

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO FORESTAL



Reconstrucción de Avenidas Torrenciales en Los Picos de Davis, Múzquiz, Coahuila,
con Base en los Crecimientos de *Pinus ponderosa Douglas ex C. Lawson*

Por:

WENDI SÁNCHEZ ASUNCIÓN

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Saltillo, Coahuila, México

Junio de 2019

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO FORESTAL

Reconstrucción de Avenidas Torrenciales en Los Picos de Davis, Múzquiz,
Coahuila, con Base en los Crecimientos de *Pinus ponderosa Douglas ex C.*
Lawson

Por:

WENDI SÁNCHEZ ASUNCIÓN

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de

INGENIERO FORESTAL

Aprobada por el Comité de Asesoría:



Dr. Eladio H. Cornejo Oviedo
Asesor Principal Interno



Dr. Julián Cerano Paredes
Asesor Principal Externo



Dr. Celestino Flores López
Coasesor



Dr. Osvaldo Franco Ramos
Coasesor



Dr. Gabriel Gallegos Morales
Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México

Junio de 2019

DEDICATORIA

A mi madre **Francisca Asunción Montaña**

A ti, gracias por darme la vida, por darme tu amor infinito, por ser ese ejemplo de mujer fuerte ante las adversidades. Te agradezco por el apoyo económico y emocional, porque en esas ocasiones en las que dejaba de creer en mí, solo bastaba el poder de tus palabras para sentirme mejor, para motivarme y seguir luchando por cumplir mis metas. Gracias por formarme con amor, principios y valores. Especialmente por haberme inculcado la importancia de la educación, gracias ello estoy en el lugar de ahora. Y por ello te dedico este logro.

A mi padre **Mario Sánchez Pérez**

A ti, gracias por el apoyo incondicional, económico y emocional, por los regaños que me hicieron darme cuenta de que siempre estarás para mí, por tu protección, te agradezco por no dejarme sola durante esta etapa tan importante en mi vida profesional, sin tu apoyo esto no se habría podido llevar a cabo. También Gracias por formarme con amor, principios y valores. Gracias por acercarme a la agronomía, por ello te dedico este logro.

A mis hermanos **Dalia Sánchez Asunción y Mario Sánchez Asunción**

A ustedes, les dedico este logro, porque siempre han estado conmigo y para mí. Gracias por el apoyo y por el cariño que me brindan, por los momentos, los consejos y por el aprendizaje que hemos tenido juntos, por animarme a salir adelante en la vida. Gracias por soportar el hecho de haberme alejado de ustedes cuando ingrese a la universidad y por entender que es por el bien de mi vida a largo tiempo. Ustedes fueron mi razón para superarme profesionalmente, porque quiero ser un ejemplo para ustedes.

A mis abuelos: **Emilia, Enrique, Cuberta y Raúl** les dedico este logro, porque siempre estuvieron al pendiente de mí, que no me faltara nada, por formar a esos hijos que tengo como padres, Gracias.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue posible gracias a los fondos fiscales de INIFAP a través del proyecto “Reconstrucción de la frecuencia histórica de incendios y caracterización de las cargas de combustible en ecosistemas forestales del norte-centro de México”.

A Dios

Te agradezco por darme y guiarme en este camino de la vida, por el hecho de protegerme cuando me sentía en peligro y por haberme alejado del mal en todo momento. Gracias por la fe que me has hecho tener, por darme paz, calma, serenidad y amor que necesitaba en esos momentos de angustia, porque me permitió resolver problemas que sentía imposibles y por darme la bendición de culminar esta meta tan importante en mi vida profesional. En ti confié.

A mi “**Alma Terra Mater**” UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

Por abrirme las puertas para recibir una formación académica, por ser mi segunda casa, por ser una universidad de excelencia, por brindarme los servicios e instalaciones, que me hicieron posible avanzar y concluir mis estudios universitarios.

