



DOI: [10.29298/rmcf.v14i77.1318](https://doi.org/10.29298/rmcf.v14i77.1318)

Artículo de Investigación

## Dinámica estructural y área basal de bosques mixtos en dos áreas naturales protegidas de Jalisco

### Structural dynamics and basimetric area of mixed forests in two protected natural areas of Jalisco State

Consuelo Marisel Figueroa Navarro<sup>1</sup>, Eduardo Salcedo Pérez<sup>1\*</sup>, Agustín Gallegos Rodríguez<sup>2</sup>, Benedicto Vargas Larreta<sup>3,6</sup>, Francisco Martín Huerta Martínez<sup>4</sup>, Gregorio Ángeles Pérez<sup>5</sup>

Fecha de recepción/Reception date: 26 de octubre de 2022

Fecha de aceptación/Acceptance date: 15 de marzo del 2023

<sup>1</sup>Programa BEMARENA, Universidad de Guadalajara

<sup>2</sup>Departamento Forestal, Universidad de Guadalajara

<sup>3</sup>Facultad de Ciencias Forestales, Instituto Tecnológico de El Salto

<sup>4</sup>Departamento de Ecología, Universidad de Guadalajara

<sup>5</sup>Postgrado en Ciencias Forestales, Colegio de Postgraduados

<sup>6</sup>Tecnológico Nacional de México

\*Autor para correspondencia; correo-e: [eduardo.salcedo@academicos.udg.mx](mailto:eduardo.salcedo@academicos.udg.mx)

\*Corresponding author; e-mail: [eduardo.salcedo@academicos.udg.mx](mailto:eduardo.salcedo@academicos.udg.mx)

#### Resumen

Las áreas de protección de flora y fauna Bosque La Primavera (BLP) y Sierra de Quila (SQ) del estado de Jalisco son afectadas con frecuencia por factores antrópicos que modifican la distribución espacial y crecimiento de las especies arbóreas. El objetivo del presente estudio fue comparar el área basal, la densidad de árboles y el incremento periódico anual en área basal por tipo de vegetación en ambas áreas naturales protegidas durante el periodo 2005-2020. En las dos áreas, se midieron el diámetro normal ( $dn$ ) y la altura total de los árboles en 88 sitios de muestreo, establecidos en 2005 y remedidos en 2013 y 2020. El área basal promedio del BLP fue de 13, 12 y 16  $m^2 ha^{-1}$  para 2005, 2013 y 2020, respectivamente, con un incremento promedio de 0.21  $m^2 ha^{-1} año^{-1}$ ; mientras que en SQ fue de 16, 18 y 20  $m^2 ha^{-1}$  para 2005, 2013 y 2020, con un incremento promedio de 0.27  $m^2 ha^{-1} año^{-1}$ . Las categorías diamétricas más representativas para las especies dominantes fueron 10 a 15 cm de  $dn$  para *Quercus magnoliifolia* en BLP, *Quercus resinosa* y *Pinus douglasiana* en SQ, y 20 a 25 cm de  $dn$  para *Pinus oocarpa* en BLP. La densidad, el área basal y el incremento periódico anual en área basal fueron mayores en SQ, atribuible a los incendios que afectan cada año al BLP, a pesar de que en SQ se hicieron cortas de saneamiento por ataque de plagas e infestaciones por muérdago.

**Palabras clave:** Bosque La Primavera, bosques de encino-pino, categorías diamétricas, densidad, incremento periódico anual, Sierra de Quila.

#### Abstract

The Flora and Fauna Protection Areas *Bosque La Primavera* (BLP) and *Sierra de Quila* (SQ) in the state of Jalisco, are frequently affected by anthropic factors that modify their spatial distribution and tree growth. The objective of this study was to compare basal area, stem density and annual periodic increment in basimetric area for type of vegetation in both natural protected areas in the 2005-2020 period. In both areas, were measured the normal diameter ( $dn$ ) and total height of trees in 88 sampling plots, established in 2005 and

remeasured in 2013 and 2020. The mean basimetric area of BLP was 13, 12 and 16 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> (2005, 2013 and 2020, respectively), with a mean increment of 0.21 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>; while in SQ it was 16, 18 and 20 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> (for 2005, 2013 and 2020, respectively) with an increment of 0.27 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>. The most representative diameter categories for the dominant species were 10 to 15 cm of *nd* for *Quercus magnoliifolia* in BLP, *Quercus resinosa* and *Pinus douglasiana* in SQ, and 20 to 25 cm of *nd* for *Pinus oocarpa* in BLP. Stem density, basal area and the annual periodic increment was higher in SQ than in BLP, attributable to the forest fires that affected BLP every year, despite that in SQ sanitation fellings were made to control bark beetle outbreaks and mistletoe infestations.

**Key words:** *Bosque La Primavera*, oak-pine forest, diameter categories, stem density, periodic annual increment, *Sierra de Quila*.

## Introducción

Las áreas naturales protegidas (ANP) con frecuencia tienen problemas de tenencia de la tierra (González *et al.*, 2014), falta de recursos e invasión (Maldonado *et al.*, 2020). Además, carecen de programas de manejo o bien no se aplican (Maldonado *et al.*, 2020); esto ha ocasionado que factores de disturbio como sequías, enfermedades y plagas aumenten la vulnerabilidad de las áreas arboladas, aunados a los eventos causados por el hombre como incendios y cambio de uso del suelo (González *et al.*, 2014).

En el estado de Jalisco, el Área de Protección de Flora y Fauna (APFF) Bosque La Primavera (BLP) proporciona servicios ambientales como recarga de acuíferos, captura de carbono y recreación a partir de su cercanía a la Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG) (Balderas y Lovett, 2013). Esta APFF tiene su programa de manejo forestal publicado en el Diario Oficial de la Federación en 1984; sin embargo, solo se realizan actividades de protección (Álvarez, 2016).

El APFF Sierra de Quila (SQ) se localiza a 100 km de la ZMG. A pesar de haberse decretado en 1982, a la fecha aún no tiene un programa de manejo publicado, por

lo que también solo se realizan actividades de protección (Conanp, 2022). Además, se desconoce de manera cuantitativa el impacto de los disturbios naturales y antrópicos en las comunidades forestales de ambas APFF.

Una manera de evaluar el impacto de los disturbios naturales y antrópicos en los bosques es a través del análisis estructural y de crecimiento de las masas arboladas mediante análisis cuantitativos (Aguirre *et al.*, 2003) y dinámicos de los cambios en parámetros como el área basal (*AB*) y la densidad de individuos.

