



TESINA DE GRADO

**RECONSTRUCCIÓN DENDROCRONOLÓGICA DE  
ATAQUES DE CUNCUNA (*ORMISCODES AMPHIMONE*)  
EN BOSQUES DE LENGUA (*NOTHOFAGUS PUMILIO*) EN  
EL CHALTÉN, SANTA CRUZ.**



Alumna: Misael Palacios

Director: Dr. Mariano Morales

Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Cs. Ambientales

Centro Científico Tecnológico CONICET, Mendoza

**INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo

2013

## Agradecimientos

A mis padres por su fuerza y apoyo constante a lo largo de la carrera y por su increíble poder de seguir adelante.

A mi compañero de vida Emmanuel, que con su amor y paciencia, a veces extrema, me ayudó a cumplir este sueño.

A mi director Mariano Morales por brindarme los recursos, el espacio físico y el tiempo para concretar este trabajo. También por su paciencia, le pido disculpas por mis planteos que sólo evidenciaban la ansiedad de llegar a la meta.

A mis evaluadores: Juan Álvarez, Alejandra Giantomasi y Eugenia Ferrero por sus aportes y tiempo dedicado para corregir.

A mi familia postiza, “Los Ranzuglia”, por brindarme un refugio de amor y contención.

A mi tía Lili por su guía y ayuda en los detalles relevantes para la civilización.

A mis amigas y compañeras de estudio y tesina por las horas compartidas entre carpetas, mates, y anhelos de vida.

A mis amigas del alma por estar en los mejores y peores momentos con el oído, la palabra y el mate.

Por último quiero dedicar este logro a mi hermano Federico, por protegerme y guiarme día a día con su estrella.

# ÍNDICE

ÍNDICE .....	3
ÍNDICE DE TABLAS .....	5
ÍNDICE DE FIGURAS.....	5
RESUMEN.....	9
1. INTRODUCCIÓN.....	10
2. OBJETIVOS.....	16
2.1 Objetivo General.....	16
2.2 Objetivos Específicos.....	16
3. MATERIALES Y MÉTODOS .....	17
3.1 Características generales de <i>Nothofagus pumilio</i> .....	17
3.1.1 Características anatómicas de la especie.....	17
3.1.2 Distribución de <i>N. pumilio</i> en la Patagonia .....	18
3.1.3 Características dendrocronológicas de la especie .....	18
3.2 Descripción general de <i>Ormiscodes amphimone</i> .....	19
3.3 Área de estudio y clima.....	21
3.4 Recolección y procesamiento de muestras.....	22
3.5 Desarrollo de las cronologías de anchos de anillos.....	24
3.6 Cronología Regional .....	26
3.7 Relación entre el crecimiento y el clima regional.....	27
3.8 Identificación de los ataques de <i>O. amphimone</i> .....	29
3.9 Análisis de épocas superpuestas .....	30
3.9.1 Eventos de bajo crecimiento.....	31
3.9.2 Eventos de ataques de <i>O. amphimone</i> .....	31
4. RESULTADOS .....	33
4.1 Cronologías de ancho de anillos.....	33
4.2 Relación entre el crecimiento radial de <i>N. pumilio</i> y el clima.....	34

4.3 Identificación de los ataques de <i>O. amphimone</i> en las cronologías locales. ....	40
4.4 Reconstrucción dendrocronológica de ataques de <i>O. amphimone</i> .....	60
4.4 Ataques de <i>O. amphimone</i> asociados a cambios en la precipitación .....	63
4.5 Relación entre ataques y variables climáticas .....	65
5. DISCUSIÓN.....	67
5.1 Reconstrucción histórica de los ataques de <i>Ormiscodes amphimone</i> y su relación con el clima.....	67
5.2 Relación entre el clima y el crecimiento regional.....	71
6. CONCLUSIONES .....	74
7. BIBLIOGRAFIA.....	75
ANEXO.....	82

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Información de los sitios usados en las cronologías de ancho de anillos.....	21
<b>Tabla 2:</b> Cronologías de ancho de anillos y sus contribuciones (loadings) al componente principal uno (CP1) y dos (CP2). .....	27
<b>Tabla 3:</b> Características de las estaciones meteorológicas utilizadas .....	29

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Ejemplar de <i>O. amphimone</i> y bosque atacado de <i>N. pumilio</i> .....	15
<b>Figura 2:</b> Ejemplar de <i>N. pumilio</i> y bosque de ejemplares jóvenes y adultos en Ea. Canigó .....	18
<b>Figura 3:</b> Fotografía de anillos de crecimiento de <i>N. pumilio</i> . .....	19
<b>Figura 4:</b> Imagen Satelital de los sitios de estudio y mapa del sur de Argentina indicando el área de estudio .....	21
<b>Figura 5:</b> Coeficientes de correlación de Pearson y número de años correlacionados entre la cronología regional y las cronologías locales.....	34
<b>Figura 6:</b> Coeficiente de correlación entre la cronología regional estándar de <i>N. pumilio</i> con: Gobernador Gregores, Grupo Regional Lavergne y Grupo Regional Srur....	36
<b>Figura 7:</b> Funciones de correlación entre la cronología regional estándar de <i>N. pumilio</i> y el promedio de temperatura de las estaciones meteorológicas de: Calafate, Río Gallegos, Balmaceda, Punta Arenas, Lago Argentino y Gobernador Gregores.....	37
<b>Figura 8:</b> Reconstrucción dendrocronológica de disminuciones de crecimiento que exceden los -2 DS en cronologías estándar de cada sitio.....	39
<b>Figura 9:</b> Análisis de eventos comparando los desvíos de la precipitación reconstruida durante los años de “evento” de bajo crecimiento ocurridos en al menos cinco sitios de la región El Chaltén-Lago del Desierto.....	40

<b>Figura 10:</b> Cronología regional y cronología del sitio Canigó con la correspondiente cronología diferencia y las fechas de los probables ataques.....	41
<b>Figura 11:</b> Cronología regional y cronología del sitio Aniversario con la correspondiente cronología diferencia y las fechas de los probables ataques. ....	42
<b>Figura 12:</b> Cronología regional y cronología del sitio Aniversario 2 con la correspondiente cronología diferencia y las fechas de los probables ataques.. ....	43
<b>Figura 13:</b> Cronología regional y cronología del sitio Aniversario 3 con la correspondiente cronología diferencia y las fechas de los probables ataques.. ....	43
<b>Figura 14:</b> Cronología regional y cronología del sitio Aniversario 5 con la correspondiente cronología diferencia y las fechas de los probables ataques.. ....	44
<b>Figura 15:</b> Cronología regional y cronología del sitio Chorrillo del Salto con la correspondiente cronología diferencia y las fechas de los probables ataques.. ....	45
<b>Figura 16:</b> Cronología regional y cronología del sitio Laguna Madre e hija con la correspondiente cronología diferencia y las fechas de los probables ataques. ....	45
<b>Figura 17:</b> Cronología regional y cronología del sitio Túnel Bosque Bajo con la correspondiente cronología diferencia y las fechas de los probables ataques. ....	46
<b>Figura 18:</b> Cronología regional y cronología del sitio Túnel Bosque Medio con la correspondiente cronología diferencia y las fechas de los probables ataques. ....	47
<b>Figura 19:</b> Cronología regional y cronología del sitio Valle Túnel con la correspondiente cronología diferencia y las fechas de los probables ataques. ....	47
<b>Figura 20:</b> Cronología regional y cronología del sitio Torre con la correspondiente cronología diferencia y las fechas de los probables ataques.....	48
<b>Figura 21:</b> Cronología regional y cronología del sitio Torre Norte con la correspondiente cronología diferencia y las fechas de los probables ataques. ....	49
<b>Figura 22:</b> Cronología regional y cronología del sitio Torre Sur con la correspondiente cronología diferencia y las fechas de los probables ataques.....	49
<b>Figura 23:</b> Cronología regional y cronología del sitio Torre Morena 4 con la correspondiente cronología diferencia y las fechas de los probables ataques. ....	50

<b>Figura 24:</b> Cronología regional y cronología del sitio Huemules con la correspondiente cronología diferencia y las fechas de los probables ataques.....	51
<b>Figura 25:</b> Cronología regional y cronología del sitio Glaciar Huemul con la correspondiente cronología diferencia y las fechas de los probables ataques. ....	51
<b>Figura 26:</b> Cronología regional y cronología del sitio Chaltén Medio con la correspondiente cronología diferencia y las fechas de los probables ataques.....	52
<b>Figura 27:</b> Cronología regional y cronología del sitio Chaltén Bajo con la correspondiente cronología diferencia y las fechas de los probables ataques. ....	53
<b>Figura 28:</b> Cronología regional y cronología del sitio Valle del Solo con la correspondiente cronología diferencia y las fechas de los probables ataques .....	54
<b>Figura 29:</b> Cronología regional y cronología del sitio Glaciar Piedras Blancas con la correspondiente cronología diferencia y las fechas de los probables ataques. ....	54
<b>Figura 30:</b> Cronología regional y cronología del sitio Glaciar Marconi con la correspondiente cronología diferencia y las fechas de los probables ataques .....	55
<b>Figura 31:</b> Cronología regional y cronología del sitio Glaciar Marconi Bosque Bajo con la correspondiente cronología diferencia y las fechas de los probables ataques.....	56
<b>Figura 32:</b> Cronología regional y cronología del sitio Pliegue Bosque Bajo bosque bajo con la correspondiente cronología diferencia y las fechas de los probables ataques. ....	57
<b>Figura 33:</b> Cronología regional y cronología del sitio Laguna Cóndor con la correspondiente cronología diferencia y las fechas de los probables ataques. ....	58
<b>Figura 34:</b> Cronología regional y cronología del sitio Ea María Alicia con la correspondiente cronología diferencia y las fechas de los probables ataques.....	58
<b>Figura 35:</b> Cronología regional y cronología del sitio Pinchadura con la correspondiente cronología diferencia y las fechas de los probables ataques .....	59
<b>Figura 36:</b> Fotografías de anillos de <i>N. pumilio</i> de los sitios Pliegue Bosque Bajo, Chorrillo del Salto, Cóndor y Pinchadura atacados por <i>O. amphimone</i> .....	60

<b>Figura 37:</b> Reconstrucción dendrocronológica de ataques de <i>O. amphimone</i> en bosques de <i>N. pumilio</i> . .....	61
<b>Figura 38:</b> Número de eventos de ataques de <i>O. amphimone</i> por décadas en la región de El Chaltén-Lago del Desierto .....	62
<b>Figura 39:</b> Reconstrucción dendrocronológica de ataques de <i>O. amphimone</i> en bosques de <i>N. pumilio</i> en El Chaltén. Resultados obtenidos por Paritsis et al. (2011). ....	63
<b>Figura 40:</b> Reconstrucción de precipitación y su correspondiente media móvil y número de eventos de ataque de <i>O. amphimone</i> registrados por década. ....	64
<b>Figura 41:</b> Relación entre: la reconstrucción de presión, la reconstrucción de precipitación y la reconstrucción de temperatura con los años previos, el año corriente y los posteriores al ataque de <i>O. amphimone</i> .....	66

## RESUMEN

Los aumentos episódicos en la densidad de insectos defoliadores son un agente importante de disturbio que afecta la composición, estructura, y los patrones sucesionales de los bosques. En los Andes Patagónicos se han detectado reiterados ataques de cuncuna (*Ormiscodes amphimone*) en los bosques de lenga (*Nothofagus pumilio*). El presente trabajo está orientado a reconstruir la historia de los ataques para el periodo 1743-2010 en la región de El Chaltén – Lago del Desierto y analizar la relación de los mismos con variables climáticas. Para ello se realizó un análisis de 4 cronologías de ancho de anillos elaboradas en este estudio y se adicionaron 22 cronologías previamente desarrolladas para la región de estudio. Las 26 cronologías de ancho de anillos se distribuyeron a lo largo de una transecta N-S entre los 49°00' y 49°25'S

Las técnicas dendroecológicas utilizadas permitieron identificar 47 ataques en los últimos 267 años. Si bien se observó recurrencia en los ataques para cada cronología local, no se detectó ciclicidad en la ocurrencia de los mismos. A pesar de que la relación entre los ataques de insectos y fluctuaciones climáticas parecen ser complejas, los ataques de insectos estuvieron asociados con condiciones de sequías, como también con anomalías positivas de la Oscilación Antártica. En contraposición, no se observaron relaciones con la temperatura.

En base a los resultados obtenidos se puede afirmar que *N. pumilio* es una especie que refleja en su crecimiento los ataques por insectos defoliadores, como así también las variaciones climáticas, por lo tanto presenta un gran potencial para realizar reconstrucciones de ataques para los últimos siglos en los Andes Patagónicos.

Palabras claves: Dendroecología, Clima de Patagonia, *Nothofagus pumilio*, Reconstrucción de Ataque de Insectos, *Ormiscodes amphimone*, Andes Patagónicos.

# 1. INTRODUCCIÓN

En términos generales los disturbios son eventos relativamente discretos en el tiempo que alteran la estructura de los ecosistemas, comunidades y poblaciones, cambiando los niveles de recursos y el ambiente físico (Pickett y White 1985). Ejemplos de estos son los incendios, huracanes, terremotos, las heladas, granizadas, la invasión de plagas y las sequías. Estudiar los disturbios, antrópicos o naturales, a diferentes escalas temporales y espaciales permite comprender la dinámica de los ecosistemas forestales (Veblen et al. 1994; Turner et al. 1998; Peterson 2000; Franklin et al. 2002) y también, en muchos casos, realizar una gestión sostenible del mismo (Cissel et al. 1999; Swetnam et al. 1999; Agee 2003). Dentro de la dinámica de los ecosistemas forestales se pueden identificar tendencias, rangos, variaciones, magnitud, intensidad y periodicidad de los eventos de disturbio y de los procesos que lo afectan (Swetnam et al. 1999). Estos eventos de disturbio pueden perjudicar a la sociedad y a las economías de forma directa e indirecta al ocasionar pérdidas de bienes y servicios ambientales.

Los aumentos episódicos en la densidad de insectos defoliadores son un agente importante de disturbio que afecta la composición, estructura, y los patrones sucesionales de los bosques. Los efectos de los ataques por insectos pueden variar ampliamente en los diferentes biomas, áreas geográficas, ecosistemas y tipo de bosques (Morin 1993; Swetnam y Lynch 1993; Parish y Antos 2002). Debido a las consecuencias de los ataques de los insectos sobre los bosques, los aumentos episódicos en la densidad de insectos defoliadores puede ser considerada como plaga forestal. Una plaga forestal se define como un incremento en la densidad poblacional de un organismo, que afecta valores ecológicos, económicos o sociales asociados a los bosques (Coulson y Witter 1990). Ejemplo de esto son los ataques provocados por insectos defoliadores que pueden causar la muerte parcial o total de los árboles y pueden resultar factores claves controlando la dinámica y sucesión de muchos

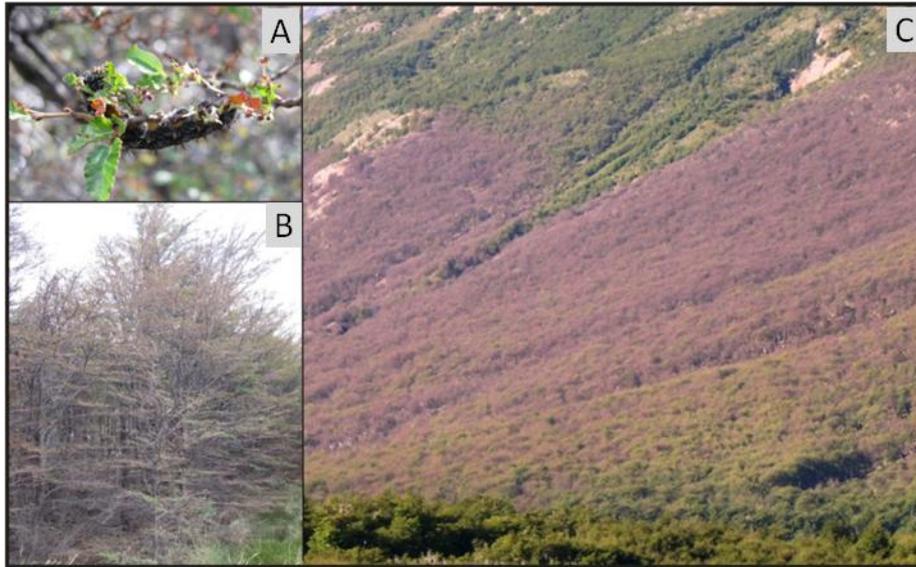
bosques boreales y templados (Veblen et al. 1991; Morin et al. 1993; Parish y Antos 2002). En los bosques de Norte América los ataques por insectos defoliadores representan el principal responsable de mortalidad forestal y el causante de importantes pérdidas económicas (Dale et al. 2001; Logan et al. 2003). Sin embargo, en otros ambientes como los Alpes europeos, los ataques por insectos defoliadores causan reducciones muy marcadas en el crecimiento radial, aunque no necesariamente la muerte (Turchin et al. 2003; Nola et al. 2006; Esper 2007).

El calentamiento global se ha sugerido como una de las causas del aumento de la gravedad y la propagación de ataques de insectos forestales en muchas partes del mundo (Logan et al. 2003; Jepsen et al. 2008). En el caso de los bosques del Mediterráneo el cambio climático afecta la distribución altitudinal y latitudinal de la procesionaria del pino (*Thaumetopoea pityocampa*) (Battisti 2005, 2006; Menéndez, 2007), considerado una de las plagas defoliadoras más perjudiciales de la región (EPPO/CABI, 1997). El aumento de la temperatura global, puede también provocar la interrupción en ataques que han sido recurrentes por más de mil años (Esper 2007). Mientras que la temperatura es considerada como el factor más importante del cambio climático influyendo la fisiología de las poblaciones de insectos (Bale et al. 2002), existe una amplia gama de respuestas fisiológicas con el clima (Ayres y Lombardero 2000). Por ejemplo, en los bosques de Norte América, los ataques del escarabajo del pino de montaña (*Dendroctonus ponderosae*) se han incrementado tras varios años de sequías aumentando la mortandad y los riesgos de incendios (CFS et al. 2007; Tkacz et al. 2007; Westfall y Ebata 2008). En el caso del defoliador *Choristoneura occidentalis* que afecta los bosques de coníferas de Norte América, las sequías han sido sugeridas como un factor que contribuye al ataque del insecto (Swetnam y Lynch 1993).

La dendroecología es en la actualidad una de las técnicas más utilizadas para reconstruir los ataques de insectos con resolución anual durante intervalos de tiempo que abarcan entre cientos y miles de años (Swetnam y Lynch 1993). Mediante el

empleo de técnicas dendroecológicas, los años o períodos con defoliaciones severas pueden ser claramente reconocidos a través del análisis en las secuencias de anillos de árboles generalmente relacionadas con reducciones abruptas del crecimiento radial. Los métodos dendrocronológicos están basados en la observación de características de los anillos de los árboles tales como cambios en el ancho total de los anillos, la coloración y la densidad del leño tardío, parámetros del leño que resultan alterados por la defoliación causada por insectos. Los anillos de árboles pueden proveer información muy valiosa para evaluar en forma consistente los efectos que las explosiones demográficas de insectos tienen sobre los ecosistemas boscosos en diferentes escalas temporales y espaciales, además de encontrar asociaciones empíricas que nos permitan predecir futuros ataques y formular hipótesis verificables sobre los mecanismos generadores de los mismos.

En el Hemisferio Norte, principalmente en Norteamérica y Europa, se conoce con bastante certeza el efecto que tienen los ataques de insectos sobre la composición, la dinámica y los patrones de sucesión de los bosques (Swetnam y Lynch 1993; Speer et al. 2001; Nola et al. 2006; Esper 2007). Este hecho contrasta con Sudamérica donde los estudios dendrocronológicos que han intentado establecer los efectos de insectos defoliadores sobre los ecosistemas boscosos son escasos (Morales et al. 2004, 2009; Paritsis et al. 2010, Paritsis y Veblen 2011). En los Andes Patagónicos se han detectado reiterados ataques de cuncuna (*Ormiscodes amphimone*; Fig. 1) en bosques de lenga (*Nothofagus pumilio*). Esta especie es una de las más extendidas del género *Ormiscodes* en el sur de América del Sur (Lemaire 2002). Es una polilla (Fabricius, Lepidoptera: Saturniidae) que causa defoliaciones severas en *N. pumilio* y otras especies de *Nothofagus* (Bauerle et al. 1997; Baldini y Alvarado 2008; Paritsis et al. 2010).



**Figura 1:** A) Larva *O. amphimone* en estado avanzado de crecimiento. Foto: I. A. Mundo. B) Ejemplar de lenga defoliado por cuncuna en el Cerro San Lorenzo, Santa Cruz. Foto: I. A. Mundo. C) Bosque de lenga (*N. pumilio*) atacado por cuncuna (*O. amphimone*) en el camino al Lago del Desierto, El Chaltén. Foto: R. Villalba.

Estos ataques son reconocidos fácilmente al observarse una fuerte defoliación del bosque y una decoloración de las copas (Fig. 1A, 1B, 1C), que pueden ser espacialmente delimitados mediante el uso de imágenes satelitales (Manduca et al. 2006). Para la región sur de los Andes Patagónicos, el ataque por insectos es detectado como una disminución en el crecimiento radial de lenga (Morales et al. 2004). Los aumentos demográficos de *Ormiscodes* ocurridos durante los períodos 1998-1999, 2002-2003 y 2004-2005 se relacionaron con anillos muy angostos en el año posterior de los respectivos ataques (Morales et al. 2004). Entre el 66 y el 75% de las muestras provenientes de los bosques afectados mostraron una reducción en el crecimiento mayor al 80% con respecto al año precedente (Morales et al. 2004; Manduca et al. 2006; Morales y Villalba 2009). Según Morales y Villalba (2009) estas disminuciones en el crecimiento han sido las más severas de los últimos 100 años.

Paritsis y Veblen (2011) reconstruyeron la historia de ataques severos de *O. amphimone* en bosques de lenga en el norte (41°S) y sur (49°) de los Andes Patagónicos y su relación con variables climáticas durante los últimos 150 años. Los ataques por insectos no mostraron recurrencia ni tampoco algún tipo de naturaleza

cíclica en la ocurrencia de los eventos (Paritsis y Veblen 2011). Los años de ataque registrados por estos autores son comparados con las variaciones en la temperatura y precipitación. Las relaciones entre los episodios de ataques de insectos y variables climáticas resultaron complejas: mientras que la ocurrencia de ataques en el sector norte de Patagonia estuvo asociado a climas cálidos y secos, en la región de los Andes del sur de Patagonia, no se evidenciaron asociaciones claras entre ataques de cuncuna con cambios en el clima. Sin embargo, estos autores detectaron un aumento en la frecuencia e intensidad en los ataques a finales del siglo XX, resultados que son consistentes con los obtenidos previamente por Morales et al. (2004), Manduca et al. (2006), Morales y Villalba (2009). Estos resultados son consistentes con el aumento sin precedente de la temperatura y una marcada reducción de las precipitaciones para la región Patagónica durante las últimas décadas del siglo XX y lo que va del siglo XXI (Villalba et al. 2005, 2012). Estudios dendrocronológicos realizados para el sur de la Patagonia, indican que las décadas de 1980 y 1990 han sido las más cálidas de los últimos 400 años (Villalba et al. 2005).

En base a estos antecedentes, la hipótesis que guía nuestro estudio es que las poblaciones de cuncuna fueron directamente o indirectamente reguladas por las condiciones climáticas. Por lo tanto, los cambios temporales observados en la ocurrencia de los ataques de cuncuna estarían explicados por las fluctuaciones climáticas. Esta hipótesis está basada en el concepto de “planta estresada”, el cual establece que una planta estresada tiene una mayor calidad alimenticia para los insectos herbívoros, que una planta no estresada. Probablemente debido a la gran cantidad de nitrógeno soluble y carbohidratos, o por la reducción de componentes secundarios defensivos en los tejidos de las plantas (White 1976; Rhoades 1979). Por lo tanto, los árboles estresados por sequías podrían disparar los aumentos episódicos de las poblaciones de insectos (Mattson y Haack 1987 a y b)

Para verificar nuestra hipótesis, en este estudio nos propusimos reconstruir mediante técnicas dendroecológicas la historia de ataques de *O. amphimone* sobre los

bosques de lenga y determinar su relación con los cambios climáticos en la región de El Chaltén-Lago del Desierto para el período 1743-2010. A diferencia de los estudios previos, en este trabajo, se incorporaron todas las cronologías de ancho de anillos disponibles para la región El Chaltén-Lago del Desierto, permitiendo una mayor representación espacial del crecimiento de los bosques de lenga. Asimismo, se extendieron en el tiempo los registros existentes, superando el período de análisis de los estudios previos por más de 100 años.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo General

- Reconstruir la historia de los ataques de *Ormiscodes amphimone* y su relación con variables climáticas, en los bosques de *Nothofagus pumilio* en la región de El Chaltén, Santa Cruz.

### 2.2 Objetivos Específicos

1. Desarrollar cronologías locales y regional de ancho de anillo de *Nothofagus pumilio*.
2. Relacionar la cronología regional con registros de precipitación y temperatura.
3. Identificar y cuantificar en cada una de las cronologías desarrolladas los ataques de *Ormiscodes amphimone*.
4. Relacionar los ataques de *Ormiscodes amphimone* con reconstrucciones climáticas (precipitación, temperatura y presión atmosférica).

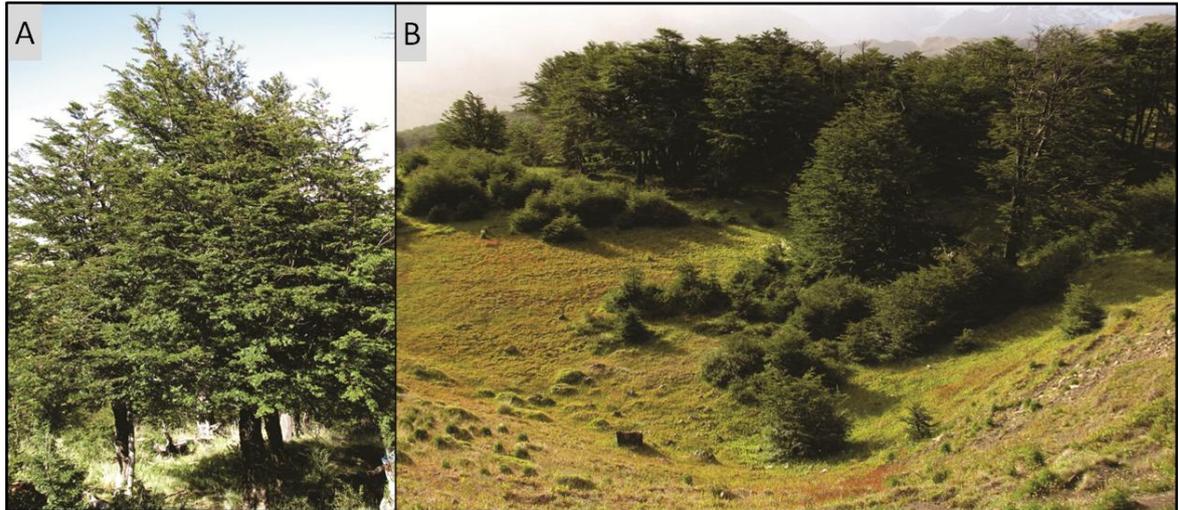
### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Características generales de *Nothofagus pumilio*

##### 3.1.1 Características anatómicas de la especie

*N. pumilio* es un árbol dominante de hoja caduca, posee hojas con borde crenado y la corteza es muy rugosa en ejemplares adultos (Fig. 2A). Las flores masculinas son solitarias y el androceo posee de 23 a 30 estambres; las flores femeninas también son solitarias y están protegidas por 2 brácteas (Guerrido y Fernandez 2007). *N. pumilio* es una especie heliófita de tolerancia media (Rush 1993) que posee ciclos de regeneración por claros (Fig. 2B), por lo que es muy común encontrar abundante regeneración donde se ha caído algún árbol que permita la entrada de luz (Rebertus y Veblen 1993). La dispersión de polen y semillas es anemófila. Sin embargo, las semillas son relativamente pesadas lo que juntamente con las alas rudimentarias que poseen determina que la gran mayoría sean dispersadas por gravedad.

*N. pumilio* presenta una marcada variación en rasgos arquitecturales, morfológicos y ecológicos en respuesta a las distintas condiciones ambientales (Barrera et al. 2000; Cuevas 2000; Premoli 2004). Las observaciones fenológicas indican un acortamiento del período vegetativo al aumentar la elevación (Rusch 1993). En condiciones óptimas la lenga puede alcanzar hasta 35 m de altura y 1,5 m de diámetro (Santos Biloni 1990), presentándose como un árbol de gran porte, de fuste cilíndrico-cónico, con escasa copa y ramificación.



**Figura 2:** A) Ejemplar de *N. pumilio*, Estancia Canigó, Santa Cruz. Foto I.A. Mundo. B) Bosque de ejemplares jóvenes y adultos de *N. pumilio*, Estancia Canigó, Santa Cruz. Foto I.A. Mundo.

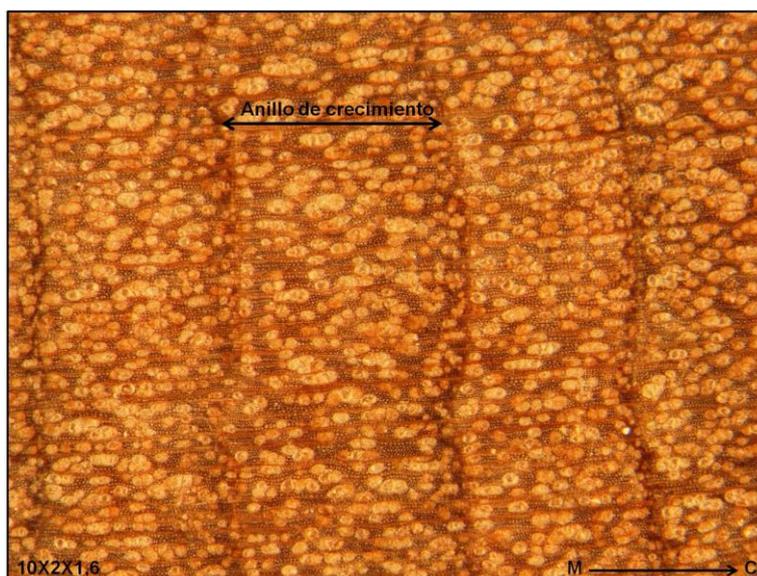
### 3.1.2 Distribución de *N. pumilio* en la Patagonia

Los ejemplares de lenga se pueden encontrar en Chile y Argentina a partir de los 35° hasta los 55° de Latitud Sur (Donoso 1993). Ocupan una estrecha franja de 2200 km a lo largo de faldeos y zonas aledañas a la cordillera de los Andes, (González et al. 2006; Primer Inventario Forestal 2007). Con respecto a su límite altitudinal, éste disminuye desde los 1700-1900 msnm en el norte de la Patagonia hasta aproximadamente los 500 msnm en Tierra del Fuego (Tortorelli 1956).

### 3.1.3 Características dendrocronológicas de la especie

Las especies del género *Nothofagus* tienen buenas características dendrocronológicas lo que ha permitido su empleo en el estudio de las variaciones climáticas del pasado (Boninsegna 1992). Poseen anillos de crecimiento bien definidos, uniformidad circular y una longevidad relativamente alta. Los anillos anuales de crecimiento de *N. pumilio* son reconocidos por la disposición particular de los vasos en la madera (Fig. 3). Aunque presentan una porosidad difusa, los vasos producidos al comienzo de la temporada de crecimiento son más grandes y tienen paredes celulares

más delgadas que las células formadas más tarde en la estación de crecimiento (Masiokas et al. 2009).



**Figura 3:** Imagen de los anillos de árboles de *N. pumilio*(Foto 10x2x1,6). La flecha indica la dirección Médula-Corteza.

### 3.2 Descripción general de *Ormiscodes amphimone*

*Ormiscodes amphimone* es una especie nativa de la región Patagónica de Argentina y Chile. Respecto a su ciclo biológico se puede mencionar que la hembra adulto, deja los huevos agrupados en las ramas del huésped a principios del invierno (Baldini y Alvarado 2008, observación personal). Las larvas emergen hacia finales de la primavera, pudiendo encontrarse inclusive durante el mes de febrero (Lemaire 2002). Las larvas, antes de convertirse en pupa, pasan por cinco estadíos. Luego de pasar uno o dos meses en la fase de pupa, emergen los adultos (Baldini y Alvarado 2008, observación personal). Según estudios previos (Rebolledo et al. 2006; Baldini y Alvarado 2008) los adultos poseen un comportamiento nocturno y se pueden encontrar en los meses de enero a mayo.

La larva de *O. amphimone* puede alcanzar una longitud de 100 mm y un ancho de 12 mm. En el torso presenta una estructura de pelos urticantes denominados escolios y cortas líneas blancas, longitudinales y transversales, con pequeñas manchas de color rojizo a cada lado de las líneas (Artigas 1994). Las larvas poseen un aparato masticador con el que consumen el follaje. El daño se acentúa debido al comportamiento gregario de las mismas, que comienzan a consumir el follaje desde las ramas externas al interior del huésped (Artigas, 1994).

Los hábitos polípagos de las larvas facilitan la capacidad de dispersión, sumado al hecho de que la hembra posee una buena capacidad voladora (Rebolledo et al. 2006). Las larvas de *Ormiscodes amphimone* causan severas defoliaciones en más de veinte especies nativas y exóticas (Paritsis et al. 2010) entre las cuales figuran: *Nothofagus pumilio*, *Peumus boldus*, *Nothofagus dombeyi*, *Lithrea caustica*, *Cryptocarya alba*, *Nothofagus obliqua*, *Schinus molle* L., aunque se alimentan preferentemente del follaje de *N. pumilio* (Baldini y Alvarado 2008; Paritsis et al. 2012), una de las especies nativas más importantes de la Patagonia por su valor económico como recurso maderero.

