

Artículo original / Original article

## Efecto cuantitativo del cambio climático en el calendario fenológico de floración y fructificación de especies forestales en Perú

### Quantitative effect of climate change on the phenological calendar of flowering and fruiting of forest species in Peru

Ramírez-Navarro, Williams [ORCID: 0000-0002-8165-094X]<sup>1</sup>; Quinteros-García, Alfredo [ORCID: 0000-0002-4889-9196]<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto, Perú

✉ [wramirezn@unsm.edu.pe](mailto:wramirezn@unsm.edu.pe)

Recibido: 18/11/2021;

Aceptado: 20/12/2021;

Publicado: 20/01/2022

**Resumen:** Buscamos determinar los efectos cuantitativos del cambio climático en el calendario fenológico de floración y fructificación de siete especies forestales: Capirona, Shaina, Bolaina, Marupa, Teca, Eucalipto y Cedro rosado, durante el periodo 2013-2015. Las evaluaciones comprendieron 35 individuos observados por un periodo de 24 meses, utilizando la metodología propuesta por Fournier. Encontramos que el cambio climático ha generado efectos significativos en el adelanto del calendario fenológico de floración y fructificación en las especies *Calycophyllum spruceanum* y *Simarouba amara*, y en el atraso en las especies *Colubrina glandulosa* y *Guazuma crinita*; además, una gran variabilidad en las fenofases de las especies de *Tectona grandis* y *Eucalyptus glóbulos*. Debido a su adaptación, aclimatación y hábitat presentaron ciclo fenológico completo, a excepción de *Acrocarpus fraxinifolius*. La floración y fructificación están influenciadas por la variable temperatura con rango permisible de 21.3 °C a 33.3 °C de acuerdo a la temperatura máxima, mínima y media del periodo establecido, y con respecto al patrón histórico 1981-2010 se registraron anomalías de 0.5 °C, 0.4 °C, y 0.2 °C, respectivamente. El modelo estadístico cuantitativo de correlación, análisis de distribución de Chi cuadrado y el Coeficiente de determinación, encontró una relación de asociación positiva débil a moderada.

**Palabras clave:** especie; humedad relativa; precipitación pluvial; temperatura

**Abstract:** We seek to determine the quantitative effects of climate change on the phenological calendar of flowering and fruiting of seven forest species: Capirona, Shaina, Bolaina, Marupa, Teak, Eucalyptus and Pink cedar, during the 2013-2015 period. The evaluations comprised 35 individuals observed for a period of 24 months, using the methodology proposed by Fournier. We found that climate change has generated significant effects in the advancement of the phenological calendar of flowering and fruiting in the *Calycophyllum spruceanum* and *Simarouba amara* species, and in the delay in the *Colubrina glandulosa* and *Guazuma crinita* species; in addition, a great variability in the phenophases of the species of *Tectona grandis* and *Eucalyptus globules*. Due to their adaptation, acclimatization and habitat, they presented a complete phenological cycle, with the exception of *Acrocarpus fraxinifolius*. Flowering and fruiting are influenced by the variable temperature with a permissible range of 21.3 °C to 33.3 °C according to the maximum, minimum and average temperature of the established period, and with respect to the historical pattern 1981-2010 anomalies of 0.5 °C were registered, 0.4 °C, and 0.2 °C, respectively. The quantitative statistical model of correlation, analysis of the Chi square distribution and the Coefficient of determination, found a weak to moderate positive association relationship.