Anualmente, acuden al BLP más de 208 mil personas, de acuerdo al registro de visitantes del Organismo Público Descentralizado (OPD) Bosque La Primavera para el año 2021, que realizan diversas actividades recreativas: campamento, ciclismo y senderismo. En el caso de SQ, los visitantes anuales son alrededor de 7 mil (Registro de visitantes OPD Sierra de Quila para el año 2021), también se practican actividades recreativas.

Otro factor que distingue a esas dos APFF es la tenencia de la tierra, ya que mientras en SQ hay ocho ejidos, una comunidad indígena y 10 pequeñas propiedades; en BLP 50 % de la superficie es de pequeños propietarios que en su mayoría tienen cercados sus predios (Álvarez, 2016).

Lo anterior sugiere una presión humana diferencial en ambas APFF. Aunque tanto en BLP como en SQ, la actividad humana genera contaminación de los cauces, basura dispersa y daño a la vegetación (Álvarez, 2016), el deterioro puede ser más severo en BLP, donde la afluencia de visitantes es mayor, así como menor la distancia a la zona urbana.

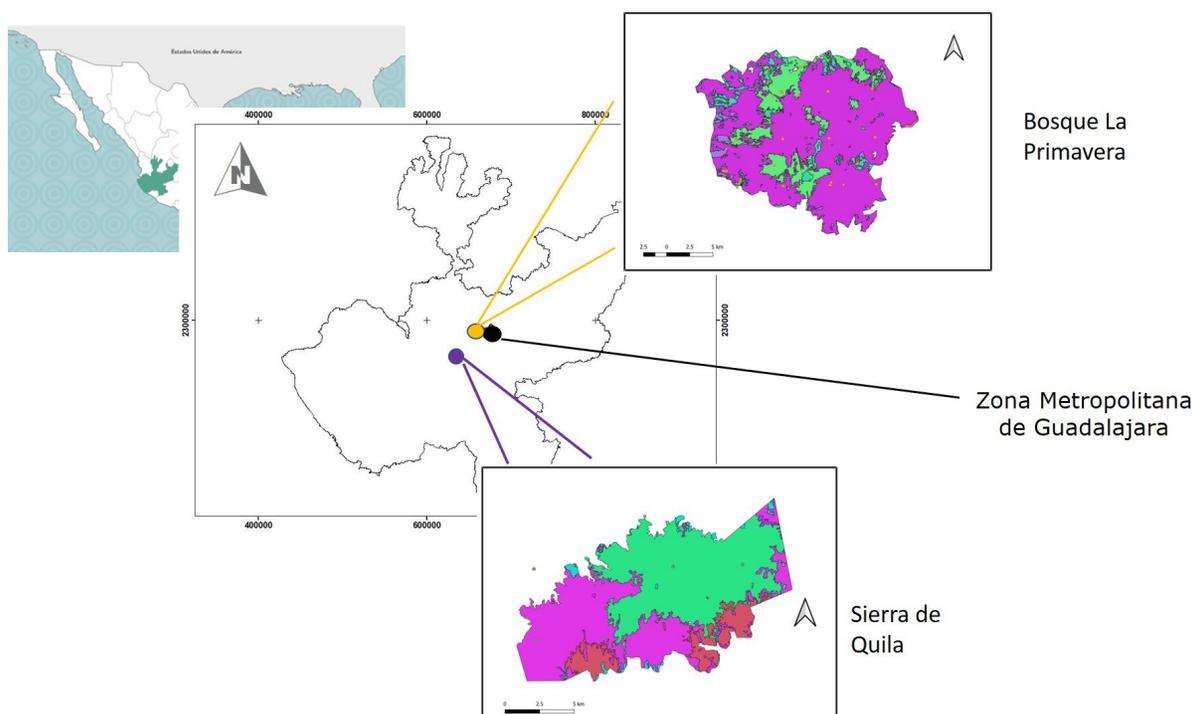
Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue comparar el área basal, la densidad de árboles y el incremento en área basal por tipo de vegetación en ambas áreas naturales protegidas durante el periodo 2005-2020 bajo la siguiente hipótesis: la cercanía a la ZMG del APFF Bosque La Primavera provoca un mayor

efecto negativo sobre la estructura y el desarrollo del arbolado en comparación con el APFF Sierra de Quila, la cual presenta menor presión antrópica.

## **Materiales y Métodos**

### **Área de estudio**

El trabajo se realizó en las áreas de protección de flora y fauna (APFF) Bosque La Primavera (BLP) y Sierra de Quila (SQ) del estado de Jalisco. El BLP se localiza en la Sierra La Primavera al oeste de la Zona Metropolitana de Guadalajara (Figura 1). Fue decretada el 6 de marzo de 1980, con una extensión de 30 500 ha; se ubica entre los 20°32' a 20°44' N y 103°28' a 103°42' O. Su intervalo altitudinal varía de 1 400 a 2 200 m, en los municipios Tala, Zapopan y Tlajomulco, Jalisco. El clima predominante es templado subhúmedo y semicálido subhúmedo (García, 2004); con una precipitación media anual que fluctúa entre 800 y 1 000 mm, y una temperatura media anual de 20 °C. El tipo de vegetación predominante son bosques mixtos de pino-encino o encino-pino, aunque también existen zonas de bosque de galería y selva baja caducifolia (Gallegos *et al.*, 2014).



**Figura 1.** Localización de las áreas de protección de flora y fauna Bosque La Primavera y Sierra de Quila.

El APFF Sierra de Quila fue decretada el 4 de agosto de 1982, y tiene una superficie de 15 192 hectáreas, se ubica en los municipios Tecolotlán, Tenamaxtlán, San Martín Hidalgo y Cocula, Jalisco (Figura 1). Está situada entre los 20°14' a 20°21' N y 103°57' a 104°07' O; la altitud varía entre 1 350 y 2 560 m. El clima es templado húmedo, con temperatura media anual entre 12 y 18 °C; la precipitación media anual es de 900 mm. Los tipos de vegetación registrados son, principalmente, bosque de encino-pino, bosque de encino, bosque de galería y selva baja caducifolia (Villavicencio *et al.*, 2012).

