

LONGEVIDAD Y SEQUIA: CAUSAS DEL DECAIMIENTO FORESTAL DE LOS
BOSQUES DE ALGARROBO DE LA REGION DE PIURA

Edwin Ancajima M.^{1*}, Elva Palacios M.¹, Pablo Salazar Z.¹, Rodolfo Rodríguez A.¹,

5 Rafael M^a Navarro-Cerrillo² & Antonio Mabres T.¹

¹Grupo de investigación en *Prosopis*. Universidad de Piura (UDEP)

²Dpto. Ingeniería Forestal, Laboratorio de Dendrocronología. DendrodatLab- ERSAF.

Universidad de Córdoba. Campus de Rabanales, 14071 Córdoba. Spain

10 *Autor para correspondencia. E-mail: e.w.inem@hotmail.com

RESUMEN

Los bosques secos del norte del Perú han perdido vigor y cobertura forestal durante los
15 últimos años, siendo el algarrobo (*Prosopis pallida*), la especie más afectada. Aunque gran
parte se debe a la tala ilegal, es indudable que factores biológicos y climáticos juegan un
papel importante. Nuestro objetivo es determinar si el decaimiento de los bosques de
algarrobo norperuano se debe a la longevidad, al clima o la combinación de ambos factores.
Utilizando técnicas dendrocronológicas se ha calculado la tasa de crecimiento radial y la
20 edad de rotación de tres poblaciones de algarrobo siguiendo un gradiente de temperatura y
precipitación desde la costa de Piura hacia el interior. Los resultados indican que el
crecimiento radial es mayor en los bosques rivereños costeros, donde la temperatura es
menor. La edad de rotación se alcanza entre los 16-35 años, dependiendo principalmente de
la concentración de nutrientes y del efecto del fenómeno del Niño sobre la napa freática. La
25 reducción del crecimiento en las tres comunidades durante los últimos 14 años sugiere que
el decaimiento es producto del aumento de las temperaturas y de la intensidad de las
sequías, lo cual ha reducido la actividad fisiológica y ha impedido la recarga de agua en la
napa freática. A pesar de que la longevidad de los árboles muestreados alcanza los 50 años,
el crecimiento radial acumulativo sigue una tendencia lineal positiva, por tanto la pérdida
30 de vigor del arbolado parece estar relacionada con las alteraciones climáticas sufridas por
El Niño durante las últimas décadas.

Palabras clave: dendrocronología, crecimiento radial, edad de rotación, Piura, *Prosopis pallida*, sequía.

ABSTRACT

35 The North Peruvian dry forests have lost vigor and land coverage during the last years,
being algarrobo (*Prosopis pallida*) the most damaged specie. Even though this situation is
mainly caused by illegal logging, it is undeniable that biological and climatic factors play
an important role. Our main objective is to asses if decay of the North Peruvian algarrobo
forest is produced by tree longevity, climate factors or both. Using dendrochronological
40 techniques we determined the radial growth rate and the rotation age of three algarrobo
populations, following a temperature and precipitation gradient from the coast to inland.
The results indicate that radial growth is higher in riverine coastal forests where
temperature is lower. Rotation age have reached between 16-35 years, depending mainly on
nutrients concentration and the El Niño Southern Oscilation effect on the phreatic layer.
45 Growth depletion of the three communities during the last 14 years suggests that forest
decay is the result of temperature increases and the droughts intensity, which have reduced
trees physiological activity and have not allowed the water recharge in the phreatic layer.
Yet the longevity of algarrobo populations sampled reaches 50 years old, accumulative
radial growth follows a lineal positive trend, therefore the lost in the forest vigor seems to
50 be related with climatic alterations caused by El Niño in the last decades.

Key words: dendrochronology, drought, Piura, *Prosopis pallida*, radial growth rate, rotation
age.

INTRODUCCIÓN

El algarrobo (*Prosopis pallida* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Kunth) es una especie nativa de las zonas áridas y semi-áridas de América del Sur, entre ellas del norte de Perú. Es capaz de desarrollarse en sitios muy áridos, tolera temperaturas extremadamente altas ($35^{\circ}\text{C} < T^{\circ} < 40^{\circ}\text{C}$), con precipitaciones comprendidas entre 48 y 208 mm (Cuadro 1), y suelos muy alcalinos ($7.08 < \text{pH} < 10.2$) (Felker et al. 2001; Kahi et al. 2009). Sus raíces alcanzan profundidades de hasta 60 m (Celis, 1995; Parviainen *et al.*, 2009), lo que permite a los árboles obtener agua a niveles freáticos donde otras especies no alcanzan, y crecer y dar frutos en los años más secos (Pasiecznik et al., 2001). La dinámica natural de la especie, junto a factores antropológicos y cambios en el clima, afectan su cobertura en el bosque que habita. El efecto de estos factores ha provocado una disminución del 23% de la superficie total del bosque seco de Piura hasta el año 1991 (Zorogastúa *et al.*, 2011), y durante la primera década del año 2000, un total de 30 000 hectáreas/año fueron deforestadas o han sufrido procesos de mortalidad masiva. Si esta tasa de desaparición del bosque sigue a este ritmo, se estima que en 20 años el bosque seco habrá desaparecido (Orihuela & Albán, 2012). Identificar de forma precisa las causas de la pérdida de cobertura del bosque seco es fundamental, no solo por su valor ecológico, sino también por su valor económico, valorizados en 72.77 millones de soles en forma de servicios ecosistémicos.

