi:10.1016/j.landurbplan.2007.02.001