En ambas APFF, de acuerdo a lo señalado por González-Abraham *et al.* (2015) la cobertura vegetal está en buenas condiciones ambientales. La zonificación del BLP, con base en el programa de manejo forestal publicado en el Diario Oficial de la Federación (Semarnat, 2001), corresponden a agroecosistemas, aprovechamiento

sustentable de los recursos naturales, aprovechamiento especial, protección, recuperación, uso público y uso restringido; mientras que en SQ son aprovechamiento sustentable de los ecosistemas, preservación, uso público y recuperación; sin embargo, el programa de manejo no está publicado en el Diario Oficial de la Federación

## **Datos de campo**

En el BLP se empleó la información de 37 sitios permanentes de 400 m<sup>2</sup> establecidos para el Inventario Nacional Forestal y de Suelos (Infys), cuya primera medición se llevó a cabo en 2005, y la segunda en 2013 (Conafor, 2019). Además, se utilizaron los datos de 20 sitios permanentes de 1 000 m<sup>2</sup> establecidos en 2005 para definir indicadores para la restauración del BLP después de un incendio. En la SQ se colectó la información en 31 sitios permanentes establecidos para el Infys, en donde la primera y la segunda medición se hicieron en los años anteriormente referidos.

Se utilizó un diseño de muestreo estratificado. Los tipos de vegetación fueron los estratos: bosque de encino (BE), bosque de pino (BP), bosque mixto de pino-encino (BMPE), bosque mixto de encino-pino (BMEP) y selva baja caducifolia (SBC). Todos los sitios se remidieron en 2020.

Los tipos de la vegetación considerados en este estudio se definieron con base en el área basal calculada a partir de los datos del inventario 2020, además se utilizó la clasificación de tipos de vegetación de Rzedowski (2006) y el cociente de mezcla de *Lamprecht* (Alvis, 2009).

Para el levantamiento de la información de campo en 2020, se localizó el centro con un GPS *Garmín eTrex 10* y se delimitó el sitio de acuerdo a la superficie. En cada sitio, se midió el diámetro normal (*dn*) (1.30 m sobre la superficie del suelo) con cinta diamétrica *Forestry Suppliers* de tela modelo 283D, y la altura total con un clinómetro *Suunto* tándem modelo 360PC/360R de todos los individuos con  $dn \geq 7$  cm. Con los datos del *dn* se calculó el área basal individual (*AB*).

## Sitios de muestreo

A partir de los datos de campo, se determinaron los tipos de vegetación que en su mayoría comparten ambas APFF. En cada uno el número de sitios de muestreo fue diferente (Cuadro 1), ya que los conglomerados del Infys estuvieron en función de la superficie total.

**Cuadro 1.** Sitios permanentes por tipos de vegetación.

<b>Tipo de vegetación</b>	<b>Sitios del BLP</b>	<b>Sitios de SQ</b>
Bosque de encino (BE)	25	11
Bosque de pino (BP)	12	
Bosque mixto de encino-pino (BMEP)	7	7
Bosque mixto de pino-encino (BMPE)	8	6
Selva baja caducifolia (SBC)	5	7
Total	57	31
Área total	30 500 ha	15 192 ha

En la APFF SQ no se encontraron áreas naturales con bosque dominado por especies de pino, lo que coincide con lo referido por Villavicencio *et al.* (2012) y Flores *et al.* (2013).

## **Estructura de la vegetación arbórea**

Para analizar la estructura horizontal, se emplearon histogramas de frecuencias en las que se asignó la categoría diamétrica a cada 5 cm de diámetro normal para las especies arbóreas presentes en las APFF.

## **Incremento en área basal**

El crecimiento del bosque para cada APFF se determinó al considerar el incremento periódico anual (*IPA*) en área basal como indicador. Con base en los datos remedidos de los árboles en los años 2005, 2013 y 2020, se determinó como la diferencia de la estimación promedio por hectárea en el año 2020 menos el promedio del año de referencia (2005 y 2013) dividido entre el número de años en el periodo por tipo de vegetación.

## Análisis de datos

Con los datos de campo se obtuvo el promedio por sitio, hectárea y tipo de vegetación. Se aplicó la prueba de normalidad de *Shapiro-Wilks* (Flores y Flores, 2021) y la de homogeneidad de varianzas de *Levene* (Bisquerra, 1987).

Mediante un modelo lineal mixto bajo el enfoque de medidas repetidas, se estableció la relación entre las variables dependientes área basal, densidad de árboles e incremento periódico anual en área basal, con los factores año de medición, área natural protegida y tipo de vegetación. Dado que, en algunos casos, los sitios de muestreo están contenidos en un conglomerado se decidió el uso de modelos lineales mixtos con intercepto aleatorio. La estructura del modelo fue:

$$Y_{ij} = (b_0 + \alpha_1) + b_1x_{1ki} + \dots + b_nx_{nki} + e_{ijk} \quad (1)$$

Donde:

$Y_{ijk}$  = Variable respuesta, área basal, densidad de árboles, IPA en área basal

$b_0 + b_1x_{1ki} + \dots + b_nx_{nki}$  = Parte fija

$\alpha_1 + e_{ijkl}$  = Factor aleatorio

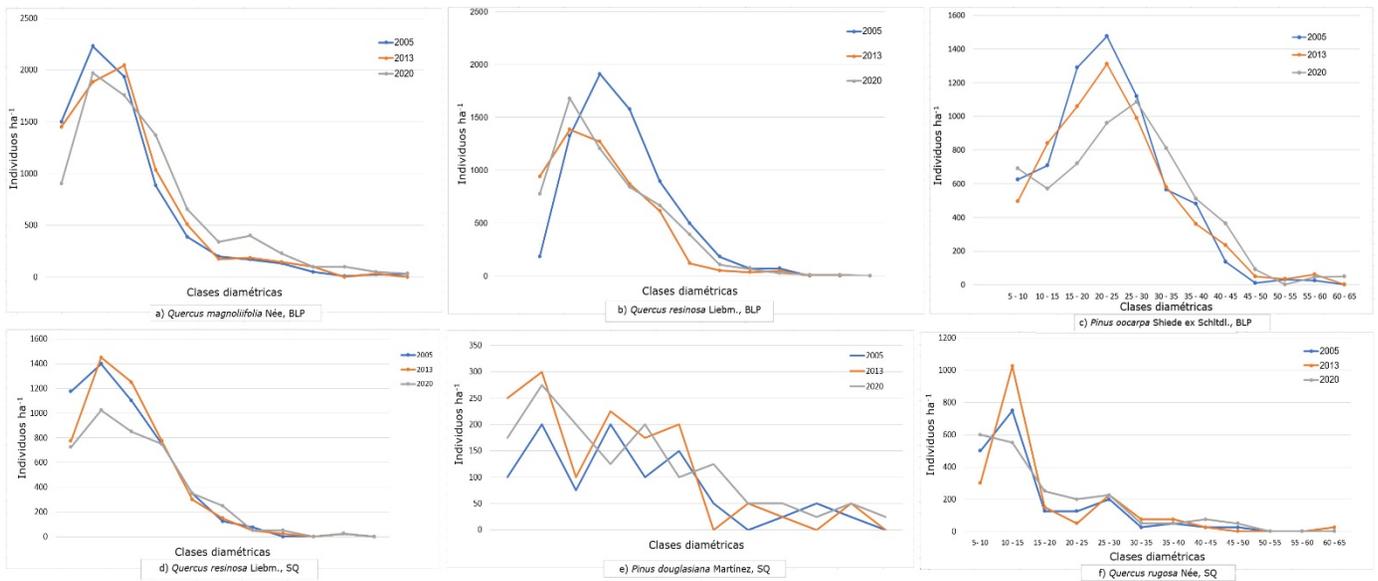
Los análisis se realizaron con el *software SIGMA PLOT* versión 12.0 (Systat Software Inc., 2012) y el *software R* versión 4.1.1 (R Core Team, 2020).

