

ZONIFICACIÓN ANÁLOGA DE RUSTICIDAD A LAS USDA *PLANT HARDINESS ZONES* PARA NUEVO LEÓN (MÉXICO)

EN EL PERIODO 1981-2040, Y SU
IMPORTANCIA EN LA REFORESTACIÓN
URBANA NATIVA

ADRIÁN GONZÁLEZ-MARTÍNEZ, PEDRO ADRIÁN IBARRA-ELIZONDO



Palabras clave: Zonas de Rusticidad, USDA, Nuevo León, Paisajismo, Viverismo, Arbolado Urbano, Horticultura

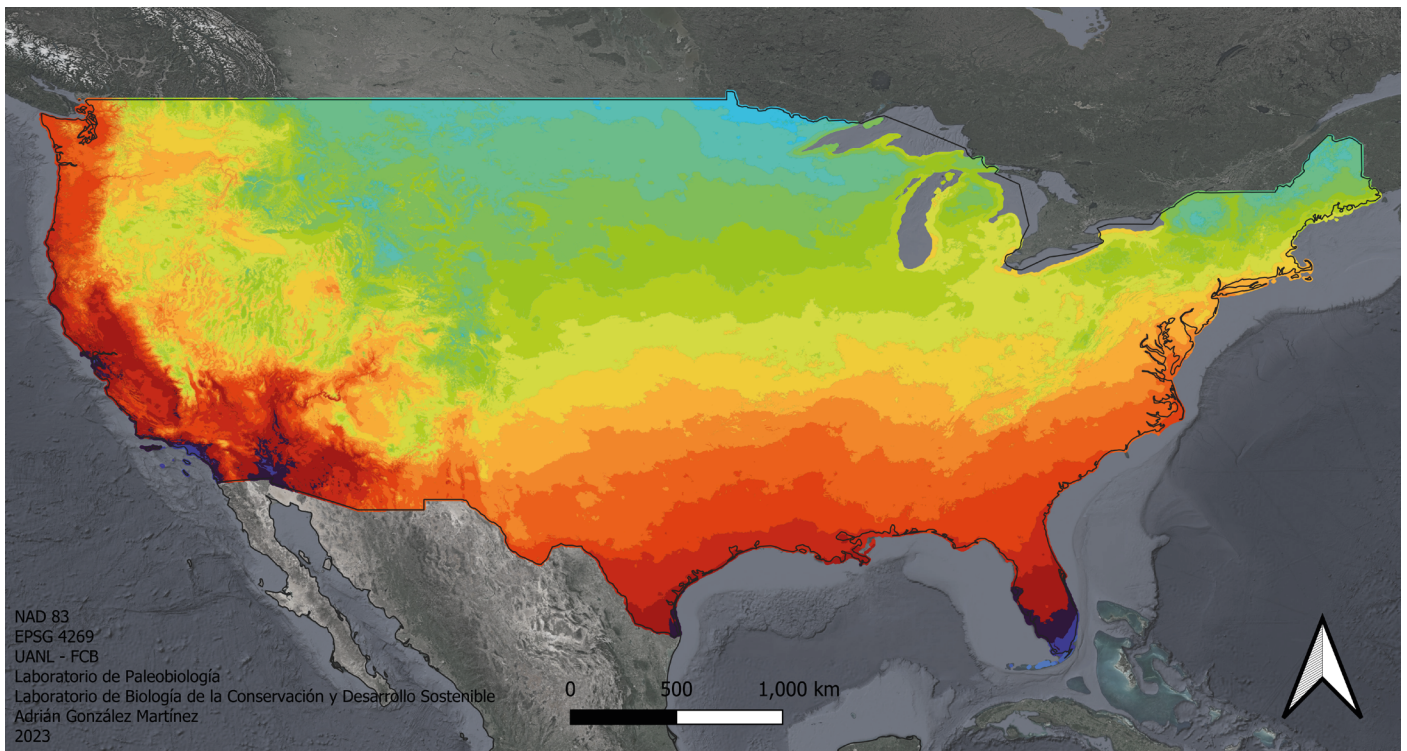
Key Words: Plant Hardiness Zones, USDA, Nuevo León, Landscaping, Nurseries, Urban Trees, Horticulture

RESUMEN

Las zonas de rusticidad de plantas (*plant hardiness zones*) son áreas geográficas que se definen por condiciones climáticas o biológicas significativas para el crecimiento de las especies vegetales. En muchos países, estas zonas se utilizan para ayudar a mejorar la eficacia de proyectos de paisajismo y en la industria agrícola. El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) ha definido 14 zonas de rusticidad basadas en las temperaturas mínimas promedio durante varios años o décadas, con una diferencia de 10 °F (5.6 °C) entre cada zona. Este estudio busca crear una zonificación análoga para Nuevo León, México, utilizando capas bioclimáticas de CHELSA Bioclim y los mismos rangos de temperaturas que la USDA. El objetivo es ayudar en la elección de especies de árboles urbanos que sean apropiadas para las condiciones climáticas de la zona, y evitar pérdidas masivas en caso de eventos extremadamente fríos. Se genera cartografía para México y los Estados Unidos contiguos, Nuevo León y la Zona Metropolitana de Monterrey, así como un listado de especies nativas adecuadas para proyectos de reforestación urbana.

ABSTRACT

Plant hardiness zones are geographic areas defined by significant climatic or biological conditions for the growth of plant species. In many countries, these zones are used to help improve the effectiveness of landscaping projects and in the agricultural industry. The United States Department of Agriculture (USDA) has defined 14 hardiness zones based on average minimum temperatures over several years or decades, with a difference of 10 °F (5.6 °C) between each zone. This study aims to create an analogous zoning for Nuevo León, Mexico, using bioclimatic layers from CHELSA Bioclim and the same temperature ranges as the USDA. The goal is to help in the selection of urban tree species that are suitable for the climatic conditions of the area, and to avoid massive losses in case of extremely cold events. Cartography is generated for Mexico and contiguous United States, Nuevo León, and the Metropolitan Area of Monterrey, as well as a list of native species suitable for urban reforestation projects.