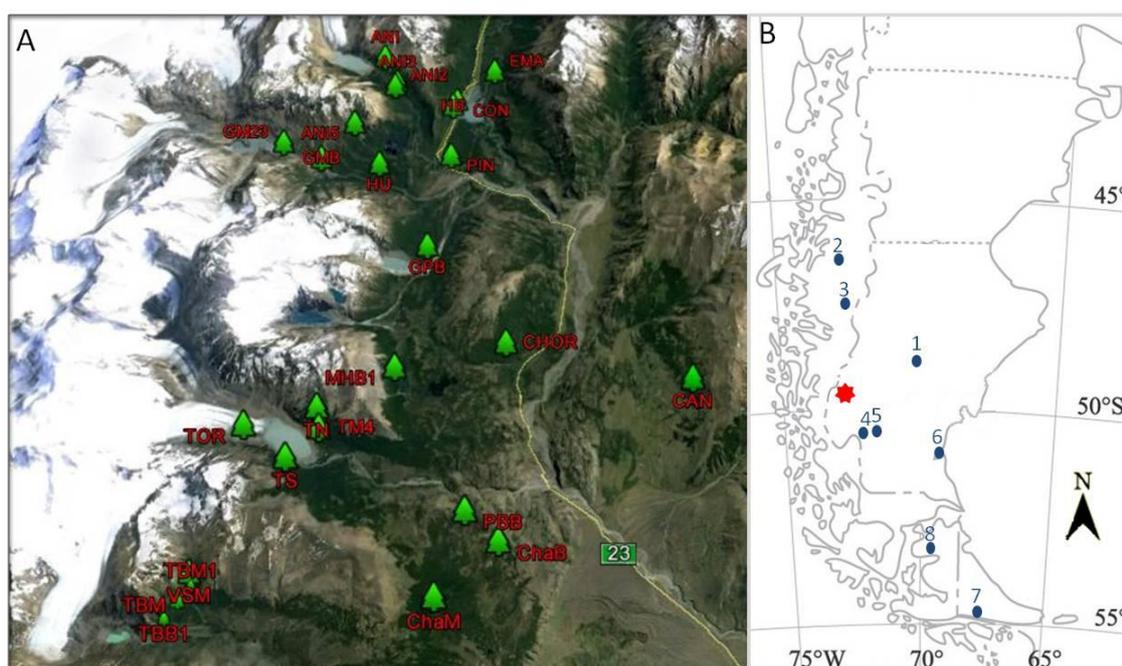
Entre los daños ocasionados se pueden mencionar disminuciones de crecimiento, debido a la disminución de tejido fotosintéticamente activo, con el consecutivo debilitamiento del huésped, dejándolo susceptible a otros factores de estrés. También se deben considerar las pérdidas económicas ocasionadas en el turismo debido a las estructuras urticantes que poseen las larvas, por la cual los visitantes abandonan las zonas afectadas (Artigas, 1994).

Respecto al manejo integrado de *O. amphimone*, no existen antecedentes de técnicas de manejo integrado en bosques de *N. pumilio*. Sin bien los antecedentes sobre el control biológico de *O. amphimone* son escasos, en el noroeste de la Patagonia se registraron niveles elevados de mortalidad causada por parasitoides de larvas y por depredadores de pupas, sin embargo no se obtuvieron resultados relevantes en parasitismo de huevos y depredación de larvas por parte de aves

insectívoras (Paritsis et al. 2012). La dinámica de la interacción predador-presa se desconoce para los eventos de ataque de *O. amphimone*.

### 3.3 Área de estudio y clima

El área de estudio se encuentra ubicada entre la localidad de El Chaltén (49°25'S; 72°58'O) y el Lago del Desierto (49°03'S; 72°53'O), en el Parque Nacional Los Glaciares en la provincia de Santa Cruz. Los bosques estudiados se encuentran en un rango altitudinal que varía, de este a oeste, entre 450 y 1000 msnm, en el sector oriental de los Andes Patagónicos (Fig. 4).



**Figura 4:** A) Imagen Satelital Landsat TM 2007. Los sitios de muestreo están identificados con los iconos verdes y detallados en la Tabla 1. La línea amarilla indica la Ruta Nacional 23. B) La estrella roja señala el área de estudio. Los números corresponden a las estaciones meteorológicas: 1) G° Gregores, 2) Puerto Aysen, 3) Balmaceda, 4) Charles Fuhr, 5) Lago Argentino, 6) Río Gallegos, 7) Ushuaia, 8) Punta Arenas.

El área de estudio se encuentra dentro del Distrito Magallánico formado por bosques puros de *N. pumilio*. El bosque puro está formado por un único estrato de árboles que alcanzan los 8 - 20 m de altura. Según Guerrero y Fernandez (2007) el

estrato arbustivo está formado por *Berberis microphylla* (calafate), *Gaultheria mucronata* (chaura), *Maytenus disticha* (leña dura), *Ribes magellanicum* (parrilla) y *Myoschilos oblongum* (codocoipu). La densidad de herbáceas varían según la mayor o menor disponibilidad de luz (Roig et al. 1985).

En cuanto al clima la zona de estudio presenta una temperatura media anual de 6 °C y una humedad relativa del 63% (datos registrados por dataloggers en los bosques estudiados, período 2004-2011). En el ecotono estepa-bosque, a 500 m de altitud, los datos meteorológicos de la Estación de Guardaparques Chaltén indican una precipitación media anual de 439 mm y una temperatura media anual de 7 °C (período 1992-2001).

### 3.4 Recolección y procesamiento de muestras

Las muestras tomadas fueron tarugos de árboles vivos de cuatro sitios (Ea. María Alicia, Laguna Cóndor, Pinchadura y Valle Túnel, Tabla 1). Las muestras se extrajeron con barreno tipo Pressler en el tronco principal de individuos con diámetros de entre 15 y 45 cm obteniendo de uno a cuatro radios por árbol. Los tarugos fueron guardados en sorbetes de plástico con su correspondiente información de muestreo siguiendo los procedimientos de Stokes y Smiley (1968) que consiste en colocar el código del sitio, árbol y radio (Ej. ChS 01A), y fecha del muestreo. Las cuatro cronologías de ancho de anillos desarrolladas en este estudio provienen de zonas donde se conocían ataques recientes de *O. amphimone* por parte de pobladores de la zona, personal de parques y por observaciones directas durante la campaña de muestreo, como por ejemplo los ataques ocurridos durante los veranos 1998-1999, 2002-2003 y 2004-2005.

**Tabla 1:** Información de los sitios usados en las cronologías de ancho de anillos.

Sitio	Código	Latitud S	Longitud W	Altitud m snm	Período	Nº series	N* > 10 series	Fuente
Glaciar Huemul	HU	49°04'	72°54'		1574-2004	105	1662-2004	Lavergne et al. 2012
Huemules	HB	49°12'	72°57'	470	1723-2008	122	1847-2008	Srur (datos no publicados)
Glaciar Marconi	GM23	49°13'	73°6'		1814-2003	36	1878-2003	Morales et al. 2009
Glaciar Marconi Bajo	GMB	49°14'	73°6'		1770-2003	92	1847-2003	Morales et al. 2009
Chorrillo del Salto	CHOR	49°17'	72°54'		1810-2003	73	1862-2003	Morales et al. 2009
Canigó	CAN	49°18'	72°49'	931	1768-2010	79	1843-2010	Lavergne et al. 2012
Cº 30 Aniversario	ANI	49°18'	73°00'	814	1635-2010	48	1750-2010	Lavergne et al. 2012
Cº Aniversario 2	ANI2	49°11'	72°59'	863	1789-2010	54	1876-2010	Srur (datos no publicados)
Cº Aniversario 3	ANI3	49°11'	72°59'	784	1779-2010	50	1844-2010	Srur (datos no publicados)
Cº Aniversario 5	ANI5	49°12'	73° 00'	859	1761-2010	35	1817-2010	Srur (datos no publicados)
Laguna Madre e Hija	mhb1	49°18'	72°57'		1702-2003	25	1793-2003	Morales et al. 2009
Torre	TOR	49°19'	73°01'		1650-2004	92	1707-2004	Lavergne et al. 2012
Torre Norte	TN	49°19'	72°59'	921	1669-2007	35	1748-2007	Lavergne et al. 2012
Torre Morena 4	TM4	49°19'	72°59'	658	1703-2007	42	1780-2007	Lavergne et al. 2012
Torre Sur	TS	49°20'	72°59'	855	1674-2007	46	1760-2007	Lavergne et al. 2012
G Piedras Blancas	GPB	49°21'	72°58'		1629-1998	43	1732-1998	Masiokas et al. 2001
Pliegue Bosque Bajo	PBB	49°21'	72°54'	770	1843-2008	62	1871-2008	Rodríguez Catón (datos no publicados)
Valle del Solo	VSM	49°22'	73°01'	788	1676-2010	35	1815-2010	Lavergne et al. 2012
Valle Túnel Medio	TBM1	49°22'	73°01'	748	1821-2008	32	1794-2008	Srur (datos no publicados)
Valle Túnel Bajo	TBB1	49°23'	73°01'	648	1629-2008	61	1875-2008	Srur (datos no publicados)
Valle Túnel	TBM	49°25'	73°01'		1611-2007	25	1743-2007	Este estudio
Ea María Alicia	EMA	49°11'	72°56'	453	1880-2007	63	1901-2007	Este estudio
Laguna Cóndor	CON	49°12'	72°57'	485	1787-2007	32	1848-2007	Este estudio
Pinchadura	PIN	49°14'	72°94'		1648-2007	34	1818-2007	Este estudio
Chaltén Medio	ChaM	49°22'	72°55'	950	1693-2003	104	1793-2003	Srur et al. 2008
Chaltén Bajo	ChaB	49°21'	72°53'	760	1770-2003	98	1832-2003	Srur et al. 2008

\*N: representa el número de series

En laboratorio las muestras fueron montadas en regletas de madera. Luego fueron pulidas con papel de lija de granulometría ascendente de 60 a 600 granos/cm<sup>2</sup>, para lograr una correcta visualización de los anillos de crecimiento. A continuación los anillos fueron datados visualmente usando un microscopio binocular, comenzando desde las partes más externas (corteza) hacia el centro de la muestra (médula). Siempre que fue posible, los anillos de crecimiento fueron datados al año de formación (Stokes y Smiley 1968). Con el objetivo de fechar las series de anillos, se siguió la convención de Schulman (1956) para el hemisferio sur, la cual asigna a cada anillo la fecha del año en el cual comenzó a formarse, por ejemplo un anillo asignado al 2003 corresponde al período de crecimiento que incluye la primavera del 2003 y el verano del 2004.

Los anillos de crecimiento fueron medidos con un equipo de medición Velmex conectado a un computador (Robinson y Evans 1980) el cual alcanza una precisión de 0,001 mm. El proceso de medición consiste en registrar la distancia entre el límite del anillo anterior hasta el límite del anillo a medir, quedando registrada la medición en un

archivo digital, el cual es la fuente para los programas computacionales COFECHA (Holmes 1983) y ARSTAN (Cook y Holmes 1984).

El control de calidad de las mediciones de las series de ancho de anillos se realizó mediante el empleo del programa COFECHA (Holmes 1983). Este programa estandariza el valor de la medición original, maximizando la variabilidad interanual mediante la aplicación de una curva de ajuste polinomial de 32 años. La principal función del programa COFECHA es la de identificar posibles errores durante el proceso de fechado y medición, además de la presencia de anillos ausentes o falsos. Esto es posible debido a que el programa calcula índices de correlación entre las series individuales de ancho de anillos y una serie maestra que resulta de promediar los índices de crecimiento de todas las muestras que integran el bosque en estudio. La similitud entre series, y por lo tanto, la verosimilitud de las dataciones de los anillos de cada serie, es evaluada por el valor de correlación obtenido en períodos de comparación de 50 años superpuestos cada 25 años para este estudio.

### 3.5 Desarrollo de las cronologías de anchos de anillos

Durante la última década miembros del Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA) del CONICET, han desarrollado una red de cronologías de ancho de anillos de *N. pumilio* para la región del sur de Patagonia. Con el objetivo de cubrir espacialmente los registros de ataques de insectos en los bosques de lenga, se utilizaron las mediciones cofechadas de árboles de 22 sitios, provenientes de esta base de datos del IANIGLA, ubicadas entre el Chaltén y el Lago del Desierto (Fig. 4). Por lo tanto, estos 22 sitios se suman a los cuatro sitios muestreados y procesados en el presente estudio, resultando en un total de 26 sitios. Estos 26 sitios estuvieron localizados en un rango altitudinal que varió entre 450 y 1000 m (Tabla 1), siendo susceptibles a presentar ataques pasados por insectos

defoliadores. Las características del sitio y la fuente de obtención de las muestras se resumen en la Tabla 1.

A partir de las mediciones de los anillos de crecimiento en cada sitio de muestreo, se construyeron las respectivas cronologías que representan las variaciones interanuales en el crecimiento radial de los árboles para cada uno de los cuatro sitios estudiados. Para construir estas cronologías, previamente se deben eliminar las tendencias biológicas propias del crecimiento y las variaciones en el crecimiento que no son comunes a todos los árboles (Fritts, 1976). Para ello, las mediciones originales de las series de ancho de anillos fueron estandarizadas. La estandarización ajusta las series de ancho de anillos observados a una curva o línea de tendencia y genera un índice adimensional a partir de la división del ancho de anillo observado por el valor esperado. Estudios previos (Morales et al. 2004) muestran que los ataques de cuncuna afectan puntualmente un solo período de crecimiento, por lo tanto es necesario resaltar la variabilidad interanual de las series de crecimiento radial para lograr detectar los ataques pasados de insectos en los bosques de lenga. Por este motivo, en este estudio se aplicó un método conservador de estandarizado, ajustando una función polinómica con una rigidez de 32 años a cada serie individual, disminuyendo así la autocorrelación para resaltar la variación interanual de la especie. Las series estandarizadas tienen una media igual a uno y una varianza homogénea a lo largo de la vida del árbol (Fritts 1976; Cook 1985) y por lo tanto son comparables entre sí a pesar de provenir de diferentes sitios y de árboles con distintas velocidades de crecimiento. El proceso de estandarización y la elaboración final de las cronologías de ancho de anillos, se realizaron mediante el empleo del programa ARSTAN (Cook 1985; versión ARS40Cwin). De las cuatro versiones de cronologías, se decidió trabajar con la cronología versión Estándar.

La salida del programa ARSTAN entrega información estadística como la expresión de la señal común de la población (*EPS*) y el *R-Bar* entre otros parámetros,

los cuales se utilizaron para evaluar la calidad de las cronologías. El *R-Bar* es la media de los coeficientes de correlación que resultan de comparar todos los pares posibles de segmentos de un largo determinado entre todas las series estandarizadas que conforman la cronología (Briffa 1995). El *EPS*, es la señal común poblacional entre una cronología dada y una cronología hipotética que ha sido infinitamente replicada para un intervalo de tiempo común (Wigley et al. 1984). Valores de *EPS* próximos o mayores a 0,85 en un punto dado de la cronología indican que el número de muestras que integra a la misma es adecuado y por lo tanto están captando un porcentaje adecuado de la señal teórica que resultaría de una replicación infinita de las muestras en la cronología. Valores menores de 0,85 estarían indicando que la replicación en ese sector de la cronología es baja y que debería aumentarse el número de muestras para fortalecer la señal común entre los árboles (Briffa 1995).

### 3.6 Cronología Regional

Una visión regional de la evolución temporal del crecimiento puede obtenerse promediando los índices de crecimiento de las cronologías locales en un único registro. De esta forma se logra rescatar más claramente la señal regional, en tanto que el efecto de disturbios locales que pueden afectar el crecimiento en cada cronología local tiende a minimizarse en el promedio regional.

Para seleccionar las cronologías locales que conformaron la cronología regional se realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP), donde cada cronología local representó una variable. El criterio de selección de los sitios fue que: las cronologías tuvieran coeficientes (“contribuciones”) mayor a 0,5 en el primer componente principal, y que además, cada variable aportara más al componente uno que al dos. El criterio tomado fue subjetivo basándonos en el trabajo realizado por Mundo et al. 2012 donde selecciona aquellas cronologías que aportan más de 0,6 al componente principal uno. En la Tabla 2 se muestran en azul las cronologías de los

sitios que integran la cronología regional, con sus respectivos pesos a los componentes principales uno y dos. El primero y el segundo componente explican el 45,1% y 15,7%, de la varianza total en el crecimiento, respectivamente.

**Tabla 2:** Cronologías de ancho de anillos y sus contribuciones (loadings) al componente principal uno (CP1) y dos (CP2).

Cronologías	Componente principal (CP) 1	Componente principal (CP) 2
Canigó	-0,61	0,37
C° Aniveversario 2	-0,58	-0,03
C° Aniveversario 3	-0,70	0,13
C° Aniversario 5	-0,57	0,39
C° 30 Aniversario	-0,68	0,37
Chaltén Bajo	-0,73	-0,38
Chaltén Medio	-0,67	0,45
Chorrillo del Salto	-0,52	-0,66
Glaciar Marconi Bajo	-0,73	-0,38
Ea. María Alicia	-0,57	-0,16
Glaciar Huemul	-0,53	0,45
Glaciar Marconi	-0,60	-0,33
Glaciar Piedras Blancas	-0,84	0,27
Torre	-0,86	-0,06
Huemules	-0,55	-0,64
Laguna Madre e Hija	-0,82	-0,07
Laguna Cóndor	-0,53	-0,67
Pinchadura	-0,56	-0,48
Pliegue Bosque Bajo	-0,72	-0,29
Valle Túnel	-0,68	0,41
Torre Morena 4	-0,79	-0,26
Torre Norte	-0,71	0,33
Torre Sur	-0,81	0,27
Valle Túnel Medio	-0,68	-0,35
Valle Túnel Bajo	-0,58	0,50
Valle del Solo	-0,63	0,58

Valores en negro no cumplen con las condiciones de selección

### 3.7 Relación entre el crecimiento y el clima regional

La influencia del clima sobre el crecimiento regional de *N. pumilio* fue evaluada mediante la función de correlación (Blasing et al. 1984). Este método consistió en correlacionar las variaciones interanuales de ancho de los anillos de la cronología

regional con las fluctuaciones climáticas interanuales de precipitación y temperatura tomadas mes por mes. La relación estadística fue examinada sobre el período común entre la cronología y los datos instrumentales. Como el período de crecimiento en un año dado puede estar influenciado por las condiciones climáticas del año previo, el período de comparación analizado comprendió 19 meses, desde octubre de la estación previa de crecimiento hasta abril del periodo actual de crecimiento.

Como en la zona de estudio los datos meteorológicos son escasos, debido a que existen pocas estaciones meteorológicas y la extensión del registro instrumental es limitada, se utilizaron dos grupos regionales de precipitación y la estación meteorológica Gobernador Gregores. Se usó el grupo Regional de Lavergne (2012), comprendido por Río Gallegos, Punta Arenas, Charles Fuhr, Gobernador Gregores, y el grupo Regional desarrollado por Srur et al. (2008), donde se incluyeron las estaciones de Balmaceda, Punta Arenas, Río Gallegos, Lago Argentino y Ushuaia. Para los registros de temperatura se usaron las estaciones meteorológicas de Calafate, Río Gallegos, Balmaceda, Punta Arenas, Lago Argentino y Gobernador Gregores. Los registros de precipitación y temperatura mensuales fueron provistos por la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación (SRHN), Royal Netherlands Meteorological Institute's (KMNI), Climate Explorer (Global Historical Climatology Network data (GHCN) y por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de Argentina (Tabla 3).

**Tabla 3:** Características de las estaciones meteorológicas utilizadas.

Estación	Latitud S	Longitud W	Altitud msnm	Intervalo de tiempo	P <sup>a</sup> media (mm)	Fuente <sup>b</sup>
G° Gregores	48°47'	70° 1'	358	1951-2009	121,13	SMN
Puerto Aysen	45°24'	72°42'	11	1931-1997	2676,47	GHCN-KMNI
Balmaceda	45°54'	71°45'	520	1959-2011	420,06	GHCN-KMNI
Charles Fuhr	50°15'	71°54'	206	1955-2012	92,14	SRHN
Lago Argentino	50°19'	72°16'	220	1936-2000	198,62	SMN
Río Gallegos	51°37'	69°17'	963	1928-2011	242,38	SMN
Ushuaia	54°48'	68°18'	14	1876-2011	469,44	GHCN-KMNI
Punta Arenas	53°0'	70°9'	37	1888-2011	372,06	GHCN-KMNI
<sup>a</sup> P, Precipitación anual media						
<sup>b</sup> Servicio Meteorológico Nacional (SMN), la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación (SRHN), Royal Netherlands Meteorological Institute's (KNMI) y Climate Explorer (Global Historical Climatology Network data (GHCN))						

### 3.8 Identificación de los ataques de *O. amphimone*

Para detectar los ataques de *O. amphimone* en el sitio de estudio se procedió al uso modificado del análisis huésped/no huésped empleado habitualmente en estudios dendrocológicos sobre plagas forestales (Swetnam et al. 1985). Este análisis consiste en comparar las cronologías de la especie forestal huésped respecto a la no huésped. Este análisis supone que ambas especies se encuentran en un mismo ambiente bajo las mismas condiciones climáticas, por lo tanto ambas especies deberían presentar similares variaciones en el crecimiento dadas por las variaciones climáticas, mientras que las diferencias entre el crecimiento de las especies estarían dadas por eventos particulares locales como los disturbios (ej. ataque de insectos). A la cronología de la especie huésped se le resta la cronología de la especie no huésped. De esta manera se obtiene una corrección en la cronología de la especie huésped donde se logra eliminar la influencia climática y detectar la disminución de crecimiento causada por el insecto. Debido a que en nuestra área de estudio, el bosque estudiado es monoespecífico y por lo tanto, todo el bosque es susceptible a sufrir ataques por insectos, no fue posible obtener una especie no huésped. Sin embargo, cuando promediamos el conjunto de cronologías locales (N=26) para

conformar una cronología regional, el evento de disminución de crecimiento que ocurre en una cronología huésped se atenúa en el promedio regional y el crecimiento regional expresa mayormente la respuesta a las fluctuaciones climáticas, eliminando aquellas variaciones anuales en el crecimiento producto de un evento o disturbio particular, como es el caso de los ataques de insectos.

Por lo tanto, utilizamos la cronología regional como no huésped y las cronologías locales como huésped. Cada cronología regional fue promediada excluyendo a la cronología local a comparar, así por ejemplo para identificar potenciales ataques en el sitio Torre, no se incluyó en la cronología regional la cronología local Torre. Al realizar la diferencia entre cronologías (cronología local - cronología regional) se obtuvo una cronología diferencia (o cronología local corregida) del crecimiento del sitio. Las cronologías diferencia resaltan las disminuciones en el crecimiento que no son debidas a causas climáticas, permitiendo detectar eventos de disturbios locales en el bosque, como en este estudio son los ataques de cuncuna. El criterio tomado para designar los ataques de cuncuna a las cronologías diferencia fueron: disminuciones de crecimiento que excedan los -2,5 DS. El valor establecido se tomó en función de los desvíos estándar que arrojaron los sitios con ataques conocidos como Pliegue Bosque Bajo (1999), Chorrillo del Salto (2003), Laguna Cóndor y Pinchadura (2005). Dado que estos ataques se pudieron corroborar durante los períodos de crecimiento 1998-1999, 2002-2003 y 2004-2005 respectivamente.

### 3.9 Análisis de épocas superpuestas

El análisis de épocas superpuestas (EVENT; Holmes y Swetnam 1994) ejecuta un análisis usando una serie de tiempo y una lista de las fechas con los eventos. Para cada evento se toma una ventana de tamaño variable, fijado por el operador. Se incluye un valor central correspondiente en la serie de tiempo al año del evento, y valores anteriores y posteriores al mismo. Los valores de las ventanas para cada uno

de los ataques se superponen y se promedian. El programa ejecuta 1000 simulaciones (simulaciones de Monte Carlo) tomando fechas al azar para simular años de eventos. De la simulación se obtiene una distribución de medias con los límites de confianza para esa distribución, que son utilizados para determinar los límites de significancia estadística en el patrón de eventos analizados (Holmes y Swetnam 1994). El patrón medio obtenido es estudiado para determinar si existen asociaciones estadísticamente significativas entre las variables consideradas.

### 3.9.1 Eventos de bajo crecimiento

Con el objetivo de determinar la asociación entre los años de bajo crecimiento en las cronologías locales (lista de eventos) y las precipitaciones reconstruidas para la región (serie de tiempo), se aplicó el programa EVENT. En primer lugar se seleccionaron los eventos de bajo crecimiento de las cronologías de ancho de anillo de los 26 sitios. Los criterios de selección fueron los siguientes: disminuciones de crecimiento que superaron los -2DS y que estuvieron presentes en 5 o más cronologías, evidenciando una señal común de disminución de crecimiento. En base a esta lista de eventos de disminución en el crecimiento se ejecutó el análisis de épocas superpuestas sobre una serie de precipitaciones reconstruidas a través de anillos de crecimiento para la misma región de estudio, desarrollada por Lavergne (2012). La ventana de tiempo utilizada para éste análisis fue de 7 años, el año del evento, 4 años previos y 2 años posteriores al mismo.

### 3.9.2 Eventos de ataques de *O. amphimone*

Para determinar si los eventos de ataque de *O. amphimone* están asociados con condiciones climáticas particulares, se utilizó el programa EVENT. Los análisis se realizaron a escala regional, incluyendo en la lista de eventos todas las fechas de ataques por *O. amphimone* de las cronologías analizadas. Teniendo en cuenta esta

lista de eventos de ataques se ejecutó el programa EVENT sobre tres series temporales: (1) La reconstrucción de precipitación para la región de El Chaltén de Lavergne (2012), (2) la reconstrucción de temperatura del Sur de los Andes de Villalba et al. (2003), y (3) la reconstrucción de la Oscilación Antártica de Villalba et al. (2012). La OA es un fenómeno que modula la intensidad y posición de los vientos que circundan en el continente antártico y que determina también la cantidad de lluvia que llega a regiones como la Patagonia (Thompson et al. 2000), por lo tanto anomalías positivas en este índice están asociados con precipitaciones por debajo del promedio en la región sur patagónica. Para estos análisis, se eligió una ventana de tiempo de 7 años, que incluye, además del año considerado, 4 años previos y 2 años posteriores al evento del ataque. Los análisis se realizaron sobre las series reconstruidas de estas tres variables.

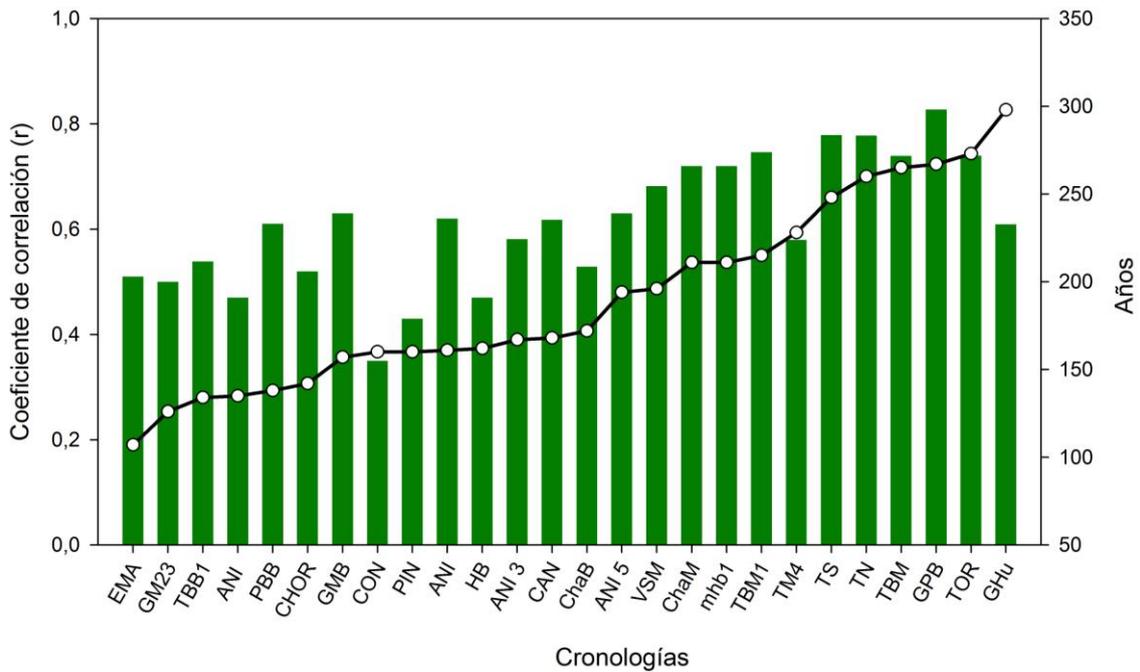
La reconstrucción de precipitación utilizada corresponde al período octubre-enero de los últimos 275 años (período utilizado 1735-2008) para la región de El Chaltén entre los 47°-53° de latitud Sur. La reconstrucción de temperatura anual del Sur de los Andes, entre los 46°-55° de latitud Sur, abarca 360 años (período utilizado 1750-1993). Finalmente la reconstrucción de la Oscilación Antártica de Marshall para los meses diciembre a febrero, corresponde a los últimos 600 años (período utilizado 1700-2006).

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Cronologías de ancho de anillos

De las 26 cronologías desarrolladas, 23 conformaron la cronología regional entre El Chaltén y el Lago del Desierto. Las 26 cronologías muestran una señal común media de la población (*EPS*) de 0,91 y un *R-Bar* medio de 0,38. La cronología más antigua comienza en el año 1662 y corresponde al sitio Glaciar Huemul (Tabla 1; Fig. 11 en Anexo). Las cronologías más actualizadas llegan hasta el año 2010 en los sitios CAN, ANI, ANI2, ANI3, ANI5 y VSM (Tabla 1; Fig.1-7 en Anexo).

En la figura 5 se muestran los coeficientes de correlación de las cronologías locales de la zona de El Chaltén-Lago del Desierto, con la cronología regional. Además se representa el número de años utilizados para cada correlación, que fluctuó en un rango entre 107 y 298 años. Todas las correlaciones resultaron altamente significativas, indicando la existencia de una respuesta común en el crecimiento para toda la región de estudio (Fig. 5).



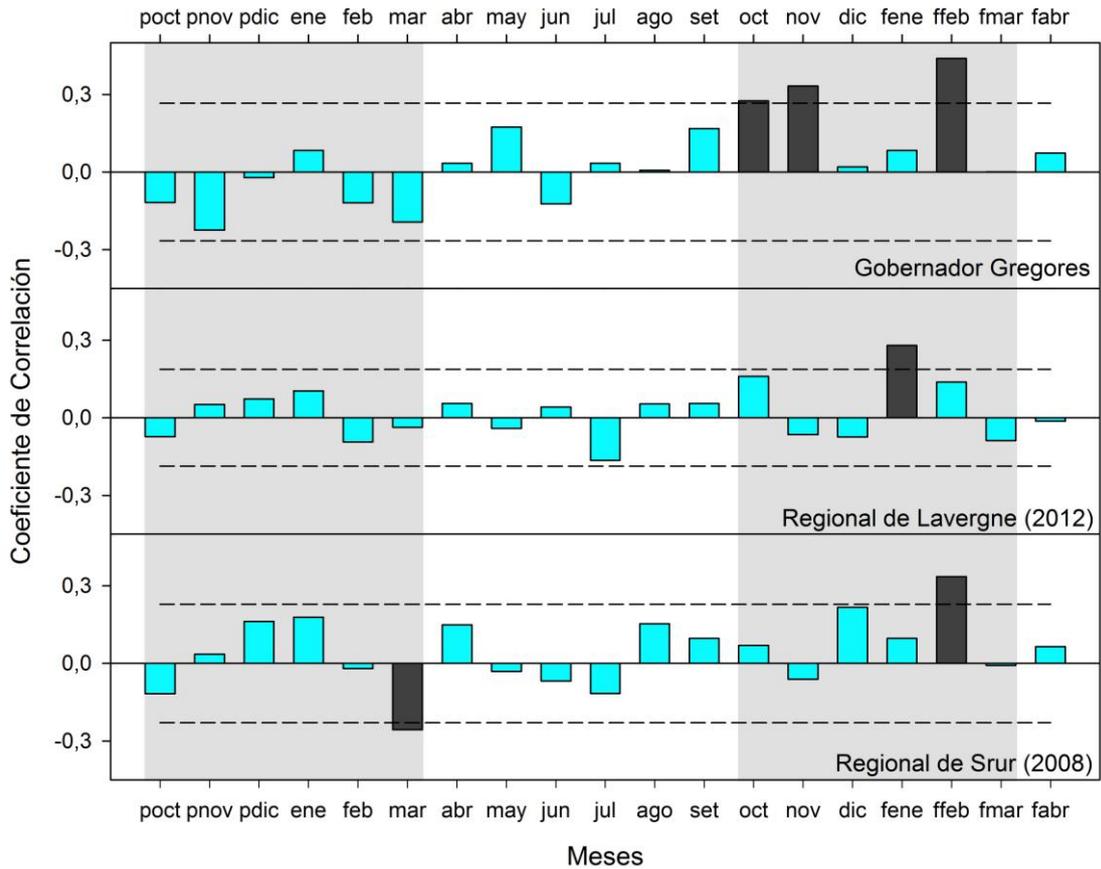
**Figura 5:** Coeficiente de Correlación de Pearson (barras verdes) y Número de años correlacionados (línea negra con círculos blancos) entre las cronologías locales y la cronología regional. Todas las correlaciones fueron estadísticamente significativas ( $p < 0,01$ ). Las cronologías están ordenadas según cantidad de años utilizados en la correlación.