## **Resultados**

### **Estructura diamétrica**

En el BLP, las especies con mayor área basal fueron *Quercus magnoliifolia* Née, *Q. resinosa* Liebm. y *Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl., mientras que para SQ fueron *Q. resinosa*, *Q. rugosa* Née y *P. douglasiana* Martínez. Para todos los taxones, se registraron valores hasta de 60 cm de *dn*, con excepción de *P. oocarpa* y *P. douglasiana* con individuos hasta de 80 cm de *dn*.

*Quercus magnoliifolia* y *Q. resinosa* en el BLP, así como *Q. rugosa* y *Q. resinosa* en SQ presentaron una estructura diamétrica en forma de J invertida; la categoría diamétrica de 10-15 cm reunió la mayor cantidad de individuos (Figura 2a, b, d, f).



a) *Quercus magnoliifolia* Née, b) *Q. resinosa* Liebm. y c) *Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl. en Bosque La Primavera; d) *Q. resinosa*, e) *P. douglasiana* Martínez y f) *Q. rugosa* Née en Sierra de Quila.

**Figura 2.** Número de árboles por categoría diamétrica para las especies indicadas en las dos APFF.

En el caso de *P. oocarpa* en el BLP, la categoría diamétrica con más individuos fue de 10-15 cm en los años 2005 y 2013, pero en el año 2020 correspondió a la clase 25-30 cm (Figura 2c). Esta tendencia coincidió con una disminución en el número de individuos de la categoría diamétrica 10-15, de 1 310 individuos ha<sup>-1</sup> en el año 2013 a 960 individuos ha<sup>-1</sup> en 2020. *P. douglasiana* en SQ evidenció una estructura dispersa debido a que hay disminución de individuos para las categorías diamétricas 15-20, 25-30 y 30-35 cm de *dn* en los diferentes periodos (Figura 2e)

## Modelos lineales mixtos generalizados

Los coeficientes de los modelos con intercepto aleatorio para las variables área basal, densidad de árboles e incremento periódico en área basal se muestran en el Cuadro 2. La mayoría de los parámetros estimados fueron significativos ( $p \leq 0.05$ ) para la densidad de árboles. En contraste, solo la mitad de los parámetros resultaron significativos para el área basal e *IPA*.

**Cuadro 2.** Parámetros estimados para las variables dependientes densidad de árboles, área basal e *IPA* en área basal.

<b>Parámetro</b>	<b>Densidad de árboles</b>	<b>Área Basal</b>	<b><i>IPA</i> en Área Basal</b>
Intercepto	526.7 (55.3)**	15.3 (1.4)**	0.10 (0.10)
Año	0.09 (1.5)	0.26 (0.04)**	0.05 (0.01)**
ANP	152.9 (71.1)*	6.5 (1.8)**	-0.03 (0.1)
TV BMEP	16.4 (96.4)	-2.4 (2.4)	0.06 (0.16)
TV BMPE	254.6 (85.7)**	-2.9 (2.2)	0.08 (0.14)
TV BP	-281.1 (101.9)**	0.69 (2.6)	-0.005 (0.16)
TV SBC	-349.9 (101.1)**	-14.8 (2.5)**	-0.37 (0.16)*
Desviación estándar	286.62	7.17	0.00003
Residuales	142.65	3.70	0.65

ANP = Área Natural Protegida; TV BMEP = Tipo de vegetación bosque mixto de TV encino-pino; TV BMPE = Tipo de vegetación bosque mixto de pino-encino; TV BP = Tipo de vegetación bosque de pino; SBC = Tipo de vegetación selva baja caducifolia; *IPA* = Incremento Periódico Anual; \*significancia  $\alpha < 0.05$ , \*\* significancia  $\alpha < 0.01$ .

## Densidad de árboles

En general, la densidad de árboles fue mayor en SQ a lo largo del estudio. Entre periodos, los BE y BP del BLP mantuvieron constante su densidad, ya que no presentaron diferencias significativas entre años, lo que sí ocurrió en el BMEP y BMPE, los cuales registraron disminución de la densidad (Cuadro 3).

**Cuadro 3.** Densidad promedio por tipo de vegetación por año de muestreo en el Bosque La Primavera (BLP) y en Sierra de Quila (SQ).

Tipo de vegetación	Año 2005		Año 2013		Año 2020		Promedio por tipo de vegetación	
			Árboles ha <sup>-1</sup> ±Error Estándar					
	BLP	SQ	BLP	SQ	BLP	SQ	BLP	SQ
Bosque de encino	569±86a	625±91	568±83	579±87	613±108	490±111	583	565
Bosque de pino	247±38		250±38		243±51		247	
Bosque mixto de encino-pino	558±143	788±175	389±97	888±145	468±95	963±143	471	879
Bosque mixto de pino-encino	241±80	378±30	201±72	434±39	201±69	522±58	214	445
Selva baja caducifolia	64±12	450±12	34±5	432±10	132±43	250±23	77	377
Promedio general	336	560	288	583	331	556		

La densidad a lo largo del periodo de estudio no presentó diferencias significativas. Se detectó una alta variabilidad en la densidad en las dos APFF, ya que se registraron diferencias significativas entre ambas APFF ( $p < 0.034$ ) y entre los tipos de vegetación, con excepción del BMEP (Cuadro 3).

## Incremento en *AB*

El *AB* se incrementó en el periodo 2005-2020, tanto en el BLP como en SQ. Dicho aumento fue mayor en SQ ( $p < 0.001$ ), a excepción del BMEP en 2005, cuando el valor más alto correspondió a BLP (Cuadro 4).

**Cuadro 4.** Área basal promedio ( $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$ ) por tipo de vegetación y años de medición en el Bosque La Primavera (BLP) y Sierra de Quila (SQ).