Más allá de la repercusión humana sobre el bosque, representada principalmente por la tala ilegal, existen factores biológicos y climáticos capaces de incidir en la disminución de la cobertura arbórea (Felker & Patch, 1996; Räsänen, 2002). Aunque la mayoría de las especies forestales tienen una longevidad determinada, con el paso del tiempo, los individuos de mayor edad presentan un menor crecimiento y una menor productividad

(MINAM 2016). El estudio del crecimiento en diámetro de los árboles permite determinar la edad de rotación para alcanzar el máximo crecimiento anual en la vida de un árbol (Villacura, 2012). Prácticas silviculturales dedicadas a maximizar la productividad del bosque utilizan la tasa de crecimiento y la edad de rotación para determinar la rentabilidad del bosque, diseñar estrategias de manejo, y programar la regeneración de los bosques sujetos a una gestión forestal sostenible. En *Prosopis flexuosa*, la determinación de la edad de rotación ha permitido distinguir las poblaciones forestales con potencial maderero de las poblaciones con potencial para el pastoreo (Villagra *et al.*, 2005). Aunque estas diferencias suelen deberse a la disponibilidad de nutrientes y a las condiciones climáticas (Bogino & Villalba, 2008), otros factores como la conformación del fuste principal pueden alterar la tasa de crecimiento. Individuos con múltiples troncos pueden disminuir su crecimiento radial a partir de los 60 años, mientras que individuos que se manejan para la obtención de un solo tronco principal pueden mantener un alto crecimiento radial anual hasta los 100 años (Alvarez *et al.*, 2011). Por tanto la protección, el manejo y el uso del bosque debe estar relacionado con las características morfológicas de las especies que las componen y con su longevidad.

Por otro lado, también existen causas climáticas que pueden disminuir el crecimiento y provocar la pérdida de cobertura forestal. El incremento de la temperatura y las escasas precipitaciones en los últimos 20 años (1995-2014) en la costa del Pacífico ha provocado una enorme pérdida de la cobertura forestal en China, Estados Unidos, Chile, India y otros (Mann & Gleick, 2015; Diffenbaugh *et al.*, 2015). En China se ha observado que el impacto de la sequía de los años 2009-2010 sobre la vegetación ha sido mayor en el norte que en el sur del país, debido al predominio, en la zona sur, de bosques no manejados, que son más

resistentes a eventos de sequía (Barriopedro et al., 2012). En Norteamérica, durante los años 2000-2003 las sequías indujeron la muerte de muchas arbóreas , entre ellas más del 90% de los bosques de *Pinus edulis*, especie dominante alrededor de la montaña de Mesita del Buey, América del Norte (Breshears et al., 2005; IPCC, 2012). En las costas de Chile, la sequía de los años 2010-2015 generó impactos sobre la disponibilidad de agua, la vegetación natural, la productividad primaria y la ocurrencia de incendios forestales. Los incendios forestales a gran escala desde las regiones de Valparaíso a La Araucanía incrementaron un 27% en comparación con el promedio histórico, alcanzando un 69% del área total de bosque (Garreaud, 2015).

En Perú, las políticas forestales se limitan a prohibir la explotación ilegal de la madera de algarrobo por ser una especie protegida, mientras que la vía administrativa permite la venta de madera. La aplicación de modelos de protección y manejo forestal sostenible para los bosques de algarrobo, que tengan en cuenta la tasa de crecimiento, la edad de rotación y las condiciones climáticas de cada población, puede permitir la explotación a largo plazo de los recursos forestales de los bosques secos del norte de Perú, y garantizar su conservación y persistencia a largo plazo.

El objetivo principal de esta investigación ha sido estudiar cual es el factor más importante en la disminución de la tasa de crecimiento radial en el bosque seco Norperuano: el clima, la longevidad o una mezcla de ambos. Para ello, se han utilizado medidas dendrocronológicas de 3 poblaciones de *P. pallida* ubicadas según un gradiente climático desde la costa hacia el interior del país. Los objetivos específicos fueron (1) medir la tasa de crecimiento radial y la edad de rotación de las poblaciones de *P. pallida*; y (2) evaluar si

la disminución en el crecimiento acumulado en los diferentes bosques de algarrobo se debe
125 a la falta de precipitaciones y al aumento de temperaturas de los últimos años.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio:

Las muestras fueron recolectadas en los bosques de las localidades de Ignacio Távara, Piura
130 y Rinconada, ubicadas en la región Piura, entre las coordenadas 4°54'19.13"S -
81°0'59.88"O y 5°12'22.66"S - 80°11'32.46"O (Fig. 1). El área posee un clima desértico y
semidesértico, donde los algarrobales de las tres poblaciones forman parte del bosque seco
de llanura. La temperatura máxima en esta área alcanza en verano los 34° C y en invierno
los 15°C. La precipitación es estacional, marcando un periodo húmedo entre los meses de
135 enero a abril, oscilando entre 48-208 mm. Durante los meses restantes, la ausencia de
precipitaciones marca un periodo seco muy prolongado. La precipitación y la temperatura
varían de acuerdo a un gradiente altitudinal, siendo más intensas en las poblaciones más
interiores (Cuadro 1). Estos factores se intensifican durante el fenómeno del Niño,
ocasionando lluvias torrenciales y temperaturas más altas.