Simbología

□ Límites Internacionales	4b: -25 to -20 F	7b: 5 to 10 F	10b: 35 to 40 F
Zonas de Rusticidad USDA (1976-2005)	5a: -20 to -15 F	8a: 10 to 15 F	11a: 40 to 45 F
2b: -45 to -40 F	5b: -15 to -10 F	8b: 15 to 20 F	11b: 45 to 50 F
3a: -40 to -35 F	6a: -10 to -5 F	9a: 20 to 25 F	Satélite de Google
3b: -35 to -30 F	6b: -5 to 0 F	9b: 25 to 30 F	
4a: -30 to -25 F	7a: 0 to 5 F	10a: 30 to 35 F	

Figura 1: Zonas de Rusticidad del USDA para el periodo 1976-2005, actualizado en 2012 (PRISM Climate Group, 2023).

INTRODUCCIÓN

Las zonas de rusticidad de plantas (*plant hardiness zones*) son un mecanismo de delimitación geográfica de áreas que cuentan con una característica en particular que permite o limita el crecimiento de plantas, y son de particular importancia para la industria del viverismo y agricultura. Desde 1960, el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) ha publicado mapas asignando regiones de los Estados Unidos de América a una de las 14 zonas de rusticidad, delimitadas por diferencias en el promedio de temperaturas mínimas anuales de 10 °F (5.6° C) entre ellas (Figura 1, Tabla 1). Estas zonificaciones se actualizan cada cierto tiempo para reflejar cambios en los promedios de temperaturas mínimas y considerando eventos de temperaturas mínimas extremas. Para 1990, estas zonas se dividieron en dos subzonas, llamadas "a" y "b" para los cinco grados Fahrenheit inferiores y superiores del rango, respectivamente, en cada zona (Del Tredici, 1990; Patton, 2018).

Tabla 1: Zonas de Rusticidad de acuerdo con el USDA (2012).

Zona	Subzona	Temperatura Mínima		Temperatura Máxima	
0	a	< -65 °F	< -53.9 °C	-65 °F	-53.9 °C
	b	-65 °F	-53.9 °C	-60 °F	-51.1 °C
1	a	-60 °F	-51.1 °C	-55 °F	-48.3 °C
	b	-55 °F	-48.3 °C	-50 °F	-45.6 °C
2	a	-50 °F	-45.6 °C	-45 °F	-42.8 °C
	b	-45 °F	-42.8 °C	-40 °F	-40 °C
3	a	-40 °F	-40 °C	-35 °F	-37.2 °C
	b	-35 °F	-37.2 °C	-30 °F	-34.4 °C
4	a	-30 °F	-34.4 °C	-25 °F	-31.7 °C
	b	-25 °F	-31.7 °C	-20 °F	-28.9 °C
5	a	-20 °F	-28.9 °C	-15 °F	-26.1 °C
	b	-15 °F	-26.1 °C	-10 °F	-23.3 °C
6	a	-10 °F	-23.3 °C	-5 °F	-20.6 °C
	b	-5 °F	-20.6 °C	0 °F	-17.8 °C
7	a	0 °F	-17.8 °C	5 °F	-15 °C
	b	5 °F	-15 °C	10 °F	-12.2 °C
8	a	10 °F	-12.2 °C	15 °F	-9.4 °C
	b	15 °F	-9.4 °C	20 °F	-6.7 °C
9	a	20 °F	-6.7 °C	25 °F	-3.9 °C
	b	25 °F	-3.9 °C	30 °F	-1.1 °C
10	a	30 °F	-1.1 °C	35 °F	1.7 °C
	b	35 °F	1.7 °C	40 °F	4.4 °C
11	a	40 °F	4.4 °C	45 °F	7.2 °C
	b	45 °F	7.2 °C	50 °F	10 °C
12	a	50 °F	10 °C	55 °F	12.8 °C
	b	55 °F	12.8 °C	60 °F	15.6 °C
13	a	60 °F	15.6 °C	65 °F	18.3 °C
	b	65 °F	18.3 °C	> 65 °F	> 18.3 °C

Numerosos sistemas de zonas de rusticidad similares han sido producidos en diversas partes del mundo. El sistema de Australia, por ejemplo, crea siete zonas delimitadas por diferencias en 5 °C entre sí, desde -15 °C a -10 °C en la zona 1, hasta 15 °C a 20 °C en la zona 7 (Dawson, 1991). La Real Sociedad de Horticultura del Reino Unido cuenta con una clasificación de siete zonas (RHS1 a RHS7), con un rango de 5 °C entre cada una a partir de RHS2. La zona RHS1 está dividida en tres subzonas, "c", "b" y "a", con diferencias de 5 °C entre ellas, y que corresponden a las temperaturas más altas (5 °C a 10 °C, 10 °C a 15 °C y más de 15 °C, respectivamente). La zona RHS7 indica temperaturas menores a -20 °C (RHS, 2012).

Para México, Giddings y Soto-Esparza (2005) crearon un sistema de zonas de calor, dividiendo al país al tomar en cuenta la cantidad de días promedio al año con temperaturas máximas mayores a 30 °C, similar al producido por la American Society for Horticultural Science. Mencionan que las zonas con mayor cantidad de días por encima de los 30 °C no siempre coinciden con las partes del país donde se presentan las temperaturas máximas extremas, superiores a 45 °C. El

mapa de zonas de rusticidad del USDA, en su versión de 1990, incluyó por primera vez a México y Canadá, aunque estos países han sido retirados en versiones más recientes.