Tipo de vegetación	Año 2005		Año 2013		Año 2020		Promedio	
	Área basal $\text{m}^2 \text{ha}^{-1} \pm \text{Error Estándar}$							
	BLP	SQ	BLP	SQ	BLP	SQ	BLP	SQ
Bosque de encino	14.6 $\pm$ 2	24.9 $\pm$ 2	15.2 $\pm$ 2	25.1 $\pm$ 3	20.5 $\pm$ 2	24.5 $\pm$ 3	17	25
Bosque de pino	16.2 $\pm$ 3	-	17.1 $\pm$ 3	-	20.3 $\pm$ 4	-	18	
Bosque mixto de encino-pino	18.5 $\pm$ 3	11.9 $\pm$ 2	13.9 $\pm$ 3	17.3 $\pm$ 1	19.8 $\pm$ 3	21.2 $\pm$ 2	17	17
Bosque mixto de pino-encino	13.7 $\pm$ 2	17.5 $\pm$ 3	13.3 $\pm$ 2	19.9 $\pm$ 2	15.6 $\pm$ 2	25.8 $\pm$ 4	14	21
Selva baja caducifolia	2.2 $\pm$ 1	8.5 $\pm$ 2	2.0 $\pm$ 1	8.2 $\pm$ 2	4.2 $\pm$ 1	7.3 $\pm$ 1	3	8
Promedio general	13	16	12	18	16	20		

El *AB* se incrementó en el periodo 2005-2020, y se detectaron diferencias significativas entre periodos ( $p < 0.000$ ), mientras que entre tipos de vegetación hubo diferencias significativas en SBC ( $p < 0.000$ ), la cual registró pérdidas de *AB* en 2020 en SQ, no así para el resto de los tipos de vegetación.

El *AB* en SQ aumentó en el mismo lapso en todos los tipos de vegetación, a excepción del BE y SBC que presentaron una disminución de 0.60 y 0.90  $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$ , respectivamente (Cuadro 4).

El *AB* en el BLP pasó de 13 a 16 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>, con un incremento en los 15 años del periodo de 3 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>; mientras que en SQ, el *AB* cambió de 16 a 20 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>, es decir 4 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>.

El incremento promedio en el *AB* en los años considerados fue mayor en SQ, lo que es una diferencia significativa ( $p < 0.000$ ); sin embargo, en el periodo de 2013-2020, fue superior en el BLP (Cuadro 5).

**Cuadro 5.** Incremento en área basal en el periodo 2005-2020 por tipo de vegetación en las Áreas de Protección de Flora y Fauna Bosque La Primavera (BLP) y Sierra de Quila (SQ).

Tipo de vegetación	Incremento en área basal de 2005-2013		Incremento en área basal de 2013-2020		Incremento en área basal de 2005-2020	
	Área basal m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> ± Error Estándar					
	BLP	SQ	BLP	SQ	BLP	SQ
Bosque de encino	0.07±0.1	0.02±0.1	0.74±0.2	-0.07±2	0.39±0.1	-0.02±2
Bosque de pino	0.11±0.2		0.46±0.3		0.27±0.1	
Bosque mixto encino-pino	-0.57±0.2	0.91±2	0.85±3	0.48±1	0.12±2	0.68±1
Bosque mixto pino-encino	-0.04±0.1	0.40±0.2	0.32±0.1	0.74±0.2	0.13±0.1	0.59±0.1
Selva baja caducifolia	-0.03±0.04	-0.04±0.2	0.32±0.1	-0.51±0.3	0.13±0.04	-0.16±0.1
Promedio general	-0.09	0.32	0.54	0.16	0.21	0.27

Cuando se analizó el incremento de *AB* por tipo de vegetación, el valor periódico anual en área basal (*IPA*) resultó mayor en BLP para los BE y SBC en los periodos analizados, pero en los bosques mixtos fue superior en SQ (Cuadro 5). En ambas APFF se verificaron años en los que hubo pérdida de *AB*, el más evidente correspondió al lapso de 2005 a 2013 (Cuadro 5).

El *IPA* en el BLP tuvo una tendencia negativa en el periodo 2005-2013, la cual cambió a  $0.54 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  de 2013 a 2020; ello representa un crecimiento significativo de la masa forestal ( $p < 0.001$ ). Hay evidencias que en el BLP el *IPA* es continuo a lo largo del estudio. En contraste, en SQ el *IPA* disminuyó a través del periodo comprendido entre 2005 y 2020, con excepción del BMPE. Sin embargo, cabe destacar que en el SBC el *IPA* es negativo en todo el tiempo de estudio (Cuadro 5). Al comparar el *IPA* entre tipos de vegetación en cada APFF no se registraron diferencias significativas entre periodos (Cuadro 1).

## Discusión

### Estructura diamétrica

*Quercus resinosa*, *Q. magnoliifolia*, *Q. rugosa* y *Pinus oocarpa* mostraron una estructura diamétrica de *J* invertida en ambas APFF, lo que en cierta forma indica que la comunidad arbórea tiene reclutamiento constante (Chávez-Flores *et al.*, 2020). Castañeda-González *et al.* (2012) refirieron para el BLP que la categoría diamétrica de 15-20 cm fue la más abundante en áreas quemadas, esto difiere de lo registrado en la presente investigación, pues la categoría 20-25 cm fue la más abundante en 2013. Lo anterior puede deberse a que dichos autores solo midieron sitios quemados al oeste del BLP. En 2020, la categoría con el mayor número de individuos fue la de 25-30 cm, pero sin que haya incremento en la categoría anterior; ello es atribuible a la menor incorporación en esa categoría, a consecuencia de la pérdida de arbolado

por el incendio de 2012 que afectó cerca de ocho mil hectáreas (Gallegos *et al.*, 2014).

En SQ, durante los años 2012 a 2017 se llevaron a cabo acciones de saneamiento en áreas del BE y BMEP debido a brotes del descortezador *Dendroctonus mexicanus* Hopkins (1905) y muérdago (notificaciones de Semarnat 2012 a 2017 <http://sngf.semarnat.gob.mx:8080/sngfev2/servlet/sngf>) (Trigueros *et al.*, 2014); lo cual es coincidente con la disminución del AB en BE (Cuadro 4). Los árboles remanentes en los sitios alcanzaron la siguiente categoría diamétrica en el periodo como se muestra en la Figura 2e; sin embargo, la infestación continuó hasta 2018 causando pérdida de árboles, lo que se refleja en la disminución de la categoría de 20-25 cm del año 2020. En la remediación de 2020, en la SBC del ejido Ambrosio y del BE del ejido Tenamaxtlán, los sitios estaban sin vegetación debido a que hubo extracción de leña para la elaboración de carbón.