140 *Preparación de las muestras*

Con aprobación de SERFOR y de las comunidades campesinas, se extrajeron diez
secciones transversales en el bosque de Ignacio Távara, 10 en rinconada y 14 en Piura, de
troncos vivos de *Prosopis pallida* “algarrobo”. Las secciones fueron de aproximadamente
40 a 50 cm de diámetro y 5 cm de espesor. Para lograr el acabado necesario y poder
145 observar los anillos de crecimiento, las secciones fueron pulidas con papel de lija de

diferente granulometría, desde 24 hasta 1000 granos/cm². Luego, se trazaron de dos a cuatro radios por sección y en cada uno de ellos se identificaron y marcaron los anillos de crecimiento. Para descartar anillos falsos o ausentes que dificultasen el proceso de cofechado, se realizó el seguimiento de los anillos por toda su trayectoria. Las secciones
150 fueron escaneadas a 3200 dpi, obteniendo imágenes de alta resolución, lo que aumenta la visibilidad de los anillos de crecimientos. El ancho de los anillos de cada radio (Cuadro 2) fue medido con el programa CooRecorder 7.8 (2014 - Cybis Elektronik & data AB), desde la albura hacia la médula y siempre en dirección perpendicular al anillo. Las series individuales de crecimiento obtenidas, fueron cofechadas con el programa Cdendro 7.8
155 (2014 - Cybis Elektronik & data AB), considerando los coeficientes de correlación y los eventos climáticos históricos para eliminar anillos falsos y agregar anillos ausentes. El cofechado se realizó solapando series de la misma sección y posteriormente entre series de diferentes secciones pero de una misma población.

Análisis ontogénico del crecimiento radial

160 Calculamos el incremento en área basal (IAB) siguiendo la ecuación de Biondi et al. 1999.

$$IAB_t = \pi r_t^2 - \pi r_{t-1}^2$$

Donde IAB_t es el incremento anual en área basal en el año “t”, “r_t” es el radio de la madera desde la médula hasta el anillo hasta el año “t”, y “r_{t-1}” es el radio de la médula desde la médula hasta el anillo “t-1”. Además, calculamos el incremento acumulado en área basal

165 (IAAB) como,

$$IAAB_t = \pi r_t^2$$

Para calcular el incremento temporal del área basal, las series individuales de crecimiento de cada población fueron solapadas desde su primer anillo de crecimiento, usando Cdendro.

170 Posteriormente, con el paquete “dplr”, se calculó el IAB de las series individuales, y finalmente el IAB de cada población. La edad de rotación se calculó como la edad correspondiente al máximo IAB (Bogino & Villalba, 2008). Mientras que el IAAB poblacional y las gráficas se calcularon usando el software Sigmaplot.

Estudio cronológico del crecimiento radial

175 Para estudiar el crecimiento radial en el contexto cronológico en el que se encontraron los individuos muestreados, las series individuales de crecimiento de cada población fueron solapadas según la fecha de corte y la información dendrocronológica que contenían usando Cdendro. Posteriormente, con el paquete “dplr” se calculó el IAB de las series individuales y finalmente el IAB de cada población.

180 Para comprobar la calidad de los datos dendrocronológicos se calculó el grosor medio poblacional, la sensibilidad media, el coeficiente autocorrelación, la desviación estándar y correlación media poblacional. El análisis se realizó con el paquete “Dendrochronology Program Library in R” (Dplr) del programa R Studio.

RESULTADOS

185 Los resultados estadísticos de las series dendrocronológicas de cada población indican que el proceso de cofechado ha sido correcto (Cuadro 2). A pesar del número limitado de árboles y la presencia de anillos dobles y ausentes, el coeficiente de correlación poblacional fue superior a 0.3 en todos los casos, la sensibilidad media fue de 0.93 y el coeficiente de autocorrelación fue como máximo de 0.39.

190 El incremento acumulado del área basal mantiene una tendencia lineal a lo largo del tiempo (Fig. 2 a, b y c) en las tres poblaciones. Sin embargo, el máximo incremento radial se alcanza en momentos distintos en las tres poblaciones, correspondiendo a los 21, 16 y 35 años en Ignacio Távara, Piura y Rinconada respectivamente (Fig. 2 d, e y f), y tiende a estabilizarse alrededor de los 500 mm².

195 Por otro lado, el incremento en área basal, según el periodo cronológico al que corresponden las series estudiadas, muestra los mayores incrementos durante los principales fenómenos de EL NIÑO (FEN). Seguido de un decaimiento en el crecimiento, que se pone de manifiesto de forma simultánea en todas las localidades a partir del año 2000 (Fig. 3).

200

DISCUSION

Los resultados obtenidos muestran las diferencias en la tasa de crecimiento radial de las tres poblaciones estudiadas, siendo mucho mayor en Rinconada que en Piura e Ignacio Távara. La edad de rotación de estos bosques está comprendida entre los 16 y los 35 años, siendo menor en Piura y mayor en Rinconada. El incremento acumulado en las tres poblaciones sigue un desarrollo lineal ascendente a lo largo de la edad de estos bosques secos. Además, la sequía presente durante los últimos años en las costas del Pacífico presentó un impacto evidente sobre el crecimiento de las poblaciones durante la última década.

El incremento en área basal es un indicador del crecimiento vegetativo de los árboles, y
210 permite estudiar la ontogenia de las especies y monitorear cronológicamente los eventos que han causado un declive o un aumento en el crecimiento (Klepac, 1983; Bogino &

Villalba, 2008). La tendencia del crecimiento radial fue diferente entre las poblaciones, siendo mayor en el bosque seco de Rinconada y menor en Ignacio Távara. Esto posiblemente se debe a una mayor cantidad de nutrientes disponibles en el suelo. En
215 bosques de *P. flexuosa*, se ha observado que las tasas de crecimiento radial son muy superiores en suelos ricos en nutrientes, incluso si la precipitación es menor (Pablo E. Villagra et al. 2005). De la misma manera, la temperatura media anual es menor en Rinconada que en Piura e Ignacio Távara. Esto pudo tener un efecto importante en las zonas más cálidas, reduciendo el intercambio gaseoso, la captura de carbono, y el
220 crecimiento (Delatorre *et al.*, 2008).