Este sistema ha recibido críticas y comentarios a lo largo de los años. Dawson (1991), al crear el sistema australiano, consideró que las categorías de la USDA hacían ver al territorio estadounidense mucho más frío de lo que en realidad es, por sus temperaturas promedio. Patton (2018), por su parte, comenta que este sistema es sólo una parte del panorama, ya que no toma en cuenta otras condiciones importantes para el desarrollo apropiado de las plantas, como la temperatura máxima extrema y promedio del verano, precipitación y sequía, humedad relativa, tipos de suelo, entre otros. El mapa de zonas de rusticidad es más útil para delimitar los rangos viables de especies perennes como árboles y arbustos que para herbáceas (University of Maine, 2022), por lo que este sistema debe utilizarse como una guía y no como una norma, ya que se deben considerar muchos otros factores al momento de elegir plantas ornamentales y de producción agrícola para así garantizar el éxito de éstas.

IMPORTANCIA DE LA REFORESTACIÓN URBANA CON ESPECIES NATIVAS

Los esfuerzos de reforestación urbana han mostrado numerosos beneficios para la mejora de las condiciones de vida de las poblaciones, además de fungir como mitigadores de diversos efectos del cambio climático. Las áreas verdes y el arbolado en calles tienen un impacto en la disminución de temperaturas atmosféricas y de las superficies como pavimentos y asfaltos (Aram et al., 2019; Yan et al., 2018). Asimismo, proveen beneficios psicológicos, como un mayor confort térmico (que propicia el descanso en las noches y el esparcimiento) y el aumento en la atractividad de las calles (Klemm et al., 2015; Lobaccaro y Acero, 2015). Hay una clara tendencia de comportamiento peatonal al preferir zonas con buen confort térmico, como la sombra en las banquetas, para caminar, sentarse a descansar o convivir, o detenerse a esperar el transporte público (Kim y Brown, 2022).

Lo más recomendable es utilizar especies de árboles, arbustos y herbáceas que sean nativas a la región donde se planea la reforestación, ya que estas especies tienen mayores posibilidades de adaptarse a los cambios ambientales a largo plazo, así como manejar los efectos de condiciones climáticas adversas (Alanís-Flores, 2011; Jang y Leung, 2022), ya que son adecuadas para las condiciones específicas de suelos, temperaturas, regímenes de lluvia, y para las interacciones con otros organismos, ya sea como alimento y refugio para polinizadores, aves y mamíferos, o por su mayor resistencia a patógenos y plagas. Los árboles urbanos nativos, además, muestran mejores tasas de acumulación de carbono que sus contrapartes silvestres (Schwendenmann y Mitchell, 2014). Sin embargo, una alta diversidad de especies de árboles urbanos es necesaria para incrementar y mejorar los servicios ecosistémicos (Morgenroth et al., 2016), por lo que es viable utilizar algunas especies exóticas seleccionadas para este propósito, siempre y cuando no afecten las condiciones ambientales a su alrededor, como evitando el crecimiento de especies nativas, o convirtiéndose en exóticas invasivas (Wood y Esaian, 2020).

METODOLOGÍA

Los datos climatológicos se obtuvieron de la plataforma CHELSA Climate (*Climatologies at High resolution for the Earth's Land Surface Areas*) de Karger et al. (2017, 2018) en los parámetros bioclimáticos utilizados en otras plataformas como WorldClim y ANUCLIM, los cuales son derivados de variables como la temperatura máxima, media y mínima mensuales, y precipitación media mensual con el fin de generar datos biológicamente significativos. A partir de estas variables es posible calcular parámetros anuales como temperatura y precipitación medias, por cuartiles en el caso de las temperaturas y precipitaciones medias en los cuartiles más cálidos, más fríos, más húmedos y más secos, además de las temperaturas máximas y mínimas en los meses más cálidos y fríos, respectivamente, y la precipitación en los meses más húmedos y más secos, además de otros parámetros derivados como

el rango diurno diario de temperatura, las isotermas, el rango anual de temperatura, y la estacionalidad de las temperaturas y precipitaciones (WorldClim, 2022; CHELSA Climate, 2022).

Las capas en esta plataforma están disponibles en diversos rangos de tiempo desde 1981-2010, 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100. Son generadas a partir de diversos modelos de sistema terrestre en tres trayectorias de concentración representativa (RCP) distintas: SSP1-RCP2.6, SSP3-RCP7 y SSP5-RCP8.5 a partir de la CMIP6, los cuales son escenarios futuros de concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera de acuerdo con distintas expectativas de cumplimiento de políticas ambientales y generación de contaminantes hacia finales del siglo XXI. Las trayectorias socioeconómicas compartidas (SSP), además, consideran factores económicos, sociales y demográficos (Dong et al., 2015). La RCP2.6 implicaría la disminución en gran medida de las emisiones contaminantes, mientras que RCP8.5 representa una muy alta emisión, y a veces es denominada como el "peor escenario".

El parámetro utilizado para el cálculo de las zonas de rusticidad fue la denominada Bio6, la temperatura del aire mínima diaria del mes más frío, o bien, la temperatura más baja entre las temperaturas mínimas diarias mensuales, para el rango temporal de 2011 a 2040, a partir del modelo de sistema terrestre MPI-ESM1.2 del Instituto Max Planck, elegido por su buena resolución en datos oceánicos y atmosféricos (Gutjahr et al., 2019) bajo la trayectoria SSP3-RCP7, que se puede considerar de emisiones intermedias.

Los análisis climatológicos geoespaciales y la cartografía se realizaron en el paquete ArcMap 10.8. El rango de temperaturas mínimas de las capas muestra los datos promedio de temperaturas mínimas del mes más frío para el periodo 2011-2040, pero difieren de las temperaturas mínimas extremas que se busca representar, por lo que se realizó una corrección considerando los valores conocidos y aproximados de temperaturas mínimas extremas en diversos puntos de Norteamérica (particularmente en Monterrey y Galeana, Nuevo León; Ciudad Juárez, Chihuahua; Tijuana, Baja California; y Benito Juárez, Quintana Roo) mediante la calculadora ráster con la fórmula:

[\(CHELSA_bio6_2011-2040_mpi-esm1-2-hr_ssp370_V.2.1\)-15 °C](#)

Para comparar con el mapa oficial de las zonas de rusticidad del USDA (Figura 1) y con la zonificación análoga para el periodo 2011-2040, se produjo un mapa para el periodo 1981-2010 utilizando la metodología descrita con anterioridad con el producto ráster Bio6 de CHELSA 1981-2010 v.2 (CHELSA Climate, 2022).