## Densidad arbórea

En el BLP, la densidad promedio en 2013 fue de 288 árboles ha<sup>-1</sup>. Este hallazgo difiere con lo señalado por Gallegos *et al.* (2014) quienes contabilizaron 213 árboles ha<sup>-1</sup>. Por su parte, Castañeda-González *et al.* (2012) registraron para el BLP, un promedio de 536 árboles ha<sup>-1</sup> y Balderas *et al.* (2013) 385 árboles ha<sup>-1</sup>. Estas diferencias pueden atribuirse a la escala de la investigación, ya que Castañeda-González *et al.* (2012) y Gallegos *et al.* (2014) midieron solo sitios afectados por incendios, mientras que Balderas *et al.* (2013) estudiaron bosques

mixtos sin afectación por incendios recientes, pero también puede ser resultado de la variación que hay en la densidad en el BLP (Cuadro 3).

Gallegos *et al.* (2014) indicaron que el intervalo de retorno entre incendios de gran intensidad es de 7 años en el BLP, lo cual no ha permitido que se establezca la regeneración en las zonas siniestradas, y su efecto en la densidad se relaciona con la intensidad del fuego que ocasiona la pérdida de árboles (Cadena-Zamudio *et al.*, 2022).

En Sierra de Quila, al no haber impacto por fuego, el factor de disturbio que posiblemente determina la regulación de la densidad arbórea es el ataque de plagas, similar a lo que señalan Alfaro-Reyna *et al.* (2022) en bosques de pino y encino de Tamaulipas.

Návar-Cháidez y González-Elizondo (2009) argumentaron que la densidad se modifica como resultado de la competencia intraespecífica de las especies, por lo que en bosques monoespecíficos tiende a ser menor que en bosques mixtos, esto coincide con lo observado en SQ, pero difiere con los resultados obtenidos para BLP (Cuadro 2).

La dispersión de la densidad en las APFF BLP y SQ es característica de bosques irregulares (Gadow *et al.*, 2007). Los promedios en el BMEP (468 árboles ha<sup>-1</sup>) y BMPE (201 árboles ha<sup>-1</sup>) en el BLP en 2020 (Cuadro 2) son menores a los 500 árboles ha<sup>-1</sup> calculados por Luján (2021) para los bosques mixtos e irregulares de la región El Salto, Durango, pero concuerdan con los valores señalados por Baez *et al.* (2015) en los bosques de pino-encino (490 árboles ha<sup>-1</sup>), donde los autores asociaron la mayor cantidad de árboles con una alta diversidad de especies.

El ataque de plagas y enfermedades es el factor principal de disturbio que afecta la densidad en SQ, tal como lo señalaron Trigueros *et al.* (2014). Caso contrario sucedió en el BLP, en donde factores antrópicos como el fuego funcionan como un regulador indirecto de la densidad de los bosques.

## Incremento en Área basal

El *AB* en el BLP durante los 15 años del periodo estudiado se incrementó en  $3 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ , con un *IPA* de  $0.21 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , mientras que en SQ fue de  $4 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$  con una *IPA* de  $0.27 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , lo que indica un crecimiento en ambas APFF a pesar de que hay tiempos y tipos de vegetación con pérdida de *AB*. Návar-Cháidez y González-Elizondo (2009) citan que el crecimiento tiende a incrementarse con el aumento de la remoción del área basal en los bosques de Durango, ya que disminuye la competencia y los árboles remanentes incrementan su diámetro como respuesta (Báez *et al.*, 2015).

La diferencia en los *IPA* entre APFF no es significativa ( $p=0.505$ ). En el BLP, el *IPA* aumenta significativamente ( $p<0.001$ ) entre periodos, mientras que en SQ presenta una disminución (Cuadro 5).

En el BLP, la frecuencia y magnitud de los incendios es lo que afecta en mayor medida el *AB* (Balderas *et al.*, 2013). El incendio de 2005, de acuerdo con Castañeda-González *et al.* (2012) provocó una pérdida de  $10 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ , mientras que Huerta-Martínez e Ibarra-Montoya (2014) registraron una pérdida de 1.31 % de masa forestal en el BLP por los incendios ocurridos de 1998 a 2012, lo que puede ser la causa de que haya pérdida de área basal, pero también que el *IPA* del arbolado remanente aumente significativamente (Cuadro 1).

En el caso de SQ, Baez *et al.* (2015) establecieron que el incremento en *AB* se modifica por factores como la competencia, las enfermedades y las plagas (Alfaro-Reyna *et al.*, 2022); como sucedió en la presente investigación, en la cual el *AB* disminuyó entre periodos para el BE y BMEP (Cuadro 4).

Balderas *et al.* (2013) calcularon  $17 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$  de *AB* para los BMEP en el BLP para el año 2013, que coincide con los resultados de la presente investigación. El *AB* en SQ (Cuadro 3) es similar a lo que describieron Dávila-Lara *et al.* (2019) en bosques mixtos de pino-encino de San Luis Potosí ( $18.9 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ ), pero es menor respecto a los bosques mixtos manejados en Durango ( $21.77 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ ) (Chávez-Flores *et al.*, 2020).

Por otro lado, la pérdida de *AB* en un bosque obedece al efecto de las actividades humanas, como el manejo forestal inapropiado (Návar-Cháidez y González-Elizondo, 2009), el cambio de uso del suelo, los incendios forestales (Huerta-Martínez e Ibarra-Montoya, 2014), o bien la ausencia de manejo. En el estudio que aquí se documenta, se identificó la presencia de algunos factores que podrían explicar la disminución del incremento en *AB* en los sitios de muestreo en las dos APFF, como el cambio de uso del suelo, el pastoreo, la apertura de espacios para los paseantes y los incendios forestales, cuya presencia coinciden con la disminución del incremento en *AB* en ambas APFF.

## **Comparación de las APFF Bosque La Primavera y Sierra de Quila**

La composición en las dos APFF es distinta en cuanto a las especies con mayor presencia; *Quercus magnoliifolia* es el taxón dominante en BLP, mientras que *Q. resinosa* en SQ, lo que concuerda con lo señalado por Trigueros *et al.* (2014) y Cadena-Zamudio *et al.* (2022). La estructura diamétrica es similar en ambas áreas por tratarse de bosques irregulares semejante a una J (Gadow *et al.*, 2007), en los que la categoría más recurrente es la de 10-15 cm de *dn*, en función de la especie.