La población de la región de Piura alcanzó el máximo crecimiento radial a los 16 años, mientras que en el bosque de Ignacio Távara ocurrió a los 21 años. Esto sugiere que la edad de rotación de estos bosques es semejante y prematura comparada con otros bosques de *Prosopis sp.* de Sudamérica. En *Prosopis caldenia*, se estima que la edad de rotación se
225 alcanza a los 66-100 años, siendo mayor cuando la profundidad de la napa freática aumenta (Bogino & Villalba 2008). En *Prosopis flexuosa*, el máximo crecimiento radial se alcanzó a los 90 años. Sin embargo en el caso de *P. pallida* en la zona de estudio, la precipitación no parece jugar un papel fundamental en la edad de rotación, considerando que Ignacio Távara presentó casi la misma edad de rotación que Piura a pesar de tener 4 veces más
230 precipitación media en años normales (208 mm año⁻¹). De la misma manera, *P. caldenia* y *P. flexuosa* presentaron una edad de rotación similar entre sí, a pesar de que los bosques de *P. caldenia* presentan 4 veces más precipitación media anual (450 mm año⁻¹) que los algarrobales de *P. flexuosa* (Alvarez et al. 2011; Bogino & Villalba 2008). Es posible que el rápido desarrollo de los bosques de algarrobo de la región esté asociado a la periodicidad de

235 fenómenos climáticos intensos como el FEN, el cual elevaría la napa freática hasta un nivel superficial, suministrando recursos hídricos a los bosques de *P. pallida* durante un periodo de años.

El bosque de Rinconada fue la población con mayores diferencias en la tasa de crecimiento radial. La tendencia en esta población se mantuvo constante a partir de los diez años, 240 alcanzando uno de sus picos máximos de crecimiento a los 35 años, momento en el cual empezaría teóricamente la edad de rotación del bosque. Esta tendencia constante durante 25 años en la tasa de crecimiento de esta población, posiblemente se debe a las mejores condiciones presentes en esta localidad, como un nivel más alto de la napa freática y la humedad relativa ambiental. La disponibilidad de agua subterránea, generada por las 245 filtraciones del río Chira, puede influir en el crecimiento de estos algarrobales, permitiendo alcanzar el mayor grado de crecimiento radial en menos tiempo (Ramawat, 2009). Además, la mayor humedad relativa por estar más cerca del mar, minimiza el efecto de las altas temperaturas sobre la actividad fisiológica, favoreciendo el crecimiento en años más secos (Delatorre *et al.*, 2008).

250 Por último, las tres poblaciones evaluadas mostraron un incremento mínimo en la tasa de crecimiento radial durante los últimos años, donde la tendencia en el crecimiento empieza a declinar considerablemente para las series dendrocronológicas conjuntas. Esto no parece deberse al declive de la tasa de crecimiento tras alcanzar la edad de rotación, porque el incremento radial acumulado sigue una tendencia lineal positiva, lo cual sugiere que el 255 crecimiento debería seguir aumentando de manera estable. La causa más probable en la disminución del crecimiento de las poblaciones sería el periodo prolongado de sequía presentado durante la última década en las costas del Pacífico, acompañado de un aumento

de la temperatura media y una fuerte escasez de lluvias. El efecto de la sequía también se han registrado en las costas de California, donde la sequía es excepcionalmente severa y ha ocasionado el decaimiento en el crecimiento de los árboles durante los últimos años (Griffin & Anchukaitis 2014). De la misma manera, los bosques de *Polylepis rugulosa* de los Andes semiáridos han experimentado en los últimos años los periodos de precipitaciones más bajas de los últimos 700 años (Silva, 2012). Según la FAO (2016) el bosque seco en Piura viene siendo afectado por los cambios de temperatura, manifestando síntomas como problemas fitosanitarios, disminución del vigor de bosque y una merma en la producción de diferentes servicios ecosistémicos, sobre todo, en la producción de algarroba y de miel de abeja. Además sostiene, existe una clara relación entre el incremento de las temperatura extremas y la aparición de plagas en varios cultivos de la región.

La edad de rotación y las particulares condiciones climáticas son aspectos fundamentales para la implementación de un sistema de gestión forestal sostenible de los bosques de *P. pallida* en el norte del Perú. El aprovechamiento adecuado de la madera de “algarrobo”, a través de un modelo económico rentable, permitiría una explotación responsable y sostenible que beneficie a las comunidades rurales sin comprometer la perpetuación del bosque. De esta manera, la producción de fruto y madera de algarrobo en el marco de un sistema silvicultural adecuado, ligado a los demás servicios ecosistémicos de los bosques secos, podría por fin solucionar los problemas de tala ilegal de la región de Piura (Pramova et al., 2012).

CONCLUSIONES

280 Las poblaciones de algarrobo alcanzan la edad de rotación entre los 16-35 años. Sin embargo, el crecimiento radial acumulado sigue teniendo una tendencia lineal positiva, lo cual sugiere que la longevidad no es la causa del decaimiento de los bosques secos Norperuanos. La reducción del crecimiento en las tres comunidades estudiadas según un gradiente climático durante los últimos 14 años, sugiere que el origen del decaimiento de los bosques es, principalmente, producto del aumento de las temperaturas y de la intensidad de la sequía, lo cual ha reducido la actividad fisiológica, incrementado la presencia de plagas, y ha impedido la recarga de agua en la napa freática. Sugerimos que los bosques de *P. pallida* requieren de forma urgente un modelo silvícola de gestión para garantizar sus producciones y servicios ambientales, y que se adecue a las características ambientales de cada localidad, y la estructura de edades de los individuos presentes.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue financiada por el Programa Nacional de Innovación para la Competitividad y Productividad (PNICP), otorgado por el gobierno peruano al Dr. Antonio Mabres y al departamento de física de la Universidad de Piura. Además, agradecemos el apoyo técnico y logístico del biólogo Luis Urbina, Joaquín Duque, Emidio Silvério, y Angela Chaparro Mendivelso, así como de los estudiantes de pregrado que participaron en la recolección de datos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 300 Alvarez, J. A., P. E. Villagra, R. Villalba, M. A. Cony, & M. Alberto. 2011. "Wood Productivity of *Prosopis Flexuosa* D.C. Woodlands in the Central Monte: Influence of Population Structure and Tree-Growth Habit." *Journal of Arid Environments* 75 (1).

Elsevier Ltd: 7–13. doi:10.1016/j.jaridenv.2010.09.003.

- Barriopedro, David, Célia M. Gouveia, Ricardo M. Trigo, and Lin Wang. 2012. “The
305 2009/10 Drought in China: Possible Causes and Impacts on Vegetation.” *Journal of
Hydrometeorology* 13 (4): 1251–67. doi:10.1175/JHM-D-11-074.1.
- Bogino, S. M., and R. Villalba. 2008. “Radial Growth and Biological Rotation Age of
Prosopis Caldenia Burkart in Central Argentina.” *Journal of Arid Environments* 72
(1): 16–23. doi:10.1016/j.jaridenv.2007.04.008.
- 310 Breshears, David D, Neil S Cobb, Paul M Rich, Kevin P Price, Craig D Allen, Randy G
Balice, William H Romme, et al. 2005. “Regional Vegetation Die-off in Response to
Global-Change-Type Drought.” *Proceedings of the National Academy of Sciences* 102
(42): 15144–48. doi:10.1073/pnas.0505734102.
- Celis, Angel Díaz. 1995. *Los Algarrobos*. Edited by Concytec. Primera Ed. Lima:
315 Concytec.
- Delatorre, Jose, Manuel Pinto, and Liliana Cardemil. 2008. “Effects of Water Stress and
High Temperature on Photosynthetic Rates of Two Species of Prosopis.” *Journal of
Photochemistry and Photobiology. B: Biology* 92 (2): 67–76.
doi:10.1016/j.jphotobiol.2008.04.004.
- 320 Diffenbaugh, Noah S, Daniel L Swain, and Danielle Touma. 2015. “Anthropogenic
Warming Has Increased Drought Risk in California.” *Proceedings of the National
Academy of Sciences* 112 (13): 3931–36. doi:10.1073/pnas.1422385112.
- FAO. 2016. “Los Bosques Y El Cambio Climático En El Perú.”

- Felker, P., C. Lopez, C. Soulier, J. Ochoa, R. Abdala, and M. Ewens. 2001. "No Title."
325 *Agroforestry Systems* 53 (1): 65–76. doi:10.1023/A:1012016319629.
- Felker, P, and N Patch. 1996. "Managing Coppice, Sapling, and Mature Prosopis for
Firewood, Poles, and Lumber." *Prosopis: Semiarid Fuelwood and Forage Tree
Building Consensus for the Disenfranchised*, D35–54.
- Garreaud, René. 2015. "The 2010-2015 Mega-Drought: A Lesson for the Future." *Center*
330 *for Climate and Resilience Research*.
- Griffin, Daniel, and Kevin J Anchukaitis. 2014. "How Unusual Is the 2012 – 2014
California Drought ?" *Geophysical Research Letters* 41: 9017–23.
doi:10.1002/2014GL062433.1.
- IPCC. 2012. *Climate Change, Disaster Risk, and the Urban Poor*. Edited by Judy L. Baker.
335 *Ippc*. The World Bank. doi:10.1596/978-0-8213-8845-7.
- Kahi, C.H, R.K Ngugi, S.M Mureithi, and J.C Ng’ethe. 2009. "The Canopy Effects of
Prosopis Juliflora (Dc.) and Acacia Tortilis (Hayne) Trees on Herbaceous Plants
Species and Soil Physico-Chemical Properties in Njemps, Kenya." *Tropical and
Subtropical Agroecosystems* 10 (2009): 441–49.
- 340 Klepac, Dusan. 1983. *Crecimiento E Incremento de Árboles Y Masas Forestales*.
Chapingo, Mexico: Universidad Autónoma Chapingo.
- Mann, Michael E, and Peter H Gleick. 2015. "Climate Change and California Drought in
the 21st Century: Fig. 1." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 112 (13):
39313936. doi:10.1073/pnas.1503667112.

- 345 MINAM. 2016. "Estrategia Nacional Sobre Bosques Y Cambio Climático."
- Parviainen, Miia, Miska Luoto, and Risto K. Heikkinen. 2009. "The Role of Local and Landscape Level Measures of Greenness in Modelling Boreal Plant Species Richness." *Latin American Antiquity* 20 (2): 2690–2701.
doi:10.1016/j.ecolmodel.2009.07.017.
- 350 Pasiecznik, N.M., P. Felker, P.J.C. Harris, L.N. Harsh, G. Cruz, J.C. Tewari, K Cadoret, and L.J. Maldonado. 2001. "The Prosopis Juliflora - Prosopis Pallida Complex: Complex: A Monograph." *HDRA, Coventry, UK.*, 172.
- Pramova, Emilia, Bruno Locatelli, Maria Brockhaus, and Sandra Fohlmeister. 2012. "Ecosystem Services in the National Adaptation Programmes of Action." *Climate Policy* 12 (4): 393–409. doi:10.1080/14693062.2011.647848.
- 355 Ramawat, KG. 2009. *Desert Plants: Biology and Biotechnology*. doi:10.1007/978-3-642-02550-1.
- Räsänen, Leena A. 2002. "Biotic and Abiotic Factors Influencing the Development of N₂-Fixing Symbioses between Rhizobia and the Woody Legumes Acacia and Prosopis." *360 Forestry*.
- Silva, Viviana. 2012. "Estudio Dendrocronológico de Una Población de Polylepis Rugulosa En Los Andes Semiáridos de Arica Y Parinacota (Tesis de Pregrado)." Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
- Villacura, Luis. 2012. "Determinación de La Edad de Rotación Óptima Para Dos 365 Variedades Híbridas Del Género Populus Ubicadas En El Valle Central de La Región Del Maule. LUIS HUMBERTO VILLACURA ZAPATA."

Villagra, P. E., R. Villalba, and J. A. Boninsegna. 2005. "Structure and Growth Rate of Prosopis Flexuosa Woodlands in Two Contrasting Environments of the Central Monte Desert." *Journal of Arid Environments* 60 (2): 187–99.

370 doi:10.1016/j.jaridenv.2004.03.016.

Villagra, Pablo E., José A. Boninsegna, Juan A. Alvarez, Mariano Cony, Erica Cesca, and Ricardo Villalba. 2005. "Dendroecology of Prosopis Flexuosa Woodlands in the Monte Desert: Implications for Their Management." *Dendrochronologia* 22 (3): 209–13. doi:10.1016/j.dendro.2005.05.005.

375 Zorogastúa, Percy, Roberto Quiroz, and Jaime Garatuza. 2011. "Imágenes De Satélite En Piura - Perú Assessing Land Cover & Land Use Changes With Satelite Imagery in Piura – Peru" 10 (1): 13–22.

380

CUADROS

Cuadro 1. Características morfológicas, topográficas y geográficas de las 3 poblaciones de estudio.

Variable	Ignacio Távara	Piura	Rinconada
Latitud	5°12'22.66"S	5°10'43.28"S	4°54'19.13"S
Longitud	80°11'32.46"O	80°38'7.46"O	81° 0'59.88"O
Altitud (m. s. n. m.)	153	45	30
Distancia al mar (km)	108.83	59.24	13.72
Precipitación anual (mm)	208	48	52
Temperatura media anual	24.8	23.9	23.4
Diametro a la altura del pecho			
(m)	0.32	0.28	0.30
Altura del árbol (m)	8.8	9.1	11.1
Edad (años)	44	50	51

Cuadro 2. Características de las cronologías de los anillos de los árboles de las poblaciones para el período común.

VARIABLES	Ignacio Távara	Piura	Rinconada
Nº de árboles (radio)	10 (14)	10	10
Ancho de anillo (mm)	3.13	3.45	3.95
Desviación estándar (mm)	7.2	4.79	5.45
Autocorrelación	0.07	0.39	0.33
Sensibilidad media	0.98	0.9	0.91
Coefficiente de correlación	0.44	0.49	0.34
Incremento medio del área basal (mm ²)	1212.69	1472.1	2105.85

LEYENDAS DE FIGURAS

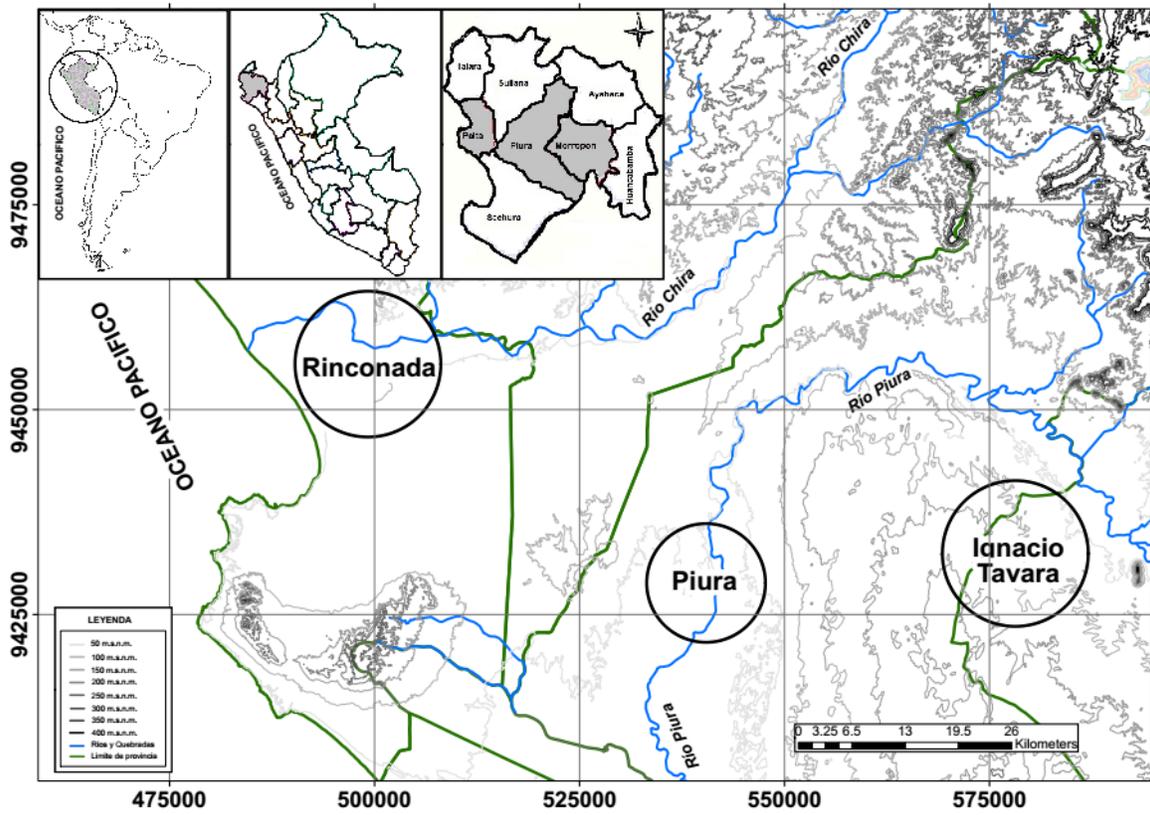
Figura 1.- Ubicación geográfica de las zonas de bosque seco incluidas en este estudio.