La zonificación de rusticidad producida en este trabajo utiliza los mismos intervalos de temperatura que las Zonas de Rusticidad de Plantas de la USDA, lo que permite aprovechar la información y recursos disponibles en los Estados Unidos de América. Aunque esta zonificación no se calcula a partir de los mismos datos climáticos y meteorológicos que los utilizados por la USDA, se considera análoga debido a su similitud. Por lo tanto, aunque no es un equivalente directo al producido por la USDA, este estudio

puede considerarse una alternativa cercana y útil para la elección de especies de árboles urbanos adecuadas para las condiciones climáticas de la región.

RESULTADOS

La zonificación análoga de rusticidad (ZAR) para México y los Estados Unidos de América para el periodo 1981-2010 se muestra en la Figura 2, y para el periodo 2011-2040 en la Figura 3. Los resultados muestran desde las zonas de rusticidad 3a y 3b en diversos picos de la Cordillera de las Rocallosas, las Cascadas, la Sierra Nevada y volcanes en la costa oeste de los Estados Unidos, hasta zonas 11a y 11b en el extremo sur y las costas del Caribe en México. Debido a la resolución espacial de la capa utilizada, es posible ubicar también las zonas más altas de las Sierras Madre Oriental, Occidental, del Sur, de Chiapas, la Sierra de Juárez y San Pedro Mártir, de la Faja Volcánica Transmexicana y de las Apalaches. Las temperaturas más frías en áreas no montañosas en México se presentan en los estados de Chihuahua y Durango, correspondientes a la zona 7b (de -15 °C a -12.2 °C), mientras que los picos más altos en las cordilleras mexicanas entran en la zona 6 (de -23.3 °C a -17.8 °C). Las diferencias entre estas zonificaciones son pocas, aunque se puede observar un aumento en el área de las zonas 10 y 11, correspondiendo al aumento de temperaturas por el cambio climático.

El estado de Nuevo León está dividido en cuatro amplias zonas correspondientes a diversas variables biológicas, climatológicas y fisiográficas (Figura 4). El extremo oriental del estado, afín a la Planicie Costera del Golfo, es indicada por la zona 9b. La parte norte-central, afín a las Grandes Llanuras de Norteamérica y partes bajas del Desierto Chihuahuense, corresponde a la zona 9a. El Altiplano Mexicano se muestra en la zona 8b. La Sierra Madre Oriental, por su parte, pertenece a las zonas 8a, 7b, 7a y 6b (Tabla 2).

Tabla 2: Zonas de Rusticidad presentes en el estado de Nuevo León, y las regiones del estado donde se encuentran.

Zona de Rusticidad	Temperatura Mínima	Temperatura Máxima	Regiones
6b	-20.6 °C	-17.8 °C	Sierra Madre Oriental
7a	-17.8 °C	-15 °C	Sierra Madre Oriental
7b	-15 °C	-12.2 °C	
8a	-12.2 °C	-9.4 °C	
8b	-9.4 °C	-6.7 °C	
9a	-6.7 °C	-3.9 °C	Grandes Llanuras de Norteamérica; Desierto Chihuahuense
9b	-3.9 °C	-1.1 °C	Planicie Costera del Golfo

La Zona Metropolitana de Monterrey (ZMM) se encuentra casi en su totalidad dentro de la zona 9a, con las únicas excepciones en la Gran Sierra Plegada, la Sierra de la Silla, de las Mitras, del Fraile y San Miguel, el Cerro del Topo Chico, y otros picos hacia el noreste y noroeste. El área urbana y todas las cabeceras municipales de la metrópoli son, por lo tanto, uniformes en cuanto a temperaturas mínimas extremas.

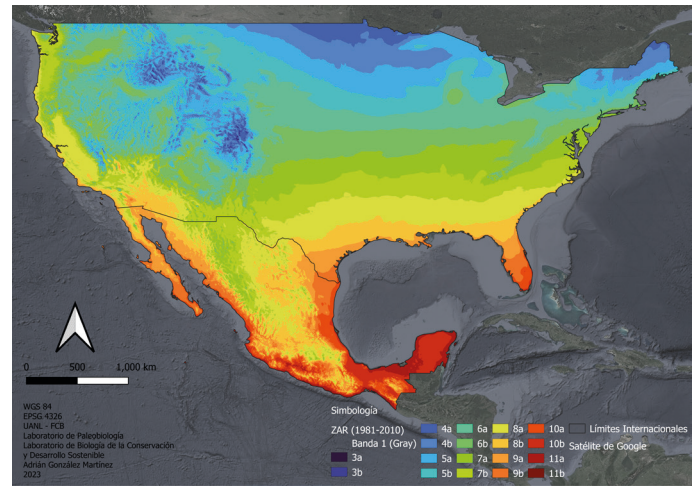


Figura 2: Zonas Análogas de Rusticidad (ZAR) para México y los Estados Unidos de América (1981-2010).