La densidad de individuos es mayor en SQ en comparación con el BLP, especialmente, en BMEP, BMPE y en SBC. En ambas áreas no se aplica manejo silvícola, por lo que presentan una alta variabilidad en la densidad, además de que hay pérdida de individuos atribuible a incendios y cortas no reguladas.

El *AB* tanto en SQ como en BLP aumentó en todos los tipos de vegetación en el periodo de estudio, con excepción de SBC en SQ. El comportamiento del *IPA* en *AB* entre APFF resultó con diferencias en el periodo. Es de destacar que el *IPA* en *AB* pasó de tener tendencia negativa a una positiva en los bosques mixtos del BLP, mientras que en la SBC de SQ fue negativa en todo el periodo.

Finalmente, es importante mencionar que la cercanía del BLP a la ZMG influye en la recurrencia de incendios y el cambio de uso de la tierra, fenómenos que son de origen antrópico (Balderas *et al.*, 2013), y que también se observa en SQ con la extracción de individuos para leña y carbón. Sin embargo, las variables analizadas en este estudio en SQ se modifican como una consecuencia de la aplicación de las cortas de saneamientos por el ataque de plagas.

## Conclusiones

Las estructuras diamétricas del BLP y de SQ indican que predominan árboles con diámetros de hasta 20 cm; aunque hay ejemplares con diámetros mayores a 40 cm, pero son escasos. Las especies con el *AB* más alto para ambas APFF tienen una estructura diamétrica en forma de *J* invertida que refleja una constante incorporación de individuos en sus poblaciones, a pesar de la presión antrópica a las que están sujetas. El *AB* en BLP se modifica en parte por la pérdida de individuos

por factores antrópicos como los incendios, el cambio de uso de suelo y la falta de manejo. Por su parte, el *AB* en *SQ* varía, en parte, por factores naturales como la mortalidad ocasionada por el ataque de plagas; si bien algunos factores antrópicos como la corta de individuos para producción de leña y carbón han influido en dicho cambio.

El *AB* aumentó tanto en el *BLP* como en *SQ* en el periodo de estudio, con un valor superior en *SQ*. El *IPA* en *AB* presenta una tendencia negativa en el periodo de 2005 a 2013 en ambas *APFF*, lo que coincide con una alta incidencia de incendios en *BLP*, así como con la aplicación del tratamiento para combatir plagas en *SQ*, aunque se continuó con la extracción de individuos plagados y muertos hasta 2018.

La presión antrópica en el *BLP* causada por su cercanía a la *ZMG* ocasiona que frecuentemente ocurran incendios y, por lo tanto, es uno de los posibles factores que determinan en la modificación de la estructura de la comunidad arbórea analizada. La alteración de estas variables en *SQ* también puede deberse al efecto de factores de disturbio como el ataque de plagas.

### **Agradecimientos**

A los órganos públicos descentralizados Bosque La Primavera y Sierra de Quila por el acceso a las *APFF*, su apoyo en logística, así como a todo el personal que nos acompañó en los recorridos. Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (Conahcyt) por el otorgamiento de una beca a la autora principal.

### **Conflicto de interés**

Los autores manifiestan no tener conflictos de interés.

### **Contribución por autor**

Consuelo Marisel Figueroa Navarro: redacción del escrito, elaboración del proyecto, toma de datos en campo y trabajo de gabinete; Eduardo Salcedo Pérez: elaboración de la propuesta de investigación, revisión del escrito e interpretación de resultados; Agustín Gallegos Rodríguez: análisis de datos e interpretación de resultados; Benedicto Vargas Larreta: revisión de manuscrito; Francisco Martín Huerta Martínez: revisión del manuscrito; Gregorio Ángeles Pérez: revisión del escrito y análisis de datos.

### **Referencias**

- Aguirre C., O. A., J. Jiménez P., H. Kramer y A. Akça. 2003. Análisis estructural de ecosistemas forestales en el Cerro del Potosí, Nuevo León, México. *Ciencia UANL* 6(2):219-225. <https://www.redalyc.org/pdf/402/40260210.pdf>. (22 de septiembre de 2022).
- Alfaro-Reyna, T., J. Delgado-Balbuena, X. García-Cuevas, G. Chávez-Aguilar y J. A. Estrada-García. 2022. Cambios en la estructura y composición forestal en un bosque de pino-encino en Jaumave, Tamaulipas, México. *Revista e-CUCBA* 9(18):40-46. Doi: 10.32870/ecucba.vi18.239.
- Álvarez C., M. D. 2016. El ocio y la cultura ambiental en áreas naturales de Guadalajara: el Bosque La Primavera y la Barranca de Santiago. Tesis de Doctorado en Ciencias Sociales. Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social. El Colegio de Jalisco. Guadalajara, Jal., México. 251 p.
- Alvis G., J. F. 2009. Análisis estructural de un bosque natural localizado en zona rural del Municipio de Popayán. *Facultad de Ciencias Agropecuarias* 7(1):115-122.

<https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/710/338>. (13 de febrero de 2022).

Báez, S., A. Malizia, J. Carilla, C. Blundo, ... and K. J. Feeley. 2015. Large-scale patterns of turnover and basal area change in Andean forests. *PLoS ONE* 10(5):e0126594. Doi: 10.1371/journal.pone.0126594.

Balderas T., A. y J. C. Lovett. 2013. Using basal area to estimate aboveground carbon stocks in forests: La Primavera Biosphere's Reserve, Mexico. *Forestry: An International Journal of Forest Research* 86(2):267-281. Doi: 10.1093/forestry/cps084.

Balderas T., A., R. Ontiveros E., M. Skutsch and J. C. Lovett. 2013. Potential for climate change mitigation in degraded forests: a study from La Primavera, Mexico. *Forests* 4(4):1032-1054. Doi: 10.3390/f4041032.

Bisquerra A., R. 1987. La prueba de Levene para la homogeneidad de varianzas en el BMDP. *Revista de Investigación Educativa* 5(9):79-85. [https://digitum.um.es/digitum/bitstream/10201/96084/1/04\\_V5\\_N9\\_1987.pdf](https://digitum.um.es/digitum/bitstream/10201/96084/1/04_V5_N9_1987.pdf). (15 de abril de 2023).

Cadena-Zamudio, D. A., J. G. Flores-Garnica, M. E. Lomelí-Zavala and A. G. Flores-Rodríguez. 2022. Does the severity of a forest fire modify the composition, diversity and structure of temperate forests in Jalisco? *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 28(1):3-20. Doi: 10.5154/r.rchscfa.2020.12.076.