## 4.2 Relación entre el crecimiento radial de *N. pumilio* y el clima

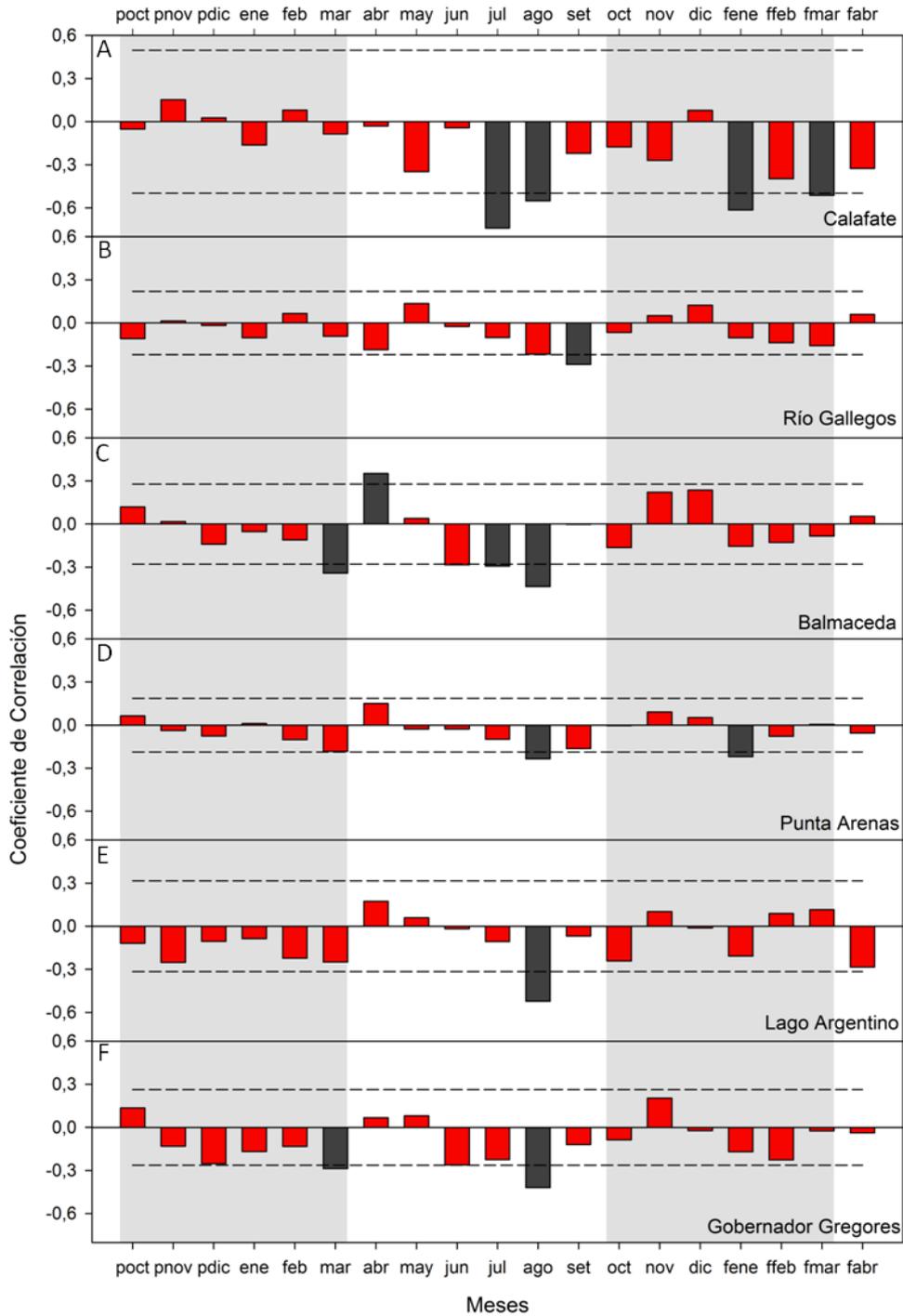
En la figura 6 se observan las funciones de correlación entre la cronología regional de *N. pumilio* y los registros instrumentales de precipitación de la estación meteorológica Gobernador Gregores (Fig. 6A) y dos índices regionales de precipitaciones desarrollados en base a las estaciones meteorológicas cercanas a la región de estudio (Fig. 6B y C). En la estación Gobernador Gregores (Fig. 6A) se observaron correlaciones positivas durante el período actual de crecimiento, con valores significativos en octubre, noviembre y febrero. El grupo Regional, comprendido por las estaciones de Río Gallegos, Punta Arenas, Charles Fuhr y Gobernador Gregores (Lavergne 2012; Fig. 6B), se correlacionó positiva y significativamente con el crecimiento regional, en el mes de enero de la estación actual de crecimiento. Mientras que el grupo Regional Chalt, comprendido por las estaciones de Balmaceda, Punta

Arenas, Río Gallegos, Lago Argentino y Ushuaia (Srur et al. 2008), al ser comparado con la cronología regional de ancho de anillos, presentó una correlación negativa y significativa en el mes de marzo de la estación previa de crecimiento y positiva y significativa en febrero de la estación actual de crecimiento (Fig. 6C).

En la figura 7 se observan las funciones de correlación de temperatura entre la cronología regional de *N. pumilio* y las estaciones meteorológicas Calafate, Río Gallegos, Balmaceda, Punta Arenas, Lago Argentino y Gobernador Gregores. En el mes de marzo de la estación previa de crecimiento las correlaciones fueron negativas en todas las estaciones y significativas en Balmaceda (Fig. 7C) y Gobernador Gregores (Fig. 7F). En el mes de abril se observa una correlación positiva significativa en la estación Balmaceda. En el período de invierno (junio, julio y agosto) se observan correlaciones negativas en todas las estaciones, siendo significativas en el mes de agosto, mientras que julio también se presenta significativo para Balmaceda y Calafate. El mes de enero tiene una correlación negativa significativa en las estaciones Calafate (Fig. 7A) y Punta Arenas (Fig. 7D) y el mes de marzo negativo significativo en Calafate.

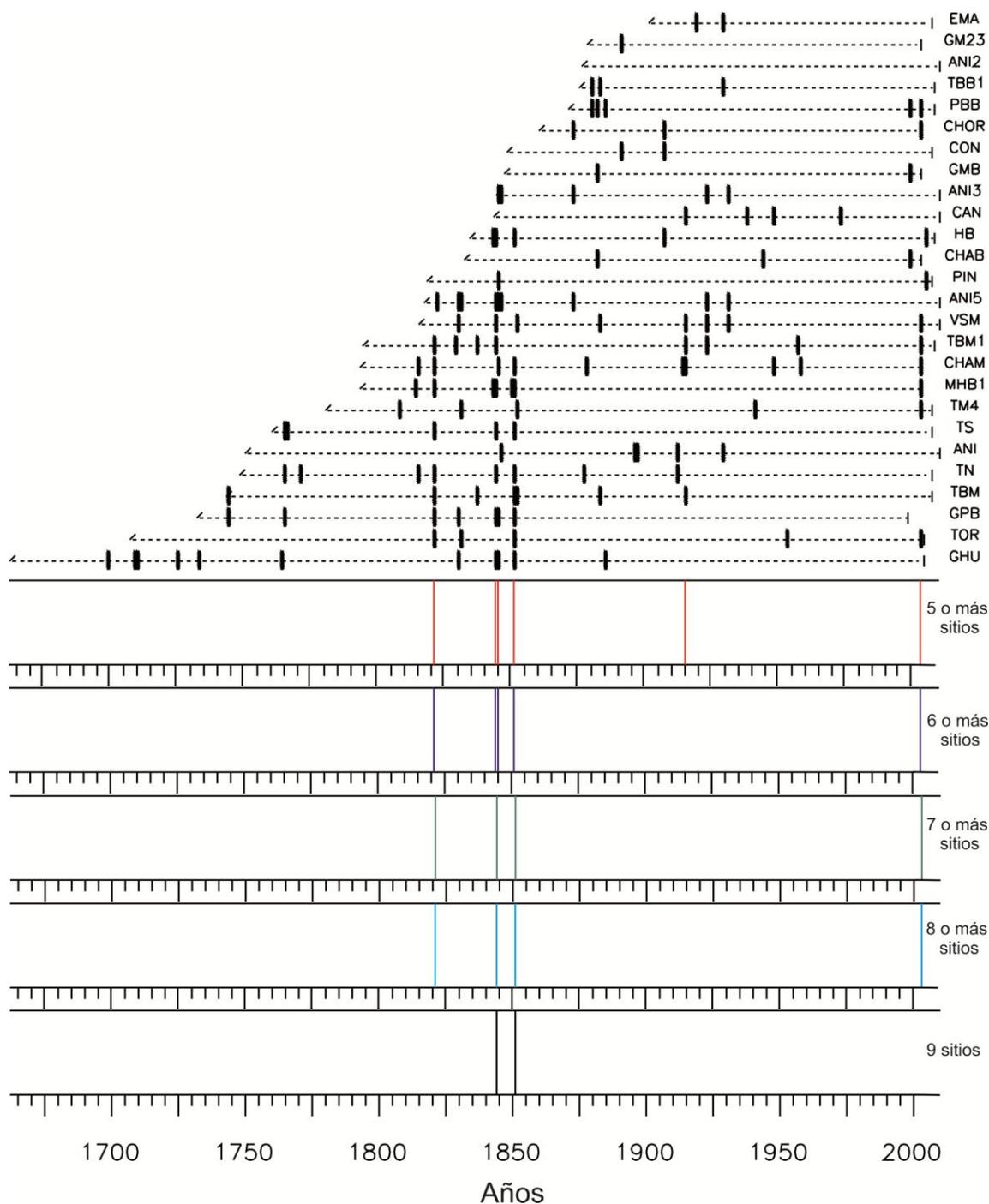


**Figura 6:** Coeficientes de correlación entre la cronología regional estándar de *N. pumilio* y la precipitación de: A) Gobernador Gregores; B) Grupo Regional (comprendido por Río Gallegos, Punta Arenas, Charles Fuhr, Gobernador Gregores; Lavergne 2012); C) Grupo Regional (comprendido por Balmaceda, Punta Arenas, Río Gallegos, Lago Argentino y Ushuaia; Srur et al. 2008). Se consideraron 19 meses, desde octubre de la estación previa de crecimiento hasta abril del periodo de crecimiento actual. Las líneas segmentadas corresponden a los niveles de significancia del 95%. Las barras negras indican valores significativos del coeficiente de correlación. El área sombreada indica el periodo aproximado de crecimiento de la especie, previo y actual.



**Figura 7:** Funciones de correlación entre la cronología regional estándar de *N. pumilio* y las temperaturas mensuales de las estaciones meteorológicas de: A) Calafate, B) Río Gallegos, C) Balmaceda, D) Punta Arenas, E) Lago Argentino y F) Gobernador Gregores. Se consideran 19 meses, desde octubre de la estación de crecimiento previa hasta abril del periodo actual de crecimiento. Las líneas segmentadas corresponden a los niveles de significancia del 95%. Las barras negras indican valores significativos del coeficiente de correlación. El área sombreada indica el periodo previo y actual aproximado de crecimiento.

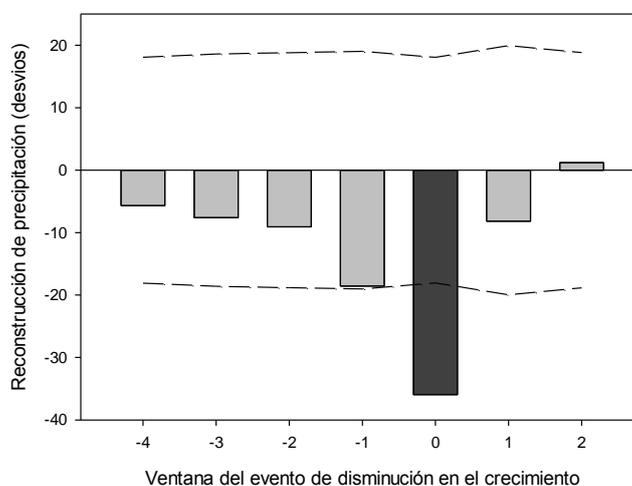
En base a las cronologías de ancho de anillos desarrolladas para cada sitio (Fig. 1-26 en anexo) se identificaron los años con crecimiento reducido, inferiores a -2DS. En total, se registraron 132 eventos de disminución de crecimiento durante el período 1662-2010 en las 26 cronologías locales (Fig. 8). Sin embargo, solamente se tomaron en cuenta aquellos eventos que se registraron de manera sincrónica en al menos 5 sitios (Fig. 8). La ocurrencia de un año con bajo crecimiento en al menos 5 cronologías a la vez, estaría reflejando una respuesta común de los árboles determinada por una señal regional, como podría ser la temperatura y/o la precipitación. En la figura 8 se muestran los años que registraron bajo crecimiento en 5 o más sitios (1821, 1844, 1845, 1851, 1915 y 2003), en 6 o más sitios (1821, 1844, 1845, 1851 y 2003), en 8 o más sitios (1821, 1844, 1851 y 2003) y en 9 sitios (1844 y 1851).



**Figura 8:** Reconstrucción de las disminuciones de crecimiento que exceden los  $-2$  DS en las cronologías estándar de cada sitio. Las líneas punteadas corresponden a la longitud de las cronologías y las verticales a los años de bajo crecimiento. Las líneas de colores corresponden a los años donde hubo 5 o más sitios afectados.

En base a la lista de eventos de disminución en el crecimiento que ocurrieron en al menos 5 sitios se evaluó el comportamiento de las precipitaciones reconstruidas para la región (Fig. 9). Las precipitaciones fueron significativamente más bajas de lo esperado por azar durante los años en que el crecimiento radial fue bajo para toda la

región de estudio. Esto significaría que las disminuciones de crecimiento se corresponden con las disminuciones de precipitación.

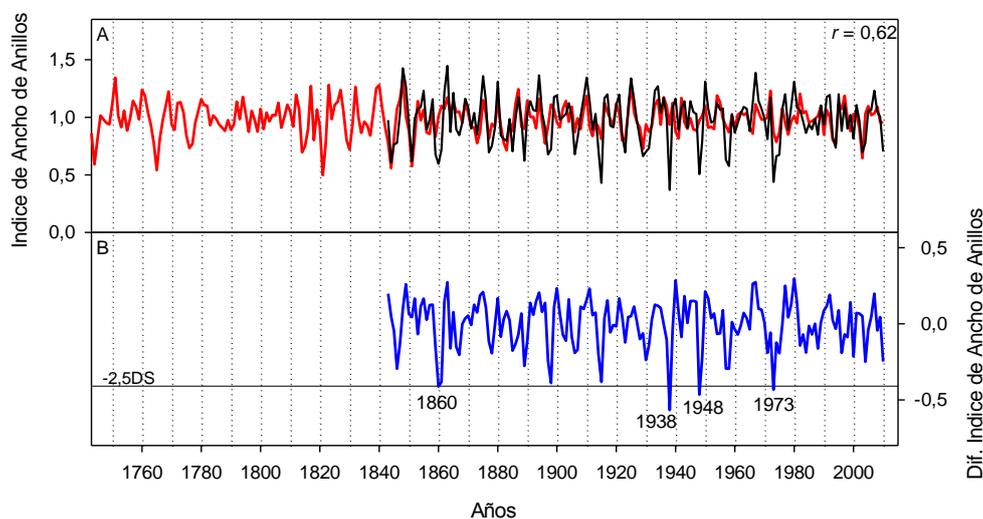


**Figura 9:** Análisis de Eventos comparando los desvíos de la precipitación reconstruida (Lavergne 2012), durante los años de “evento” de bajo crecimiento ocurridos en al menos cinco sitios de la región El Chaltén – Lago del Desierto. El eje X representa una ventana de 7 años, 4 años previos y dos posteriores al evento de bajo crecimiento (0). Las líneas horizontales segmentadas representan los intervalos de confianza del 95%, calculados en base a 1000 simulaciones empleando la técnica de Montecarlo (Mooney y Duval 1993). Bajos (altos) desvíos de precipitación son significativamente diferentes al 95% limite de confianza. La barra gris oscura indica desvios significativos. Eventos utilizados N = (6). Período de la serie de precipitación analizada (1735-2008).

### 4.3 Identificación de los ataques de *O. amphimone* en las cronologías locales.

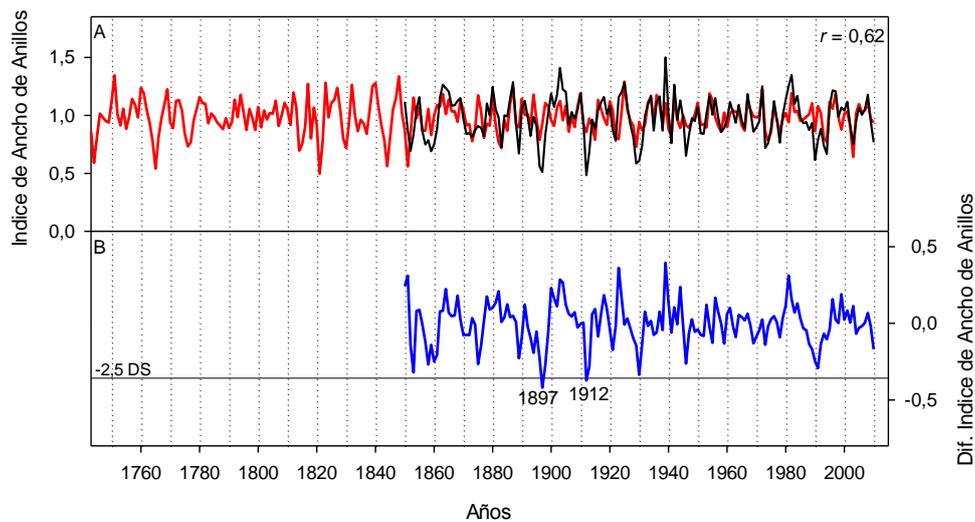
Los ataques pasados por *O. amphimone* sobre los árboles de *N. pumilio* que integran cada cronología local fueron identificados realizando la diferencia entre las cronologías locales y la cronología regional.

En la figura 10A, se correlacionó la cronología del sitio Canigó (CAN) con la cronología Regional. El coeficiente de correlación fue de 0,62 indicando que existe un patrón común de crecimiento entre las dos series temporales. En la cronología diferencia (Fig. 10B) los índices de crecimiento de los años 1860, 1938, 1948 y 1973 fueron inferiores a los -2,5 DS, indicando la existencia de probables ataques pasados. Teniendo en cuenta nuestro criterio de selección de años con ataque, los años 1898 y 1915 presentaron valores en la diferencia de los índices de crecimiento que no fueron inferiores, pero sí cercanos al valor crítico de -2,5 DS (Fig. 10B).



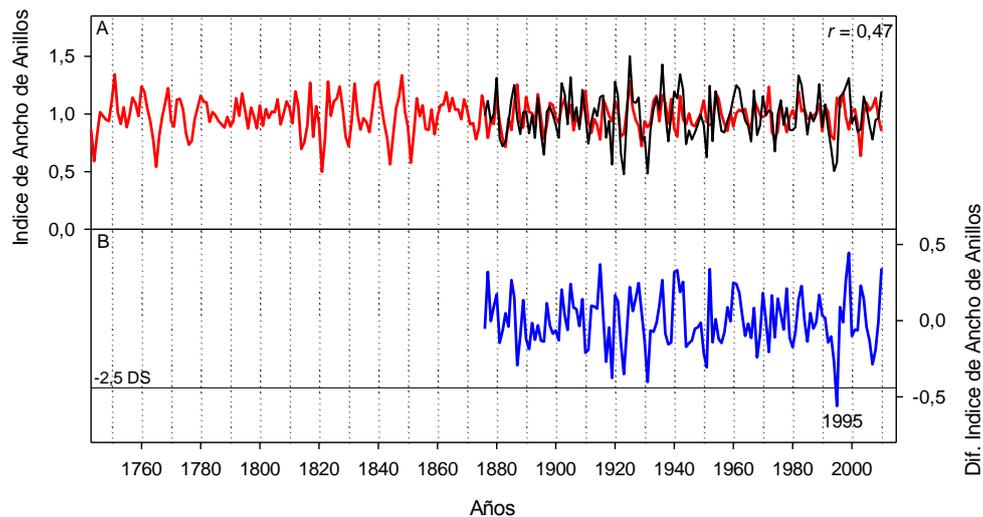
**Figura 10:** A) Cronología Regional (línea roja) y Cronología local del sitio Canigó (línea negra) de *N. pumilio*.  $r$  indica el coeficiente de correlación entre cronologías para el período común. B) Cronología diferencia (crn CAN – crn Regional). La línea sólida representa los -2,5 DS. Las fechas indican los probables ataques pasados de *O. amphimone*.

Al comparar la cronología del sitio Aniversario (ANI) con la cronología regional se observó una correlación significativa ( $r = 0,62$ ; Fig. 11A), sugiriendo un patrón común en las variaciones interanuales del crecimiento radial. En la cronología diferencia presentada en la figura 11B, los años 1897 y 1912 fueron considerados eventos de ataques de insectos ya que mostraron los menores valores de diferencia de índice de crecimiento, excediendo los -2,5 DS. Otro año con valor reducido pero que no fue inferior al valor crítico de -2,5 DS fue el 1930.



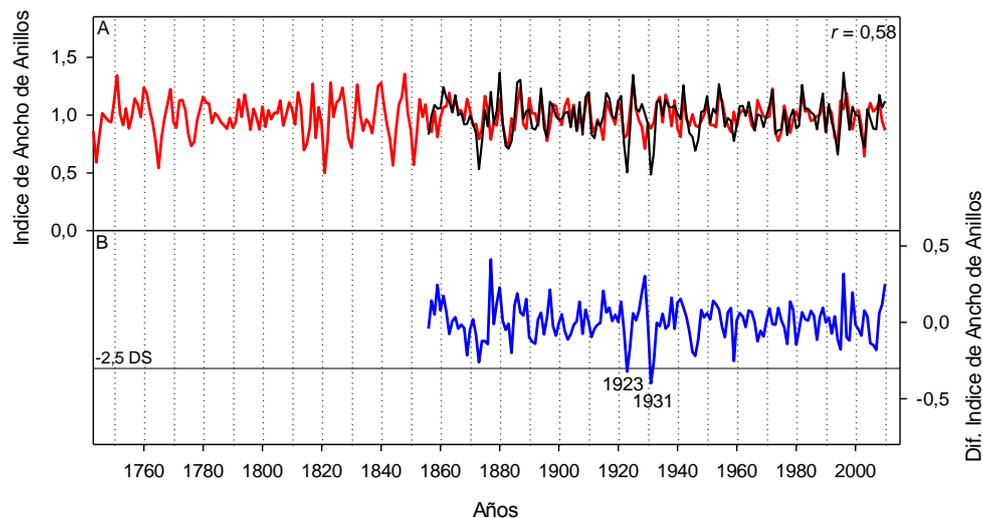
**Figura 11:** A) Cronología Regional (línea roja) y Cronología local del sitio Aniversario (línea negra) de *N. pumilio*.  $r$  indica el coeficiente de correlación entre cronologías para el período común. B) Cronología diferencia (crn ANI – crn Regional). La línea sólida representa los -2,5 DS. Las fechas indican los probables ataques pasados de *O. amphimone*.

En la fig. 12A se comparó la cronología Aniversario 2 (ANI 2) con la cronología Regional donde la correlación obtenida fue de 0,47, lo que indicaría que existe una moderada similitud en las variaciones en el crecimiento de los árboles. En la cronología diferencia presentada en la figura 12B, el valor del año 1995 fue inferior a los -2,5 DS, sugiriendo un probable ataque pasado de *O. amphimone*. El año 1931 presentó un valor reducido de crecimiento pero no fue inferior al valor crítico establecido (Fig. 12B).



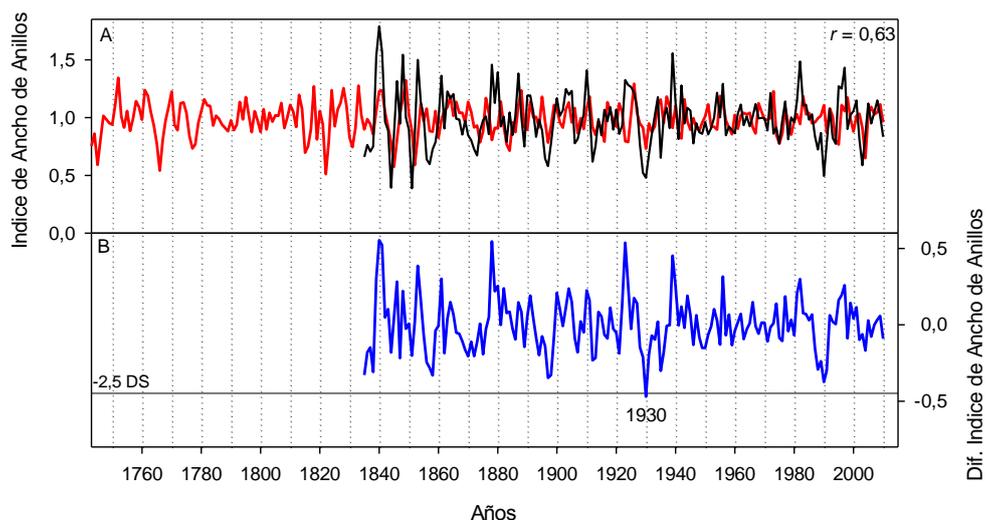
**Figura 12:** A) Cronología Regional (línea roja) y Cronología local del sitio Aniversario 2 (línea negra) de *N. pumilio*.  $r$  indica el coeficiente de correlación entre cronologías para el período común. B) Cronología diferencia (crn ANI 2 - crn Regional). La línea sólida representa los -2,5 DS. La fecha indica el probable ataque pasado de *O. amphimone*.

La cronología Aniversario 3 (ANI 3) se comparó con la cronología Regional (Fig. 13A) observando una correlación significativa de 0,58, evidenciando un patrón común en las variaciones interanuales de crecimiento. La cronología diferencia de la figura 13B muestra que en los años 1923 y 1931 probablemente ocurrieron ataques debido a que fueron inferiores al valor crítico de 2,5 DS.



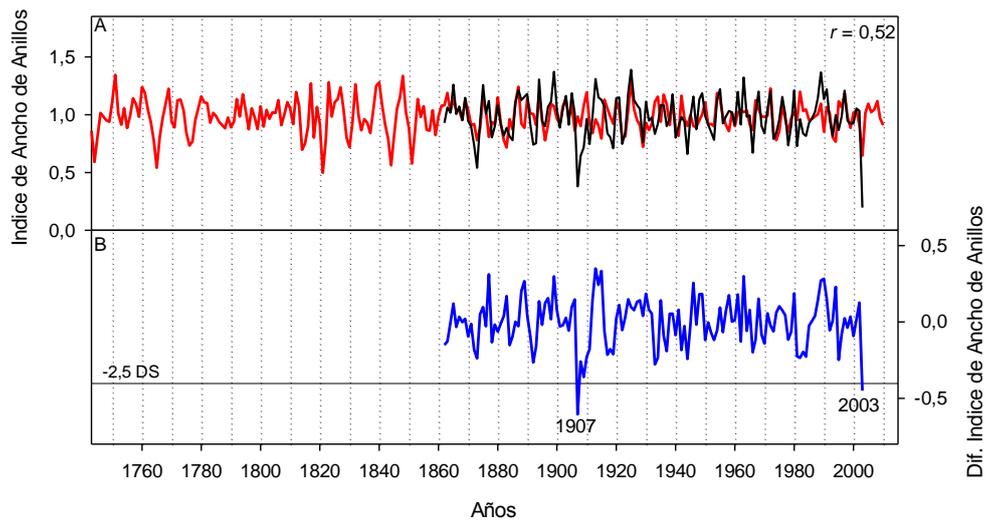
**Figura 13:** A) Cronología Regional (línea roja) y Cronología local del sitio Aniversario 3 (línea negra) de *N. pumilio*.  $r$  indica el coeficiente de correlación entre cronologías para el período común. B) Cronología diferencia (crn ANI 3 - crn Regional). La línea sólida representa los -2,5 DS. Las fechas indican los probables ataques pasados de *O. amphimone*.

Al comparar la cronología Aniversario 5 (ANI 5) con la cronología Regional se observó que existe un patrón común de crecimiento de *N. pumilio* ( $r = 0,63$ ; Fig. 14A). En la cronología diferencia (Fig. 14B) el año 1930 presentó reducciones en la diferencia del índice de crecimiento menor al valor crítico considerado (- 2,5 DS), indicando un probable ataque en el sitio.



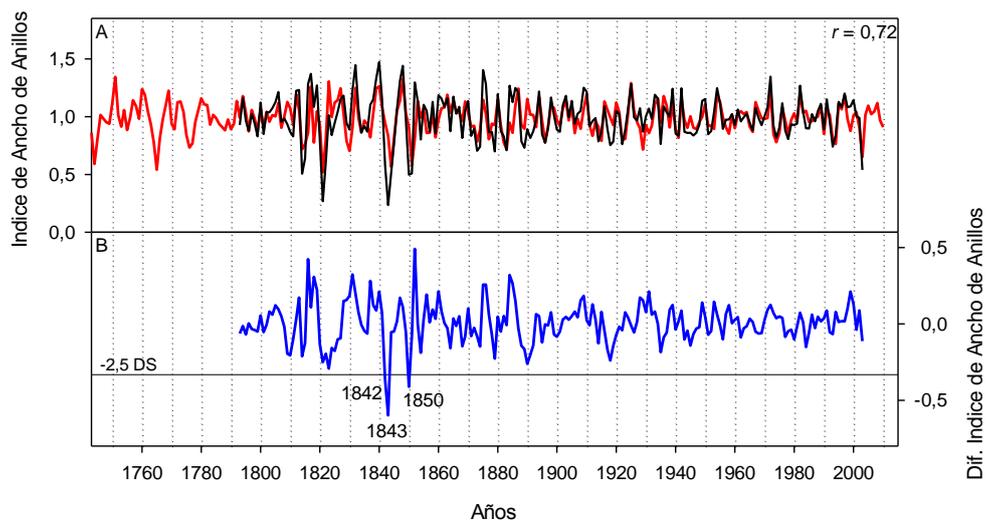
**Figura 14:** A) Cronología Regional (línea roja) y Cronología local del sitio Aniversario 5 (línea negra) de *N. pumilio*.  $r$  indica el coeficiente de correlación entre cronologías para el período común. B) Cronología diferencia (crn ANI 5 – crn Regional). La línea sólida representa los -2,5 DS. La fecha indica el probable ataque pasado de *O. amphimone*.

Al comparar la cronología Chorrillo del Salto (CHOR) con la cronología Regional se observó una correlación de 0,52 (Fig. 15A), sugiriendo un patrón común de crecimiento radial. En la figura 15B, la cronología diferencia muestra que los años 1907 y 2003 presentan disminuciones en la diferencia del crecimiento que fueron inferiores a los -2,5 DS siendo considerados probables ataques. Además, en el período 2002-2003 se registró por observación directa del personal del IANIGLA el ataque de *O. amphimone* en el sitio. Otro año que presentó una disminución en el crecimiento radial fue el 1909 aunque no excedió los -2,5 DS.



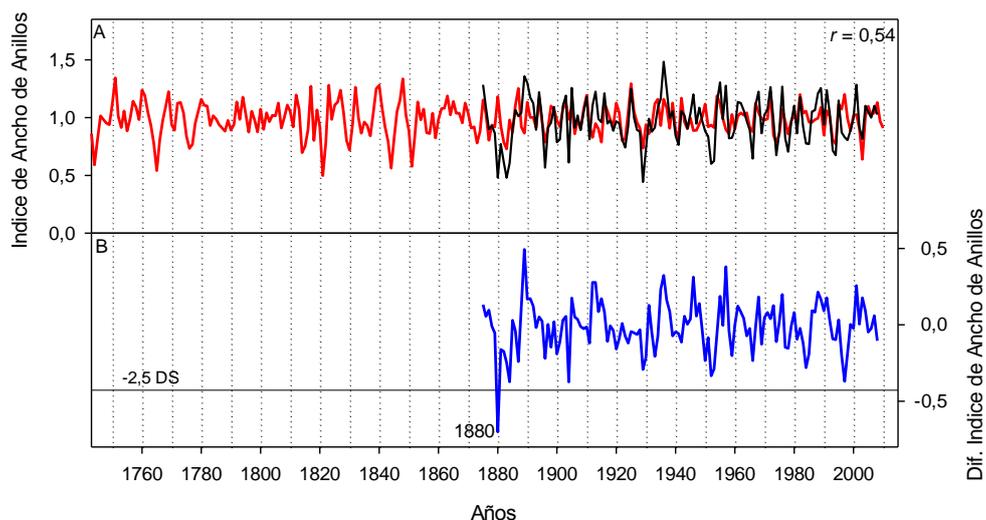
**Figura 15:** A) Cronología Regional (línea roja) y Cronología local del sitio Chorrillo del Salto (línea negra) de *N. pumilio*.  $r$  indica el coeficiente de correlación entre cronologías para el período común. B) Cronología diferencia (crn CHO – crn Regional). La línea sólida representa los -2,5 DS. Las fechas indican los probables ataques pasados de *O. amphimone*.

En la figura 16A se comparó la cronología del sitio Madre e Hija (mhb1) con la cronología Regional registrando un coeficiente de correlación significativo de 0,72 indicando una fuerte similitud en las variaciones del crecimiento entre ambas cronologías. En la cronología diferencia (Fig. 16B) los índices de crecimiento de los años 1842, 1843 y 1850 fueron inferiores al valor crítico de -2,5 DS, indicando probables ataques de *O. amphimone*.