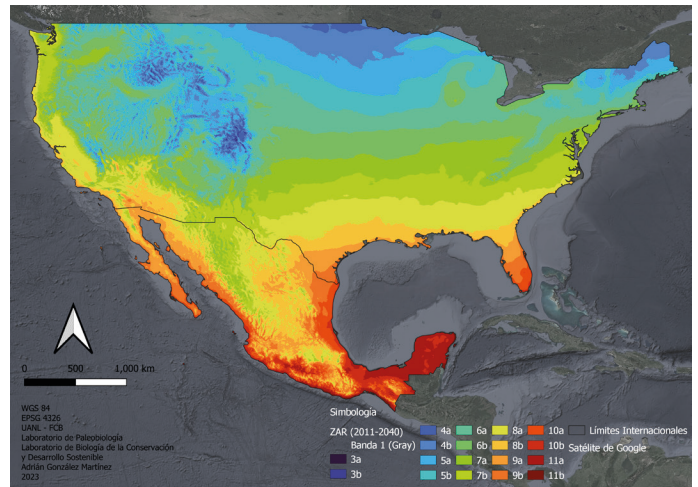


Figura 3: Zonas Análogas de Rusticidad (ZAR) para México y los Estados Unidos de América (2011-2040).

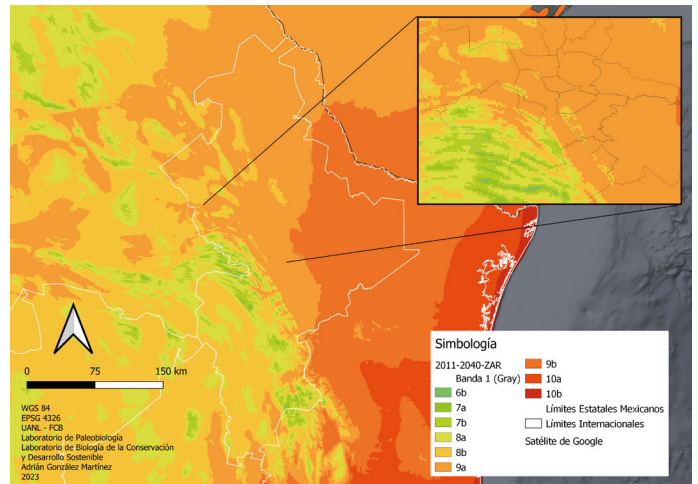


Figura 4: Zonas Análogas de Rusticidad (ZAR) para el estado de Nuevo León y regiones adyacentes (2011-2040). En el recuadro superior derecho, la Zona Metropolitana de Monterrey.

La influencia de la Sierra Madre Oriental como embudo que concentra los vientos del norte y la falta de obstáculos orográficos a lo largo de las Grandes Llanuras de Norteamérica causan que, dadas las condiciones apropiadas, las temperaturas puedan desplomarse por debajo de los 0 °C dentro de la ZMM. Es necesario considerar esta escala de temperaturas para ayudar en la mejor toma de decisiones en cuestión de elección de especies, al descartar aquellos árboles que no puedan soportar temperaturas sostenidas menores a -3.9 °C dentro de la ZMM.

Aunado a esto, el clima en la ZMM se considera extremo debido al gran contraste entre las temperaturas invernales y estivales. Las especies elegidas deben soportar las

temperaturas de hasta 45 °C que pueden ocurrir, particularmente hacia finales de abril y entre junio y agosto, además de estar adaptadas al pH alto de las rocas y suelos origen sedimentario y calcáreo presentes en la mayor parte del estado, como calizas de plataforma, lutitas, margas y algunas areniscas (Alanís-Flores et al., 1996; Alanís-Flores y González-Alanís, 2003).

Un listado de especies nativas arbóreas y arbustivas propicias para la utilización en la reforestación urbana de la ZMM formulado a partir de Alanís-Flores et al. (1996), Alanís-Flores y González-Alanís (2003) y Zurita-Zaragoza (2012), con información de rusticidad para el estado de Texas de Wasowski y Wasowski (1997) y Michael y Powell (2005) es presentado en la Tabla 3.

Tabla 3: Listado de especies nativas notables para su utilización en la ZMM conforme a las zonas de rusticidad presentes en el estado de Nuevo León.

Nombre	Nombre Común	Familia	Zonas de Rusticidad
Especies Arbóreas de Talla Grande (Banquetas y otras Áreas Verdes)			
<i>Ebenopsis ebano</i> (Berl.) Barneby & Grimes	Ébano	Fabaceae	8-11
<i>Ehretia anacua</i> (Terán & Berl.) I. M. Johnst.	Anacua	Boraginaceae	7-11
<i>Vachellia farnesiana</i> (L.) Wight & Arn.	Huizache	Fabaceae	9-11
<i>Quercus polymorpha</i> Cham. & Schl.	Encino Roble	Fagaceae	7-10
<i>Neltuma glandulosa</i> (Torr.) Britton & Rose	Mezquite Dulce	Fabaceae	7-13
<i>Neltuma laevigata</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd) Britton & Rose	Mezquite Suave	Fabaceae	8-13
<i>Celtis laevigata</i> Willd.	Palo Blanco	Cannabaceae	5-10
<i>Cupressus arizonica</i> Greene	Ciprés Azul	Cupressaceae	6-10
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill	Ciprés Blanco	Cupressaceae	8-11
<i>Platanus occidentalis</i> L.	Álamo de Río, Álamo Sicomoro	Platanaceae	4-10
<i>Platanus rzedowskii</i> Nixon & J.M. Poole	Álamo de Río, Álamo Sicomoro	Platanaceae	6-10
<i>Ulmus crassifolia</i> Nutt	Olmo de Texas	Ulmaceae	6-9
Especies Arbóreas de Talla Grande (Parques, Áreas Verdes, Jardines Grandes)			
<i>Acer negundo</i> L.	Maple del Huajuco, Maple Mexicano	Sapindaceae	2-10
<i>Carya illinoensis</i> (Wang.) K. Koch	Nogal de Nuez Lisa	Juglandaceae	5-10
<i>Taxodium mucronatum</i> Ten	Sabino, Ahuehuete	Cupressaceae	8-11
<i>Pinus cembroides</i> Zucc.	Pino Piñonero	Pinaceae	6-9
Especies Arbóreas de Talla Mediana (Banquetas y otras Áreas Verdes)			
<i>Cordia boissieri</i> DC.	Anacahuita	Boraginaceae	8-11
<i>Dermatophyllum secundiflorum</i> (Ortega) Gandhi & Reveal	Colorín	Fabaceae	7-10
<i>Erythrostemon mexicanus</i> (A. Gray) Gagnon & Lewis	Hierba del Potro	Fabaceae	9-11
<i>Chilopsis linearis</i> (Cav.) DC.	Mimbre	Bignoniaceae	6-10
Especies de Arbustos			
<i>Leucophyllum frutescens</i> (Berl.) I. M. Johnst.	Cenizo	Scrophulariaceae	8-10
<i>Bouvardia ternifolia</i> (Cav.) Schlecht	Trompetilla	Rubiaceae	7-10
<i>Havardia pallens</i> (Benth.) Britton & Rose	Tenaza	Fabaceae	9-11
<i>Salvia coccinea</i> Buc'hoz ex Etl.	Mirto Coral, Salvia Escarlata	Lamiaceae	7-10
<i>Salvia microphylla</i> Kunth	Mirto Rojo, Salvia de Graham	Lamiaceae	7-10
<i>Salvia greggii</i> A.Gray	Mirto Rosa, Salvia de Otoño	Lamiaceae	6-10
<i>Salvia × jamensis</i> J.Compton	Salvia "Red Lips"	Lamiaceae	7-10
<i>Poliomintha bustamanta</i> B.L.Turner	Orégano de Higueras	Lamiaceae	8-10
<i>Dahlia coccinea</i> Cav.	Dahlia Escarlata	Asteraceae	9-11