Castañeda-González, J. C., A. Gallegos-Rodríguez, M. Sánchez-Durán y P. A. Domínguez-Calleros. 2012. Biomasa aérea y posibles emisiones de CO<sub>2</sub> después de un incendio; caso del Bosque La Primavera, Jalisco, México. *Ra Ximhai* 8(3):1-15. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46125176001>. (11 de agosto de 2022).

Chávez-Flores, G. A., J. J. Corral-Rivas, J. D. Vega-Nieva, P. M. López-Serrano y E. A. Rubio-Camacho. 2020. Estructura espacial de los bosques mixtos e irregulares en el estado de Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 11(59):141-162. Doi: 10.29298/rmcf.v11i59.614.

Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (Conanp). 2022. *Ficha Técnica del Sistema de Información, Monitoreo y Evaluación Sierra de Quila*. <https://simec.conanp.gob.mx/ficha.php?anp=64&reg=6>. (15 de abril de 2023).

Comisión Nacional Forestal (Conafor). 2019. Inventario Nacional Forestal y de Suelos. Procedimientos de muestreo. Versión 19.0. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). Zapopan, Jal., México. 311 p.

Dávila-Lara, M. A., O. A. Aguirre-Calderón, E. Jurado-Ybarra, E. Treviño-Garza, M. A. González-Tagle y G. Trincado. 2019. Estructura y diversidad de especies arbóreas en bosques templados de San Luis Potosí, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 6(18):399-409. Doi: 10.19136/era.a6n18.2112.

Flores A., A., J. J. Reynoso D., L. Hernández L. y E. A. Suárez M. 2013. Monocotiledóneas del área natural protegida Sierra de Quila, Jalisco, México. *Ibugana* 4:39-58. [https://www.organicaeditores.mx/pdf/ibugana\\_4.pdf](https://www.organicaeditores.mx/pdf/ibugana_4.pdf). (29 de marzo de 2021).

Flores T., C. E. y K. L. Flores C. 2021. Pruebas para comprobar la normalidad de datos en procesos productivos: *Anderson-Darling, Ryan-Joiner, Shapiro-Wilk y Kolmogórov-Smirnov*. *Societas, Revista de Ciencias Sociales y Humanísticas* 23(2):83-97.

<http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/341/3412237018/index.html>. (15 de abril de 2023).

Gadow, K. v., S. Sánchez O. y J. G. Álvarez G. 2007. Estructura y crecimiento del bosque. Universidad de Göttingen. Göttingen, NI, Alemania. 288 p. [https://www.researchgate.net/publication/265270198\\_Estructura\\_y\\_Crecimiento\\_d\\_el\\_Bosque](https://www.researchgate.net/publication/265270198_Estructura_y_Crecimiento_d_el_Bosque). (11 de septiembre de 2022).

Gallegos R., A., G. A. González C., R. G. Cabrera O., C. Marcelli S. y E. Hernández Á. 2014. Efecto de la recurrencia de incendios forestales en la diversidad arbórea. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 5(24):110-125. Doi: 10.29298/rmcf.v5i24.324.

- García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Serie Libros, Núm. 6. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. Coyoacán, D. F., México. 90 p.
- González O., H. A., P. Cortés-Calva, L. I. Íñiguez D. y A. Ortega-Rubio. 2014. Las áreas naturales protegidas de México. *Investigación y Ciencia* 22(60):7-15. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=67431160002>. (26 de marzo de 2022).
- González-Abraham, C., E. Ezcurra, P. P. Garcillán, A. Ortega-Rubio, M. Kolb and J. E. Bezaury C. 2015. The human footprint in Mexico: physical geography and historical legacies. *PLoS ONE* 10(3): e0121203. Doi: 10.1371/journal.pone.0121203.
- Huerta-Martínez, F. M. y J. L. Ibarra-Montoya. 2014. Incendios en el Bosque La Primavera (Jalisco, México): un acercamiento a sus posibles causas y consecuencias. *CienciaUAT* 9(1):23-32. Doi: 10.29059/cienciauat.v9i1.304.
- Luján S., J. E. 2021. Nuevas alternativas silvícolas para el aprovechamiento sustentable de los bosques mixtos e irregulares en Durango, México. Tesis de Doctorado en Ciencias con orientación en Manejo de Recursos Naturales. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, N. L., México. 55 p.
- Maldonado I., O. A., R. M. Chávez D. y M. L. Bravo O. 2020. Áreas naturales protegidas y participación social en América Latina: problemas y estrategias para lograr la integración comunitaria. *Región y Sociedad* 32:e1277. Doi: 10.22198/rys2020/32/1277.
- Návar-Cháidez, J. J. y S. González-Elizondo. 2009. Diversidad, estructura y productividad de bosques templados de Durango, México. *Polibotánica* 27:71-87. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-27682009000100005&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-27682009000100005&lng=es&nrm=iso). (30 de enero de 2022).

R Core Team. 2020. R: A language and environment for statistical computing (version 4.1.1). Vienna, W, Austria. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>. (15 de abril de 2023).

Rzedowski, J. 2006. Vegetación de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Tlalpan, Cd. Mx., México. 504 p.

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). 2001. *Resumen del programa de manejo del Área Natural Protegida con el carácter de Área de Protección de Flora y Fauna La Primavera*. Diario Oficial de la Federación, 22 de mayo de 2001. [https://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=766100&fecha=22/05/2001#gsc.tab=0](https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=766100&fecha=22/05/2001#gsc.tab=0). (22 de febrero de 2020).

Systat Software Inc. 2012. Sigma Plot para Windows versión 12.0. Build 12.0.0.182. Palo Alto, CA, United States of America. Systat <https://systatsoftware.com/sigmaplot/>. (15 de abril de 2023).

Trigueros B., A. G., R. Villavicencio G. y A. L. Santiago P. 2014. Mortalidad y reclutamiento de árboles en un bosque templado de pino-encino en Jalisco. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 5(24):160-183. Doi: 10.29298/rmcf.v5i24.327.

Villavicencio G., R., A. L. Santiago P., J. J. Godínez H., J. M. Chávez A. y S. L. Toledo G. 2012. Efecto de la fragmentación sobre la regeneración natural de la Sierra de Quila, Jalisco. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 3(11):9-23. Doi: 10.29298/rmcf.v3i11.514.



Todos los textos publicados por la **Revista Mexicana de Ciencias Forestales** –sin excepción– se distribuyen amparados bajo la licencia *Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional)*, que permite a terceros utilizar lo publicado siempre que mencionen la autoría del trabajo y a la primera publicación en esta revista.