**Keywords:** species; relative humidity; pluvial precipitation; temperature

**Cómo citar / Citation:** Ramírez-Navarro, W. & Quinteros-García, A. (2022). Efecto cuantitativo del cambio climático en el calendario fenológico de floración y fructificación de especies forestales en Perú. *Revista Amazónica de Ciencias Ambientales y Ecológicas*, 1(1), e287. <https://doi.org/10.51252/reacae.v1i1.287>

## I. Introducción

Durante la segunda mitad del siglo pasado, el cambio climático afectó los ecosistemas forestales y tendrá un efecto cada vez mayor sobre ellas en el futuro. Los servicios de regulación del dióxido de carbono CO<sub>2</sub> en los bosques están en riesgo de perderse, a menos que se reduzcan sustancialmente las actuales emisiones; ello provocaría la liberación de grandes cantidades de dióxido de carbono a la atmósfera, agravando el cambio climático (Ruíz Rivera & Galicia Sarmiento, 2016; Valdéz S., 2018).

Dicho efecto que se experimenta en la actualidad es un fenómeno provocado por el aumento de gases de invernadero en la atmósfera, principalmente por CO<sub>2</sub> emitidas por las actividades humanas, que es uno de los problemas ambientales más graves al que se enfrenta la humanidad (Arteaga N. & Burbano N., 2018; Buitrago Guillen et al., 2018).

El calentamiento global que afecta a los ecosistemas mundiales, compromete al desarrollo sostenible. Los estudios Científicos del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007), informan que el planeta enfrentará desastres humanos y naturales irreversibles si la concentración atmosférica de CO<sub>2</sub> continúa. Estos mismos afirman que el clima es el principal factor que controla las pautas mundiales, su estructura, la productividad, y la mezcla de especies.

Montenegro & Ginocchio (1999) indican que el principal efecto del cambio climático en la fenología de las plantas, es el factor climático. Asimismo, Menzel & Fabian (1999) señalan que el incremento en la temperatura del aire puede ser detectado fácilmente con los datos fenológicos. En esta perspectiva, Spano et al. (1999) reportan que las observaciones fenológicas son una valiosa fuente de información para investigar las relaciones de la variación climática en el desarrollo vegetal.

Por otra parte, Rosenzweig & Casassa (2007) manifiestan que el calentamiento global del sistema climático es inequívoco, como lo evidencian un número significativo de cambios observados y sus respuestas que están siendo investigadas, tanto para los sistemas naturales como para los manejados. Estas evidencias abarcan impactos en los ciclos estacionales y de vida de las especies, lo que incluye desde la retención o caída de las hojas hasta los cambios en la floración y maduración de frutos, entre otros.

Los contrastes climáticos durante un ciclo anual expresados en las estaciones, desempeñan un papel importante para el desarrollo fenológico de las plantas, siendo los eventos meteorológicos, como: temperatura, precipitación pluvial, y radiación solar, los reguladores principales de la floración y desarrollo del fruto, y están estrechamente asociados con el comportamiento del clima y tiempo atmosférico (L. A. Fournier & Di Stefano, 2004). Sin embargo, estos estudios son insuficientes en áreas específicos de bosques establecidos.

Por estas razones, el objetivo del artículo es determinar los efectos cuantitativos del cambio climático en el calendario fenológico de floración y fructificación de siete especies forestales: “Capirona” (*Calycophyllum spruceanum*), “Shaina” (*Colubrina glandulosa*), “Bolaina” (*Guazuma crinita*), “Marupa” (*Simarouba amara*), “Teca” (*Tectona grandis*), “Eucalipto” (*Eucalyptus glóbulos*) y “Cedro Rosado” (*Acrocarpus fraxinifolius*), durante el periodo 2013-2015 versus la serie 1980-2010 de acuerdo a la Organización Meteorológica Mundial (OMM).

## 2. Materiales y métodos

Utilizamos el diseño no experimental de tipo longitudinal. Observamos fenómenos tales como: floración y fructificación (especie), temperatura, precipitación pluvial y humedad relativa, tal cual se propiciaron en su entorno natural, para después interpretar, analizarlos y proponer recomendaciones para mitigar el efecto del cambio climático.

Levantamos información fenológica de una muestra de 889 plantas del bosque establecido, se escogieron siete especies forestales y se marcaron cinco árboles de cada especie, en base a su desarrollo, crecimiento, edad, manifestación de fase reproductiva y por el potencial de uso maderable en la Región San Martín.