DISCUSIÓN

El mapa de zonas de rusticidad generado en este trabajo considera un escenario futuro de cambios en temperaturas y otras condiciones climáticas, por lo que es esperado que no coincida con el publicado por el USDA (2012), generado a partir de promedios de temperaturas mínimas extremas en años anteriores al de publicación. Sin embargo, ciertas zonas de los Estados Unidos muestran una buena similitud entre los dos mapas. Por ejemplo, el estado de Texas está dividido por la USDA en las zonas 6b, 7a, 7b, 8a, 8b, 9a, 9b y 10a en bandas casi perfectamente paralelas desde el noroeste hacia el sureste. En el mapa generado en este trabajo, el mismo estado muestra un arreglo similar de ocho zonas, comenzando con la 7a en el extremo noroeste y terminando en la 10b en la zona de Port Isabel, South Padre Island y Boca Chica, con un desplazamiento de una subzona en todo el estado.

Los estados más septentrionales de los Estados Unidos de América muestran el cambio de zonas más grande. Minnesota, por ejemplo, contiene desde la zona 2b hasta la 5a en el mapa del USDA, mientras que en el generado en este trabajo corresponde desde la zona 3b hasta la 5a, esta última mostrando una expansión en área hasta más de un tercio del área total del estado. Los cambios o desplazamientos en zonas ya han sido expuestos previamente en trabajos como Windham *et al.* (2018), que comparan la distribución de zonas entre 1990 y 2015 como resultado del cambio climático, con una tendencia de desplazamiento hacia el norte de las zonas más bajas, de la misma forma que lo mostrado en este trabajo.

El mapa de zonas de rusticidad publicado por el USDA en 1990 (Del Tredici, 1990) incluyó a México y Canadá. El estado de Nuevo León, bajo esta cartografía, correspondía a las zonas 9a, 9b y 10a, ya que no incluía el detalle de la orografía. Monterrey y su zona metropolitana se encontraban dentro de la zona 9b, una subzona por debajo de la mostrada en este trabajo. Por otro lado, las áreas incluidas en la zona 11 en ambos mapas coinciden sin tomar en cuenta la orografía en estados como Guerrero, Oaxaca y Chiapas.

La zona metropolitana de Monterrey, al estar en la zona 9a, podría presentar temperaturas mínimas extremas entre los $-6.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $-3.9\text{ }^{\circ}\text{C}$. En comparación, durante el Frente Frío #35 y la Tormenta Invernal #9, entre el 14 y 19 de febrero de 2021, se reportaron temperaturas mínimas entre los $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ (AccuWeather, 2022). Ciudad Juárez, Chihuahua, es una de las ciudades más al norte del país, y presenta algunas de las temperaturas más bajas en una zona urbana en México. De acuerdo con reportes periodísticos, la urbe registró hasta $-17\text{ }^{\circ}\text{C}$ el 3 de febrero de 2011, $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ el 14 de febrero de 2021, y hasta $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ en febrero de 2022 (Meza, 2022). Según el mapa presentado en este trabajo, Ciudad Juárez, al estar en la zona 7b, registraría mínimas extremas de entre $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $-12.2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Las playas de Cancún, en el municipio de Benito Juárez, Quintana Roo, están indicadas como una zona 11b, con temperaturas mínimas extremas entre $7.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $10\text{ }^{\circ}\text{C}$. De acuerdo con el SMN (2022), esta zona

presentó temperaturas de hasta $9.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ el 12 de marzo de 1996.

Las heladas de febrero de 2021 correspondientes a una zona 9a causaron la pérdida de numerosos ejemplares de especies como *Delonix regia* (Flamboyán, resistente a las zonas 10 - 12), *Ficus benjamina* (Ficus, resistente a las zonas 10 - 12), *F. microcarpa* (Laurel de la India, resistente a zonas 9b - 11) y los abundantes *Leucaena leucocephala* (Guaje), peligrosa especie exótica invasiva, que se vieron gravemente afectadas al ser sólo resistentes a las zonas 9b - 11. A pesar de tener un efecto benéfico al eliminar especies poco apropiadas para el clima de la región, también trajo como consecuencia el enorme riesgo de incendios por material inflamable y caídas de árboles debido a los fuertes vientos y altas temperaturas presentes a lo largo del año (von der Meden en Cantú, 2021), de forma similar a lo sucedido tras el fenómeno meteorológico de febrero de 2011, de acuerdo con Alanís-Flores (2011), quien describe, entre los efectos negativos de la pérdida de arbolado por eventos de temperaturas mínimas extremas, la falta de sombra, disminución de humedad relativa en la zona urbana, incremento y expansión de las islas de calor, aumento del consumo eléctrico, mayor suspensión de particulado en el aire por la pérdida de los árboles como filtros biológicos, menor captación y retención de carbón, y el deterioro del paisaje y belleza de la ciudad.