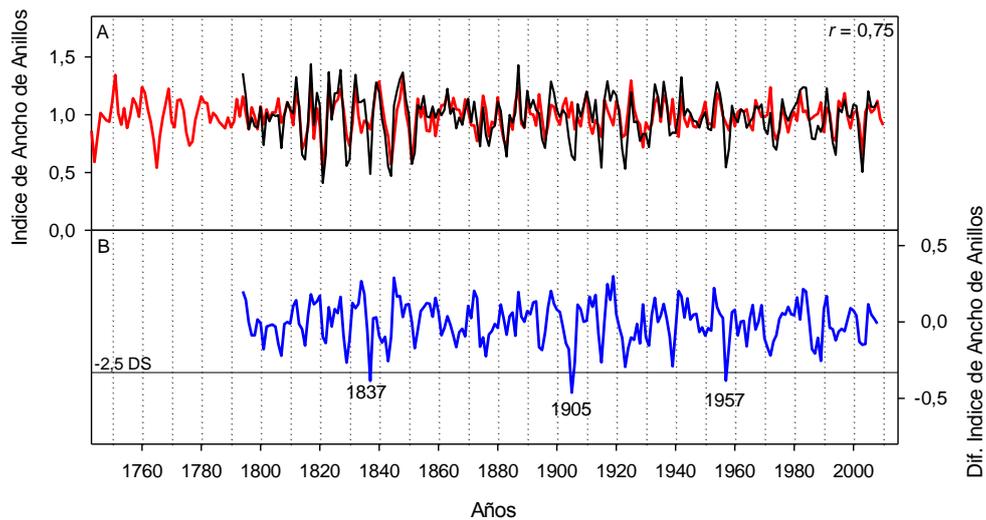
**Figura 16:** A) Cronología Regional (línea roja) y Cronología local del sitio Madre e hija (línea negra) de *N. pumilio*.  $r$  indica el coeficiente de correlación entre cronologías para el período común. B) Cronología diferencia (crn mhb1 – crn Regional). La línea sólida representa los -2,5 DS. Las fechas indican los probables ataques pasados de *O. amphimone*.

Al comparar la cronología Túnel Bosque Bajo (TBB1) con la cronología Regional se observó un coeficiente de correlación de 0,54 sugiriendo un patrón de crecimiento común en ambas series (Fig. 17A). La cronología diferencia de la figura 17B presentó una reducción en la diferencia del índice de crecimiento del año 1880 que fue inferior a los -2,5 DS, indicando un probable ataque pasado.



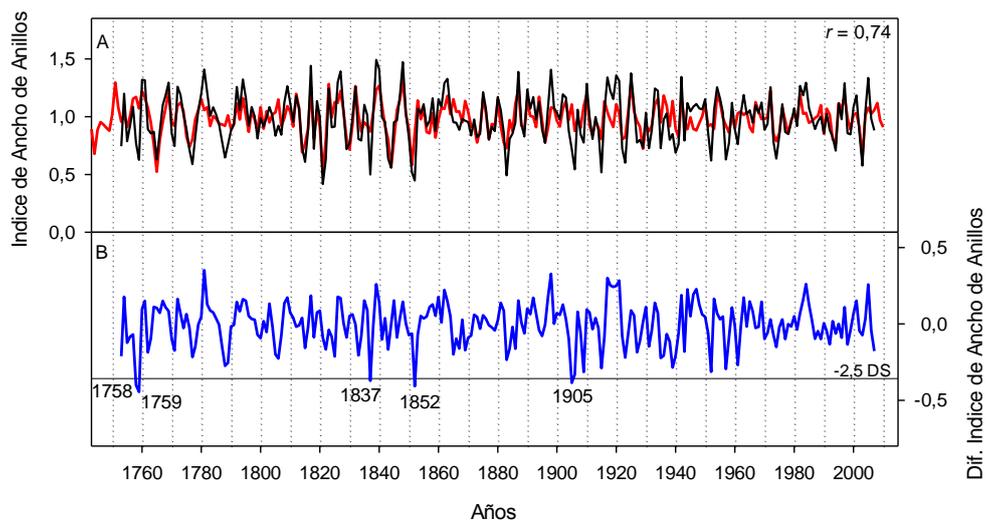
**Figura 17:** A) Cronología Regional (línea roja) y Cronología local del sitio Túnel Bosque Bajo (línea negra) de *N. pumilio*.  $r$  indica el coeficiente de correlación entre cronologías para el período común. B) Cronología diferencia (crn TBB1 – crn Regional). La línea sólida representa los -2,5 DS. La fecha indica el probable ataque pasado de *O. amphimone*.

La cronología Túnel Bosque Medio (TBM1) se comparó con la cronología Regional en la figura 18A presentando una correlación significativa de 0,75 indicando que existe una estrecha relación entre ambas cronologías. Los índices de crecimiento de los años 1837, 1905 y 1957 de la cronología diferencia (Fig. 18B) fueron inferiores al valor crítico (-2,5 DS), indicando la ocurrencia de probables ataques.



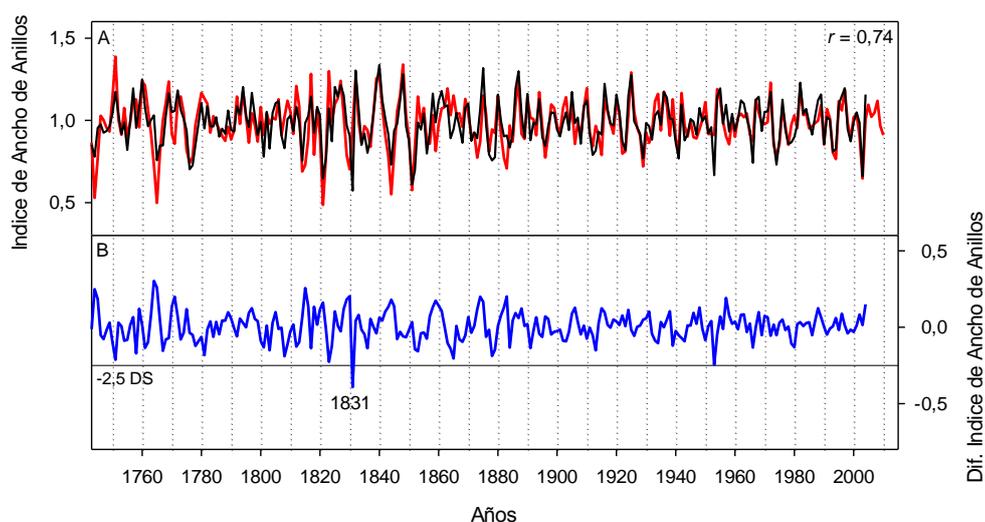
**Figura 18:** A) Cronología Regional (línea roja) y Cronología local del sitio Túnel Bosque Medio (línea negra) de *N. pumilio*.  $r$  indica el coeficiente de correlación entre cronologías para el período común. B) Cronología diferencia (crn TBM1 – crn Regional). La línea sólida representa los -2,5 DS. Las fechas indican los probables ataques pasados de *O. amphimone*.

La comparación entre las cronologías de Valle Túnel (TBM) con la Regional ( $r = 0,74$ ; Fig. 19A), sugiere que las variaciones interanuales de crecimiento entre ambas poseen un patrón común de variación en el crecimiento. En la cronología diferencia (Fig. 19B) los años 1758, 1759, 1837, 1852, 1905 presentaron disminuciones en la diferencia del índice de crecimiento por debajo de los -2,5 DS, indicando probables ataques de *O. amphimone*.



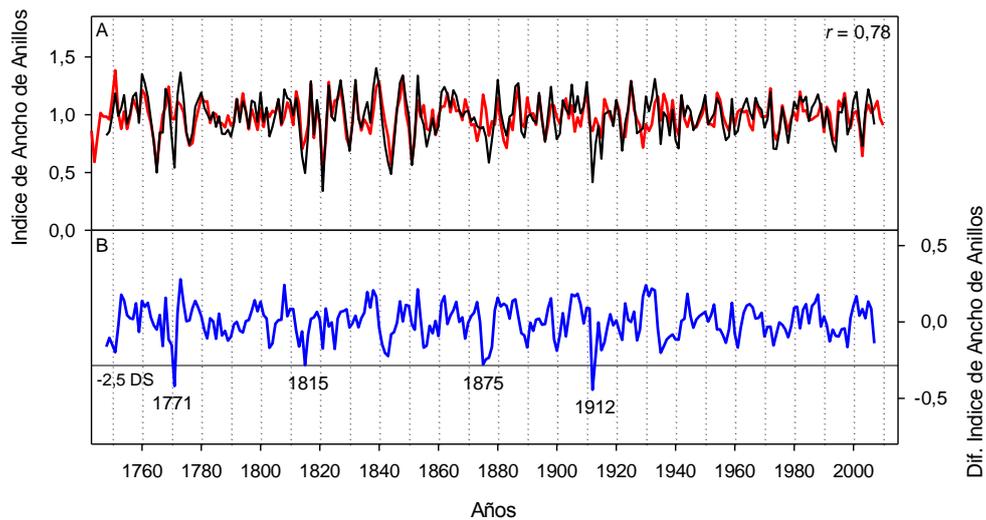
**Figura 19:** A) Cronología Regional (línea roja) y Cronología local del sitio Valle Túnel (línea negra) de *N. pumilio*.  $r$  indica el coeficiente de correlación entre cronologías para el período común. B) Cronología diferencia (crn TBM – crn Regional). La línea sólida representa los -2,5 DS. Las fechas indican los probables ataques pasados de *O. amphimone*.

En la figura 20A se comparó la cronología Torre (TOR) con la cronología Regional dando una correlación significativa de 0,74, indicando que existe un patrón común de crecimiento radial. En la cronología diferencia (Fig. 20B) el valor de crecimiento del año 1831 fue inferior a los -2,5 DS, sugiriendo un probable ataque pasado. El año 1953 presentó un valor reducido de crecimiento cercano al valor crítico establecido (-2,5 DS).



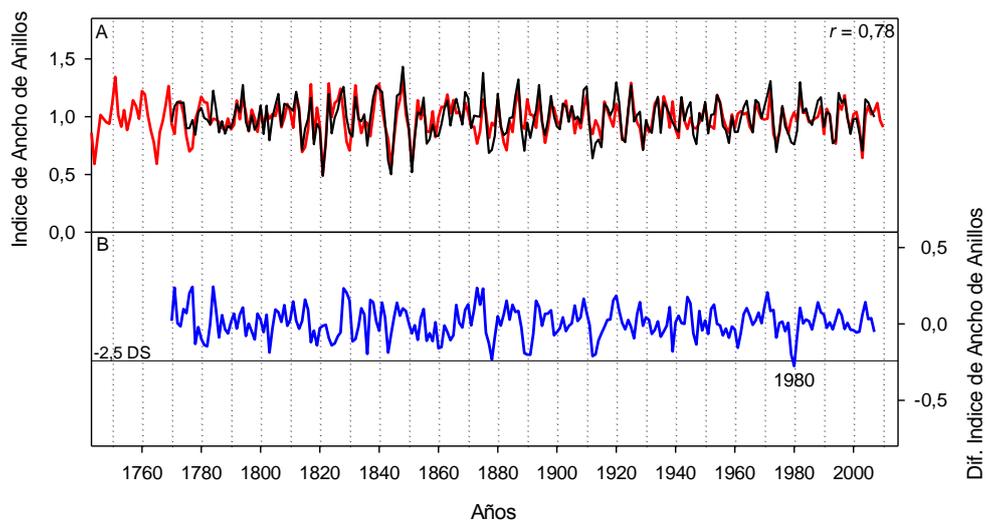
**Figura 20:** A) Cronología Regional (línea roja) y Cronología local del sitio Torre (línea negra) de *N. pumilio*.  $r$  indica el coeficiente de correlación entre cronologías para el período común. B) Cronología diferencia (crn tor – crn Regional). La línea sólida representa los -2,5 DS. La fecha indica el probable ataque pasado de *O. amphimone*.

La comparación entre la cronología Torre Norte (TN) y la cronología Regional (Fig. 21A) mostró una relación muy estrecha ( $r = 0,78$ ), lo que sugiere la existencia de un patrón común de crecimiento radial de *N. pumilio*. En la cronología diferencia (Fig. 21B) se observó que los años 1771, 1815, 1875, 1912 poseen disminuciones inferiores a los -2,5 DS, indicando la ocurrencia de probables ataques pasados.



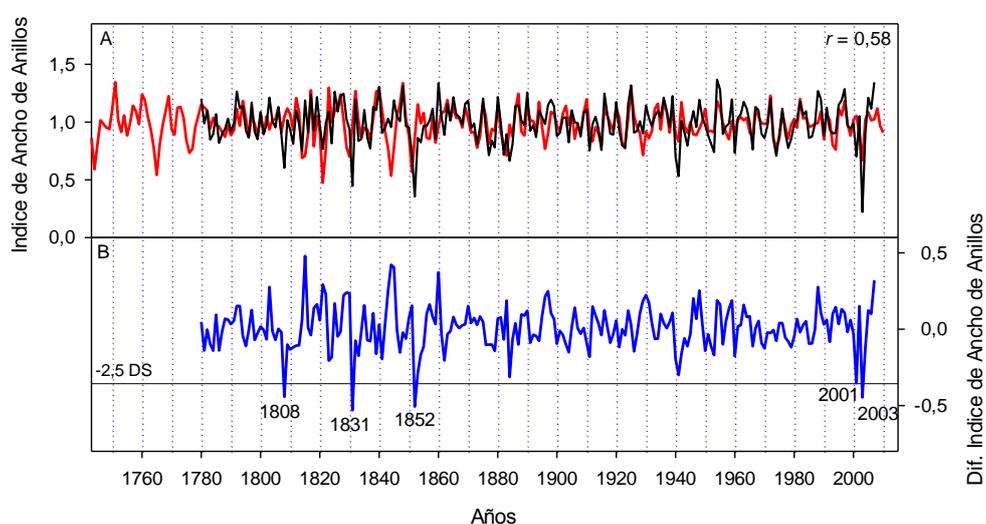
**Figura 21:** A) Cronología Regional (línea roja) y Cronología local del sitio Torre Norte (línea negra) de *N. pumilio*.  $r$  indica el coeficiente de correlación entre cronologías para el período común. B) Cronología diferencia ( $crn\ tn - crn\ Regional$ ). La línea sólida representa los -2,5 DS. Las fechas indican los probables ataques pasados de *O. amphimone*.

La comparación entre la cronología Torre Sur (TS) y la Regional ( $r = 0,78$ ) presentada en la figura 22A, sugiere un patrón común de crecimiento interanual. La cronología diferencia de la figura 22B, mostró que el índice de crecimiento del año 1980 fue inferior al valor crítico de -2,5 DS, indicando un probable ataque. El año 1878 no fue considerado ataque, pero la diferencia en el índice de crecimiento presentó un valor reducido, al límite del valor crítico.



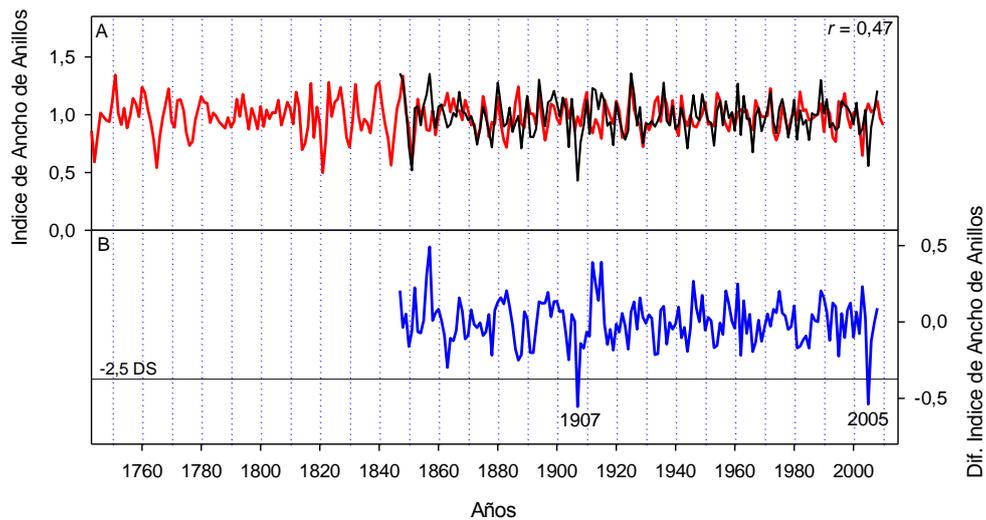
**Figura 22:** A) Cronología Regional (línea roja) y Cronología local del sitio Torre Sur (línea negra) de *N. pumilio*.  $r$  indica el coeficiente de correlación entre cronologías para el período común. B) Cronología diferencia ( $crn\ ts - crn\ Regional$ ). La línea sólida representa los -2,5 DS. La fecha indica el probable ataque pasado de *O. amphimone*.

En la figura 23A se comparó la cronología Torre Morena 4 (TM4) con la cronología Regional, presentando un coeficiente de correlación de 0,58 indicando que existe un patrón común de crecimiento del bosque. En la cronología diferencia (Fig. 23B) los años 1808, 1831, 1852, 2001, 2003 mostraron valores de diferencia de índice de crecimiento inferiores a los -2,5 DS, indicando probables ataques pasados. El ataque registrado en el año 2003 (Fig. 23B) fue observado *in situ* por miembros del IANIGLA durante el verano de 2002-2003.



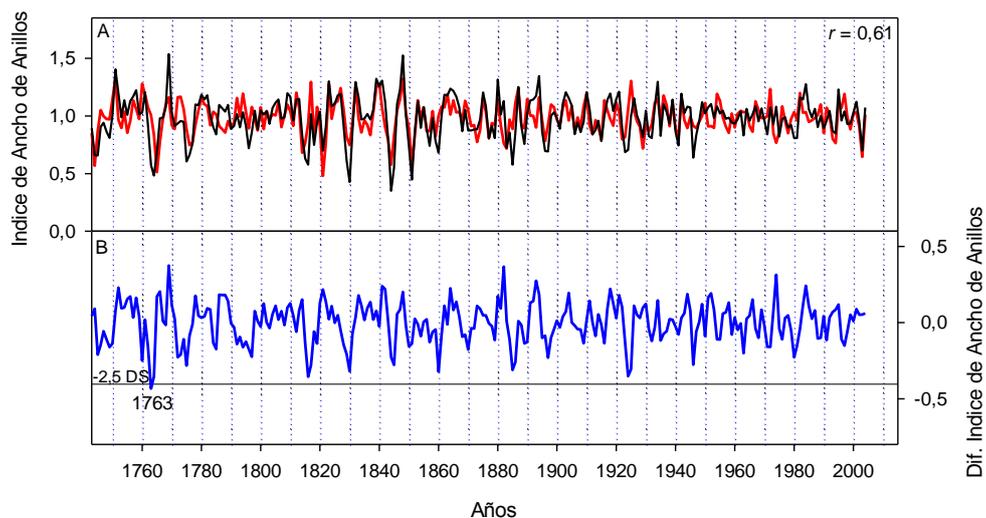
**Figura 23:** A) Cronología Regional (línea roja) y Cronología local del sitio Torre Morena 4 (línea negra) de *N. pumilio*.  $r$  indica el coeficiente de correlación entre cronologías para el período común. B) Cronología diferencia (crn tm4 – crn Regional). La línea sólida representa los -2,5 DS. Las fechas indican los probables ataques pasados de *O. amphimone*.

Se comparó la cronología Los Huemules (HB) con la cronología Regional (Fig. 24A), mostrando un coeficiente de correlación de 0,47 sugiriendo la existencia de una variación interanual común en el crecimiento entre ambas series. Los años 1907 y 2005 fueron sugeridos como probables ataques de insectos ya que presentaron valores en la diferencia del índice de crecimiento (Fig. 24B) inferiores al valor crítico de -2,5 DS. La ocurrencia del ataque 2005, fue confirmada por personal del IANIGLA, quienes observaron y registraron directamente el ataque ocurrido en el sitio.



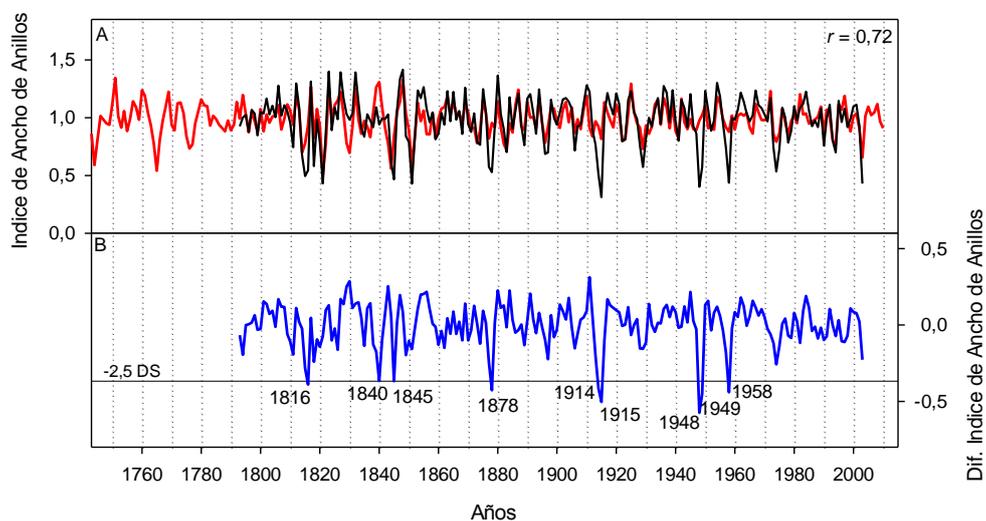
**Figura 24:** A) Cronología Regional (línea roja) y Cronología local del sitio Huemules (línea negra) de *N. pumilio*.  $r$  indica el coeficiente de correlación entre cronologías para el período común. B) Cronología diferencia (crn HB – crn Regional). La línea sólida representa los -2,5 DS. Las fechas indican los probables ataques pasados de *O. amphimone*.

Al comparar la cronología Glaciar Huemul (HU) con la cronología Regional en la figura 25A, se obtuvo una correlación de 0,61 indicando un patrón común en la variación interanual de crecimiento. En la cronología diferencia de la figura 25B, la diferencia en el índice de crecimiento en el año 1763 estuvo por debajo de los -2,5 DS, indicando un probable ataque pasado.



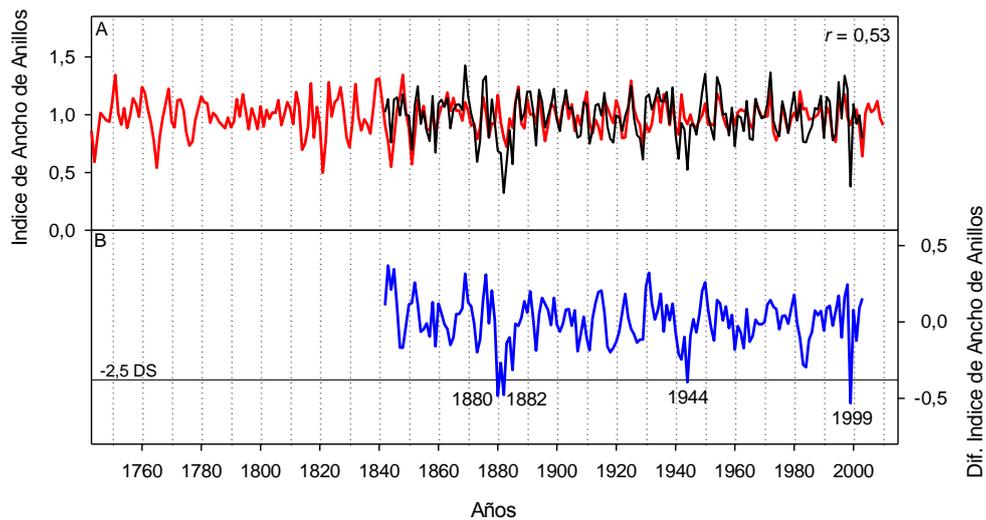
**Figura 25:** A) Cronología Regional (línea roja) y Cronología Glaciar Huemul (línea negra) de *N. pumilio*.  $r$  indica el coeficiente de correlación entre cronologías para el período común. B) Cronología diferencia (crn HU – crn Regional). La línea sólida representa los -2,5 DS. La fecha indica el probable ataque pasado de *O. amphimone*.

En la figura 26A se comparó la cronología Chaltén Medio (ChaM) con la cronología Regional ( $r = 0,72$ ) observando una relación muy estrecha en la variación interanual del crecimiento de ambas series. En la cronología diferencia (Fig. 26B) se pudieron identificar años con valores de diferencia en el índice de crecimiento inferiores al valor crítico de  $-2,5$  DS, en consecuencia, considerados como posibles ataques por insectos. Los años registrados como ataques fueron: 1816, 1840, 1845, 1878, 1914, 1915, 1948, 1949, 1958. Este sitio registró un total de 9 ataques, siendo el sitio más afectado del presente estudio.



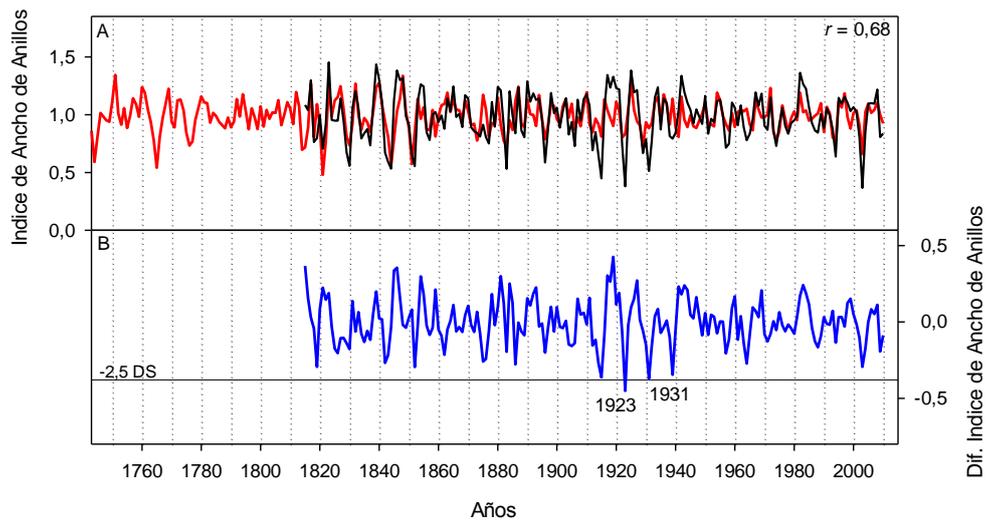
**Figura 26:** A) Cronología Regional (línea roja) y Cronología local del sitio Chaltén Medio (línea negra) de *N. pumilio*.  $r$  indica el coeficiente de correlación entre cronologías para el período común. B) Cronología diferencia (crn ChaM – crn Regional). La línea sólida representa los  $-2,5$  DS. Las fechas indican los probables ataques pasados de *O. amphimone*.

La cronología Chaltén Bajo (ChaB) (Fig. 27A) fue comparada con la cronología Regional obteniendo un coeficiente de correlación de 0,53 sugiriendo la existencia de una variación similar en el ancho de anillos producto de una señal regional común. En la cronología diferencia los años 1880, 1882, 1944, 1999 presentaron valores de diferencia de índice de crecimiento inferiores a los  $-2,5$  DS, indicando probables ataques (Fig. 27B). Además se tomó en cuenta que personal de Parques Nacionales registraron el ataque ocurrido durante el verano de 1998-1999 por observación directa.



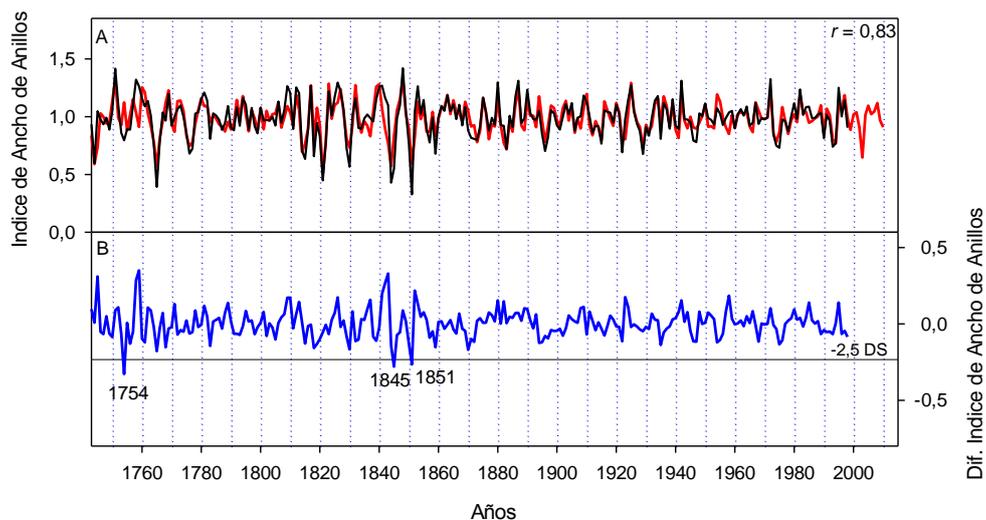
**Figura 27:** A) Cronología Regional (línea roja) y Cronología local del sitio Chaltén Bajo (línea negra) de *N. pumilio*.  $r$  indica el coeficiente de correlación entre cronologías para el período común. B) Cronología diferencia (crn ChaB – crn Regional). La línea sólida representa los -2,5 DS. Las fechas indican los probables ataques pasados de *O. amphimone*.

Al comparar la cronología Valle del Solo (VSM) con la cronología Regional se obtuvo una correlación de 0,68 indicando una fuerte relación en las variaciones interanuales de crecimiento radial entre ambas series (Fig. 28A). En la cronología diferencia (Fig. 28B) los años 1923 y 1931 se indican como probables ataques pasados debido a que presentaron valores reducidos en la cronología diferencia (Fig. 28B) que fueron inferiores a los -2,5 DS. Los años 1915 y 1939 presentaron disminuciones cercanas a los -2,5 DS pero no alcanzaron el valor crítico establecido.



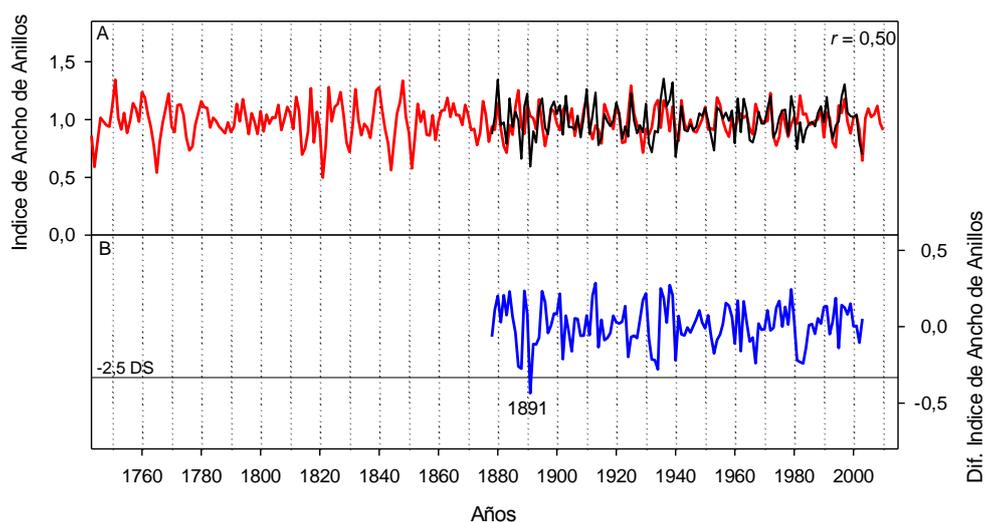
**Figura 28:** A) Cronología Regional (línea roja) y Cronología local del sitio Valle del Solo (línea negra) de *N. pumilio*.  $r$  indica el coeficiente de correlación entre cronologías para el período común. B) Cronología diferencia (crn VSM – crn Regional). La línea sólida representa los -2,5 DS. Las fechas indican los probables ataques pasados de *O. amphimone*.

En la figura 29A se comparó la cronología Glaciar Piedras Blancas (GPB) con la cronología Regional presentando una muy alta correlación ( $r = 0,83$ ), indicando que existe una muy estrecha relación en el crecimiento de ambas series temporales. En la cronología diferencia de la figura 29B, los años 1754, 1845 y 1851 presentaron disminuciones en la diferencia del índice de ancho de anillos inferiores a los -2,5 DS, indicando probables ataques pasados.



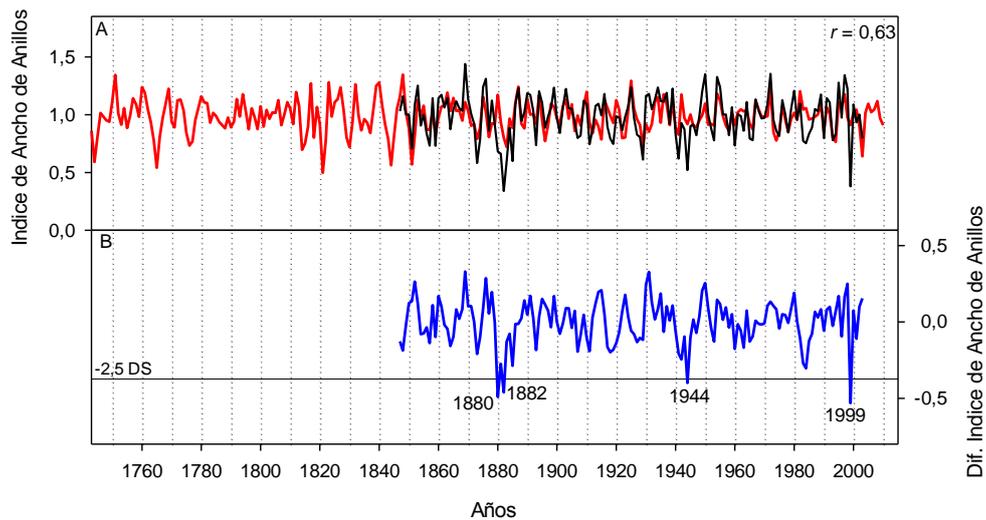
**Figura 29:** A) Cronología Regional (línea roja) y Cronología local del sitio Glaciar Piedras Blancas (línea negra) de *N. pumilio*.  $r$  indica el coeficiente de correlación entre cronologías para el período común. B) Cronología diferencia (crn gpb – crn Regional). La línea sólida representa los -2,5 DS. Las fechas indican los probables ataques pasados de *O. amphimone*.