Llevamos a cabo las observaciones en un área de 1.319 ha instaladas en el Centro de Investigación y Enseñanza Académica del Instituto de Educación Superior Tecnológico Público Nor Oriental de la Selva, ubicado en el distrito de la Banda de Shilcayo de la Región San Martín.

Realizamos las evaluaciones por espacio de 24 meses, desde agosto del 2013 a julio del 2014. Anotamos semanalmente la cantidad de floración y fructificación según la metodología de (Fournier, 1974). Esta metodología facilita la evaluación cuantitativa de las diferentes características fenológicas de cada especie. La misma consiste en la aplicación de la siguiente escala:

0: ausencia de características, con un ámbito de 0%.; 1: presencia de características, con un ámbito de 1%-25%; 2: presencia de características, con un ámbito de 26%-50%; 3: presencia de características, con un ámbito de 51%-75% y 4: presencia de características, con un ámbito de 76%-100%.

Aplicamos esta metodología en las siete especies forestales del bosque establecido. Para estudiar la posible relación de las fases reproductivas con las variables climáticas, recolectamos datos de temperatura, precipitación pluvial y humedad relativa de la estación meteorológica del distrito de Juan Guerra.

Correspondiente al análisis del coeficiente de relación y correlación empleada para evaluar el efecto del cambio climático en la intensidad de la asociación entre dos variables, utilizamos el modelo estadístico de Pearson (1900), el programa estadístico de MINITAB y Excel para elaborar el análisis de varianza (ANOVA).

## 3. Resultados y discusión

### 3.1. Situación del bosque de estudio

Los resultados de la tabla 1 muestran que las especies exóticas Eucalipto (*Eucalyptus globulus*), Cedro rosado (*Acrocarpus fraxinifolius*) y Teca (*Tectona grandis*) presentaron mayor incremento en diámetro, altura total y volumen, seguidos por las especies nativas Marupa (*Simarouba amara*), Shaina (*Colubrina glandulosa*), Bolaina (*Guazuma crinita*) y Capirona (*Calycophyllum spruceanum*), lo que corrobora con Chujutalli (2009), quienes afirman que las especies con mayor desarrollo de crecimiento son el Eucalipto, Marupa y Shaina.

**Tabla 1.** Crecimiento inicial y final de las plantaciones por especie

N°	Especies	Crecimiento inicial 2007			Crecimiento final 2015		
		Φ (cm)	Ht (m)	Vol (m <sup>3</sup> )	Φ (cm)	Ht (m)	Vol (m <sup>3</sup> )
1	Bolaina	0,60	0,22	0,000004	11,00	9,10	0,0687
2	Capirona	0,56	0,20	0,000003	5,20	7,10	0,0170
3	Cedro rosado	0,80	0,23	0,000008	17,00	11,90	0,2173
4	Eucalipto	0,59	0,22	0,000004	22,80	12,50	0,4637
5	Marupa	0,85	0,21	0,000008	14,40	11,00	0,1515
6	Shaina	0,65	0,22	0,000005	12,00	10,40	0,0827
7	Teca	0,85	0,20	0,000007	14,60	10,00	0,1250

Los crecimientos iniciales de la plantación del año 2007 fueron obtenidos del trabajo final de titulación sobre mantenimiento de la plantación en los campos del I.E.S.T.P “Nor Oriental de la Selva” realizado por García & Panduro (2008); el cálculo final del crecimiento 2015 fueron tomadas durante el presente estudio.

### 3.2. Modelos matemáticos de floración y fructificación

Según la tabla 2, todas las especies puestas en estudio responden a respuestas de relación, correlación y coeficientes de determinación, así como modelos matemáticos diferentes al efecto del cambio climático.