Al **Dr. Eladio H. Cornejo Oviedo** con admiración y reconocimiento, gracias apoyar con la formación de profesionistas en la UAAAN, especialmente por el apoyo incondicional que me brindó, agradezco por su tiempo y dedicación para lograr una meta más, por estar siempre al pendiente de los procedimientos y percances que se presentaban en el desarrollo de este estudio.

Al **Dr. Julián Cerano Paredes** con respeto y admiración, gracias por recibirme amablemente en el laboratorio del INIFAP, por la enseñanzas, por su asesoría, por las sugerencias, por la paciencia, y su tiempo para la elaboración de este estudio. También por su hospitalidad y confianza, Gracias.

Al **Dr. Osvaldo Franco Ramos** con respeto y admiración, Gracias por compartir sus conocimientos, por su asesoría y apoyo durante mi estancia en la Facultad de Geografía de la UNAM, por sus sugerencias y comentarios que fueron de gran importancia para elaboración de este trabajo.

A **Dr. Celestino Flores López** con respeto y admiración, Gracias por su tiempo, el apoyo, sus comentarios, sugerencias que ayudaron a que realizará un mejor trabajo.

A la **M.C. Rosalinda Cervantes**, por guiarme en el trabajo de laboratorio, por sus enseñanzas, por su paciencia, su amabilidad, confianza y por aconsejarme siempre. Gracias.

A la **M. C. Vicenta Constante García**, Por abrirme las puertas de su casa, por su hospitalidad, por brindarme confianza, por su amabilidad, por esas palabras de ánimo, por todo su apoyo, gracias.

Al M.C. Gerardo Esquivel Arriaga

Gracias por compartirme sus conocimientos de sistemas de información geográfica, que enriquecieron este trabajo, gracias.

A Juvencio Torres Valdovinos

Por el apoyo incondicional, por las palabras de ánimo, por el tiempo que me ayudaron en el camino para lograr esta meta, Gracias.

A mis **compañeros y amigos** Emanuel, Alexis, Alejandro, Jesús, Eduardo, Claudia, Blanca, Efraín, José Luis, Edgar, Otoniel, Santiago y especialmente a Liliana Sanchez

Gracias por ser parte en mi vida universitaria, por todos los recuerdos son incomparables, los momentos, la diversión. Le doy gracias a Dios por haberlos conocidos, siempre los recordaré.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE CUADROS	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	iv
RESUMEN	vi
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos	5
1.2 Hipótesis	6
2 MATERIALES Y MÉTODOS	7
2.1 Descripción de área de estudio.....	7
2.1.1 Fisiografía	8
2.1.2 Hidrología	8
2.1.3 Geología	8
2.1.3 Edafología.....	9
2.1.4 Clima.....	9
2.1.5 Vegetación.....	10
2.2 Etapa de campo.....	10
2.2.1 Diseño de muestreo.....	10
2.2.2 Recolección de muestras en campo	11
2.3 Etapa de laboratorio.....	12
2.3.1 Preparación de muestras.....	12
2.3.2 Pre-fechado de muestras.....	12
2.3.3 Medición y calidad del fechado	13
2.3.4 Detección y datación de eventos dendrogeomorfológicos.....	14
2.4 Recopilación de información climatológica histórica	18
3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	20

3.1 Cronología de anillos de árboles.....	20
3.2 Comportamiento evento-respuesta	22
3.3 Reconstrucción de flujos de escombros.....	28
3. 4 Influencia de huracanes en avenidas torrenciales	30
4 CONCLUSIONES.....	37
5 RECOMENDACIONES	39
6 REFERENCIAS.....	39
7 ANEXOS	45