A pesar de que se ha popularizado su plantación extensiva en los últimos 25 años, la especie *Quercus virginiana* Mill (Encino siempreverde) no es considerada nativa para México, ya que su distribución tan sólo abarca la vertiente del Golfo de México desde el extremo este de Texas hasta Carolina del Norte y Virginia, en los Estados Unidos de América (Carey, 1992). *Quercus fusiformis* Small (Encino molino), una especie antes considerada una variedad de la anterior por su cercanía y similitudes morfológicas se distribuye desde Oklahoma hasta el noreste mexicano (Nixon, 1997), y es adecuada para su plantación en áreas amplias como parques y jardines con riego suficiente, pero no en banquetas o áreas reducidas por su gran talla en su madurez.

CONCLUSIÓN

Se buscó crear una zonificación análoga a la de la USDA con el fin de poder utilizar la información disponible sobre la amplia industria hortícola de los Estados Unidos de América. Su utilidad radica, en el caso de Nuevo León, al buscar prevenir la venta y utilización de especies vegetales de ornato y forestales que puedan verse afectadas por las esporádicas, pero inevitables, heladas fuertes que llegan al estado cada cierto tiempo. El proyecto de la Norma Ambiental Estatal NAE-SMA-007-2022 sobre arbolado urbano del estado de Nuevo León toma como prioridad la plantación de especies nativas y algunas no nativas, pero resistentes a las condiciones climáticas del estado. Por lo tanto, la cartografía creada y la información recopilada en este trabajo puede resultar útil como una de las condicionantes al momento de elegir una especie de arbolado dentro del estado y prevenir la pérdida de grandes cantidades de árboles en eventos de clima gélido extremo. Asimismo, es necesario producir información de rusticidad para especies nativas de

Nuevo León que no se encuentren en la bibliografía producida en los Estados Unidos de América, y desarrollar a mayor profundidad información acerca de otros factores climáticos y edafológicos que puedan determinar la viabilidad de la utilización de ciertas especies vegetales ornamentales en el estado de Nuevo León, previniendo el uso de especies tropicales o templadas que no toleren el clima de la región.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Hidalgo Rodríguez-Vela, por integrarnos al Laboratorio de Paleobiología durante el Servicio Social del semestre Agosto-Diciembre de 2022 donde se produjo este trabajo y por su apoyo técnico y comentarios. Al Dr. José Ignacio González-Rojas y al Dr. Antonio Guzmán-Velasco, por el apoyo técnico y recomendaciones en diversos proyectos realizados para el Departamento de Ecología. A nuestra querida compañera Valeria Barra-Suárez, por su apoyo en la redacción y revisión de este manuscrito.



LITERATURA CITADA

- AccuWeather. 2022. *February 2021. Monthly Temperatures*. En: <https://www.accuweather.com/en/mx/monterrey/244681/february-weather/244681?year=2021> (consultado el 04/07/2022).
- Alanís-Flores, G. J. 2011. Los fenómenos meteorológicos extremos: efecto de las bajas temperaturas en la vegetación arbórea del área metropolitana de Monterrey. *Ciencia UANL*. 14(2). 115-120.
- Alanís-Flores, G. J., Cano-Cano, G., y Rovalo-Merino, M. 1996. *Vegetación y Flora de Nuevo León, una Guía Botánico-Ecológica*. CEMEX.
- Alanís-Flores, G. J., y González-Alanís, D. 2003. *Flora Nativa Ornamental para el Área Metropolitana de Monterrey*. Universidad Autónoma de Nuevo León; R. Ayuntamiento de Monterrey
- Aram, F., Higuera-García, E., Solgi, E., y Mansournia, S. 2019. Urban green space cooling effect in cities. *Heliyon*. 5(4). e01339. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01339>
- Cantú, R. 25 de febrero de 2021. Mueren plagas y árboles con clima gélido. *El Norte*. En: <https://www.elnorte.com/mueren-plagas-y-arboles-con-clima-gelido/ar2132523> (consultado el 12/07/2022).
- Carey, J. H. 1992. *Quercus virginiana*. En: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Fire Sciences Laboratory (eds.) *Fire Effects Information System*. <https://www.fs.usda.gov/database/feis/plants/tree/quevir/all.html>
- CHELSEA Climate. 2022. *CHELSEA Bioclim*. En: <https://chelsea-climate.org/bioclim/> (consultado el 12/07/2022).
- Dawson, I. 1991. Plant Hardiness Zones for Australia. *Australian Horticulture*. 89(9). 37-39. <https://www.anbg.gov.au/gardens/research/hort.research/zones.html>
- Del Tredici, P. 1990. The New USDA Plant Hardiness Zone Map. *Arnoldia*. 5(3). 16-20. <https://www.jstor.org/stable/42954386>
- Dong, W., Liu, Z., Liao, H., Tang, Q. y Li, X. 2015. New climate and socio-economic scenarios for assessing global human health challenges due to heat risk. *Climatic Change*. 130. 505-518. <https://doi.org/10.1007/s10584-015-1372-8>