Figura 2.- Incremento acumulativo en Área basal en Rinconada (a), Ignacio Távora (b) y
395 Piura (c). La línea punteada representa cada uno de los árboles estudiados, mientras que la
línea azul representa la tendencia en el crecimiento acumulado sobre la base de la media
poblacional. Incremento anual en Área basal en Rinconada (d), Ignacio Távora, (e) y Piura
(f). La línea gris indica el incremento anual poblacional, mientras que la línea roja
representa la tendencia de los datos.

400 Figura 3.- Incremento del área basal según el orden cronológico de los individuos estudios.
La línea vertical roja representa los principales eventos del Fenómeno El Niño de los
últimos 50 años según los reportes de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica
(National Oceanic and atmospheric Administration – NOAA)

405

FIGURAS



410

Figura 1.- Ubicación geográfica de las zonas de bosque seco incluidas en este estudio.

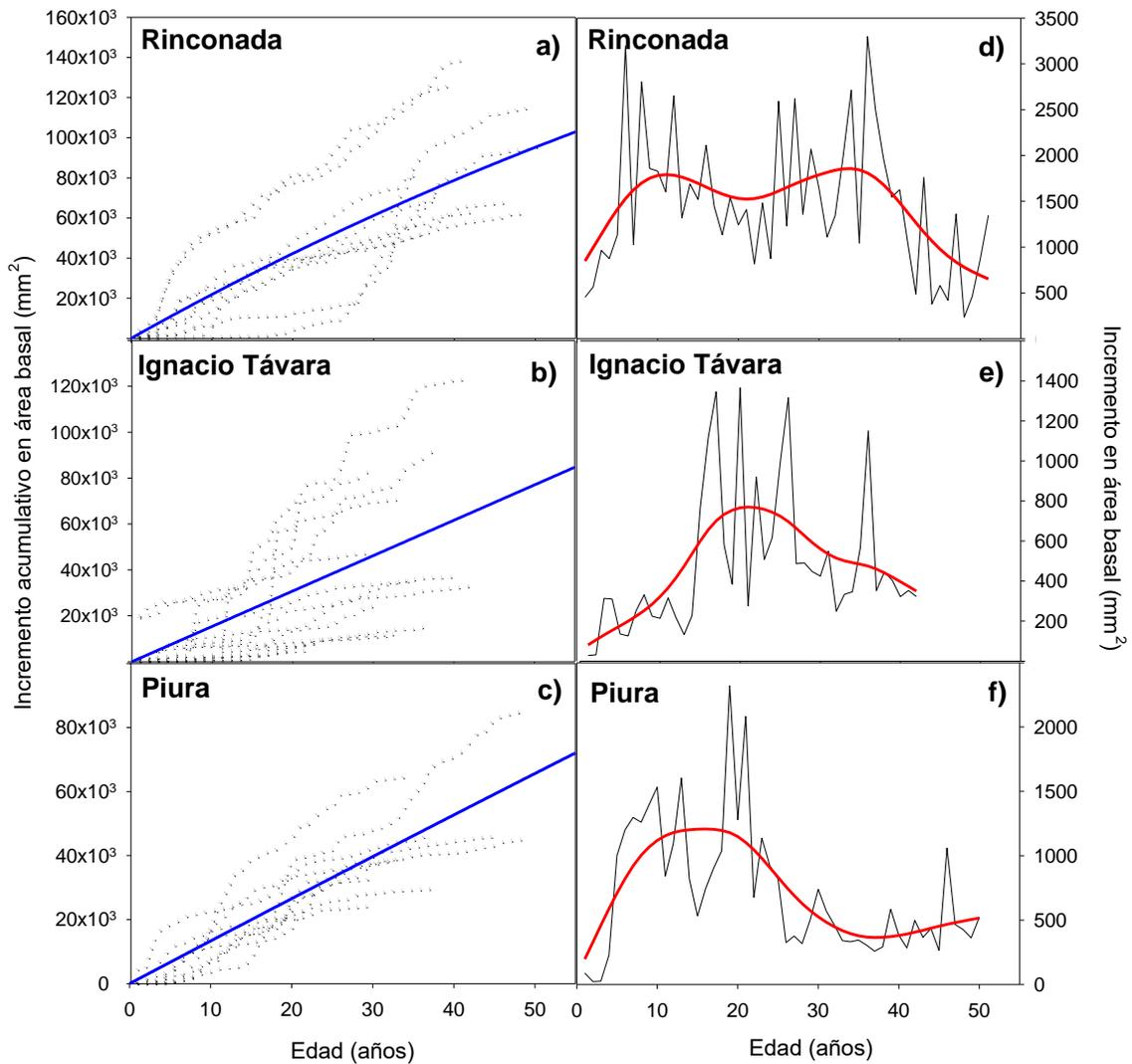


Figura 2.- Incremento acumulativo en Área basal en Rinconada (a), Ignacio Távvara (b) y
 415 Piura (c). La línea punteada representa cada uno de los árboles estudiados, mientras que la
 línea azul representa la tendencia en el crecimiento acumulativo en base a la media
 poblacional. Incremento anual en Área basal en Rinconada (d), Ignacio Távvara, (e) y Piura
 (f). La línea gris indica el incremento anual poblacional, mientras que la línea roja
 representa la tendencia de los datos.

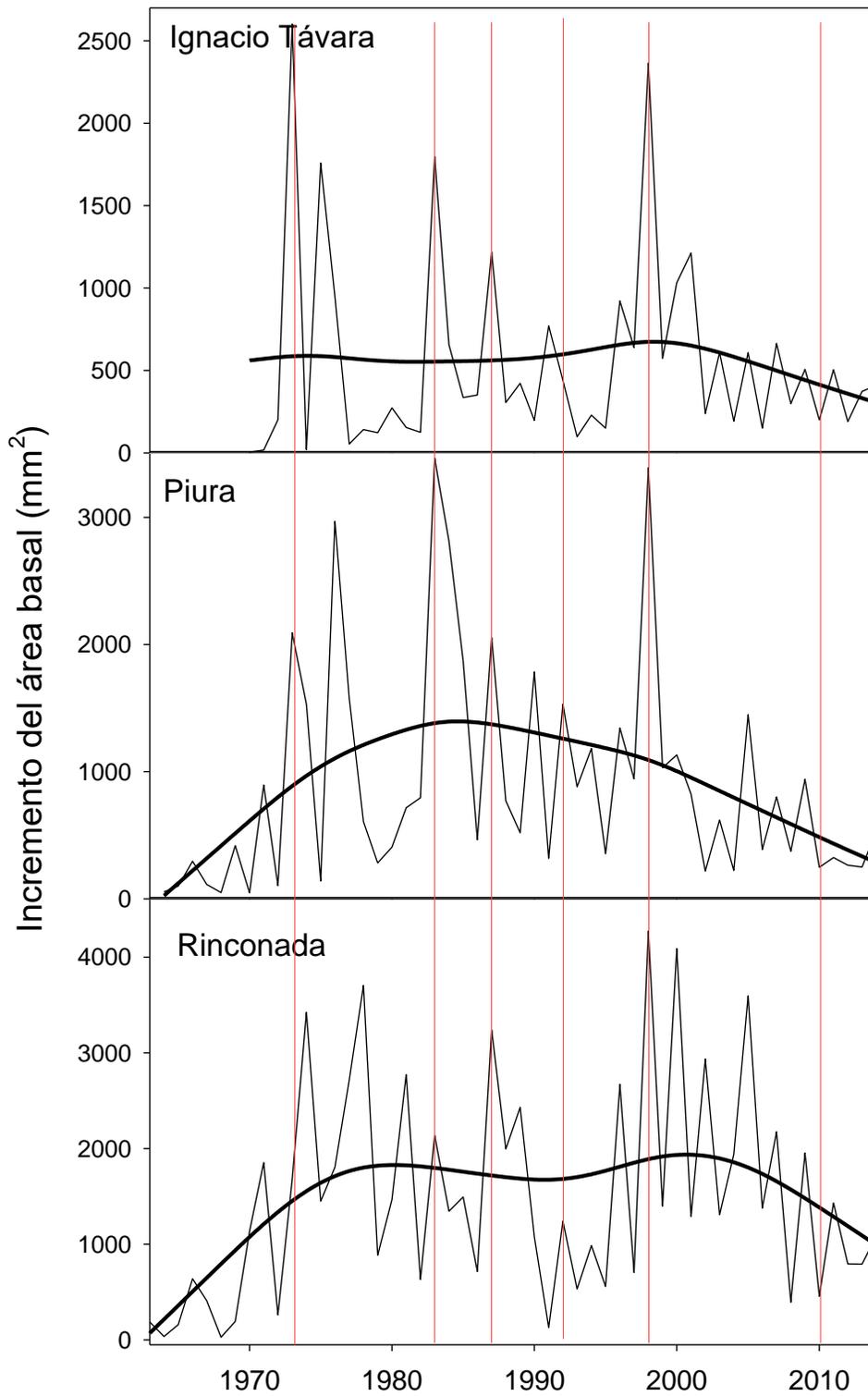


Figura 3.- Incremento del área basal según el orden cronológico de los individuos estudiados.

La línea vertical roja representa los principales eventos del Fenómeno El Niño de los

últimos 50 años según los reportes de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica

425 (National Oceanic and atmospheric Administration – NOAA)