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Categorización de la intensidad del disturbio de acuerdo con Kogelnig-Mayer et al. (2011). La intensidad comprende cinco clases de menor (1) a mayor (5), y se clasifica en cuatro categorías débil (Tw), moderada (Tm), fuerte (Ts), y muy fuerte (Ti); estas categorías se agrupan en dos tipos: (1) las alteraciones en crecimiento (se clasifican de acuerdo al porcentaje de ancho del anillo y duración del disturbio en años) que incluye débiles (Tw), moderadas (Tm), fuertes (Ts); y (2) las lesiones físicas externas en el árbol, muy fuerte (Ti).	16
Cuadro 2. Tipo, número, y porcentaje de disturbio encontrados en los anillos de crecimientos de <i>Pinus ponderosa</i> en dos cañones de la montaña Los Picos de Davis.	23
Cuadro 3. Intensidad de los tipos de disturbios de menor (1) a mayor (5) y su posición intra-anual en el anillo en la montaña Los Picos de Davis, Múzquiz, Coahuila.	25
Cuadro 4. Flujos de escombros identificados mediante métodos dendrogeomorfológicos en los cañones de Los Picos de Davis, Múzquiz, Coahuila; y su relación con huracanes y lluvias torrenciales.....	31

ÍNDICE DE FIGURAS

Página

Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio Los Picos de Davis, Múzquiz, Coahuila, México..... 7

Figura 2. Árbol en centro del Cañón del Oso en la montaña Los Picos de Davis con indicio macroscópico y potencial para detectar eventos de avenidas torrenciales (flujos de escombros) (a), árbol con disturbio dendrogeomorfológico: descortezado por impacto de carga sólida de la corriente (b), y cuña con cicatriz por impacto de roca una vez preparada para su análisis (c)..... 11

Figura 3. Zonas de crecimiento dentro de un anillo de *Larix decidua* y temporización estacional de eventos de flujos de escombros y avalanchas de nieve. Los flujos de escombros causan disturbios en (LE, EL, LL, por sus siglas en inglés). (EE) etapa temprana, (ME) etapa media y (LE) etapa final corresponden a la madera temprana (EW); mientras que (EL) etapa temprana y (LL) etapa tardía corresponden a la madera tardía (LW) del anillo, (D) etapa de dormancia. (Tomada de Stoffel *et al.*, 2006). 17

Figura 4. Series de ancho de anillos de *Pinus ponderosa* en los cañones de Los Picos de Davis, Múzquiz, Coahuila. (La serie promedio indicada en color rojo y las series de cada muestra se indican en color negro). 22

Figura 5. Ejemplo de la posición intra-anual de una cicatriz como evidencia dendrogeomorfológica causada por flujos de escombros en *Pinus ponderosa* en los Cañones Los Picos de Davis. A) Cicatriz producida por impacto registrada al final de la madera tardía en el año 2003; B) cicatriz detectada a la mitad de la madera temprana del año 2010. (EE) etapa temprana, (ME) etapa media y (LE) etapa final corresponden a la madera temprana (EW); mientras

que (EL) etapa temprana y (LL) etapa tardía corresponden a la madera tardía (LW) del anillo.	26
Figura 6. Reconstrucción de flujos de escombros en Los Picos de Davis, Múzquiz, Coahuila. Las líneas horizontales en color azul representan la longitud de cada una de las muestras en los Cañones del Oso y Ojo de Agua. Las líneas de color rojo indican las cicatrices por impacto, las líneas de color verde indican supresiones y crecimientos excéntricos.	29
Figura 7. Relación entre la precipitación promedio histórica (1972-2013) y la precipitación promedio anual de los años 2010, 2003, 2008, años con eventos de mayor magnitud registrados en Los Picos de Davis.....	33
Figura 8. Trayectoria del huracán “ALEX” categoría II en el año 2010. (Tomada de Pasch, 2010.)	34
Figura 9. Trayectoria del huracán “Dolly” en el año 2008. Tomado de (Pasch y Kimberlain, 2008).	35
Figura 10. Trayectoria del huracán “Claudette” en el año 2003. Tomado de (Beven, 2003).	36
Figura 11. Distribución espacial de los árboles afectados por flujos de escombros en Los Picos de Davis, Múzquiz, Coahuila.	37