**Tabla 2.** Modelos matemáticos de floración y fructificación

Modelos		Denominación
$Y = -108.029 - 11.691X_1 + 0.232X_2 + 5.708X_3 + \epsilon$		Modelo y coeficiente de determinación del cambio climático en la floración de la especie Capirona
R2: 0.482	Coeficiente de determinación	
$Y = 96.203 - 21.242X_1 + 0.012X_2 + 6.974X_3 + \epsilon$		Modelos y coeficiente de determinación del cambio climático en la fructificación de la especie Capirona
R2: 0.224	Coeficiente de determinación	
$Y = -54.625 - 12.742X_1 - 0.234X_2 + 6.010X_3 + \epsilon$		Modelos y coeficiente de determinación del cambio climático en la floración de la especie Shaina
R2: 0.181	Coeficiente de determinación	
$Y = 1493.733 - 34.991X_1 - 7.493X_2 + \epsilon$		Modelos y coeficiente del cambio climático y la fructificación de la especie Shaina
R2: 0.641	Coeficiente de determinación	
$Y = 464.847 - 13.004X_1 - 0.3066X_2 + 1.309X_3 + \epsilon$		Modelos y coeficiente de determinación del cambio climático en la floración de la especie Bolaina
R2: 0.250	Coeficiente de determinación	
$Y = 1229.872 - 23.502X_1 - 8.11X_2 + \epsilon$		Modelos y coeficiente de determinación del cambio climático y la floración de la especie Marupa
R2: 0.441	Coeficiente de determinación	
$Y = -24.839 - 0.793X_1 + 0.056X_2 + 0.804X_3 + \epsilon$		Modelos y coeficiente de determinación del cambio climático y la fructificación de la especie Marupa
R2: 0.013	Coeficiente de determinación	
$Y = -495.260 + 11.599X_1 - 0.059X_2 + 2.957X_3 + \epsilon$		Modelos y coeficiente de determinación del cambio climático y la floración de la especie Teca
R2: 0.041	Coeficiente de determinación	
$Y = -1311.881 + 11.018X_1 - 0.189X_2 + 14.730X_3 + \epsilon$		Modelos y coeficiente de determinación del cambio climático y la fructificación de la especie Teca
R2: 0.235	Coeficiente de determinación	
$Y = 369.144 - 3.256X_1 + 0.076X_2 - 3.913X_3 + \epsilon$		Modelos y coeficiente de determinación del cambio climático y la floración de la especie Eucalipto
R2: 0.145	Coeficiente de determinación	
$Y = -1.174 - 7.696X_1 - 0.106X_2 + 3.141X_3 + \epsilon$		Modelos y coeficiente de determinación del cambio climático en la fructificación de la especie Eucalipto
R2: 0.122	Coeficiente de determinación	

### 3.3. Validación del modelo teórico

De acuerdo a la tabla 3, el análisis estadístico empleado a las temperaturas mínimas y temperatura medias, mediante el análisis de distribución de  $X^2$  (chi cuadrado), las especies Capirona, Shaina, Marupa, Teca y Eucalipto, presentaron valores calculados menores que el valor de  $X^2$  tabular, por lo que se aceptó la hipótesis nula ( $H_0$ ) en la floración, fructificación y por lo tanto representan la realidad del estudio.

En la floración de la especie Bolaina y Marupa el  $X^2$  calculada arrojó valores fuera de control en relación a  $X^2$  tabular, por lo que se rechazó la hipótesis nula ( $H_0$ ); por lo tanto, el modelo matemático establecido para cada especie fue demostrado y validado.