- Giddings, L. E., y Soto-Esparza, M. 2005. Plant heat zones for Mexico. *Revista Chapingo: Serie Horticultura*. 11(2). 365-369.
- Gutjahr, O., Putrasahan, D., Lohmann, K., Jungclaus, J. H., von Storch, J.-S., Brüggemann, N., Haak, H., y Stössel, A. 2019. Max Planck Institute Earth System Model (MPI-ESM1.2) for the High-Resolution Model Intercomparison Project (HighResMIP). *Geoscientific Model Development*. 12. 3241–3281, <https://doi.org/10.5194/gmd-12-3241-2019>
- Jang, J., y Leung, D. W. M. 2022. The Morpho-Physio-Biochemical Attributes of Urban Trees for Resilience in Regional Ecosystems in Cities: A Mini-Review. *Urban Science*. 6(2). <https://doi.org/10.3390/urbansci6020037>
- Karger D. N., Conrad, O., Böhner, J., Kawohl, T., Kreft, H., Soria-Auza, R. W., Zimmermann, N. E., Linder, H. P., y Kessler, M. 2018. Data from Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas. *EnviDat*. <https://doi.org/10.16904/envidat.228.v2.1>
- Karger, D. N., Conrad, O., Böhner, J., Kawohl, T., Kreft, H., Soria-Auza, R. W., Zimmermann, N. E., Linder, P., y Kessler, M. 2017. Climatologies at high resolution for the Earth land surface areas. *Scientific Data*. 4. 170122. <https://doi.org/10.1038/sdata.2017.122>
- Kim, S. W., y Brown, R. D. (2022). Pedestrians' behavior based on outdoor thermal comfort and microscale thermal environments, Austin, TX. *Science of the Total Environment*. 808. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152143>
- Klemm, W., Heusinkveld, B. G., Lenzholzer, S., y van Hove, B. 2015. Street greenery and its physical and psychological impact on thermal comfort. *Landscape and Urban Planning*. 138. 87–98. <https://doi.org/10.1016/j.LANDURBPLAN.2015.02.009>
- Lobaccaro, G., y Acero, J. A. 2015. Comparative analysis of green actions to improve outdoor thermal comfort inside typical urban street canyons. *Urban Climate*. 14. 251–267. <https://doi.org/10.1016/j.UCLIM.2015.10.002>
- Meza, J. 3 de febrero de 2022. Temen se repita una helada como la del 2011. *El Heraldo de Juárez*. En: <https://www.elheraldodejuarez.com.mx/local/juarez/temen-se-repita-una-helada-como-la-del-2011-7814852.html> (consultado el 10/07/2022).
- Michael, A., y Powell, S. A. 2005. *Native Plants in Landscaping: Trees, Shrubs, Cacti and Grasses of the Texas Desert and Mountains*. Iron Mountain Press.
- Morgenroth, J., Östberg, J., Konijnendijk van den Bosch, C., Nielsen, A. B., Hauer, R., Sjöman, H., Chen, W., y Jansson, M. 2016. Urban tree diversity—Taking stock and looking ahead. *Urban Forestry & Urban Greening*. 15. 1–5. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ufug.2015.11.003>
- Nixon, K. C. 1997. *Quercus fusiformis*. En: Flora of North America Editorial Committee (eds.) *Flora of North America – Vol. 3: Magnoliophyta: Magnoliidae and Hamamelidae*. http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora_id=1&taxon_id=233501031
- Patton, D. L. 2018. *Hardiness Zones can be Confusing*. Kansas State University Research and Extension. En: <https://www.johnson.k-state.edu/lawn-garden/agent-articles/environment/hardiness-zones.html> (consultado el 11/07/2022).
- PRISM Climate Group. 2023. *USDA Plant Hardiness Zone GIS Datasets*. Northwest Alliance for Computational Science and Engineering. En: https://prism.oregonstate.edu/projects/plant_hardiness_zones.php (consultado el 25/03/2023).
- RHS. 2012. *RHS hardiness rating*. The Royal Horticultural Society. En: <https://www.rhs.org.uk/plants/trials-awards/award-of-garden-merit/rhs-hardiness-rating> (consultado el 12/07/2022).
- Schwendenmann, L., y Mitchell, N. D. 2014. Carbon accumulation by native trees and soils in an urban park, Auckland. *New Zealand Journal of Ecology*. 38(2). 213–220. <http://www.jstor.org/stable/24060799>
- SMN. 2022. *Normales Meteorológicas por Estado – Quintana Roo – Estación 00023155 – Cancún, Benito Juárez – Valores Extremos*. En: <https://smn.conagua.gob.mx/tools/RE-SOURCES/Max-Extr/00023/00023155.TXT> (consultado el 10/07/2022).
- University of Maine. 2022. *USDA Plant Hardiness Zone Map*. University of Maine Cooperative Extension: Garden & Yard. En: <https://extension.umaine.edu/gardening/manual/usda-plant-hardiness-zone-map/> (consultado el 12/07/2022).
- USDA. 2012. *USDA Plant Hardiness Zone Map*. En: <https://planthardiness.ars.usda.gov/> (consultado el 12/07/2022).
- Wasowski, S., y Wasowski, A. 1997. *Native Texas Plants: Landscaping Region by Region* (2a ed.). Gulf Publishing Co.
- Widhalm, M., Robeson, S., Hall, B., Baldwin, M., y Coleman, J. 2018. Indiana's Climate Trends: A Resource for the Indiana Climate Change Impacts Assessment. Indiana Climate Change Impacts Assessment - Purdue Climate Change Research Centre. *Climate Change Technical Reports*. 1. <http://dx.doi.org/10.5703/1288284316635>
- Wood, E. M., y Esaian, S. 2020. The importance of street trees to urban avifauna. *Ecological Applications*. 30(7). 1–20. <https://doi.org/10.1002/eap.2149>
- WorldClim. 2022. *Bioclimatic variables*. En: <https://www.worldclim.org/data/bioclim.html> (consultado el 12/07/2022).
- Yan, H., Wu, F., y Dong, L. 2018. Influence of a large urban park on the local urban thermal environment. *Science of the Total Environment*. 622–623. 882–891. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.327>
- Zurita-Zaragoza, O. 2012. *Guía de Árboles y otras Plantas Nativas en la Zona Metropolitana de Monterrey* (2a ed.). Fondo Editorial de Nuevo León.



Biología y Sociedad



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



FCB

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS