

Artículo de divulgación

epiRings: simulación digital de rodajas y virutas para el estudio del crecimiento e incremento arbóreo con Shiny

epiRings: digital simulation of tree cross-sections and increment cores for analyzing tree growth and radial increment in shiny

Jorge Méndez-González ^{1,*} , Andrés Flores ² , Librado Sosa-Díaz ³ 

¹ Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro No. 1923, Buenavista Saltillo, Coahuila, México.

² Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, CENID-COMEF, Ciudad de México, México; flores.andres@inifap.gob.mx

³ Consultor Forestal Independiente. Domicilio Conocido Cumbre de Muridores, San Bartolo Tutotepec, Hidalgo, México. librado.24@hotmail.com

* Autor para correspondencia: jmendezg@hotmail.com

Recibido:

12/04/2025

Aceptado:

3/02/2026

Publicado:

2/03/2026

RESUMEN

El estudio de los anillos de crecimiento de los árboles es vital para comprender el clima pasado y el desarrollo forestal, permitiendo cuantificar el crecimiento e incremento arbóreo. En una época donde derribar árboles para obtener muestras es insostenible, esta investigación presenta una alternativa digital. El objetivo de este trabajo fue desarrollar una aplicación interactiva con Shiny (R) que simule y genere anillos anuales realistas de los árboles para su posterior análisis. La metodología consistió en desarrollar una aplicación web en R y Shiny que utiliza datos reales de anillos y clima para simular patrones de crecimiento, apoyada en librerías especializadas para diseño y visualización. Los resultados incluyen un simulador de secciones transversales del tronco y virutas extraídas de una parte de esa sección, una herramienta para explorar la relación anillo-precipitación y una sección de ayuda. En conclusión, esta aplicación gratuita y accesible moderniza la enseñanza de la epidometría forestal, siendo útil tanto para la docencia como para facilitar el autoaprendizaje de los alumnos. Además, fomenta métodos de estudio no destructivos en los ecosistemas.

Palabras clave: Anillos de crecimiento, Aplicación digital, Autoaprendizaje, Clima.

ABSTRACT

The study of tree growth rings is essential for understanding past climate conditions and forest development, as it allows the quantification of tree growth and increment. In an era when cutting down trees to obtain samples is unsustainable, this research presents a digital alternative. The objective was to develop an interactive application using Shiny (R) capable of simulating and generating annual tree rings for subsequent analysis without requiring physical sampling. The methodology consisted of developing a web application in R and Shiny that uses real data of tree rings and climate to simulate growth patterns, supported by specialized libraries for design and visualization. The outcomes include a simulator for tree cross-sections and increment cores, a tool for analyzing the ring-precipitation relationship, and a comprehensive help section. In conclusion, this freely accessible application modernizes the teaching and learning of forest dendrometry,



supporting both formal education and self-directed learning. In addition, it promotes non-destructive study methods within ecosystems.

Keywords: Growth rings, Digital application, Self-learning, Climate.

INTRODUCCIÓN

El estudio de los anillos de crecimiento de los árboles ha sido, por décadas, una técnica fundamental en la dendrocronología, que permite reconstruir climas pasados y su relación con el crecimiento forestal (Speer, 2020). En un campo estrechamente relacionado, la epidimetría se apoya en el análisis de estos anillos para evaluar el crecimiento y el incremento de los árboles a través del estudio detallado de sus troncos (Spurr, 1952). Mediante estos análisis, se pueden obtener estimaciones precisas del incremento en diámetro, altura, área basal, volumen y biomasa, datos esenciales para cuantificar la contribución de los bosques a servicios ecosistémicos clave como la captura de carbono y la producción de oxígeno (Pretzsch et al., 2019).

El crecimiento de los árboles está directamente influenciado por variables climáticas como la precipitación y la temperatura (Fritts, 1976). En años con condiciones climáticas favorables, los árboles tienden a formar anillos de crecimiento más anchos, reflejando un desarrollo óptimo (Stokes & Smiley, 1968). Por el contrario, en periodos de condiciones ambientales adversas, el crecimiento se ve limitado, lo que se manifiesta en anillos más delgados (Fritts, 2012).

La metodología tradicional para analizar los anillos de crecimiento implica la extracción de muestras físicas, ya sea mediante barrenos de Pressler o a través de la tala de árboles, lo que genera impactos ecológicos importantes (Cook & Kairiukstis, 1990). Sin embargo, el avance de la tecnología ha permitido la creación de herramientas digitales innovadoras que facilitan el análisis de estos datos sin necesidad de extraer material físico del bosque. En este contexto, el uso del software R y su paquete Shiny ha transformado la manera en que investigadores y estudiantes abordan el análisis de datos dendrocronológicos y epidométricos. A través de simuladores interactivos, se crea la posibilidad de explorar patrones de crecimiento, modelar el incremento en diámetro, altura, volumen etc. y calcular parámetros estructurales de los árboles de una forma eficiente y

visualmente intuitiva (Bunn et al., 2021). Estas herramientas también permiten visualizar las relaciones entre datos climáticos históricos y el ancho de los anillos de crecimiento, ofreciendo una visión integrada de la relación entre el clima y el desarrollo forestal (Esper et al., 2002).

El desarrollo de un simulador de anillos de árboles basado en Shiny representa un avance crucial para la modernización de la educación y la investigación forestal. Al proporcionar una herramienta interactiva y accesible, se promueve una formación académica efectiva y sostenible, alineada con la necesidad de conservar los recursos naturales (Steppe et al., 2023).

El objetivo de este estudio fue desarrollar una aplicación interactiva en Shiny que simule muestras epidométricas (secciones y transversales y virutas) basadas en patrones reales de crecimiento arbóreo, permitiendo el análisis del crecimiento e incremento de los árboles sin la necesidad de extraer muestras físicas. Esta herramienta promueve la conservación de los bosques, facilita la enseñanza y fomenta el autoaprendizaje de conceptos relacionados con el crecimiento forestal.

DESARROLLO DE "EPIRINGS"

Se desarrolló una aplicación web interactiva a la que se llamó "epiRings", utilizando el lenguaje de programación R (R Core Team, 2025) y el paquete Shiny (Chang et al., 2024) para simular y analizar los anillos de crecimiento de los árboles.

Los anchos de los anillos generados en epiRings se fundamentan en datos reales. Se utilizó una muestra de 30 árboles de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco (abeto de Douglas) colectada en la Sierra de Arteaga, Coahuila, cerca de la localidad de San Antonio de las Alazanas. Las muestras (dos por árbol) consistieron en virutas que fueron colectadas, montadas y procesadas mediante técnicas dendrocronológicas (Fritts, 2012) para obtener el Índice del Ancho del Anillo (ÍAA). El periodo de crecimiento analizado abarca desde el año de colecta (2019) hacia atrás más de 60 años. Los datos climáticos



de precipitación fueron obtenidos de la estación meteorológica de dicha localidad, lo que asegura la veracidad de las simulaciones.

El algoritmo de simulación en epiRings, se fundamenta en la correlación estadísticamente significativa entre ÁAA y la precipitación ($r = 0.7791$, $p = 1.495e-07$). Para la visualización, el sistema no genera un ancho de anillo absoluto, sino el ÁAA, el cual es adimensional. Este índice se obtiene a partir de un modelo de regresión lineal (Ec. 1) que relaciona funcionalmente el IAA con la precipitación anual (PP, en mm), definida por la siguiente expresión:

$$IAA = 0.7136 + (0.0076 * PP) \quad (1)$$

El resumen del modelo de regresión y estadísticos de ajuste se muestra en la sección “Anillos-Precipitación” de la aplicación.

El valor de IAA resultante de esta ecuación es utilizado subsecuentemente para representar gráficamente el ancho de cada anillo en la interfaz visual de la aplicación.

Es crucial precisar que el propósito de este modelo es predictivo, orientado a demostrar didácticamente la dinámica del crecimiento. Bajo este enfoque, no se consideró necesaria una validación exhaustiva de los supuestos clásicos del modelo (e.g., normalidad, homocedasticidad). No obstante, se constató la significancia estadística ($\alpha = 0.05$) de los coeficientes de regresión ($p < 0.05$), lo que garantiza que la relación matemática empleada para la simulación es coherente y robusta para sus fines pedagógicos.

Para el diseño visual y la mejora de la interactividad de epiRings, se emplearon las librerías bslib (Chang, 2023), shinyjs (Attali, 2020), shinyWidgets (Perrier et al., 2023) y shinyBS (Bailey, 2015). La creación de gráficos se realizó con el paquete ggplot2 (Wickham, 2016) y la manipulación de datos con dplyr (Wickham et al., 2023) del programa R (R Core Team, 2025).

epiRings se divide en tres pestañas principales:

1. Simulador:

Objetivo: Simular la sección de un tronco con anillos.

Interfaz: Barra lateral para configuración, panel principal para visualización de secciones y virutas de los árboles (Figura 1).

Controles (barra lateral izquierda):

Configuración: Diámetro del tronco, número de anillos, tipo de ancho (incrementar, disminuir con porcentaje, aleatorio por precipitación). Botones para generar e iniciar de nuevo.

Muestra con Taladro de Pressler: Botón para seleccionar área con el mouse e instrucciones (Figura 2).

Exportar gráfico recortado: Formato (PNG, JPEG, TIFF), resolución (dpi), botón de exportación.

Panel principal: Gráfico del tronco con anillos, imagen recortada (si se selecciona).

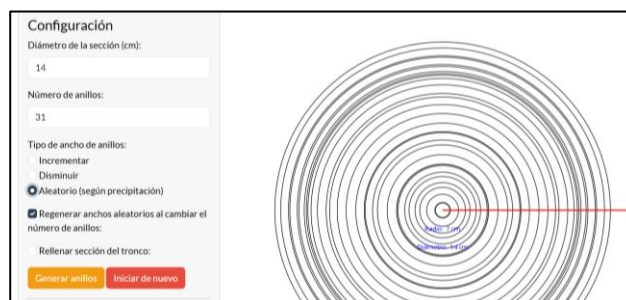


Figura 1. Panel principal de epiRings. El panel de configuración permite definir el diámetro y número de anillos de la muestra que va a ser generada. La simulación del crecimiento puede ser aleatoria, vinculada al modelo de precipitación, o mediante patrones de incremento/decremento predefinidos e independientes de dicho modelo.

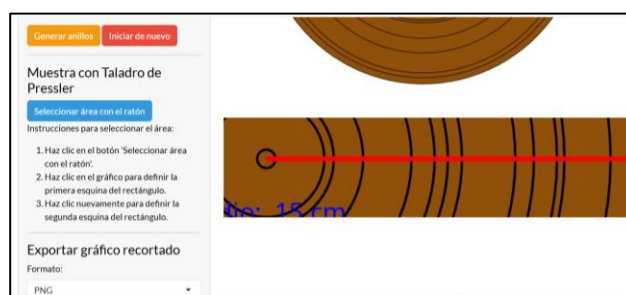


Figura 2. Generación de una viruta de crecimiento en epiRings, simulando ancho de anillos reales. La interfaz habilita la selección y el aislamiento digital de la muestra para su análisis. El usuario puede optar por la sección transversal completa o por un transecto radial — simulando una viruta de incremento—. La selección resultante puede ser exportada en múltiples formatos de imagen (PNG, JPEG y TIFF) para facilitar su posterior

análisis epidométrico, incluyendo la medición de anillos para cuantificar la edad, el crecimiento y el incremento en diámetro y área basal.

2. Anillos - Precipitación:

Objetivo: Explorar relación ancho de anillos y precipitación, actividad interactiva.

Interfaz: Similar a "Simulador" (barra lateral y panel principal; Figura 3).

Dado que el modelo de regresión tiene un propósito predictivo y no explicativo, la interfaz no presenta métricas de validación del modelo (e.g., R^2 , RMSE), solo las estadísticas del modelo. En su lugar, se prioriza la visualización directa de la relación entre ÁAA y precipitación (mm), a través del gráfico de dispersión y la línea de tendencia, lo cual resulta más efectivo para los objetivos pedagógicos de la herramienta.

Controles (barra lateral):

Personalización: Deslizadores para tamaño de etiquetas y ejes.

Adivina el ancho: Botón para aleatorizar precipitación (muestra valor), entrada para ancho adivinado, deslizador de porcentaje de error, botón para adivinar.

Resumen del modelo: Muestra resumen estadístico del modelo lineal.

Panel principal: Gráfico de dispersión precipitación vs ancho de anillo (con modelo de regresión; línea roja en Figura 3).

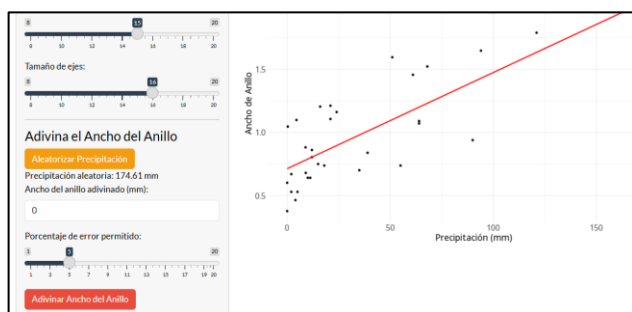


Figura 3. Visualización de un juego interactivo en epiRings. Adivina el ancho del anillo. La gráfica ilustra un módulo interactivo para estimar el ancho de anillo. El usuario predice el valor a partir de datos climáticos, con un umbral de error configurable.

3. Educación:

Objetivo: Informar sobre anillos de árboles y la aplicación.

Interfaz: Página fluida con texto.

Contenido: Explicación de qué son los anillos de crecimiento de los árboles, cómo se forman, su importancia (dendrocronología) y cómo usar la aplicación.

A diferencia de otras herramientas digitales centradas en análisis dendrocronológicos avanzados o modelado de crecimiento, el alcance de epiRings es primordialmente didáctico. Su contribución principal es ofrecer un recurso educativo que evita la necesidad de obtener muestreos destructivos en árboles vivos, apoyando así la conservación de las especies, además de motivar el aprendizaje de forma dinámica, interactiva y divertida. Las muestras (sección transversales o virutas) obtenidas con epiRings, pueden ser utilizadas para su posterior medición y cálculos de crecimiento e incremento. Por su naturaleza visual e interactiva, la aplicación tiene un alcance potencial en diversas disciplinas como botánica, ecología, manejo forestal, dendrocronología y otras.

Una futura ampliación de epiRings contempla la inclusión de la temperatura como variable predictiva del crecimiento. Dado que el ancho de los anillos responde a múltiples factores climáticos y no únicamente a la precipitación, la integración de la temperatura —en un modelo de regresión múltiple junto con la precipitación— permitirá generar simulaciones con mayor realismo. Esto ofrecerá una herramienta más completa y robusta para el análisis didáctico de las relaciones clima-crecimiento.

CONCLUSIONES

El desarrollo de epiRings, representa un avance significativo para la educación y la investigación forestal. Así mismo, proporciona una plataforma digital intuitiva y visualmente atractiva que facilita la comprensión y el análisis de la dinámica del crecimiento de los árboles. Para asegurar la reproducibilidad y la transparencia, epiRings es gratuita y de libre acceso. El código fuente, que incluye los datos de ejemplo utilizados en las simulaciones, está disponible para los usuarios de R, lo que democratiza el acceso a la herramienta y permite su

auditoría, adaptación o mejora por parte de la comunidad. Su capacidad de ser utilizada desde cualquier dispositivo móvil amplía aún más su alcance y practicidad. Al ofrecer una alternativa eficiente y dinámica a los métodos tradicionales, se fomenta un aprendizaje más activo y se reduce la dependencia de la extracción física de muestras, minimizando el impacto ecológico y promoviendo prácticas más sostenibles en el estudio de los ecosistemas forestales. Se puede acceder a epiRings directamente de forma gratuita desde este link: <https://acortar.link/epiRings>, el cual se recomienda abrir en el explorador Chrome.

Agradecimientos

Queremos expresar nuestro sincero agradecimiento a la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por el generoso préstamo de los equipos de cómputo, tanto de software como de hardware, del Departamento Forestal. Su apoyo ha sido fundamental para llevar a cabo esta investigación y desarrollar la aplicación interactiva que simula el crecimiento arbóreo.

Literatura citada

Bailey, B. W. (2015). *shinyBS: Twitter Bootstrap components for Shiny* (Versión 0.75) [Paquete de R]. CRAN. Disponible en: <https://CRAN.R-project.org/package=shinyBS> (Accedido: 5 noviembre 2025).

Bunn, A. G., Korpela, M., Briedis, J., Diskin, M., Grabner, M., Howard, I., Knoflach, M., Kochbeck, L., Nicolussi, K., Rydval, M., Sigl, M., Tejedor, E., Treydte, K., Wilson, R., & Zetterberg, P. (2021). dendroTools: A package for dendrochronological analysis in R. *Dendrochronologia*, 68, 125848.

Chang, W. (2023). *bslib: Bootstrap Sass themes for R* (Versión 0.5.1) [Paquete de R]. CRAN. Disponible en: <https://CRAN.R-project.org/package=bslib> (Accedido: 5 noviembre 2025).

Chang, W., Cheng, J., Allaire, J. J., Xie, Y., & McPherson, J. (2024). *shiny: A web application framework for R* (Versión 1.8.0) [Paquete de R]. CRAN. Disponible en: <https://CRAN.R-project.org/package=shiny> (Accedido: 5 noviembre 2025).

Cook, E. R., & Kairiukstis, L. A. (1990). *Methods of dendrochronology: Applications in the environmental sciences*. Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

Esper, J., Cook, E. R., & Schweingruber, F. H. (2002). Low-frequency signals in long tree-ring chronologies for reconstructing past temperature variability. *Science*, 295(5563), 2250-2253.

Fritts, H. C. (1976). *Tree rings and climate*. London, United Kingdom: Academic Press.

Fritts, H. C. (2012). *Tree rings and climate*. Caldwell, NJ: Blackburn Press.

Perrier, F., Meyer, F., & Ruiz, M. (2023). *shinyWidgets: Custom inputs widgets for Shiny* (Versión 0.8.1) [Paquete de R]. CRAN. Disponible en: <https://CRAN.R-project.org/package=shinyWidgets> (Accedido: 5 noviembre 2025).

Pretzsch, H., del Río, M., Ammer, C., Aussenac, R., Avdagic, A., Barbati, A., Barreiro, S., Bauhus, J., Bayar, S., Bielak, K., Bommarco, R., Bongers, F., Bouriaud, O., Brang, P., Coll, L., Corona, P., Da Silva, R. P., Dănescu, H. V., Davi, H., ... & Schütze, G. (2019). Growth of mixed versus pure forests of oak (*Quercus robur*, *Q. petraea*) and European beech (*Fagus sylvatica*) in Central Europe. *European Journal of Forest Research*, 138(2), 263-279.

R Core Team (2025). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. Disponible en: <https://www.R-project.org/> (Accedido: 5 noviembre 2025).

Speer, J. H. (2020). *Fundamentals of tree-ring research*. Tucson, AZ: University of Arizona Press.

Spurr, S. H. (1952). *Forest inventory*. New York, NY: Ronald Press.

Steppe, K., De Pauw, G., Douthe, C., & Bleyaert, F. (2023). sapfluxr: An R package for processing and visualizing sap flow data. *Dendrochronologia*, 78, 126058.

Stokes, M. A., & Smiley, T. L. (1968). *An introduction to tree-ring dating*. Chicago, IL: University of Chicago Press.



Wickham, H. (2016). *ggplot2: Elegant graphics for data analysis*. New York, NY: Springer-Verlag.

Wickham, H., François, R., Henry, L., Müller, K., & Eastlake, K. (2023). *dplyr: A grammar of data manipulation* (Versión 1.1.4) [Paquete de R]. CRAN. Disponible en: <https://CRAN.R-project.org/package=dplyr> (Accedido: 5 noviembre 2025).

Aviso legal/Nota del editor: Las declaraciones, opiniones y datos contenidos en todas las publicaciones son exclusivamente de los autores y colaboradores, y no de Agraria ni de sus editores. Agraria y sus editores no se responsabilizan de ningún daño a personas o bienes que resulte de las ideas, métodos, instrucciones o productos mencionados en el contenido.