**Tabla 3.** Tratamiento estadístico de datos observados

Especie	Var. Dependiente	$X^2$ Calculado	$X^2$ Tabular	Decisión al 5% $X^2$	Validación
Capirona	Floración	0.266	19.68	$X^2 C < que X^2 T$	si se acepta $H_0$
	Fructificación	0.233	19.68	$X^2 C < que X^2 T$	si se acepta $H_0$
Shaina	Floración	0.042	19.68	$X^2 C < que X^2 T$	si se acepta $H_0$
	Fructificación	6.043	19.68	$X^2 C < que X^2 T$	si se acepta $H_0$
Bolaina	Floración	490.095	19.68		
	Fructificación	0.197	19.68	$X^2 C < que X^2 T$	si se acepta $H_0$
Marupa	Floración	0.013	19.68	$X^2 C < que X^2 T$	si se acepta $H_0$
	Floración	335.808	19.68		
	Fructificación	0.013	19.68	$X^2 C < que X^2 T$	si se acepta $H_0$
Teca	Floración	0.560	19.68	$X^2 C < que X^2 T$	si se acepta $H_0$
	Fructificación	0.442	19.68	$X^2 C < que X^2 T$	si se acepta $H_0$
Eucalipto	Floración	0.757	19.68	$X^2 C < que X^2 T$	si se acepta $H_0$
	Fructificación	1.149	19.68	$X^2 C < que X^2 T$	si se acepta $H_0$

La tabla 4 evidencia la correlación lineal ( $r$ ) y el coeficiente de determinación  $R^2$ , del efecto cuantitativo del cambio climático en el calendario fenológico de floración y fructificación al nivel de significancia del 5%, encontrando valores comprendidos en el rango de  $r$ :  $0 < r \leq 0.5$  y valores  $0.5 < r \leq 0.8$ , que indicó grados de correlación positiva débil a positiva moderada.

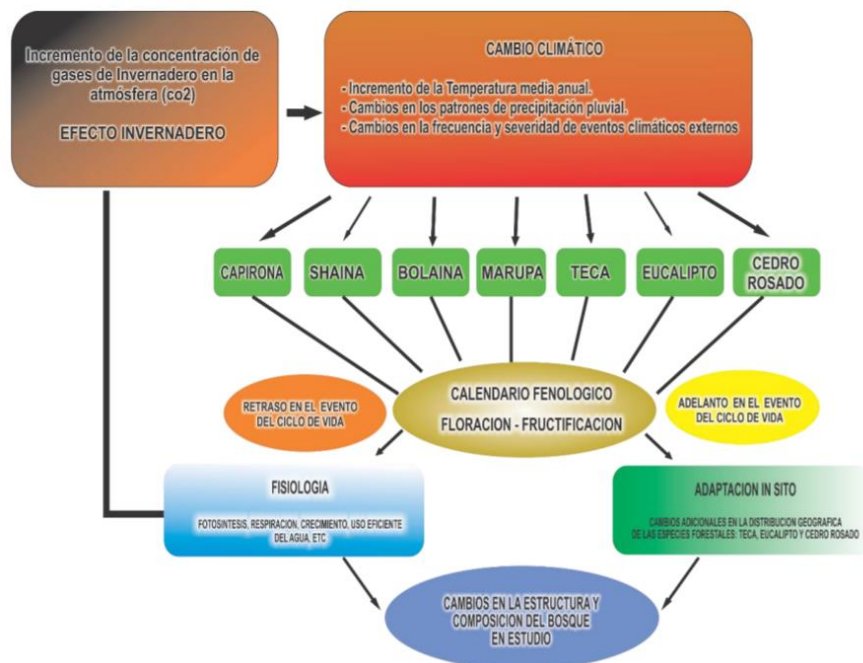
**Tabla 4.** Coeficientes de correlación y determinación al 5% de significancia

Especie		Coeficiente de correlación	Coeficiente de Determinación	Correlación " $r$ " Significancia al 5%	Coeficiente de Determinación $R^2$ Significancia al 5%	
Capirona	Floración	$r_{y.x_1.x_2.x_3}=0.695$	$R^2 =$	0.482	$0.5 < r \leq 0.8$ **pm	$0.5 < R^2 \leq 0.8$ *ns
	Fructificación	$r_{y.x_1.x_2.x_3}=0.473$	$R^2 =$	0.224	$0 < r \leq 0.50$ *pd	$0 < R^2 \leq 0.5$ *ns
Shaina	Floración	$r_{y.x_1.x_2.x_3}=0.426$	$R^2 =$	0.181	$0 < r \leq 0.5$ *pd	$0 < R^2 \leq 0.5$ *ns
	Fructificación	$r_{y.x_1.x_2.x_3}=0.801$	$R^2 =$	0.641	$0.5 < r < 0.8$ **pm	$0.5 < R^2 \leq 0.8$ **s
Bolaina	Floración	$r_{y.x_1.x_2.x_3}=0.279$			$0 < r \leq 0.5$ *pd	$0 < R^2 \leq 0.5$ *ns
	Fructificación	$r_{y.x_1.x_2.x_3}=0.500$	$R^2 =$	0.250	$0 < r \leq 0.5$ **pm	$0 < R^2 \leq 0.5$ **s
Marupa	Floración	$r_{y.x_1.x_2.x_3}=0.664$	$R^2 =$	0.441	$0.5 < r < 0.8$ **pm	$0.5 < R^2 \leq 0.8$ **s
	Fructificación	$r_{y.x_1.x_2.x_3}=0.113$	$R^2 =$	0.013	$0 < r \leq 0.5$ *pd	$0 < R^2 \leq 0.5$ *ns
Teca	Floración	$r_{y.x_1.x_2.x_3}=0.202$	$R^2 =$	0.041	$0 < r \leq 0.5$ *pd	$0 < R^2 \leq 0.5$ *ns
	Fructificación	$r_{y.x_1.x_2.x_3}=0.485$	$R^2 =$	0.235	$0 < r \leq 0.5$ *pd	$0 < R^2 \leq 0.5$ *ns
Eucalipto	Floración	$r_{y.x_1.x_2.x_3}=0.381$	$R^2 =$	0.145	$0 < r \leq 0.5$ *pd	$0 < R^2 \leq 0.5$ *ns
	Fructificación	$r_{y.x_1.x_2.x_3}=0.349$	$R^2 =$	0.122	$0 < r \leq 0.5$ *pd	$0 < R^2 \leq 0.5$ *ns

Nota. (\*) Asociación es positiva débil; (\*\*) Asociación es positiva moderada

El efecto cuantitativo del cambio climático en el calendario fenológico de floración y fructificación de siete especies forestales y según el objetivo planteado, no se han encontrado efectos del cambio climático (temperatura, precipitación pluvial y humedad relativa) en el bosque establecido del Centro de Investigación y Enseñanza Académica del Instituto de Educación Superior Tecnológico Público “Nor Oriental de la Selva”. Por lo que podemos definir, el esquema (Figura 1) como la generalización teórica que responde a la simulación gráfica.

**Figura 1.** Esquema del flujo de la relación del efecto cuantitativo del cambio climático en el calendario fenológico



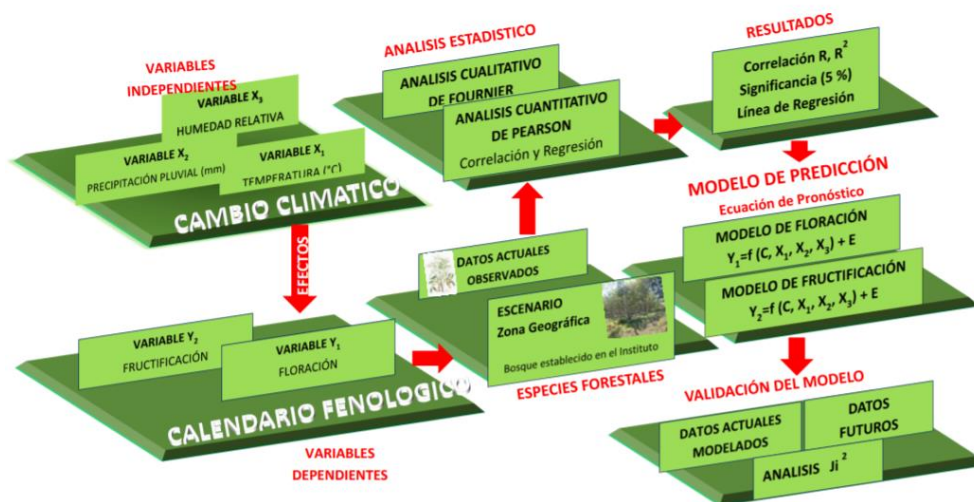
El esquema presenta tres variables independientes: temperatura, precipitación pluvial y humedad relativa, sobre la variable dependiente floración y fructificación de las siete especies forestales. La plantación (vegetación) está condicionada en gran parte por el ambiente, sobre todo por el clima y suelo (condiciones térmicas, hídricas, luminosidad y duración del día, factores químicos y factores mecánicos) por lo tanto no se ha observado efectos climáticos en el calendario fenológico de floración y fructificación.

La determinación gráfica expone la importancia del efecto del cambio climático en el calendario fenológico de floración y fructificación de las especies. Se conoce desde hace mucho tiempo que la combinación del clima y otros factores se emplea para explicar la distribución de la vegetación en todo el planeta (Humboldt & Bonpland, 1807). Los factores ambientales tienen un efecto sobre la distribución de la especie, ya sea en forma directa o indirecta (Guisan & Zimmermann, 2000).

### 3.4. Modelo propuesto

Diseñamos un modelo teórico de predicción del efecto cuantitativo del cambio climático en el calendario fenológico de floración y fructificación de especies forestales para ser tomados como base de predicción de efectos futuros (Figura 2).

**Figura 2.** Modelo teórico para predicción de los efectos cuantitativos del cambio climático en el calendario fenológico de floración y fructificación de especies forestales



El modelo considera un área geográfica (zona de bosque), donde se seleccionaron las especies forestales. Asimismo, tomó como base el análisis de intensidad del método cuantitativo de Fournier, Champantier y el análisis de regresión y correlación estadística de Pearson, además se tuvo en cuenta los pasos metodológicos de la implantación, de tal manera que cualquier miembro de la comunidad científica pueda utilizarlo para realizar nuevas investigaciones.

#### 4. Conclusiones

El cambio climático ha generado efectos cuantitativos en el calendario fenológico de floración y fructificación en las especies Capirona y Marupa, con atraso en las especies Shaina y Bolaina, existiendo una gran variabilidad en la aparición de las fenofases en las especies de Teca y Eucalipto. El cedro rosado no presentó floración ni fructificación durante el periodo de estudios, por lo que no ha sido posible realizar comparaciones cualitativas ni cuantitativas.

Hemos determinado un modelo estadístico cuantitativo de correlación, análisis de distribución de  $X^2$  Chi cuadrado y su coeficiente de determinación de las especies forestales, encontrando una relación de asociación positiva débil a positiva moderada, dicho resultado permite probar el modelo teórico y su significancia en el calendario fenológico.

Este resultado conlleva a recomendar la realización de estudios de los efectos cuantitativos del climático en el calendario fenológico teniendo en cuenta las anomalías de temperatura máximas, mínimas, medias y parámetros ambientales, genéticos, fisiológicos y bióticos que permitan conocer lo que sucede en la realidad de un bosque. Además, a aplicar el modelo teórico propuesto, para predecir los efectos cuantitativos del cambio climático en el calendario fenológico de floración y fructificación con otras especies forestales.

#### Referencias bibliográficas

Arteaga N., L. E., & Burbano N., J. E. (2018). Efectos del cambio climático: Una mirada al Campo. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 35(2), 79-91. <https://doi.org/10.22267/rcia.183502.93>

- Buitrago Guillen, M. E., Ospina Daza, L. A., & Narváez Solarte, W. (2018). Sistemas silvopastoriles: alternativa en la mitigación y adaptación de la producción bovina al cambio climático. *Boletín Científico. Centro de Museos*, 22(1), 31-42.  
<https://revistasojs.ucaldas.edu.co/index.php/boletincientifico/article/view/2724>
- Chujutalli. (2009). *Manejo Silvicultural de una Plantación en los Campos del I.S.T. "Nor Oriental de la Selva"*. Instituto Superior Tecnológico "Nor Oriental de la Selva".
- Fournier, L. (1974). Un método cuantitativo para la medición de características fenológicas en árboles. *Turrialba*, 24(4), 422-423.  
<https://www.scienceopen.com/document?vid=2242189e-658c-42f6-9204-35ab1c5b0fca>
- Fournier, L. A., & Di Stefano, J. F. (2004). Variaciones climáticas entre 1988 y 2001, y sus posibles efectos sobre la fenología de varias especies leñosas y el manejo de un cafetal con sombra en Ciudad Colón de Mora, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 28(1).  
<https://www.redalyc.org/pdf/436/43628110.pdf>
- García, S., & Panduro, M. (2008). *Instalación de una Plantación con especies forestales en los campos de Instituto Superior Tecnológico "Nor Oriental de la Selva"*. Instituto Superior Tecnológico "Nor Oriental de la Selva".
- Guisan, A., & Zimmermann, N. E. (2000). Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling*, 135(2-3), 147-186. [https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(00\)00354-9](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(00)00354-9)
- Humboldt, F., & Bonpland, A.-J.-A. (1807). *Essai sur la géographie des plantes (ed. 1807)*. A Paris : chez Fr. Schoell, libraire, rue des Maçons-Sorbonne, N.º 19 ; et a Tubingue : chez J. G. Cotta, libraire.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2007). *Cuarto informe de evaluación climate Change 2007: The Physical Science Basic Alley, R.ET.AL*. Cambridge University Press. UK.
- Menzel, A., & Fabian, P. (1999). Growing season extended in Europe. *Nature*, 397(6721), 659-659. <https://doi.org/10.1038/17709>
- Montenegro, G., & Ginocchio, R. (1999). *La fenomorfología y su expresión a través del crecimiento modular en las plantas leñosas perennes*. *Ecofisiología Vegetal y Conservación de Recursos Genéticos*.
- Pearson, K. (1900). X. On the criterion that a given system of deviations from the probable in the case of a correlated system of variables is such that it can be reasonably supposed to have arisen from random sampling. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 50(302), 157-175.  
<https://doi.org/10.1080/14786440009463897>
- Rosenzweig, C., & Casassa, G. (2007). *Climate change 2007 Impacts adaptation and vulnerability contribution of working group II to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. Cambridge University Press. UK.
- Ruíz Rivera, N., & Galicia Sarmiento, L. (2016). La escala geográfica como concepto integrador en la comprensión de problemas socio-ambientales. *Investigaciones Geográficas*, 89, 137-153. <https://doi.org/10.14350/rig.47515>
- Spano, D., Cesaraccio, C., Duce, P., & Snyder, R. L. (1999). Phenological stages of natural



species and their use as climate indicators. *International Journal of Biometeorology*, 42(3), 124-133. <https://doi.org/10.1007/s004840050095>

Valdéz S., L. (2018). El cambio climático desde la perspectiva de la psicología ambiental. *Acta Psicológica Peruana*, 3(1), 177-202.

<http://revistas.autonoma.edu.pe/index.php/ACPP/article/view/130>

## **Financiamiento**

Ninguno.

## **Conflicto de intereses**

El artículo no presenta conflicto de intereses.

## **Contribución de autores**

Ramírez-Navarro, Williams: Investigador de Doctorado de la Universidad Nacional de San Martín y redactor del presente artículo. Conceptualizó el estudio y realizó el análisis y procesamiento de los datos. Además, fue quien propuso los modelos matemáticos y teóricos del presente artículo.

Quinteros-García, Alfredo: Asesoró el trabajo de investigación, participó en el proceso recolección y procesamiento de los datos, y fue quien aprobó la versión final del manuscrito.