La cronología Glaciar Marconi (GM23) comparada con la cronología Regional (Fig. 30A) presentó una correlación de 0,50 sugiriendo un patrón común de crecimiento interanual. En la figura 30B, la cronología diferencia presentó el año 1891 como un probable ataque ya que registró un valor inferior a los -2,5 DS.



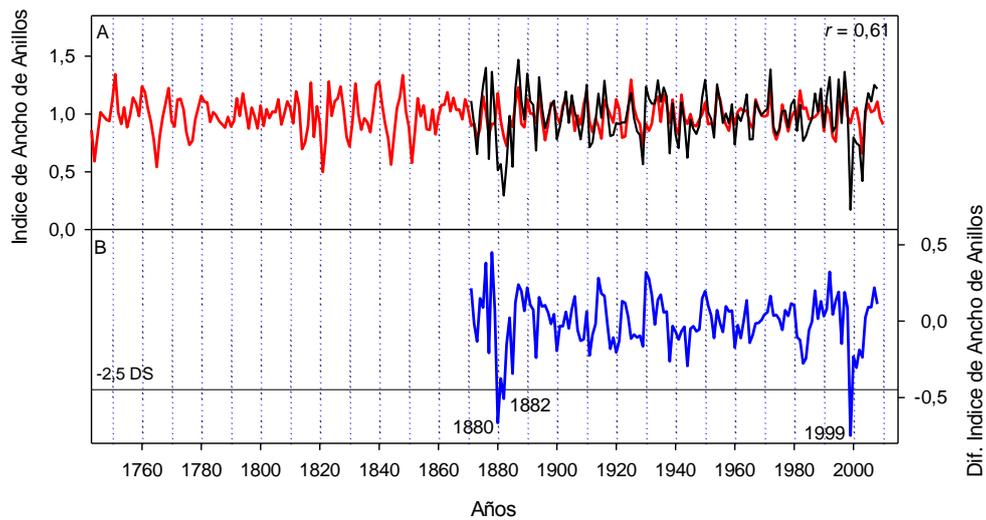
**Figura 30:** A) Cronología Regional (línea roja) y Cronología local del sitio Glaciar Marconi (línea negra) de *N. pumilio*.  $r$  indica el coeficiente de correlación entre cronologías para el período común. B) Cronología diferencia (crn GM23 – crn Regional). La línea sólida representa los -2,5 DS. La fecha indica el probable ataque pasado de *O. amphimone*.

En la figura 31A se comparó la cronología Glaciar Marconi bosque bajo (GMB) con la cronología Regional obteniendo un coeficiente de correlación de 0,63 sugiriendo que existe señal común de crecimiento de la población. En la figura 31B se presentó la cronología diferencia donde los índices de crecimiento de los años 1880, 1882, 1944 y 1999 fueron inferiores al valor crítico de -2,5 DS, indicando probables ataques pasados.



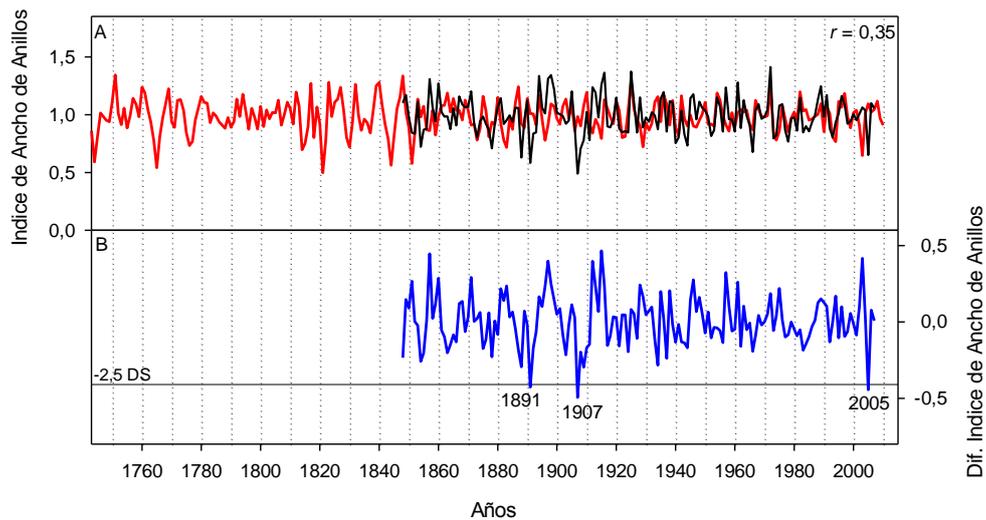
**Figura 31:** A) Cronología Regional (línea roja) y Cronología local del sitio Glaciar Marconi bosque Bajo (línea negra) de *N. pumilio*.  $r$  indica el coeficiente de correlación entre cronologías para el período común. B) Cronología diferencia (crn GMB – crn Regional). La línea sólida representa los -2,5 DS. Las fechas indican los probables ataques pasados de *O. amphimone*.

Al comparar la cronología Pliegue Bosque Bajo (PBB) con la cronología Regional ( $r = 0,61$ ; Fig. 32A) se observó que existe un patrón común de variación interanual de crecimiento entre ambas series. En la cronología diferencia (Fig. 32B) los años 1880, 1882 y 1999 presentaron reducciones en la diferencia del índice de crecimiento inferiores a los -2,5 DS, indicando probables ataques de insectos. Cabe destacar que el ataque ocurrido en el período 1998-1999 fue registrado por observación directa por miembros del Parque Nacional Los Glaciares.



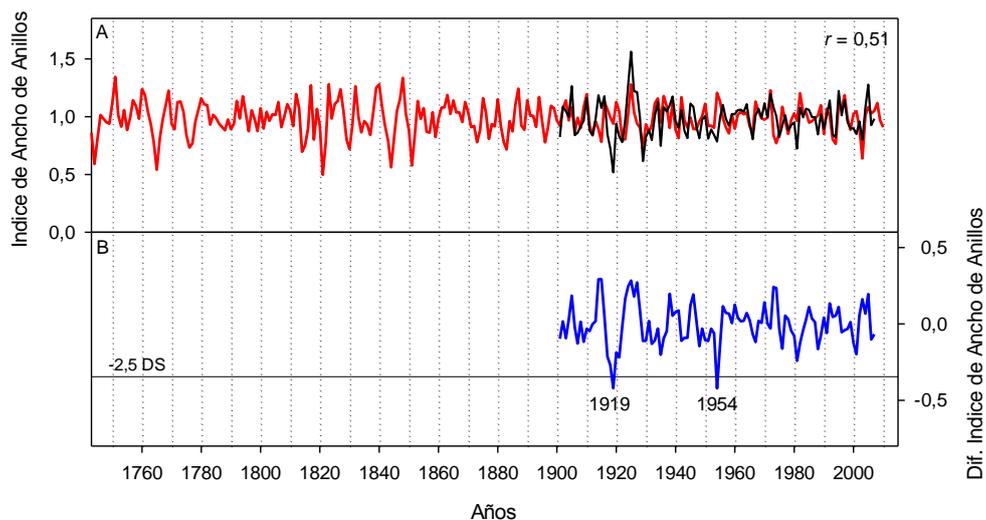
**Figura 32:** A) Cronología Regional (línea roja) y Cronología local del sitio Pliegue Bosque Bajo (línea negra) de *N. pumilio*.  $r$  indica el coeficiente de correlación entre cronologías para el período común. B) Cronología diferencia (crn PBB – crn Regional). La línea sólida representa los -2,5 DS. Las fechas indican los probables ataques pasados de *O. amphimone*.

La comparación entre la cronología de ancho de anillos de Laguna Córdor (CON) con la cronología Regional presentó una correlación de 0,35. Aunque la relación no fue tan estrecha como en el resto de los casos, se pudo observar una cierta similitud en el patrón de crecimiento (Fig. 33A). En la cronología diferencia de la figura 33B, los años 1891, 1907 y 2005 presentaron bajos valores de diferencia en el índice de crecimiento, inferiores a los -2,5 DS, sugiriendo probables ataques. El ataque registrado en el anillo 2005 fue detectado por observación directa del personal del IANIGLA durante el desarrollo del trabajo de campo durante el verano 2004-2005.



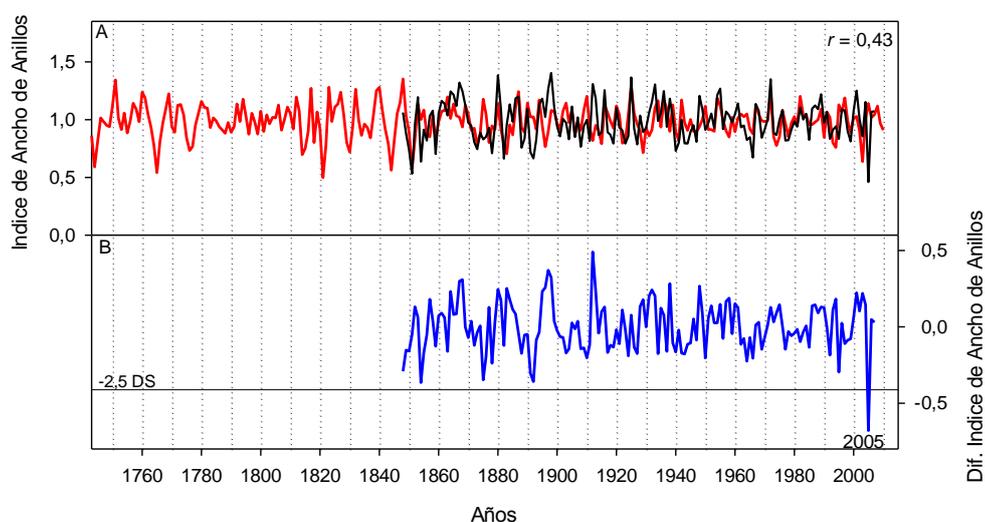
**Figura 33:** A) Cronología Regional (línea roja) y Cronología local del sitio Laguna Cónдор (línea negra) de *N. pumilio*.  $r$  indica el coeficiente de correlación entre cronologías para el período común. B) Cronología diferencia (crn CON – crn Regional). La línea sólida representa los -2,5 DS. Las fechas indican los probables ataques pasados de *O. amphimone*.

En la figura 34A se comparó la cronología Ea. María Alicia (EMA) con la cronología Regional, donde se observó un coeficiente de correlación de 0,51, indicando que existe una señal común de crecimiento regional de ambas series. En la cronología diferencia de la figura 34B, los años 1919 y 1954 fueron considerados años de ataques, ya que presentaron reducciones en la diferencia del índice de ancho de anillos inferiores a los -2,5 DS.



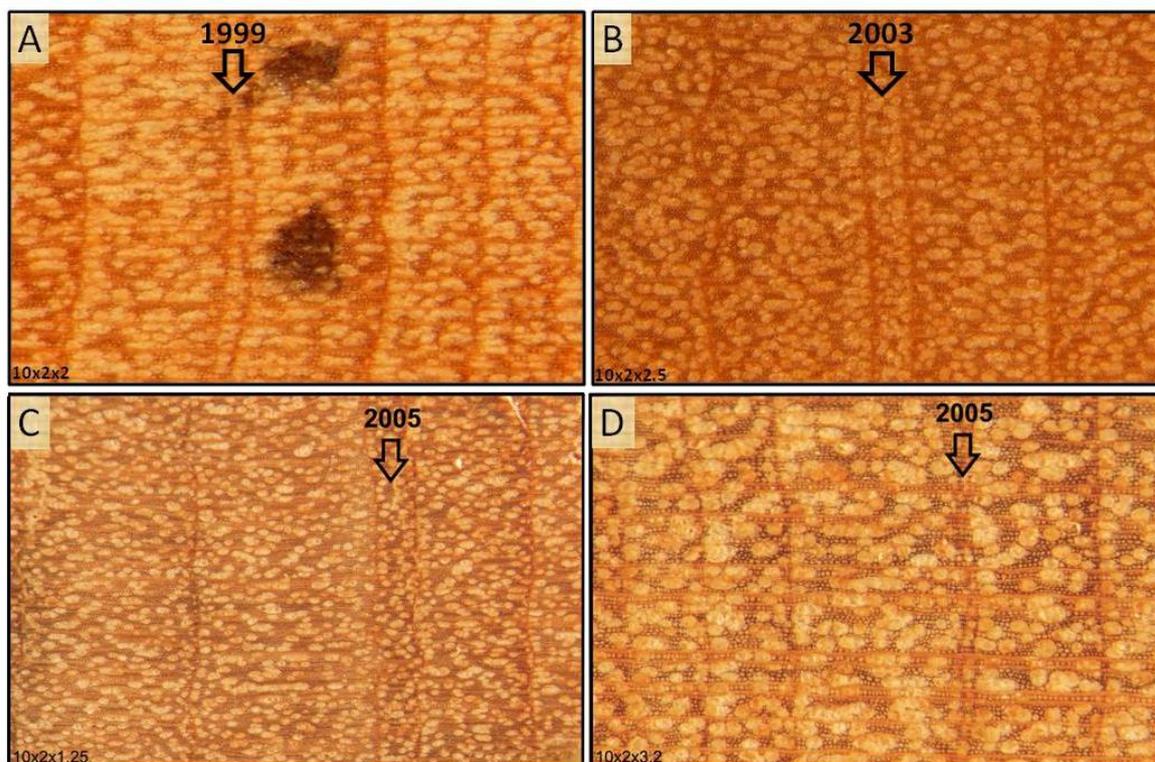
**Figura 34:** A) Cronología Regional (línea roja) y Cronología local del sitio Ea María Alicia (línea negra) de *N. pumilio*.  $r$  indica el coeficiente de correlación entre cronologías para el período común. B) Cronología diferencia (crn EMA – crn Regional). La línea sólida representa los -2,5 DS. Las fechas indican los probables ataques pasados de *O. amphimone*.

Al comparar la cronología Pinchadura (PIN) con la cronología Regional (Fig.35A), se observó una correlación de 0,43 sugiriendo una variación común en el crecimiento entre ambas series. En la figura 35B, se presentó la cronología diferencia, donde el índice de crecimiento del año 2005 fue inferior al valor crítico de -2,5 DS, indicando el año de ataque. Además, este evento fue observado en la campaña de muestreo del IANIGLA en el verano correspondiente al período 2004-2005.



**Figura 35:** A) Cronología Regional (línea roja) y Cronología local del sitio Pinchadura (línea negra) de *N. pumilio*.  $r$  indica el coeficiente de correlación entre cronologías para el período común. B) Cronología diferencia (crn PIN – crn Regional). La línea sólida representa los -2,5 DS. La fecha indican el probable ataque pasado de *O. amphimone*.

En la figura 36 se pueden observar imágenes de anillos de crecimiento para tres eventos de ataques de *O. amphimone* sobre bosques de *N. pumilio*. Las cuatro fotografías muestran una abrupta disminución en el ancho del anillo de crecimiento durante el año posterior al año de los ataques de cuncuna en los siguientes sitios: Pliegue Bosque Bajo (Fig. 36A) atacado durante el período 1998-1999; Chorrillo del Salto (Fig. 36B) atacado en el período 2002-2003; y los sitios Laguna Cóndor (Fig. 36C) y Pinchadura (Fig. 36D) afectados en el período 2004-2005.

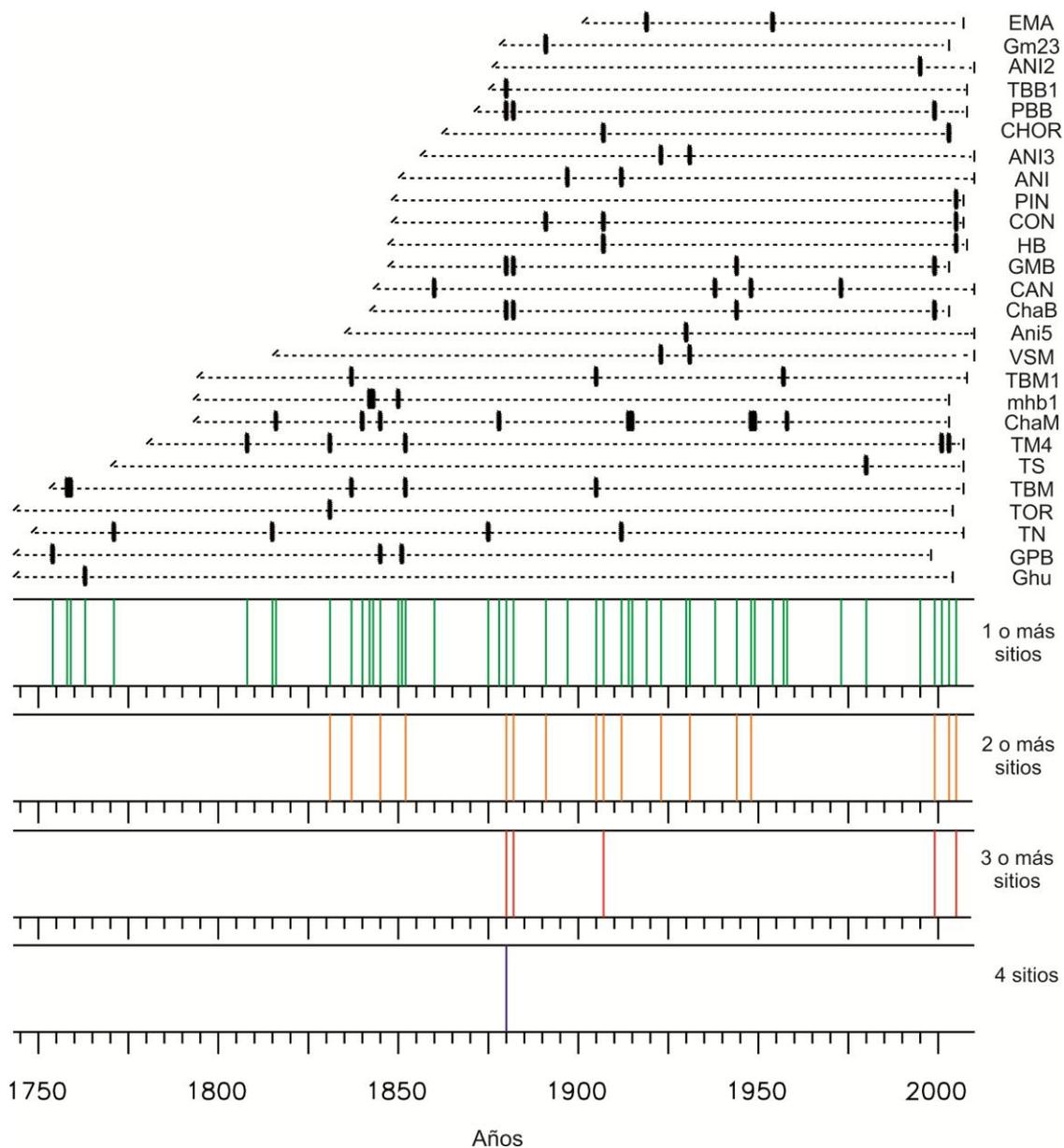


**Figura 36:** Anillos de crecimiento de *N. pumilio* de los sitios atacados por *O. amphimone*. A) Pliegue bosque bajo, B) Chorrillo del Salto, C) Cóndor y D) Pinchadura. Las flechas indican el año de disminución del ancho de anillo como respuesta a los ataques de insectos ocurridos durante el verano previo a la formación de los mismos.

#### 4.4 Reconstrucción dendrocronológica de ataques de *O. amphimone*.

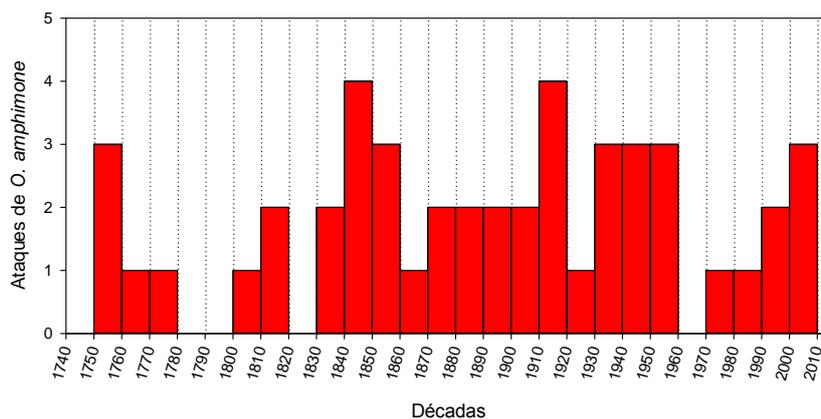
En base a las 26 cronologías de ancho de anillos de *N. pumilio* distribuidas a lo largo del área de estudio El Chaltén-Lago del Desierto, se identificaron 47 ataques de *O. amphimone*, ocurridos durante el periodo 1743-2010 (Fig. 37), 17 de estos ataques ocurrieron sincrónicamente en dos o más sitios, mientras que cinco eventos de ataque se registraron en tres o más sitios y solo un ataque ocurrió en cuatro sitios (Fig. 37).

El número de ataques por sitio varió entre uno y nueve. En ninguno de los sitios analizados se observó ciclicidad en los ataques.



**Figura 37:** Reconstrucción dendrocronológica de ataques de *O. amphimone* en bosques de *N. pumilio*. Las líneas punteadas corresponden a la longitud de las cronologías de cada sitio y las líneas verticales a los años afectados por el ataque. En la parte inferior se indican con líneas de colores los años donde hubo uno o más sitios con ataques.

Durante el período 1743-2010, la frecuencia de los ataques por década varió entre uno y cuatro ataques, existiendo décadas donde no se registró ningún ataque como las de 1780, 1790, 1820 y 1960 (Fig. 38). Las décadas que presentaron la mayor frecuencia de ataques fueron las de 1840 y 1910 con cuatro ataques por década (Fig. 38).



**Figura 38:** Número de eventos de ataques de *O. amphimone* por décadas en la región El Chaltén-Lago del Desierto, ocurridos durante el período 1743-2010.

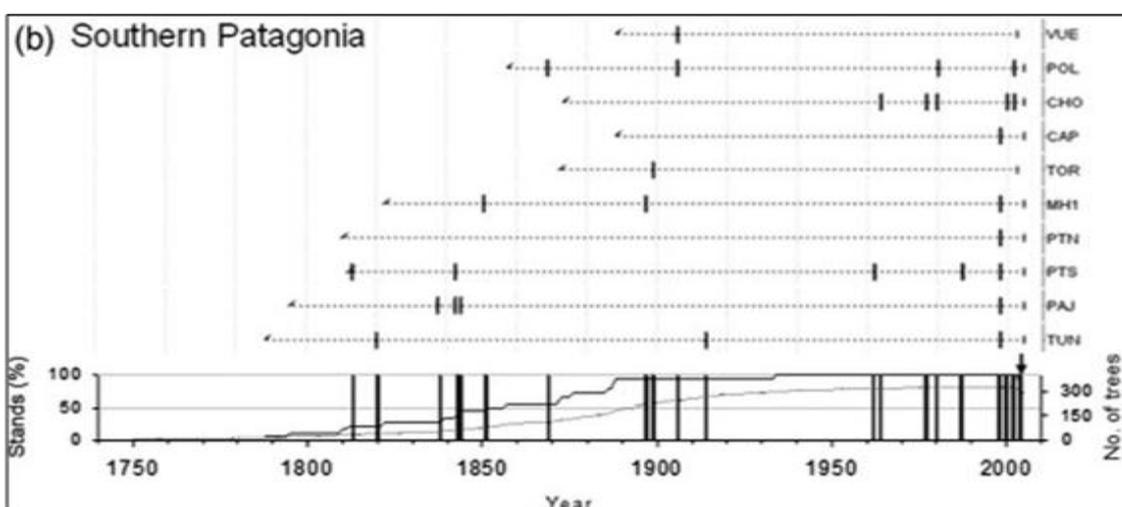
Al comparar los resultados obtenidos con estudios previos realizados en el área de estudio (Fig. 39), encontramos tanto coincidencias como diferencias en las fechas de ocurrencia de los ataques. Por ejemplo, para el sitio Chorrillo del Salto (CHOR) (Fig. 37) el ataque registrado para el año 2003, también fue observado por Paritsis y Veblen (2011; Fig. 39) y Mundo et al. (2010a), mientras que el ataque de 1907 fue registrado únicamente por Mundo et al. (2010a). Paritsis y Veblen (2011) encuentran ataques en el año 2000 y 3 ataques más en el período 1860-1880 los cuales no han sido registrados por otros autores ni tampoco en el presente estudio. En el sitio Pliegue Bosque Bajo (PBB) el ataque ocurrido en 1999 fue registrado también por Paritsis y Veblen (2011) en PTN (Pliegue Tumbado Norte) y PTS (Pliegue Tumbado Sur) pero los ataques anteriores registrados para este sitio contrastan con los obtenidos en ambos trabajos (Fig. 37 y 39).

En el sitio Laguna Madre e Hija (MHB1) el ataque de 1850 (Fig. 37) coincide también con Paritsis y Veblen (2011), sin embargo se encuentran ataques en 1897 (Paritsis y Veblen 2011), 1999 (Paritsis y Veblen 2011) y 2003 (Manduca et al. 2006) que no fueron registrados como tales en este trabajo.

Al comparar las fechas de ataque de las cronologías provenientes de las zonas cercanas al cerro Torre (sitios TOR, TN, TS y TM4; Fig. 37) con la cronología del sitio Torres (TOR) de Paritsis y Veblen (2011; Fig. 39), no se observan coincidencias. De la

misma manera, los ataques registrados en este estudio en los sitios ubicados en el Valle Túnel (TBM, TBM1, TBB1; Fig. 37), no mostraron coincidencias con los ataques registrados por Paritsis y Veblen (2011) obtenidos también para el mismo valle (Fig. 39).

El último ataque conocido en el área de estudio (2005) se registró en este trabajo camino a Lago del Desierto, en los sitios Pinchadura, Laguna Cóndor y Los Huemules (Fig. 37). El ataque fue reportado también por Paritsis y Veblen (2011), basándose en información de observación directa, pero no fue registrado por los métodos dendrocronológicos y no especifica el sitio de ocurrencia del ataque.

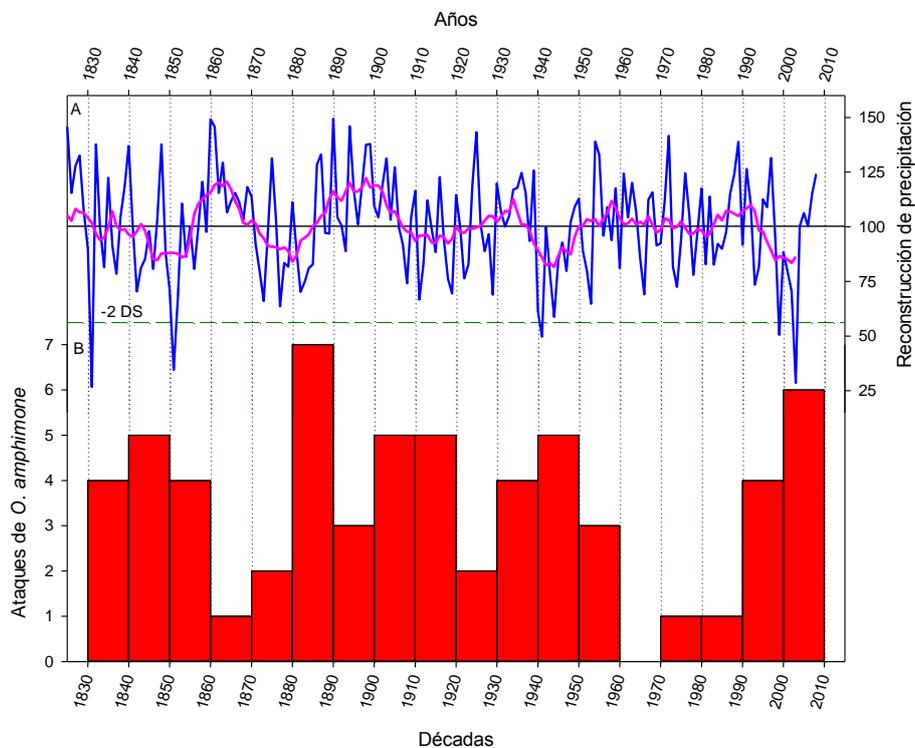


**Figura 39:** Reconstrucción dendrocronológica de ataques de *O. amphimone* en bosques de *N. pumilio* en El Chaltén. La flecha indica el ataque del 2005. Resultados obtenidos por Paritsis y Veblen (2011).

#### 4.4 Ataques de *O. amphimone* asociados a cambios en la precipitación

En la figura 40 se comparó para el período 1830-2010 el número total de sitios con ataques de insectos por décadas y las variaciones decadales de la precipitación reconstruida para la región de estudio (Lavergne 2012). Se eligió este período de comparación entre 1830-2010, debido que a partir de la década de 1830 el número de

cronologías locales representó más del 40% del total de cronologías utilizadas para desarrollar la reconstrucción de ataques. Las décadas con cuatro o más ataques coincidieron con precipitaciones por debajo de la media (ej.: 1830, 1840, 1850, 1880, 1900, 1910, 1930, 1940, 1990, 2000), mientras que durante las décadas donde se registraron precipitaciones con valores medios o por encima de la media, se observó una disminución en la frecuencia de ataques, entre tres o menos ataques por década (ej.: 1860, 1890, 1920, 1930, 1950, 1960, 1970, 1980). El máximo número de sitios con ataques (N=6 y 7) fue registrado en las décadas secas de 2000 y 1880 respectivamente (Fig. 40).

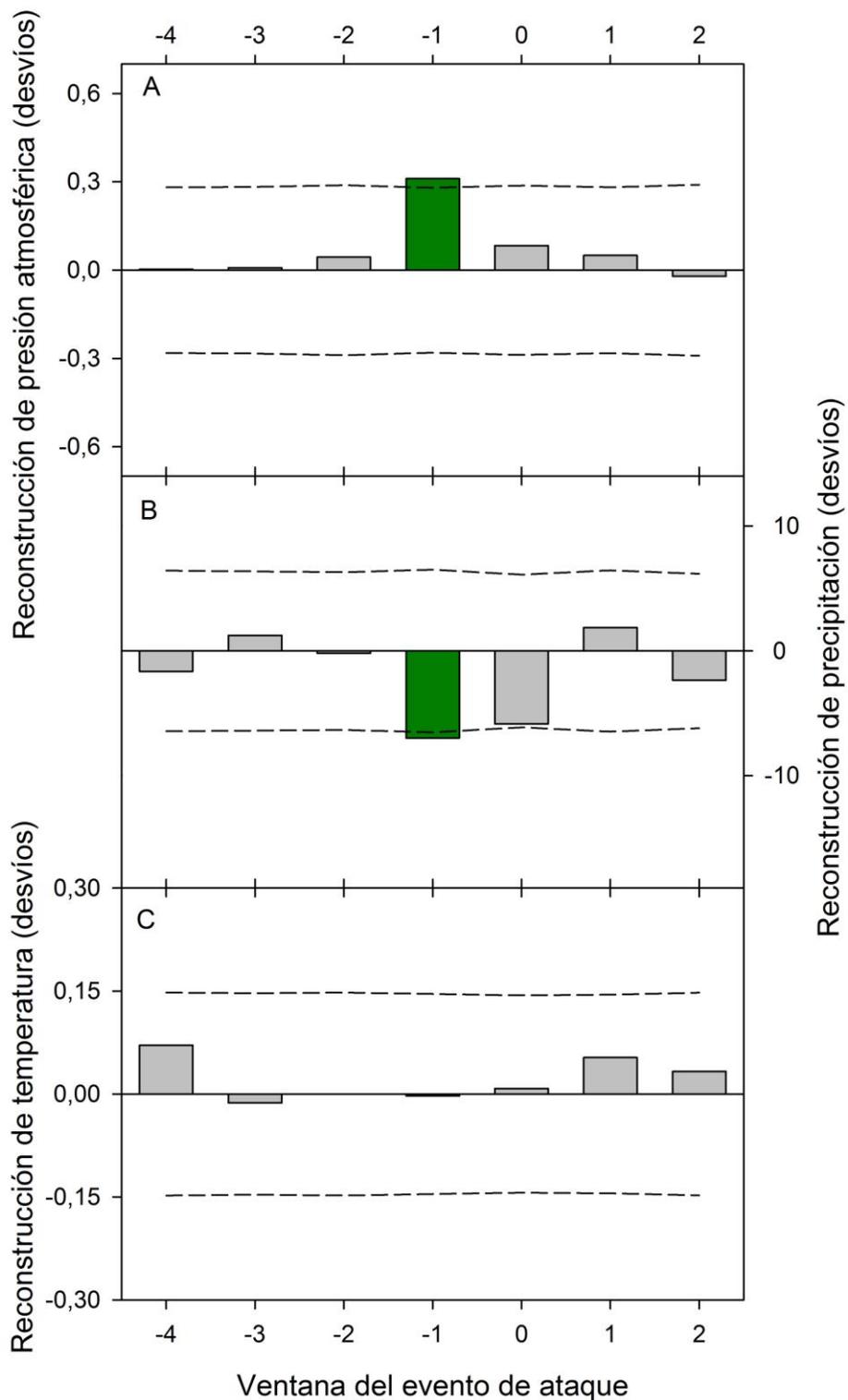


**Figura 40:** A) Reconstrucción de precipitación representada por la línea azul (Lavergne 2012) y su correspondiente media móvil (línea rosada) tomada por década. La línea sólida horizontal representa la media y la línea segmentada verde representa los -2DS. B) Eventos de ataque de *O. amphimone* registrados por década, incluidos uno o más sitios.

## 4.5 Relación entre ataques y variables climáticas

En la figura 41 se presentó el análisis de eventos de épocas superpuestas, donde se determinaron como fueron las condiciones en las reconstrucciones de precipitación, temperatura y del índice de la Oscilación Antártica durante una ventana de tiempo de 7 años, donde se consideran los años de evento de ataque por *O. amphimone*, cuatro años previos y dos posteriores a los mismos.

En escalas de tiempo interanuales se observó una asociación entre los ataques de *O. amphimone* y las reconstrucciones climáticas (Fig. 41). El índice de Oscilación Antártica reconstruido presentó anomalías positivas, significativamente diferentes a las esperadas por azar durante el año previo a la ocurrencia de los eventos de ataque (Fig. 41A). Valores positivos del índice de Oscilación Antártica están asociados con aumentos en la presión atmosférica de la región sur Patagónica y en consecuencia menores precipitaciones en esta región (Thompson et al. 2000). Las precipitaciones resultaron significativamente menores durante el año previo a los eventos de ataque (Fig. 41B), siendo consistente con los valores altos del índice Oscilación Antártica. Por último, no se observó ninguna condición de las temperaturas diferente a lo esperado por azar en la ventana de eventos de ataque analizada (Fig. 41C).



**Figura 41** Análisis de Eventos (SEA) comparando los desvíos de: A) La reconstrucción del índice de Oscilación Antártica (Villalba et al. 2012), B) la reconstrucción de precipitación (Lavergne 2012) y C) la reconstrucción de temperatura (Villalba et al. 2003) durante los años de evento de ataque de *O. amphimone* para toda la región de El Chaltén-Lago del Desierto. El eje X representa una ventana de 7 años, 4 años previos y 2 posteriores al evento de ataque (0). Las líneas horizontales segmentadas representan los intervalos de confianza del 95%, calculados en base a 1000 simulaciones empleando la técnica de Montecarlo (Mooney y Duval 1993). Las barras verdes indican desviaciones significativas respecto a la media (95% intervalo de confianza). Número de eventos utilizados y Período de las series analizadas: (46 y 1700 - 2006), (47 y 1735 - 2008) y (42 y 1750-1993) respectivamente.

## 5. DISCUSIÓN

### 5.1 Reconstrucción histórica de los ataques de *Ormiscodes amphimone* y su relación con el clima

La reconstrucción regional de ataques de *O. amphimone* presentada en este trabajo fue desarrollada en base a una densa red de cronologías de ancho de anillos de *N. pumilio* en la región de El Chaltén-Lago del Desierto, Santa Cruz. En la misma se reconstruyó la historia de ataques de insectos sobre los bosques de la región, para el período 1743-2010. Durante el período analizado se registraron un total de 47 ataques, de los cuales 17 se presentaron en dos o más sitios, 5 en tres o más sitios y 1 ataque registrado en el año 1880 (Fig. 37) en 4 sitios de estudio, siendo el más fuerte en cuanto al área afectada.

Los ataques por *O. amphimone* en la región de El Chaltén, ocurren durante el período de crecimiento de la vegetación, correspondiente a las estaciones de finales de la primavera y verano. Es probable que debido a la corta duración de los ataques (3-4 meses), se produzcan reducciones marcadas en el crecimiento radial de *N. pumilio* (Morales et al. 2004, Paritsis et al. 2009) sin causar necesariamente la muerte de ejemplares adultos. Un patrón similar se ha observado en bosques de *Larix decidua* en los Alpes, en donde los ataques por insectos defoliadores ocurren durante la estación de crecimiento vegetativa y si bien afectan directamente el crecimiento de los árboles, estos no causan la mortalidad del bosque (Nola et al. 2006). Sin embargo, de darse las condiciones favorables para que aumente la frecuencia, intensidad y magnitud de los ataques, como ha ocurrido en la Región de Aysen (Universidad de Chile, 2008), probablemente podría aumentar la tasa de mortalidad de los bosques de *N. pumilio* causada directamente por ataques de *O. amphimone*. Como también

quedar susceptibles a otros factores de estrés secundarios a los ataques de insectos (Manion, 1981), sobre todo en los individuos con edades más avanzadas.

Al comparar las fechas de ataques por *O. amphimone*, registradas en este trabajo, con estudios previos realizados en el área de estudio, encontramos coincidencias y diferencias en las fechas de ocurrencia. La falta de coincidencia encontrada en los ataques de los sitios comparados, puede deberse a: 1) la diferente representación espacial definida en cada uno de los estudios. En los estudios previos se analizaron entre 5 (Morales et al. 2004) y 10 (Paritsis et al. 2011) cronologías de ancho de anillos de *N. pumilio*, mientras que en el presente estudio se analizaron 26 cronologías de ancho de anillos para la misma área de estudio (El Chaltén-Lago del Desierto). Mientras más sitios sean analizados, la posibilidad de encontrar ataques por insectos defoliadores es mayor, permitiendo un entendimiento mayor de la ocurrencia de los aumentos episódicos de insectos en la región. 2) Otra fuente de variación en las fechas registradas como ataques por insectos, puede ser los diferentes métodos utilizados para determinar un año de ataque. En los estudios previos se utilizó el método de años marcadores y disminución del crecimiento mayor a 2DS respecto a un valor medio (Morales et al. 2004). Paritsis y Veblen (2011) utilizaron el método de años marcadores, desvíos respecto a una cronología control regional y una característica morfológica en los anillos de crecimiento. En cambio, en el presente estudio, se utilizó un método conservador que resulta de la diferencia entre cada cronología con posibles ataques y una cronología control regional compuesta por todas las cronologías del área de estudio excepto la del sitio a analizar. Aquellas diferencias en el crecimiento de los años que presentaron valores inferiores a los -2,5 DS fueron considerados ataques por insectos. La ventaja de este método resulta en la fuerte relación que existe entre la cronología del sitio y la regional en todo el período de análisis, excepto en los años de ocurrencia de los ataques. De esta manera es posible discriminar entre una disminución en el crecimiento por causas climáticas de una provocada por defoliación.

Todas las cronologías analizadas presentaron al menos un ataque durante el período registrado. En 18 de las 26 cronologías analizadas se observó recurrencia en los ataques. Sin embargo, los resultados obtenidos no muestran un patrón cíclico en la ocurrencia de los ataques, consistente con lo reportado previamente por Morales et al. (2004) y Paritsis y Veblen (2011). Por otra parte, resulta contrario a lo ocurrido en otras especies de árboles, donde ataques anuales producidos por insectos defoliadores con similares características a los reportados en este estudio, presentan un fuerte patrón cíclico, como es el caso de los ataques por *Zeiraphera diniana* en los bosques de *L. decidua*, en los Alpes (Nola et al. 2006, Esper et al. 2000). La ocurrencia cíclica entre 8-9 años en los ataques por *Z. diniana* parecen estar regulados por la interacción entre la larva de esta especie y sus parasitoides (Turchin et al. 2003). Cuando la densidad de larvas alcanza su pico máximo, la proporción de parasitismo es mínima, mientras que la densidad de larvas disminuye cuando el parasitismo alcanza su máxima proporción. La no ciclicidad y la ocurrencia errática en los ataques por *O. amphimone*, indica que los ataques podrían no estar regulados por una interacción de tipo insecto-parasitoides o de denso-dependencia. Un estudio reciente (Paritsis et al. 2012), ha demostrado que el parasitismo de larvas y la predación de pupas de cuncuna por aves, puede provocar altos niveles de mortalidad (50% y 75%, respectivamente) en años sin aumentos episódicos de la población de *O. amphimone*. Por lo tanto, no se descarta la posibilidad de un control de la población de cuncuna por parasitoides. Sin embargo, no existe hasta el momento ningún estudio sobre las fluctuaciones demográficas de estos organismos en función del tiempo, que permitan evaluar relaciones de denso dependencia.

Un comportamiento no cíclico de los ataques, podría estar asociado a la ocurrencia eventual de algún factor ambiental (ej. clima) desencadenante de estos aumentos episódicos en la población de *O. amphimone*. Nuestros resultados demostraron que los eventos de ataques se asociaron con años más secos y se encontraron vinculados con una tendencia positiva de la Oscilación Antártica (OA), por

lo tanto anomalías positivas en este índice están asociados con precipitaciones por debajo del promedio en la región sur patagónica. Por otro lado, no se observó ningún tipo de asociación entre los años de ataque con las temperaturas regionales. Al comparar la variación en el número de ataques en los diferentes sitios por décadas con las variaciones decadales de la precipitación reconstruida para el período 1830-2008 de la región de El Chaltén, observamos que ambas variables fluctuaron de manera similar. Durante las décadas de 1880 y 2000, se produjeron el mayor número de ataques en la región. Ambas décadas tuvieron en común la ocurrencia de sequías prolongadas. Estos resultados sugieren una influencia de las sequías anuales y decadales sobre el desencadenamiento de los ataques de *O. amphimone* en los bosques de *N. pumilio*. Si bien, esta relación entre clima-ataques de insectos parece ser compleja, nuestros resultados apoyan la hipótesis de “planta estresada”, es decir que años secos provocan un estrés en los árboles de *N. pumilio* y en consecuencia, una mejor calidad de nutrientes para *O. amphimone*, favoreciendo los aumentos episódicos de insectos. Sin embargo, durante el verano 2011-2012, personal de Parques Nacionales de El Chaltén observaron el comienzo de un ataque por *O. amphimone* que fue interrumpido como consecuencia de la fuerte sequía que tuvo lugar en la región durante el verano. Probablemente el ataque se vio favorecido inicialmente por la sequía, que al intensificarse provocó el desecamiento de las hojas y por lo tanto la disminución en la disponibilidad de alimento para la larva de *Ormiscodes*, interrumpiendo el ataque. Futuros estudios serán necesarios para evaluar los efectos de diferentes grados de sequías sobre la calidad nutritiva de las hojas y sobre los diferentes estadios larvales.

Por lo tanto, es posible que los incrementos de temperatura y las disminuciones de precipitación pronosticada por los diferentes modelos generales y regionales de circulación atmosférica para el sur de la Patagonia (Carril et al. 1997; Villalba et al. 2005; Vera et al. 2006; IPCC 2007; Aravena y Luckman 2009), así como la continua tendencia positiva de la AO (Miller et al. 2006; Villalba et al. 2012), puedan favorecer el

aumento de los ataques por insectos sobre los bosques de *N. pumilio*, siempre que no superen los niveles de sequía tolerados por los árboles. Sin embargo, es probable que las condiciones climáticas no sean necesariamente el principal o único regulador de estos aumentos episódicos de insectos y existan otros factores que estén afectando a diferentes escalas temporales la dinámica de las poblaciones de insectos, tales como factores de densidad dependencia, competencia, disponibilidad de alimento, parasitismo (Turchin et al. 2003), estado de la planta huésped y la estructura y composición del bosque (Peltonen et al., 2002; Zhang & Alfaro, 2003). Nuevos estudios de monitoreo de largo plazo y experimentación en parcelas permanentes serán necesarios para poder identificar los principales reguladores de la dinámica de *O. amphimone*.

## 5.2 Relación entre el clima y el crecimiento regional

La cronología regional de ancho de anillos realizada en este trabajo muestra las respuestas del crecimiento de los árboles a las fluctuaciones climáticas. El crecimiento de *N. pumilio* está asociado a la precipitación, presentando correlaciones positivas y significativas en los meses de primavera y verano de la estación actual de crecimiento. Por otra parte, el crecimiento de *N. pumilio* no muestra un claro patrón de respuesta a la temperatura, a excepción de la estación de Calafate y de Punta Arenas donde se observaron correlaciones negativas durante los meses de enero y marzo, y enero, respectivamente. Un aumento sostenido de las temperaturas anuales, como el registrado en las últimas décadas para la región sur de la Patagonia (Villalba et al. 2005), incrementaría la evapotranspiración, produciendo déficit hídrico durante el periodo de crecimiento de *N. pumilio*, aumentando la relación inversa entre crecimiento y temperaturas.

También se observa un patrón de respuesta negativo y significativo en las temperaturas de agosto y en algunos casos julio, previo de la estación de crecimiento, registrado en todas las estaciones meteorológicas, excepto con Río Gallegos donde la

respuesta del crecimiento fue marginalmente significativa. La explicación para este patrón, también ligado a un potencial déficit hídrico, podría tener relación con los cambios en la temperatura mínima de invierno y primavera. Si la temperatura es mayor, estaría aumentando la precipitación en forma de agua y disminuyendo la nieve. En consecuencia, un aumento de la precipitación en forma de agua durante el invierno provocaría una disminución del agua disponible para el verano, período de mayor crecimiento de los árboles. Por lo tanto, el tiempo de permanencia del agua en forma de nieve estaría regulado por las temperaturas, lo que a su vez regularía la cantidad de agua disponible para el crecimiento durante el verano de la estación de crecimiento corriente.

Otra explicación, podría ser que bajas temperaturas durante los meses de invierno faciliten la permanencia de la capa de nieve caída durante la época invernal protegiendo a *N. pumilio* de posibles heladas tardías. Futuros estudios ecofisiológicos serán necesarios para determinar los efectos de la temperatura y precipitación sobre el crecimiento de *N. pumilio*.

Por medio del análisis SEA se observa que los eventos de disminución de crecimiento regional se corresponden significativamente con disminuciones de la precipitación. Se ha demostrado que el estrés hídrico, inducido por sequías extremas durante el período de crecimiento, conlleva a reducciones marcadas en el crecimiento radial pudiendo afectar la sanidad de los árboles (Münster-Swendsen 1987), disminuyendo la productividad y causando mortalidad en los individuos (Suarez y Ghermandi 2004; Mundo et al. 2010b). Aunque la gravedad de los impactos finalmente va a depender de varios factores, como las características de los bosques, las estructuras de clases de edad y la profundidad y el tipo de suelo (Mortsch et al. 2006).

Los años secos registrados en 1844 y 1851 han sido los más severos en cuanto al área afectada, registrándose una fuerte disminución en el crecimiento en 9 sitios de estudio.

Basándonos en estudios previos (Villalba et al. 2002, Srur et al. 2008, Mundo et al. 2010b) que confirman cambios en los patrones de distribución y crecimiento del bosque influenciados por el clima en la Patagonia, consideramos que de continuar con las tendencias climáticas registradas durante el siglo XX en la región (Villalba et al. 2012), los eventos extremos de sequía podrían incrementarse, como así también los disturbios, tales como los ataques por insectos y fuego (Villalba et al. 2002, Mundo et al. 2010a), acelerando los cambios en la vegetación, inducidos por el clima.

## 6. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se logró reconstruir la historia de ataques de *Ormiscodes amphimone* en los bosques de *Nothofagus pumilio* en la región de El Chaltén - Lago del Desierto, Santa Cruz. La reconstrucción dendrocronológica permitió determinar la ocurrencia temporal de los ataques y su relación con variables climáticas. Esta reconstrucción se destaca por ser la más extensa temporalmente, cubriendo un período de 267 años, y además, por haber sido desarrollada en base a una densa red de 26 cronologías de ancho de anillos, logrando un detallado conocimiento de las variaciones interanuales en el crecimiento a lo largo de toda el área de estudio.

La corrección de las cronologías locales, por medio de la diferencia entre el índice de crecimiento local y el crecimiento regional, permitió resaltar las variaciones en el crecimiento que no fueron debidas a las variaciones climáticas. Por medio de éste método fue posible identificar 47 ataques de *O. amphimone*. Los mismos registraron una duración anual, sin evidenciar ningún tipo de naturaleza cíclica.

A pesar de que la relación entre ataques de insectos y variaciones climáticas puede resultar compleja, los ataques parecen estar asociados con condiciones climáticas secas, sustentando la hipótesis planteada en este estudio de “planta estresada”.

Los resultados de este trabajo aportaron nuevos registros de ataques en la zona, los cuales presentaron tanto coincidencias como diferencias con resultados previos obtenidos en otros estudios. La clara definición de los ataques registrados en los anillos de crecimiento de *N. pumilio* destacan su potencial para realizar reconstrucciones dendroecológicas de ataques de *O. amphimone*. Dando lugar a la ampliación del estudio a otras zonas de la región, de manera de generar una red de registros de ataques, con el fin de entender su naturaleza y sus consecuencias en la dinámica de los bosques y en los servicios ecosistémicos de los mismos.

## 7. BIBLIOGRAFIA

- Agee, J. K. (2003) Historical range of variability in eastern Cascade forests, Washington, U.S.A. *Landscape Ecology* 18: 725-740.
- Aravena, J. C.; Luckman, B. H. (2009) Spatio-temporal rainfall patterns in Southern South America. *International Journal of Climatology* 29: 2106-2120.
- Artigas, J. (1994) Entomología Económica: Insectos de interés agrícola, forestal, médico y veterinario (nativos, introducidos y susceptibles de ser introducidos). Ediciones Universidad de Concepción. 2 vol. 1-1126.
- Ayres, M. P.; Lombardero M. J. (2000) Assessing the consequences of global change for forest disturbance from herbivores and pathogens. *The Science of the Total Environment* 262: 263-286.
- Baldini, A.; Alvarado, A. (2008) Agentes de daño biótico. Insectos defoliadores. En: Baldini, A.; Alvarado, A. (ed.) Manual de plagas y enfermedades del bosque nativo en Chile. Asistencia para la recuperación y revitalización de los bosques templados de Chile, con énfasis en los *Nothofagus* caducifolios. FAO/CONAF. Santiago de Chile (2008), 13-51.
- Bale, J. S. B.; Masters, G. J.; Hodkinson, I. D.; Awmack, C.; Bezemer, T. M.; Brown, V. K.; Butterfield, J.; Buse, A.; Coulson, J. C.; Farrar, J.; Good, J. E. G.; Harrington, R.; Hartley, S.; Jones, T. H.; Lindroth, R. L.; Press, M. C.; Symrnioudis, I.; Watt, A. D. y Whittaker, J. B. (2002) Herbivory in global climate change research: direct effects of rising temperature on insect herbivores. *Global Change Biology* 8: 1-16.
- Barrera, M. D.; Frangi J. I.; Richter, L. I.; Perdomo, M. H.; Pinedo, L. B. (2000) Structural and functional changes in *Nothofagus pumilio* forests along an altitudinal gradient in Tierra del Fuego, Argentina. *Journal of Vegetation Science* 11: 179-188.
- Battisti, A. (2005) Expansion of geographic range in the pine processionary moth caused by increased winter temperatures. *Ecological Applications* 15: 2084-2096.
- Battisti, A. (2006) A rapid altitudinal range expansion in the pine processionary moth produced by the 2003 climatic anomaly. *Global Change Biology* 12: 662-671.
- Bauerle, P.; Rutherford, P.; Lanfranco, D. (1997) Defoliadores de roble (*Nothofagus obliqua*), raulí (*N. alpina*), coigue (*N. dombeyi*) y lenga (*N. pumilio*). *Bosque* 18: 97-107.
- Blasing, T. J.; Solomon, A. M. Duvick, D. N. (1984) Response functions revisited. *Tree-Ring Bulletin* 44: 1-15.
- Boninsegna, J. A. (1992) South American dendrochronological records. En: Bradley, R. S. y Jones P. D. (ed.) Climate Since A.D. 1500. Chapman and Hall. New York, U.S.A. (1995), 446-462.
- Briffa, K. R. (1995) Interpreting high-resolution proxy climate data. The example of dendroclimatology. En: Von Storch, H y Navarra, A (ed.) Analysis of climate variability, applications of statistical techniques. Springer Verlag. Berlin, Germany (1999), 77-94.

- Carril, A. F.; Menendez, C. G.; Nuñez, M. N. (1997) Climate change scenarios over the South American region: an intercomparison of coupled general atmosphere–ocean circulation models. *International Journal of Climatology* 17: 1613-1633.
- Cissel, J. H.; Swanson F. J.; Weisberg P. J. (1999) Landscape management using historical fire regimes: Blue River, Oregon. *Ecological Applications* 9: 1217-1231.
- Cook, E.R. (1985) A time series approach to tree-rings standardization, Ph.D Dissertation, University of Arizona, Tucson, AZ, USA.
- Cook, E. R. Y Holmes R. L. 1984. User's manual for program ARSTAN. Laboratory of Tree Ring Research, University of Arizona, Tucson.
- Coulson, R. N.; Witter, J. A. (1990) Entomología Forestal, ecología y control. Editorial Limusa S.A., México, 751.
- Cuevas, J. G. (2000) Tree recruitment at the *Nothofagus pumilio* alpine timberline in Tierra del Fuego, Chile. *Journal of Ecology* 88: 840-855.
- Dale, V. H.; Joyce, L. A.; McNulty, S.; Neilson, R. P.; Ayres, M. P.; Flannigan, M. D.; Hanson, P. J. (2001) Climate change and forest disturbances. *BioScience* 51: 723-734
- Donoso, C. (1993) Bosques Templados de Chile y Argentina. Variación, estructura y dinámica. Ecología Forestal. Editorial Universitaria, Santiago, 484.
- EPPO/CABI (Organización Europea y Mediterránea de Protección de las Plantas)/CAB International (CABI). (1997) Quarantine pests for Europe. In: Smith, I.M 2nd ed.
- Esper, J. (2007) 1200 years of regular outbreaks in alpine insects. *Proceedings of the Royal Society Series B* 274: 671-679.
- Fellin, D. G. y Dewey, J. F. (1982) Western Spruce Budworm. U. S. Departmente of Agriculture, Forest Service. Forest Insects and Diseases Leaflet. 10.
- Franklin, J. F.; Spies, T. A.; Van Pelt, R.; Carey, A. B.; Thornburgh, D. A.; Berg, D. R.; Lindenmayer, D. B.; Harmon, M. E.; Keeton, W. S.; Shaw, D. C.; Bible, K.; Chen, J. (2002) Disturbances and structural development of natural forest ecosystems with silvicultural implications, using Douglas-fir forests as an example. *Forest Ecology and Management* 155: 399-423.
- Fritts, H.C. (1976) Tree rings and climate. Academic Press, New York, USA.
- Gonzalez, M.; Donoso, C.; Ovalle, P.; Martínez-Pastur, G. (2006) *Nothofagus pumilio* (Poep. Et Endl) Krasser. Lengua, roble blanco, leñar, roble de Tierra del Fuego. En: Donoso, C. (ed.) Las especies arbóreas de los bosques templados de Chile y Argentina. Autoecología. Marisa Cuneo Ediciones. Valdivia, Chile (2006), 486-500.
- Guerrido C, Fernandez D. (2007) Flora Patagonia. Guía para la identificación de plantas y sus hábitats. Fantástico Sur Editorial, 298.
- Holmes, R. L. (1983) Computer assisted quality control in tree-ring 211 dating and measurement. *Tree-Ring Bulletin* 43: 69-78.
- Holmes, R. L.; Swetnam, T. W. (1994) Dendroecology program library program event users manual. University of Arizona; Tucson; Arizona.

- IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático) (2007) Climate change 2007: synthesis report. In: Pachauri, R. K.; Reisinger, A. (ed.) IPCC Fourth Assessment Report. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 26-73.
- Jepsen, J. U.; Hagen, S. B.; Ims, R. A.; Yoccoz, N. G. (2008) Climate change and outbreaks of the geometrids *Operophtera brumata* and *Epirrita autumnata* in subarctic birch forest: evidence of a recent outbreak range expansion. *Journal of Animal Ecology* 77: 257-264.
- Lavergne, A. (2012) Reconstruction of Southern Patagonia precipitations since AD 1735 with tree-ring records. Tesis de Maestría. Universidad de Versailles Saint-Quentin. Versailles, Francia, 28.
- Lemaire, C. (2002) The Saturniidae of America. Les Saturniidae Américains. Hemileucinae (= Attacinae). Goecke y Evers. Keltern, Deutschland, part 1-3: 1388.
- Logan, J. A.; Régnière, J.; Powell, J. A. (2003) Assessing the impacts of global warming on forest pest dynamics. *Frontiers in Ecology and the Environment* 1: 130-137.
- Manduca, A.; Delgado, S.; Morales, M. S.; Villalba, R.; Srur, A. (2006) Patrones espaciales e impactos de ataques de cuncuna (*Ormiscodes sp.*) sobre bosques de lenga (*Nothofagus pumilio*), El Chaltén, Santa Cruz. XXII Reunión Argentina de Ecología. Córdoba, Argentina.
- Manion, P. D. (1981) Tree Disease Concept. Prentice-Hall. Englewood Cliffs, New Jersey, 399.
- Masiokas, M.; Villalba, R.; Delgado, S.; Trombotto, D.; Luckman, B.; Ripalta, A.; Hernandez, J.; (2001) Dendrogeomorphological reconstruction of glacier variations in Patagonia during the past 1000 years. Abstracts from the International Conference Tree Rings and People, Davos, Switzerland, p. 177.
- Masiokas, M.H. (2009) Little Ice Age fluctuations of small glaciers in the Monte Fitz Roy and Lago del Desierto areas, south Patagonian Andes, Argentina, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 281: 351-362.
- Mattson, W.; Haack, R. (1987a) The role of drought in the outbreak of the plant-eating insects. *Bioscience* 37: 110-118.
- Mattson, W.; Haack, R. (1987b) The role of drought in the outbreak of the plant-eating insects. En: P. Barbosi y J. C. Schultz (ed.). Insect outbreaks. Academic Press, New York, New York, USA, 365-407.
- Menéndez, R. (2007) How are insects responding to global warming? *Tijdschrift voor Entomologie* 150: 355-365.
- Miller, R. L.; Schmidt, G. A.; Shindell, D. (2006) Forced variations of annular modes in the 20th century IPCC AR4 simulations. *Journal of Geophysical Research* 111, D18101, doi:10.1029/2005JD006323.
- Mooney, C. Z.; Duval, R. D. (1993) Bootstrapping: a nonparametric approach to statistical inference. Sage University Paper Series on Quantitative Applications in the Social Sciences 95. Newbury Park, California, USA.

- Morales, M. S.; Villalba, R.; Srur, A.; Delgado, S. (2004) Buscando el anillo perdido: efecto del ataque de cuncuna (*Ormiscodes sp.*) en bosques de lenga (*Nothofagus pumilio*), El Chaltén, Santa Cruz. II Reunión Binacional de Ecología Argentino-Chilena. Mendoza, Argentina.
- Morales, M.; Villalba, R. (2009) Anillos de árboles como evidencias de ataques de insectos defoliadores en la Patagonia. *Boletín de la Sociedad Entomológica Argentina* 20: 13-14.
- Morales, M.; Srur, A.; Villalba, R.; Mundo, I.; Rodríguez, M.; Ripalta, A. (2009) En prensa: Potencialidad dendroecológica de la lenga (*Nothofagus pumilio*) para reconstruir ataques episódicos de insectos defoliadores. Aprona
- Morin, H.; LaPrise, D.; Bergeron, Y. (1993) Chronology of spruce budworm outbreaks near Lake Duparquet, Abitibi region, Quebec. *Canadian Journal of Forest Research* 23: 1497-1506.
- Mortsch, L. D. (2006) Impact of climate change on agriculture, forestry and wetlands. En: Bhatti, J.; Lal, R.; Apps, M.; Price, M. (ed.) *Climate change and managed ecosystems*. CRC Press, Taylor y Francis Group. Boca Raton, FL, USA, 45-67.
- Mundo, I.; Morales, M.; Casteller, A.; Villalba, R. (2010a) Influences of Past Climate Variations On Forest Disturbance In Patagonia. II International symposium, "Reconstructing Climate Variations in South America and the Antarctic Peninsula over the last 2000 years" Valdivia, Chile (2010).
- Mundo, I. A.; El Mujtar, V. A.; Perdomo, M. H.; Gallo, L. A.; Villalba, R.; Barrera, M. D. (2010b) *Austrocedrus chilensis* growth decline in relation to drought events in Northern Patagonia, Argentina. *Trees-Structure and Function* 24: 561-570.
- Münster-Swendsen, M. (1987) The effect of precipitation on radial increment in Norway spruce (*Picea abies* Karst.) and on the dynamics of a lepidopteran pest insect. *Journal of Applied Ecology* 24: 563-571.
- Nola, P.; Morales, M.; Motta, R.; Villalba, R. (2006) The role of larch budmoth (*Zeiraphera diniana* Gn.) on forest succession in a larch (*Larix deciduas* Mill.) and Swiss stone pine (*Pinus cembra* L.) stand in the Susa Valley. Piedmont, Italy. *Trees-Structure and Function* 20: 371-371.
- Parish, R.; Antos, J. A. (2002) Dynamics of an old-growth, fire-initiated, subalpine forest in southern interior British Columbia: tree-ring reconstruction of 2 year cycle spruce budworm outbreaks. *Canadian Journal of Forest Research* 32:1947–1960.
- Paritsis, J.; Veblen, T.; Kitzberger, T. (2009) Assessing dendroecological methods to reconstruct defoliator outbreaks on *Nothofagus pumilio* in northwestern Patagonia, Argentina. *Canadian Journal of Forest Research* 39: 1617–1629.
- Paritsis, J.; Elgueta, M.; Quintero, C.; Veblen, T. (2010) New host-plant records for the defoliator *Ormiscodes amphimone* (Fabricius) (Lepidoptera: Saturniidae). *Neotropical Entomology* 39: 1048-1050

- Paritsis, J.; Veblen, T. (2011) Dendroecological analysis of defoliator outbreaks on *Nothofagus pumilio* and their relation to climate variability in the Patagonian Andes. *Global Change Biology* 17: 239-253.
- Paritsis, J.; Quintero, C.; Kitzberger, T.; Veblen T. (2012) Mortality of the outbreak defoliator *Ormiscodes amphimone* (Lepidoptera: Saturniidae) caused by natural enemies in northwestern Patagonia, Argentina. *Revista Chilena de Historia Natural* 85: 113-122.
- Peltonen, M.; Liebhold, A.; Bjornstad, O.; Williams, D. W. (2002) Variation in spatial synchrony among forest insect species: roles of regional stochasticity and dispersal. *Ecology* 83: 3120-3129.
- Peterson, C. J. (2000) Catastrophic wind damage to North American forests and the potential impact of climate change. *Science of the Total Environment* 262: 287-311.
- Pickett, S. T. A.; White, P. S. (1985) *The Ecology of Natural Disturbance and Patch Dynamics*. Academic Press. San Diego, California, U.S.A., 472.
- Premoli, A. C. (2004) Variación en *Nothofagus pumilio* (Poepp. et Endl.) Krasser (lenga). En: Donoso, C.; Premoli, A. C.; Gallo, L.; Iliniza, R. (ed.). Variación intraespecífica en las especies arbóreas de los bosques templados de Chile y Argentina. Editorial Universitaria. Santiago de Chile, Chile, 145-166.
- Price, P (1991) The plant vigor hypothesis and herbivore attack. *Oikos* 62: 244-251.
- Primer Inventario Nacional de Bosques Nativos: Informe Regional Bosque Andino Patagónico (2007) Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. Buenos Aires, 84.
- Rebertus, A.; Veblen T. T. (1993) Structure and tree-fall gap dynamics of old-growth *Nothofagus* forests in Tierra del Fuego, Argentina. *Journal of Vegetation Science* 4: 641-654.
- Rebolledo, R.; Rojas, P.; Parra, L.; Angulo, A. (2006) Vuelo y abundancia estacional de los satúrnidos (Lepidoptera) del llano central de la novena región de la Araucanía, Chile. *Revista Chilena de Entomología*, 32: 31-36
- Rhodes, D. F. (1979) Evolution of plant chemical defense against herbivores. En: Rosenthal, G. A. y D. H. Janzen (eds). *Herbivores: their Interaction with Secondary Plant Metabolites*. Academic Press, New York, 4-48.
- Robinson, W. J.; Evans, R. (1980) A microcomputer-based tree-ring measuring system. *Tree-Ring Bulletin* 40: 59-64.
- Roig, F. A.; Anchorena, J.; Dollenz, O.; Faggi, A. M.; Méndez, E. (1985) Las comunidades vegetales de la Transecta Botánica de la Patagonia Austral. En: Boelcke, O.; Moore, D. M.; Roig, F. A. (ed.) *Transecta Botánica de la Patagonia Austral*. Conicet (Argentina) Instituto de la Patagonia (Chile) Royal Society (Gran Bretaña). Buenos Aires.
- Rusch, V. (1993) Altitudinal variation in the phenology of *Nothofagus pumilio* in Argentina. *Revista Chilena de Historia Natural* 66: 131-141.
- Santos Biloni, J. (1990). *Árboles autóctonos Argentinos*. Tipográfica Editora Argentina. Universidad de Texas, Texas, U.S.A., 335.

- Schulman, E. (1956) Dendroclimatic Change in Semiarid America. University of Arizona Press, Tucson, 142.
- CFS (Servicios Forestales Canadienses) (2007) The Mountain Pine Beetle Program. CFS, NRC, Headquarters, Ottawa, 10.
- Speer, J. H.; Swetnam, T. W.; Wickman, B. E.; Youngblood, A. (2001) Changes in Pandora moth outbreak dynamics during the past 622 years. *Ecology* 82: 670-697.
- Srur, A.; Villalba, R.; Villagra, P. E.; Hertel, D. (2008) Influencias de las variaciones en el clima y en la concentración de CO<sub>2</sub> sobre el crecimiento de *Nothofagus pumilio* en la Patagonia. *Revista Chilena de Historia Natural* 81: 239-256.
- Stokes, M. A.; Smiley, T. L. (1968) An Introduction to Tree-Ring Dating. University of Chicago Press, Chicago, 73.
- Suarez, M. L.; Ghermandi, L. (2004) Factors predisposing episodic drought-induced tree mortality in *Nothofagus* – site, climatic sensitivity and growth trends. *Journal of Ecology* 92: 954-966.
- Swetnam, T. W.; Thompson, M. A.; Sutherland, E. K. (1985) Using dendrochronology to measure radial growth of defoliated trees. USDA, *Forest Service agriculture handbooks*. 39.
- Swetnam, T. W.; Lynch, A. M. (1993) Multicentury, regional-scale patterns of western spruce budworm outbreaks. *Ecological Monographs* 63: 399-424.
- Swetnam, T. W.; Allen, C. D.; Betancourt, J. L. (1999) Applied historical ecology: Using the past to manage for the future. *Ecological Applications* 9: 1189-1206.
- Thompson, D. W. J.; Wallace, J. M.; Hegerl, G. C. (2000) Annular modes in the extratropical circulation. Part II: Trends. *Journal of Climate* 13: 1018-1036.
- Tkacz, B.; Moody, B.; Villa Castillo, J. (2007) Forest health status in North America. *The Scientific World Journal* 7: 28-36.
- Tortorelli, L. (1956) Maderas y bosques argentinos. Editorial ACME, SACI, Buenos Aires, 891.
- Turchin, P.; Wood, S. N.; Ellner, S. P.; Kendall, B. E.; Murdoch, W. W.; Fischlin, A.; Casas, J.; McCauley, E.; Briggs, C. J. (2003) Dynamical effects of plant quality and parasitism on population cycles of larch budmoth. *Ecology* 84: 1207-1214.
- Turner, M. G.; Baker, W. L.; Peterson, C. J.; Peet, R. K. (1998) Factors influencing succession: Lessons from large, infrequent natural disturbances. *Ecosystems* 1: 511-523.
- Veblen, T. T.; Hadley, K. S.; Nel, E. M.; Kitzberger, T.; Reid, M. S.; Villalba, R. (1994) Disturbance regime and disturbance interactions in a Rocky Mountains subalpine forest. *Journal Ecology* 82:125-135.
- Veblen, T. T.; Hadley, K. S.; Reid, M. S.; Rebertus, A. (1991) Methods of detecting past spruce beetle outbreaks in Rocky Mountain subalpine forests. *Canadian Journal of Forest Research* 21: 242-254.
- Vera, C.; Silvestri, G.; Liebmann, B.; Gonzalez, P. (2006) Climate change scenarios for seasonal precipitation in South America from IPCC-AR4 models. *Geophysical Research Letters*, 33, L13707, doi: 10.1029/2006GL025759.

- Villalba, R.; Lara, A.; Boninsegna, J. A.; Masiokas, M.; Delgado, S.; Aravena, J. C.; Roig, F.; Schmelter, A.; Wolodarsky, A.; Ripalta, A. (2003) Large-Scale Temperature Changes Across The Southern Andes: 20th-Century Variations In The Context Of The Past 400 Years. *Climatic Change* 59: 177-232.
- Villalba, R. (2002) Influencias climáticas en la dinámica forestal del ecotono bosque-estepa en el norte de Patagonia. En: Trombotto, D. T.; Villalba, R. (ed.). *Ianigla, 30 años de investigación básica y aplicada en ciencias ambientales*. Instituto Argentino De Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales. Mendoza, Argentina, 19-23.
- Villalba, R.; Masiokas, M.; Kitzberger, T.; Boninsegna, J. A. (2005) Biogeographical consequences of recent climate changes in the Southern Andes of Argentina. En: Huber, U.; Reasoner, M. (ed.) *Global Change and Mountain Regions*. Springer. Netherlands, 157-166.
- Villalba, R.; Lara, A.; Masiokas, M. H.; Urrutia, R.; Luckman, B. H.; Marshall, G. J.; Mundo, I. A.; Christie, D. A.; Cook, E.R.; Neukom, R.; Alle, A.; Fenwick, P.; Boninsegna, J. A.; Srur, A. M.; Morales, M.S.; Araneo, D.; Palmer, J. G.; Cuq, E.; Aravena, J. C.; Holz, A.; LeQuesne, C. (2012) Unusual Southern Hemisphere tree growth patterns induced by changes in the Southern Annular Mode. *Nature Geoscience*. DOI: 10.1038/NGEO1613.
- Westfall, J.; Ebata, T. (2008) 2007 summary of Forest health condition in British Columbia. Pest Management Report 15. British Columbia, Ministry of Forests and Range, Forest Practices Branch. Victoria, Columbia Británica, 81.
- White, T. C. (1969) An index to measure weather induced stress of trees associated with outbreaks of Psyllidae in Australia. *Ecology* 50: 905 - 909.
- Wigley, T. M. L.; Briffa, K. R.; Jones, P. D. (1984) On the average value of correlated time series, with applications in dendroclimatology and hydrometeorology. *Journal of Climate and Applied Meteorology* 23: 201-213.
- Zhang, Q. B.; Alfaro, R. I. (2003) Spatial synchrony of the two-year cycle budworm outbreaks in central British Columbia, Canada. *Oikos* 102:146-154.

## ANEXO

### Cronologías de Ancho de Anillos

En la figura 1 se presenta la cronología estándar del sitio Canigó, se expone el período 1843-2010 donde el número de muestras por año varía de 10 a 79 series. Los años 1915, 1938, 1948 y 1973 presentan valores inferiores a -2 DS. Además se presenta el estadístico R-Bar con valores entre 0,32 y 0,49 y el EPS (señal expresada de la población) toma valores de 0,87 a 0,98.

En la figura 2 se presenta la cronología estándar del sitio Aniversario, se expone el período 1750-2010 donde el número de muestras por año varía de 10 a 48 series. Los años 1846, 1896, 1897, 1912 y 1929 fueron inferiores a -2 DS. Además se presenta el estadístico R-Bar con valores entre 0,15 y 0,48 y el EPS toma valores de 0,73 a 0,97. La línea sólida vertical indica que a partir de 1820 la cronología es confiable ya que el EPS toma valores superiores a 0,85.

En la figura 3 se presenta la cronología estándar del sitio Aniversario 2, se expone el período 1876-2010 donde el número de muestras por año varía de 10 a 54 series. No se observan disminuciones en el crecimiento por debajo de -2 DS. Además se presenta el estadístico R-Bar con valores entre 0,31 y 0,39 y el EPS toma valores de 0,89 a 0,97.

En la figura 4 se presenta la cronología estándar del sitio Cerro Aniversario 3, se expone el período 1844-2010 donde el número de muestras por año varía de 10 a 50 series. Los años 1845, 1846, 1873, 1923, y 1931 inferiores a -2 DS. Además se presenta el estadístico R-Bar con valores entre 0,21 y 0,43 y el EPS toma valores de 0,92 a 0,97.

En la figura 5 se presenta la cronología estándar del sitio Cerro Aniversario 5, se expone el período 1817-2010 donde el número de muestras por año varía de 10 a

50 series. Los años 1822, 1830, 1831, 1844, 1845, 1846, 1873, 1923 y 1931 son presentaron valores inferiores a los -2 DS. Además se presenta el estadístico R-Bar con valores entre 0,21 y 0,60 y el EPS toma valores de 0,86 a 0,97.

En la figura 6 se presenta la cronología estándar del sitio Valle del Solo, se expone el período 1815-2010 donde el número de muestras por año varía de 10 a 35 series. Los años 1830, 1844, 1852, 1883, 1915, 1923, 1931 y 2003 presentan valores inferiores a los - 2 DS. Se presenta el estadístico R-Bar con valores entre 0,31 y 0,62 y el EPS toma valores de 0,73 a 0,98. La línea sólida vertical indica que a partir del 1830 se toma en cuenta la cronología ya que el EPS toma valores superiores a 0,85.

En la figura 7 se presenta la cronología estándar del sitio Laguna Madre e Hija, se expone el período 1793-2003 donde el número de muestras por año varía de 10 a 25 series. Los años 1814, 1821, 1843, 1844, 1850, 1851 y 2003 presentan valores inferiores a los -2 DS. Además se presenta el estadístico R-Bar con valores entre 0,25 y 0,68 y el EPS toma valores de 0,89 a 0,97.

En la figura 8 se presenta la cronología estándar del sitio Túnel Bosque Bajo, se expone el período 1875-2008 donde el número de muestras por año varía de 10 a 61 series. Los años 1880, 1883 y 1929 presenta valores inferiores a los -2 DS. Se presenta el estadístico R-Bar con valores entre 0,24 y 0,39 y el EPS toma valores de 0,83 a 0,97. La línea sólida vertical indica que a partir de 1890 la cronología es confiable ya que el EPS toma valores superiores a 0,85.

En la figura 9 se presenta la cronología estándar del sitio Túnel Bosque Medio, se expone el período 1794-2008 donde el número de muestras por año varía de 10 a 32 series. Los años 1821, 1829, 1837, 1844, 1915, 1923, 1957 y 2003 presentan valores inferiores a los -2 DS. Se presenta el estadístico R-Bar con valores entre 0,20 y 0,59 y el EPS toma valores de 0,89 a 0,97. La línea sólida vertical indica que a partir de 1810 la cronología es confiable ya que el EPS toma valores superiores a 0,85.

En la figura 10 se presenta la cronología estándar del sitio Pliegue Tumbado Bosque Bajo, se expone el período 1871-2008 donde el número de muestras por año

varía de 10 a 62 series. Los años 1880, 1882, 1885, 1999 y 2003 presentan valores inferiores a los - 2 DS. Además se presenta el estadístico R-Bar con valores entre 0,33 y 0,63 y el EPS toma valores de 0,95 a 0,98.

En la figura 11 se presenta la cronología estándar del sitio Torre, se expone el período 1707-2004 donde el número de muestras por año varía de 10 a 92 series. Los años 1821, 1831, 1851, 1953 y 2003 toman valores inferiores a -2 DS. Además se presenta el estadístico R-Bar con valores entre 0,19 y 0,41 y el EPS toma valores de 0,85 a 0,97. Estos estadísticos fueron calculados para períodos de 50 años con traslapos de 25 años.

En la figura 12 se presenta la cronología estándar del sitio Torre Norte, se expone el período 1748-2007 donde el número de muestras por año varía de 10 a 35 series. Los años 1765, 1771, 1815, 1821, 1844, 1851, 1877 y 1912 presentan valores inferiores a -2 DS. Se presenta el estadístico R-Bar con valores entre 0,18 y 0,47 y el EPS toma valores de 0,76 a 0,97. La línea sólida vertical indica que a partir del 1820 se toma en cuenta la cronología ya que el EPS toma valores superiores a 0,85.

En la figura 13 se presenta la cronología estándar del sitio Torre Sur, se expone el período 1760-2007 donde el número de muestras por año varía de 10 a 46 series. Los años 1765, 1766, 1821, 1844, 1851 presentan valores inferiores a -2 DS. Además se presenta el estadístico R-Bar con valores entre 0,19 y 0,52 y el EPS toma valores de 0,86 a 0,98.

En la figura 14 se presenta la cronología estándar del sitio Torre Morena 4, se expone el período 1780-2007 donde el número de muestras por año varía de 10 a 42 series. Los años 1808, 1831, 1852, 1941 y 2003 presentan valores inferiores a -2 DS. Además se presenta el estadístico R-Bar con valores entre 0,31 y 0,43 y el EPS toma valores de 0,85 a 0,97.

En la figura 15 se presenta la cronología estándar del sitio Los Huemules, se expone el período 1834-2008 donde el número de muestras por año varía de 10 a 122 series. Los años 1843, 1844, 1851, 1907 y 2005 presentan valores inferiores a -2 DS.

Se presenta el estadístico R-Bar con valores entre 0,18 y 0,45 y el EPS toma valores de 0,84 a 0,97. La línea sólida vertical indica que a partir del 1890 se toma en cuenta la cronología ya que el EPS toma valores superiores a 0,85.

En la figura 16 se presenta la cronología estándar del sitio Glaciar Huemul, se expone el período 1662-2004 donde el número de muestras por año varía de 10 a 105 series. Los años 1699, 1709, 1710, 1725, 1733, 1764, 1830, 1844, 1845, 1851 y 1885 presentan valores inferiores a -2 DS. Se presenta el estadístico R-Bar con valores entre 0,18 y 0,60 y el EPS toma valores de 0,81 a 0,98. La línea sólida vertical indica que a partir del 1680 se toma en cuenta la cronología ya que el EPS toma valores superiores a 0,85.

En la figura 17 se presenta la cronología estándar del sitio Chaltén Medio, se expone el período 1793-2003 donde el número de muestras por año varía de 10 a 104 series. Los años 1815, 1821, 1845, 1851, 1878, 1914, 1915, 1948, 1958 y 2003 presentan valores inferiores a -2 DS. Se presenta el estadístico R-Bar con valores entre 0,29 y 0,62 y el EPS toma valores de 0,92 a 0,99.

En la figura 18 se presenta la cronología estándar del sitio Chaltén Bajo, se expone el período 1832-2003 donde el número de muestras por año varía de 10 a 98 series. Los años 1882, 1944 y 1999 presentan valores inferiores a -2 DS. Además se presenta el estadístico R-Bar con valores entre 0,29 y 0,62 y el EPS toma valores de 0,87 a 0,98.

En la figura 19 se presenta la cronología estándar del sitio Chorrillo del Salto, se expone el período 1860-2003 donde el número de muestras por año varía de 10 a 73 series. Los años 1873, 1907 y 2003 presentan valores inferiores a -2 DS. Además se presenta el estadístico R-Bar con valores entre 0,30 y 0,65 y el EPS toma valores de 0,95 a 0,98.

En la figura 20 se presenta la cronología estándar del sitio Glaciar Piedras Blancas, se expone el período 1732-1998 donde el número de muestras por año varía de 10 a 43 series. Los años 1744, 1765, 1821, 1830, 1844, 1845 y 1851 presentan

valores inferiores a - 2 DS. Además se presenta el estadístico R-Bar con valores entre 0,21 y 0,45 y el EPS toma valores de 0,85 a 0,96.

En la figura 21 se presenta la cronología estándar del sitio Glaciar Marconi, se expone el período 1878-2003 donde el número de muestras por año varía de 10 a 36 series. El año 1891 presenta un valor inferior a - 2 DS. Además se presenta el estadístico R-Bar con valores entre 0,24 y 0,47 y el EPS toma valores de 0,87 a 0,94. Estos estadísticos fueron calculados para períodos de 50 años con traslapes de 25 años.

En la figura 22 se presenta la cronología estándar del sitio Glaciar Marconi Bosque Bajo, se expone el período 1847-2003 donde el número de muestras por año varía de 10 a 92 series. Los años 1882 y 1999 presentan valores inferiores a - 2 DS. Además se presenta el estadístico R-Bar con valores entre 0,30 y 0,60 y el EPS toma valores de 0,88 a 0,98.

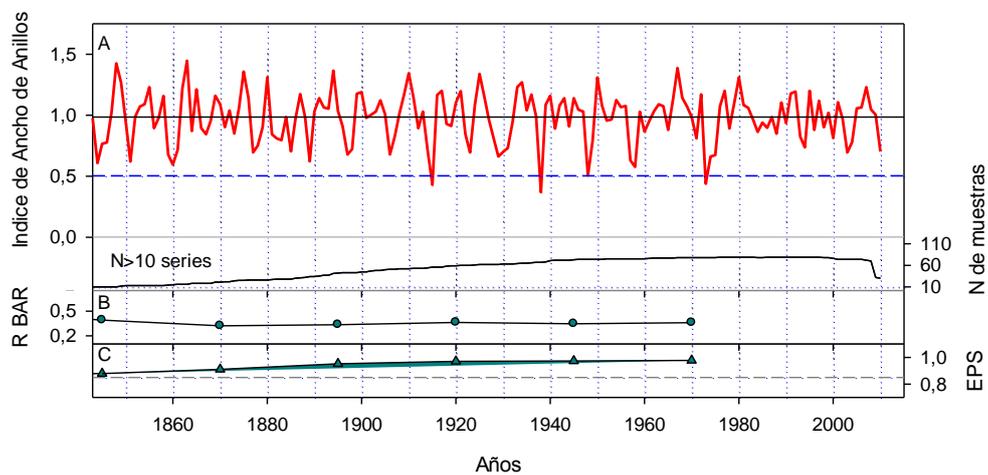
En la figura 23 se presenta la cronología estándar del sitio Valle Túnel, se expone el período 1743-2007 donde el número de muestras por año varía de 10 a 25 series. Los años 1744, 1821, 1837, 1851, 1852, 1883 y 1915 presentan valores inferiores a -2 DS. Además se presenta el estadístico R-Bar con valores entre 0,25 y 0,63 y el EPS toma valores de 0,89 a 0,96.

En la figura 24 se presenta la cronología estándar del sitio Laguna Cóndor, se expone el período 1848-2007 donde el número de muestras por año varía de 10 a 32 series. Los años 1891 y 1907 presentan valores inferiores a - 2 DS. Además se presenta el estadístico R-Bar con valores entre 0,22 y 0,45 y el EPS toma valores de 0,75 a 0,95. La línea sólida vertical indica que a partir del 1880 se toma en cuenta la cronología ya que el EPS toma valores superiores a 0,85.

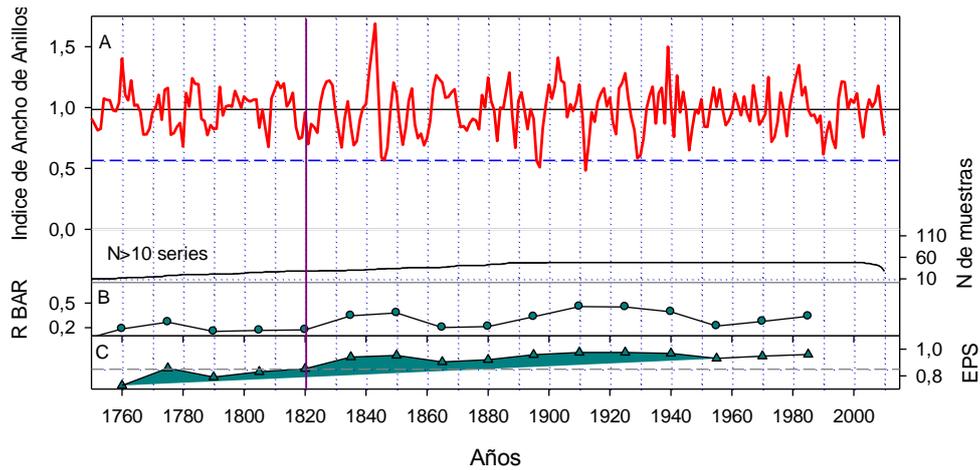
En la figura 25 se presenta la cronología estándar del sitio Ea María Alicia, se expone el período 1901-2007 donde el número de muestras por año varía de 10 a 63 series. Los años 1919 y 1929 presentan valores inferiores a - 2 DS. Además se

presenta el estadístico R-Bar con valores entre 0,17 y 0,47 y el EPS toma valores de 0,93 a 0,96.

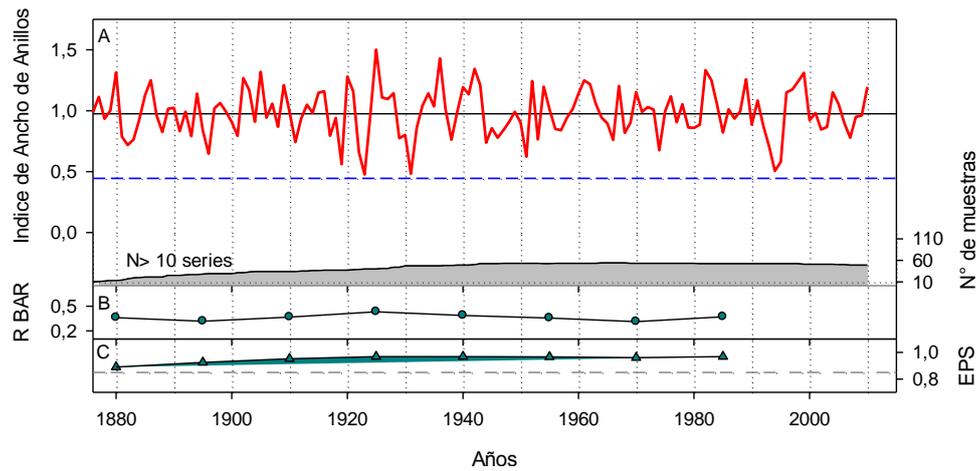
En la figura 26 se presenta la cronología estándar del sitio Pinchadura, se expone el período 1818-2007 donde el número de muestras por año varía de 10 a 34 series. Los años 1845 y 2005 presentan valores inferiores a - 2 DS. Además se presenta el estadístico R-Bar con valores entre 0,33 y 0,43 y el EPS toma valores de 0,87 a 0,96.



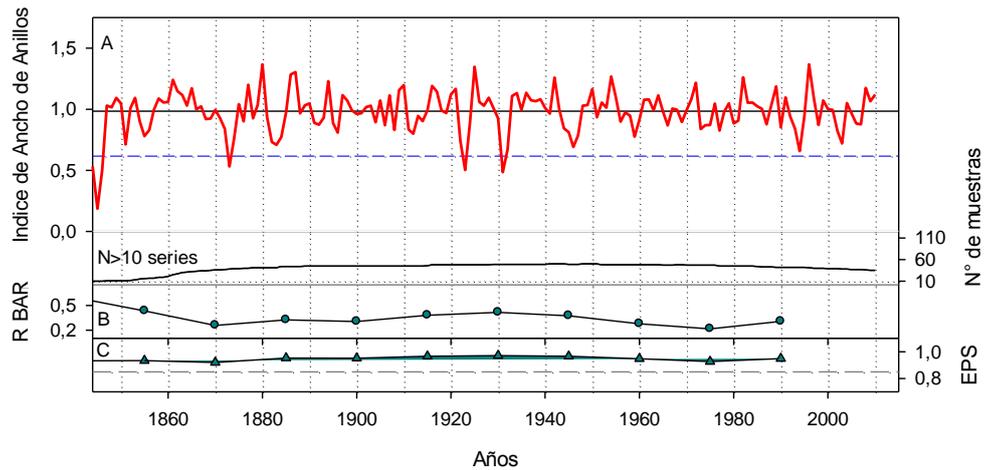
**Figura 1:** A) Cronología estándar de índice de ancho de anillos y número de muestras por año de *N. pumilio* del sitio Canigó. La línea azul segmentada representa los -2 DS. B y C) Variaciones temporales de los estadísticos R-Bar y EPS. La línea gris segmentada representa el valor de EPS de 0,85.



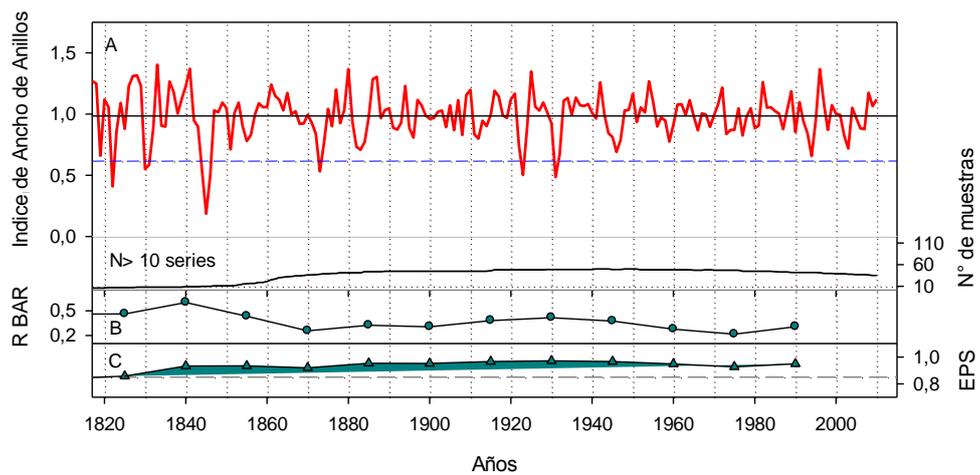
**Figura 2:** A) Cronología estándar de índice de ancho de anillos y número de muestras por año de *N. pumilio* del sitio Aniversario. La línea azul segmentada representa los -2 DS. B y C) Variaciones temporales de los estadísticos *R-Bar* y *EPS*. La línea sólida vertical indica el momento a partir del cual los valores de *EPS* son superiores a 0,85 y la línea segmentada el valor de *EPS* de 0,85.



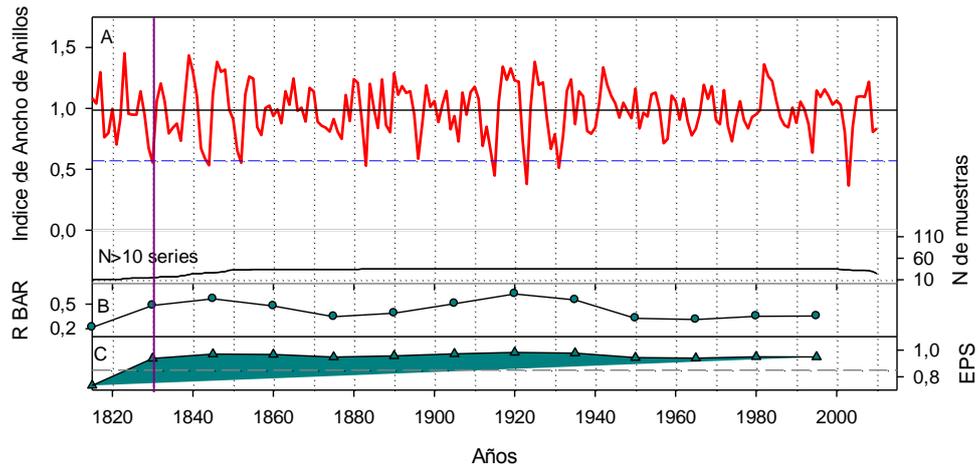
**Figura 3:** A) Cronología estándar de índice de ancho de anillos y número de muestras por año de *N. pumilio* del sitio Aniversario 2. La línea azul segmentada representa los -2 DS. B y C) Variaciones temporales de los estadísticos *R-Bar* y *EPS*. La línea segmentada representa el valor de *EPS* de 0,85.



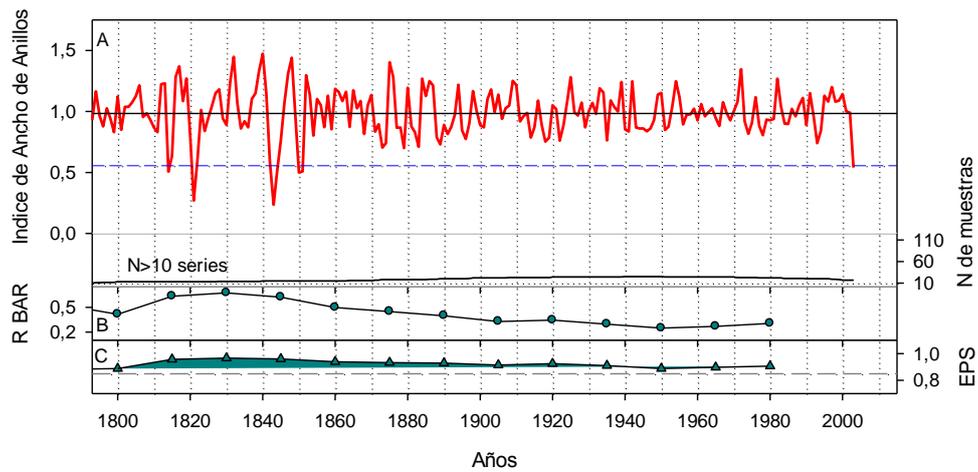
**Figura 4:** A) Cronología estándar de índice de ancho de anillos y número de muestras por año de *N. pumilio* del sitio Aniversario 3. La línea azul segmentada representa los -2 DS. B y C) Variaciones temporales de los estadísticos *R-Bar* y *EPS*. La línea segmentada representa el valor de *EPS* de 0,85.



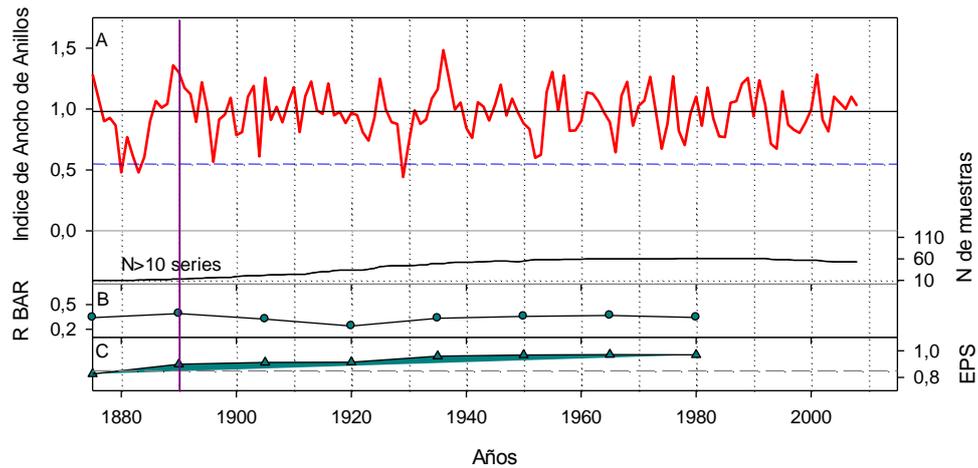
**Figura 5:** A) Cronología estándar de índice de ancho de anillos y número de muestras por año de *N. pumilio* del sitio Aniversario 5. La línea azul segmentada representa los -2 DS. B y C) Variaciones temporales de los estadísticos *R-Bar* y *EPS*. La línea segmentada representa el valor de *EPS* de 0,85.



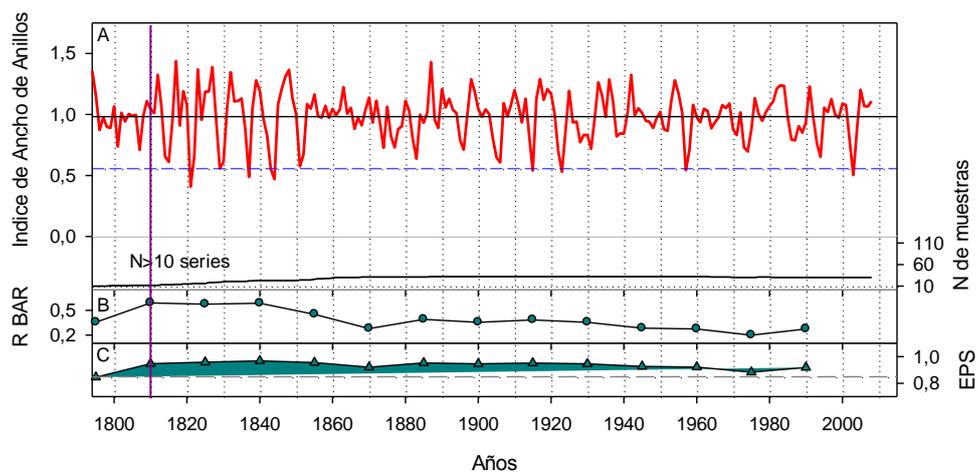
**Figura 6:** A) Cronología estándar de índice de ancho de anillos y número de muestras por año de *N. pumilio* en el sitio Valle del Solo. La línea azul segmentada representa los -2 DS. B y C) Variaciones temporales de los estadísticos *R-Bar* y *EPS*. La línea sólida vertical indica el momento a partir del cual los valores de *EPS* son superiores a 0,85 y la línea segmentada el valor de *EPS* de 0,85.



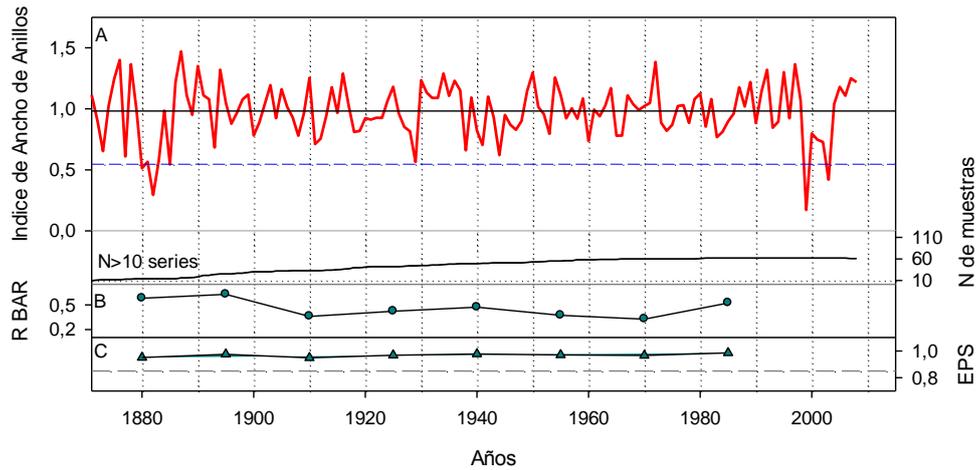
**Figura 7:** A) Cronología estándar de índice de ancho de anillos y número de muestras por año de *N. pumilio* en el sitio Laguna Madre e Hija. La línea azul segmentada representa los -2 DS. B y C) Variaciones temporales de los estadísticos *R-Bar* y *EPS*. La línea segmentada representa el valor de *EPS* de 0,85.



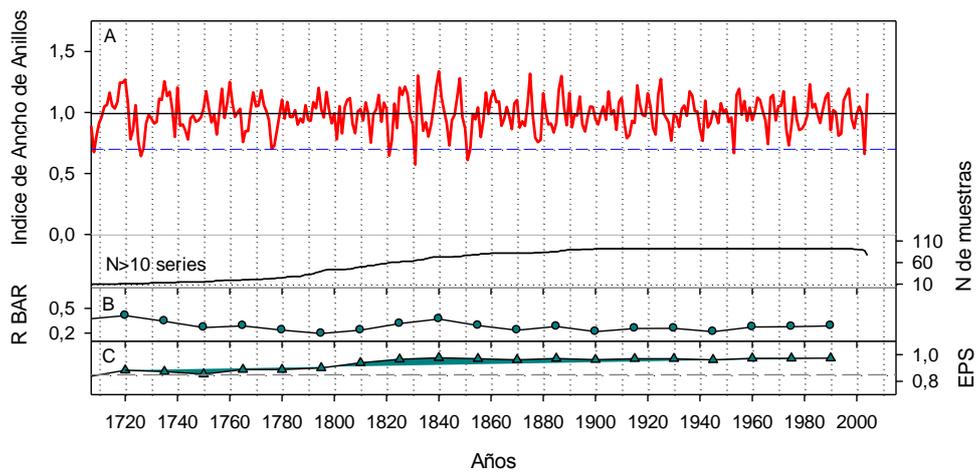
**Figura 8:** A) Cronología estándar de índice de ancho de anillos y número de muestras por año de *N. pumilio* en el sitio Túnel Bosque Bajo. La línea azul segmentada representa los -2 DS. B y C) Variaciones temporales de los estadísticos *R-Bar* y *EPS*. La línea sólida vertical indica el momento a partir del cual los valores de *EPS* son superiores a 0,85 y la línea segmentada el valor de *EPS* de 0,85.



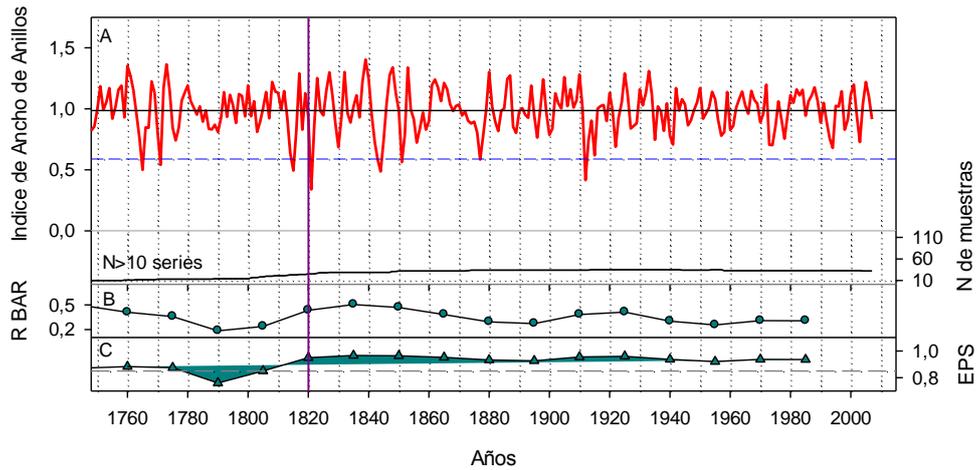
**Figura 9:** A) Cronología estándar de índice de ancho de anillos y número de muestras por año de *N. pumilio* en el sitio Túnel Bosque Medio. La línea azul segmentada representa los -2 DS. B y C) Variaciones temporales de los estadísticos *R-Bar* y *EPS*. La línea sólida vertical indica el momento a partir del cual los valores de *EPS* superiores a 0,85 y la línea segmentada el valor de *EPS* de 0,85.



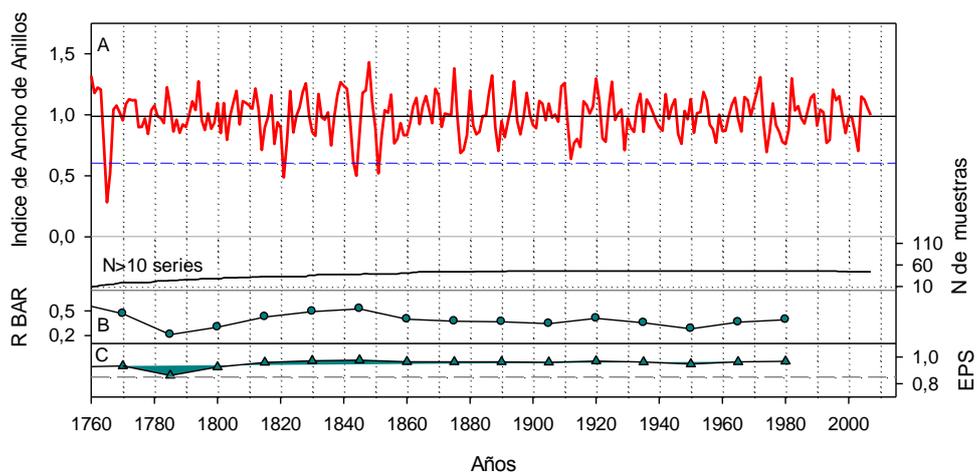
**Figura 10:** A) Cronología estándar de índice de ancho de anillos y número de muestras por año de *N. pumilio* en el sitio del Pliegue Tumbado Bosque Bajo. La línea azul segmentada representa los -2 DS. B y C) Variaciones temporales de los estadísticos *R-Bar* y *EPS*. La línea segmentada representa el valor de *EPS* de 0,85.



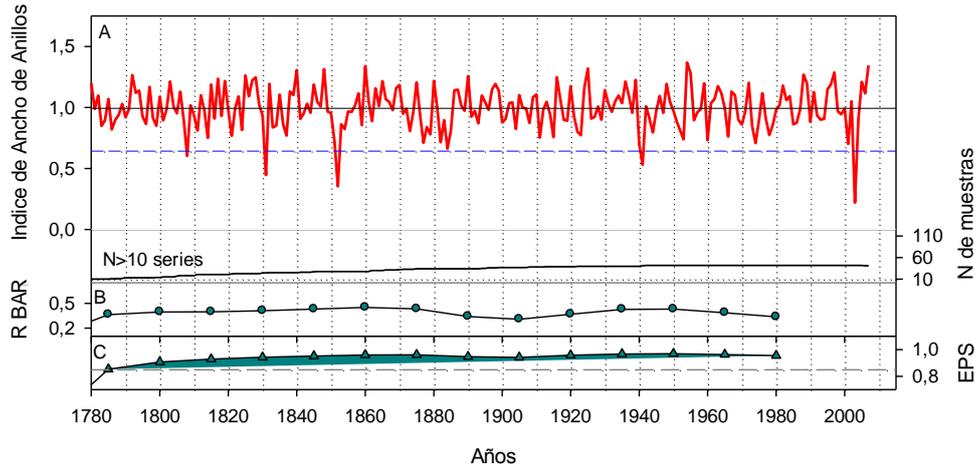
**Figura 11:** A) Cronología estándar de índice de ancho de anillos y número de muestras por año de *N. pumilio* en el sitio Torre. La línea azul segmentada representa los -2 DS. B y C) Variaciones temporales de los estadísticos *R-Bar* y *EPS*. La línea segmentada representa el valor de *EPS* de 0,85.



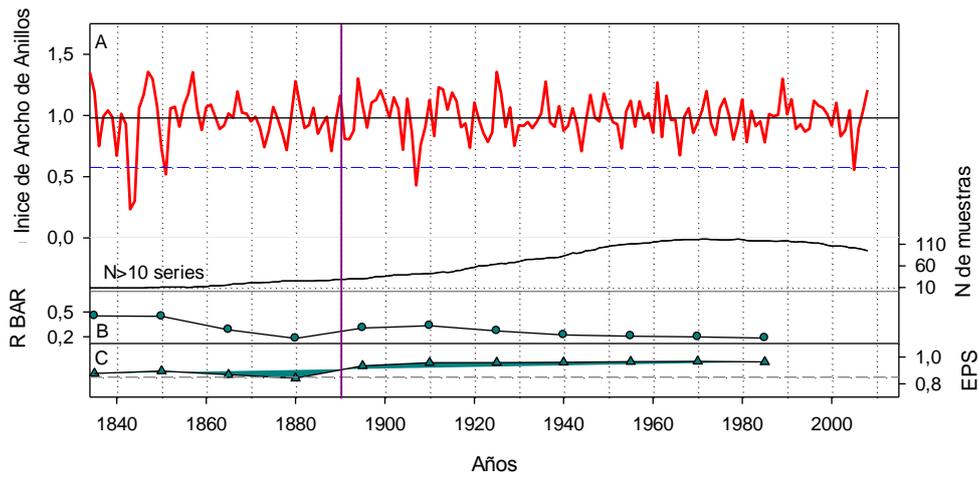
**Figura 12:** A) Cronología estándar de índice de ancho de anillos y número de muestras por año de *N. pumilio* en el sitio Torre Norte. La línea azul segmentada representa los -2 DS. B y C) Variaciones temporales de los estadísticos *R-Bar* y *EPS*. La línea sólida vertical indica el momento a partir del cual los valores de *EPS* son superiores a 0,85 y la línea segmentada el valor de *EPS* de 0,85.



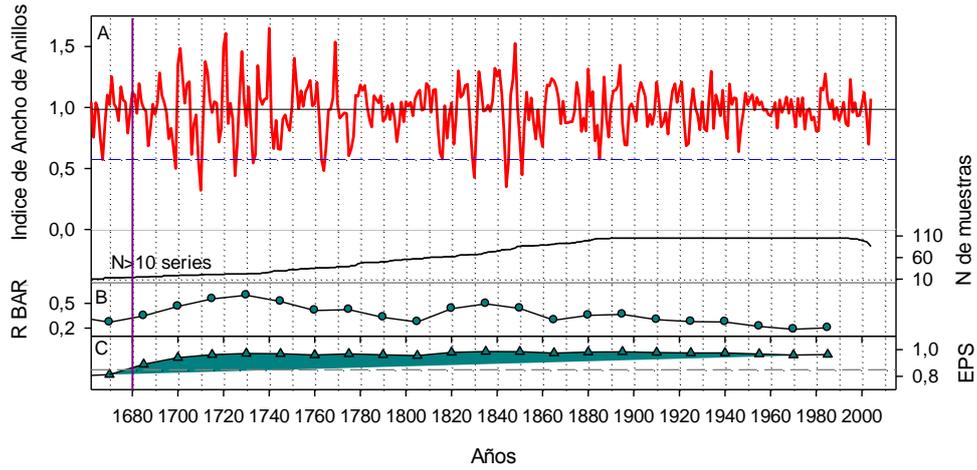
**Figura 13:** A) Cronología estándar de índice de ancho de anillos y número de muestras por año de *N. pumilio* en el sitio Torre Sur. La línea azul segmentada representa los -2 DS. B y C) Variaciones temporales de los estadísticos *R-Bar* y *EPS*. La línea segmentada representa el valor de *EPS* de 0,85.



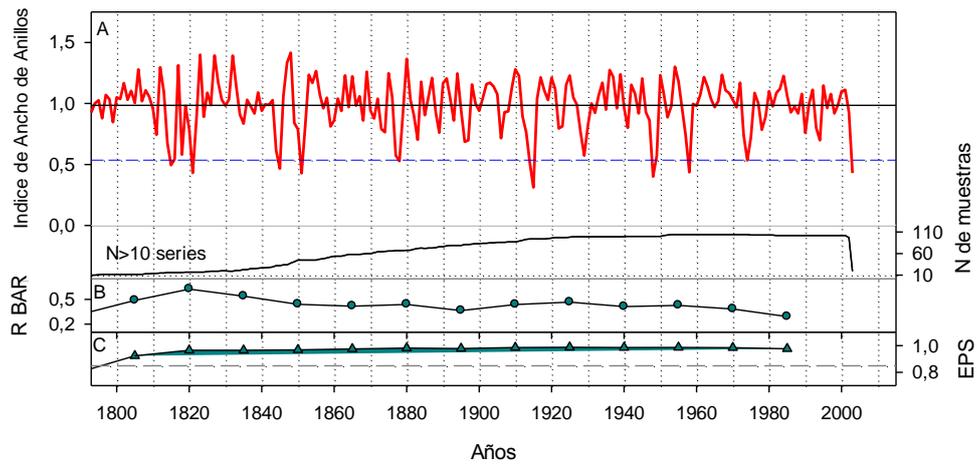
**Figura 14:** A) Cronología estándar de índice de ancho de anillos y número de muestras por año de *N. pumilio* en el sitio Torre Morena 4. La línea azul segmentada representa los -2 DS. B y C) Variaciones temporales de los estadísticos *R-Bar* y *EPS*. La línea segmentada representa el valor de *EPS* de 0,85.



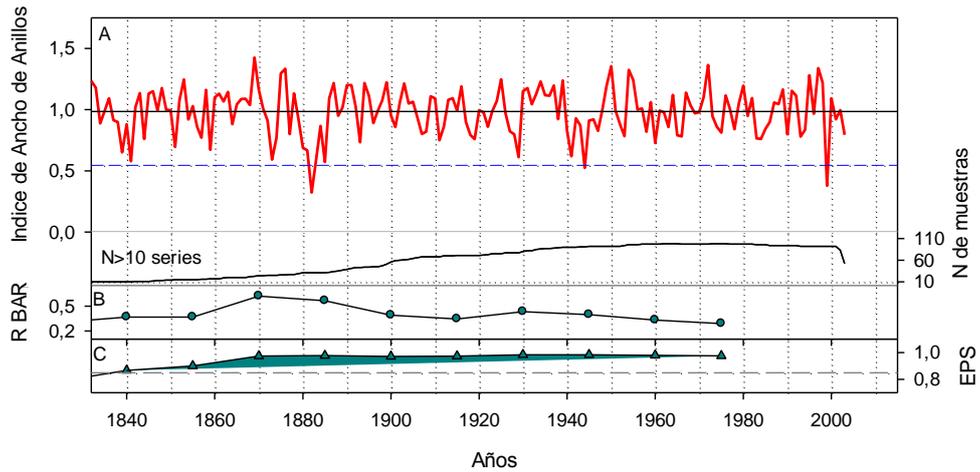
**Figura 15:** A) Cronología estándar de ancho de anillos y número de muestras por año de *N. pumilio* en el sitio Los Huelmules. La línea azul segmentada representa los -2 DS. B y C) Variaciones temporales de los estadísticos *R-Bar* y *EPS*. La línea sólida vertical indica el momento a partir del cual los valores de *EPS* son superiores a 0,85 y la línea segmentada el valor de *EPS* de 0,85.



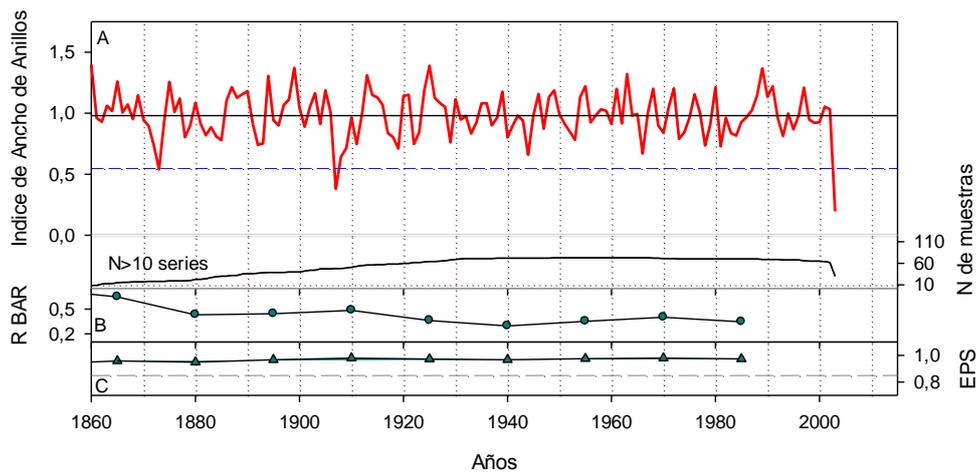
**Figura 16:** A) Cronología estándar de ancho de anillos y número de muestras por año de *N. pumilio* en el sitio Glaciar Huelmo. La línea azul segmentada representa los -2 DS. B y C) Variaciones temporales de los estadísticos *R-Bar* y *EPS*. La línea sólida vertical indica el momento a partir del cual los valores de *EPS* son superiores a 0,85 y la línea segmentada el valor de *EPS* de 0,85.



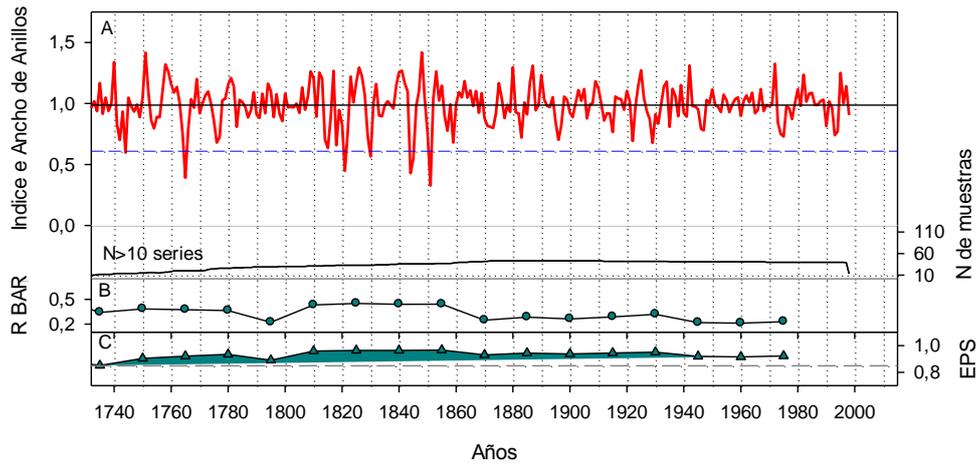
**Figura 17:** A) Cronología estándar de índice de ancho de anillos de y número de muestras por año *N. pumilio* en el sitio Chaltén Medio. La línea azul segmentada representa los -2 DS. B y C) Variaciones temporales de los estadísticos *R-Bar* y *EPS*. La línea segmentada representa el valor de *EPS* de 0,85.



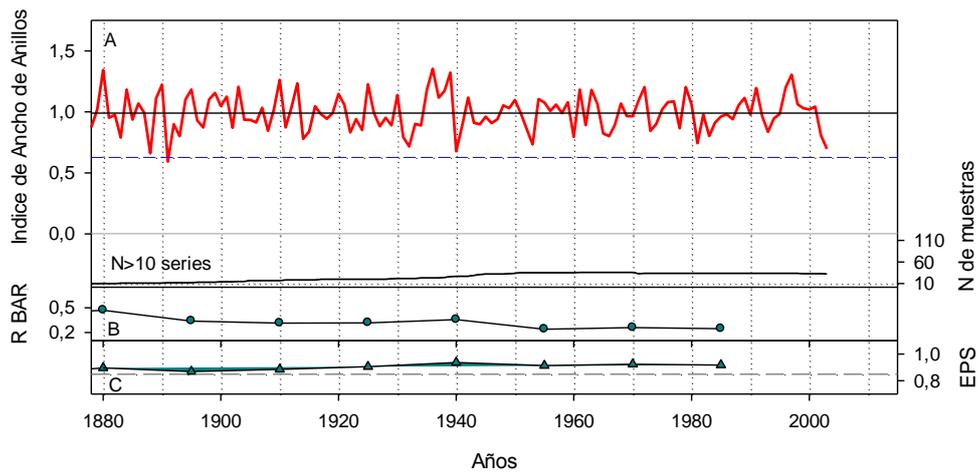
**Figura 18:** A) Cronología estándar de índice de ancho de anillos y número de muestras por año de *N. pumilio* en el sitio Chaltén Bajo. La línea azul segmentada representa los -2 DS. B y C) Variaciones temporales de los estadísticos *R-Bar* y *EPS*. La línea segmentada representa el valor de *EPS* de 0,85.



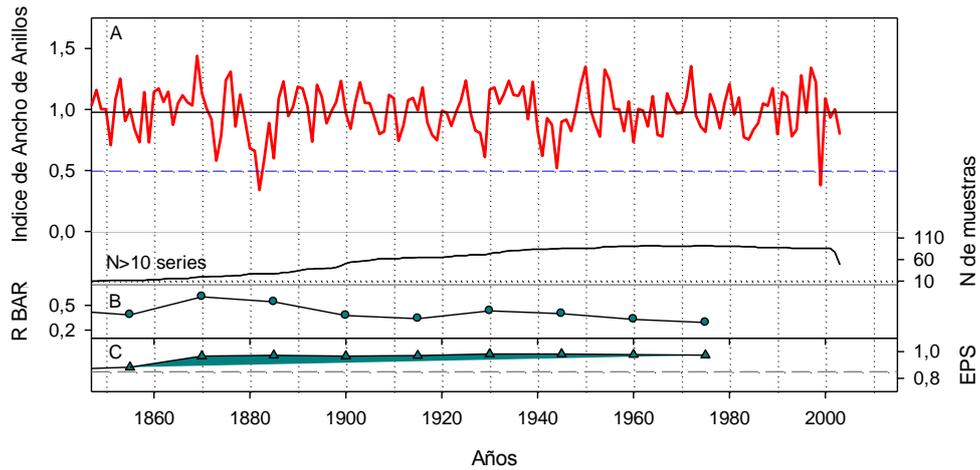
**Figura 19:** A) Cronología estándar de índice de ancho de anillos y número de muestras por año de *N. pumilio* en el sitio Chorrillo del Salto. La línea azul segmentada representa los -2 DS. B y C) Variaciones temporales de los estadísticos *R-Bar* y *EPS*. La línea segmentada representa el valor de *EPS* de 0,85.



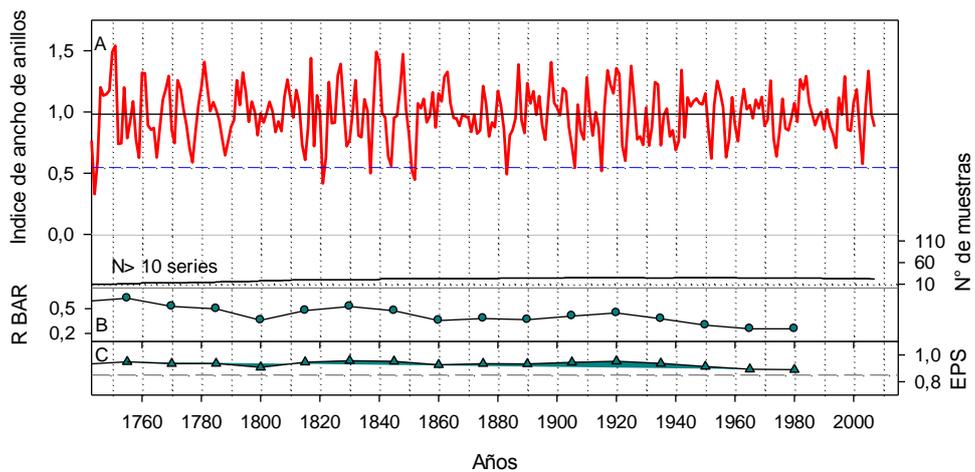
**Figura 20:** A) Cronología estándar de índice de ancho de anillos de *N. pumilio* en el sitio Glaciar Piedras Blancas y número de muestras por año. La línea azul segmentada representa los -2 DS. B y C) Variaciones temporales de los estadísticos *R-Bar* y *EPS*. La línea segmentada representa el valor de *EPS* de 0,85.



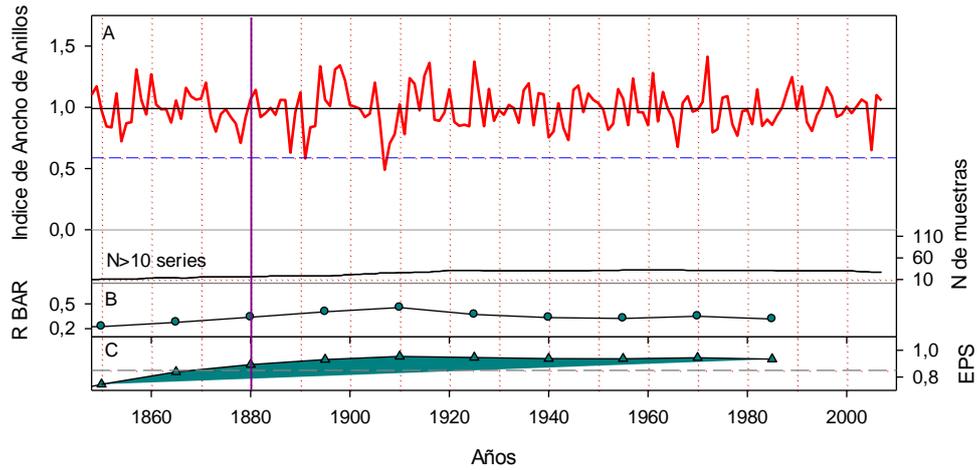
**Figura 21:** A) Cronología estándar de ancho de anillos y número de muestras por año de *N. pumilio* en el sitio Glaciar Marconi. La línea azul segmentada representa los -2 DS. B y C) Variaciones temporales de los estadísticos *R-Bar* y *EPS*. La línea segmentada representa el valor de *EPS* de 0,85.



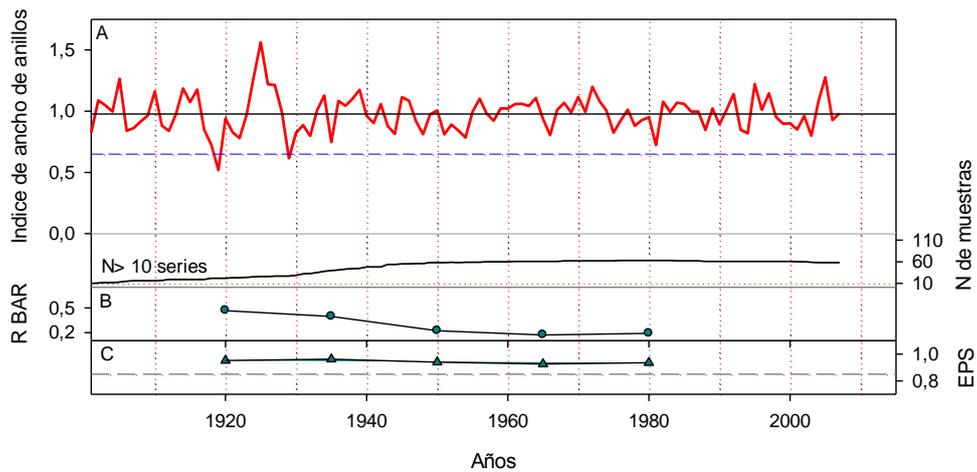
**Figura 22:** A) Cronología estándar de índice de ancho de anillos y número de muestras por año de *N. pumilio* en el sitio Glaciar Marconi Bosque Bajo. La línea azul segmentada representa los -2 DS. B y C) Variaciones temporales de los estadísticos *R-Bar* y *EPS*. La línea segmentada representa el valor de *EPS* de 0,85.



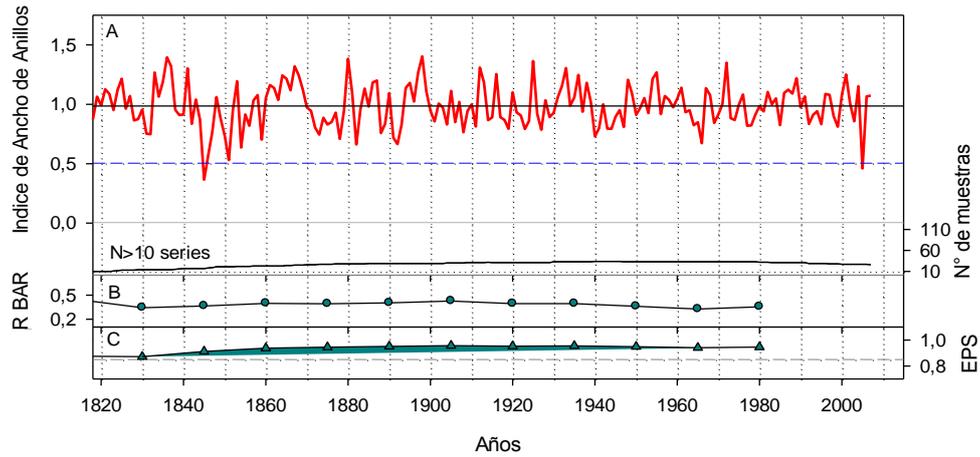
**Figura 23:** A) Cronología estándar de índice de ancho de anillos y número de muestras por año de *N. pumilio* en el sitio Valle Túnel (TBM). La línea azul segmentada representa los -2 DS. B y C) Variaciones temporales de los estadísticos *R-Bar* y *EPS*. La línea segmentada representa el valor de *EPS* de 0,85.



**Figura 24:** A) Cronología est6ndar de 6ndice de ancho de anillos y n6mero de muestras por a6o de *N. pumilio* en el sitio Laguna C6ndor. La l6nea azul segmentada representa los -2 DS. B y C) Variaciones temporales de los estad6sticos *R-Bar* y *EPS*. La l6nea s6lida vertical indica el momento a partir del cual los valores de *EPS* son superiores a 0,85 y la l6nea segmentada el valor de *EPS* de 0,85.



**Figura 25:** A) Cronolog6a est6ndar de 6ndice de ancho de anillos y n6mero de muestras por a6o de *N. pumilio* en el sitio Estancia Mar6a Alicia. La l6nea azul segmentada representa los -2 DS. B y C) Variaciones temporales de los estad6sticos *R-Bar* y *EPS*. La l6nea segmentada representa el valor de *EPS* de 0,85.



**Figura 26:** A) Cronología estándar de índice de ancho de anillos y número de muestras por año de *N. pumilio* en el sitio Pinchadura. La línea azul segmentada representa los -2 DS. B y C) Variaciones temporales de los estadísticos *R-Bar* y *EPS*. La línea segmentada representa el valor de *EPS* de 0,85.

## Fechas de eventos de disminución de crecimiento y probables ataques de insectos

La Tabla 1 está conformada por las fechas de los eventos de disminuciones de crecimiento en bosques de *N. pumilio* en la región de El Chaltén-Lago del Desierto. En la Tabla 2 y 3 figuran las fechas de los eventos de ataque de *Ormiscodes amphimone* en uno o más sitios y los eventos ocurridos en 2, 3 y 4 sitios, respectivamente.

Tabla 2: Disminuciones de crecimiento en las cronologías locales de ancho de anillos.

Sitio	Uno o más sitios										
Glaciar Huemul	1699	1709	1710	1725	1733	1764	1830	1844	1845	1851	1885
Huemules	1843	1844	1851	1907	2005						
Glaciar Marconi	1891										
Glaciar Marconi Bajo	1882	1999									
Chorrillo del Salto	1873	1907	2003								
Canigó	1915	1938	1948	1973							
Cerro Aniversario	1846	1896	1897	1912	1929						
C° Aniversario 2											
C° Aniversario 3	1845	1846	1873	1923	1931						
C° Aniversario 5	1822	1830	1831	1844	1845	1846	1873	1923	1931		
Laguna Madre e hija	1814	1821	1843	1844	1850	1851	2003				
C° Torre	1821	1831	1851	1953	2003						
C° Torre Norte	1765	1771	1815	1821	1844	1851	1877	1912			
C° Torre Morena 4	1808	1831	1852	1941	2003						
C° Torre Sur	1765	1766	1821	1844	1851						
Glaciar Piedras Blancas	1744	1765	1821	1830	1844	1845	1851				
Pliegue Bosque Bajo	1880	1882	1885	1999	2003						
Valle del Solo	1830	1844	1852	1883	1915	1923	1931	2003			
Valle Túnel Medio	1821	1829	1837	1844	1915	1923	1957	2003			
Valle Túnel Bajo	1880	1883	1929								
Valle Túnel	1744	1821	1837	1851	1852	1883	1915				
Ea María Alicia	1919	1929									
Laguna Cóndor	1891	1907									
Pinchadura	1845	2005									
Chaltén Medio	1815	1821	1845	1851	1878	1914	1915	1948	1958	2003	
Chaltén Bajo	1882	1944	1999								

Tabla 3: Fechas de ataques de *O. amphimone* en cada sitio.

Sitio	Uno o más sitios									
Glaciar Huemul	1763									
Huemules	1907	2005								
Glaciar Marconi	1891									
Glaciar Marconi Bajo	1880	1882	1944	1999						
Chorrillo del Salto	1907	2003								
Canigó	1860	1938	1948	1973						
Aniversario	1897	1912								
Aniversario 2	1995									
Aniversario 3	1923	1931								
Aniversario 5	1930									
Laguna Madre e hija	1842	1843	1850							
Torre	1831									
Torre Norte	1771	1815	1875	1912						
Torre Morena 4	1808	1831	1852	2001	2003					
Torre Sur	1980									
Glaciar Piedras Blancas	1754	1845	1851							
Pliegue Bosque Bajo	1880	1882	1999							
Valle del Solo	1923	1931								
Túnel Medio	1837	1905	1957							
Túnel Bajo	1880									
Valle Túnel	1758	1759	1837	1852	1905					
Ea. María Alicia	1919	1954								
Laguna Cóndor	1891	1907	2005							
Pinchadura	2005									
Chaltén Medio	1816	1840	1845	1878	1914	1915	1948	1949	1958	
Chaltén Bajo	1880	1882	1944	1999						

Tabla 4: Fechas de ataques por *O. amphimone* en 2, 3 y 4 sitios

Dos o más sitios	Tres o más sitios	Cuatro sitios
1831	1880	1880
1837	1882	
1845	1907	
1852	1999	
1880	2005	
1882		
1891		
1905		
1907		
1912		
1923		
1931		
1944		
1948		
1999		
2003		
2005		