RESUMEN

Los objetivos de este trabajo fueron determinar la ocurrencia de daños por avenidas torrenciales en los anillos de crecimiento de *Pinus ponderosa Douglas ex C. Lawson*, y con ello generar una cronología de flujos de escombros con base en los anillos de crecimiento, así como analizar la influencia de los huracanes en la ocurrencia de estos eventos geomorfológicos. El estudio se realizó en dos cañones de Los Picos de Davis, Múzquiz, Coahuila, utilizando un muestreo selectivo. Se colectaron secciones transversales y cuñas de árboles de *P. ponderosa*, éstas se prepararon y analizaron con base en técnicas dendrogeomorfológicas. Se reconstruyeron 10 eventos geomorfológicos de flujos de escombros que ocurrieron entre los años 1990 y 2015. De acuerdo al análisis de respuesta de los árboles, se encontró que en el área de estudio las anomalías más comunes se presentaron en forma de cicatrices y supresiones en el crecimiento; y de acuerdo al fechado de la posición intra-anual de la mayoría de los disturbios, los procesos ocurrieron al final de la madera temprana (LE) y al inicio de la madera tardía (EL). De acuerdo a la información histórica climática dichos flujos se desencadenaron por fenómenos hidrometeorológicos extremos como los huracanes y lluvias torrenciales de verano que propiciaron la inestabilidad de las laderas en los dos cañones de estudio.

1 INTRODUCCIÓN

Los anillos de crecimiento de la vegetación leñosa constituyen una fuente de información para diversas disciplinas científicas como la biología, ecología o incluso las ciencias de la Tierra como la geomorfología (Miranda *et al.*, 2007).

Una de las ciencias que estudia los anillos de crecimiento es la dendrocronología. Fritts (1976) define esta disciplina como la ciencia que trata con información reconstruida (año en que tuvo lugar el evento) de eventos del pasado como incendios, erupciones volcánicas y hasta deslizamientos de tierra; por medio del fechado de los anillos de los árboles, siempre y cuando el evento haya involucrado un daño en el árbol.

A partir del fechado exacto de sucesos marcados en los anillos de crecimiento de los árboles por medio de la dendrocronología, se han generado subespecialidades enfocadas a factores específicos como la dendroclimatología, dendroecología, dendroarqueología y la dendrogeomorfología (Miranda *et al.*, 2007).

La dendrogeomorfología se encarga del estudio de los procesos geomórficos a partir del fechado de los disturbios marcados en los anillos de crecimiento de los árboles (Alestalo, 1971).

La dendrocronología, es adecuada para la investigación de eventos de deslizamientos de tierra debido a que en terrenos con pendientes pronunciadas, potencialmente inestables, las masas de tierra pueden ser arrastradas y los anillos de árboles dañados o muertos por un deslizamiento de tierra pueden registrar la fecha del evento; estos

deslizamientos de tierra implican más de un tipo de movimiento, por ejemplo, un desprendimiento de rocas puede evolucionar y formarse un flujo de escombros al arrastrar agua o sedimentos saturados a lo largo de su trayectoria (Stoffel *et al.*, 2010).

Los flujos de escombros son un tipo de deslizamiento de flujo que consiste en una mezcla de agua, fragmentos de roca y residuos sólidos de plantas que se mueven en dirección de una quebrada empinada o barranco (Stoffel *et al.*, 2010).

Estos procesos de deslizamiento y depósitos se clasifican de acuerdo a características sedimentológicas y texturales del flujo, por ejemplo, los depósitos de flujos de escombros, este proceso de concentración de sedimentos incluye alrededor de 50 a 70 % de sólidos por volumen, a veces grandes bloques de rocas, puede alcanzar una velocidad superior de 10 m/s y oscilar entre 10 y 109 m³ en volumen (Jakob, 2010; González *et al.*, 2005); por otro lado los depósitos de flujos hiperconcentrados se pueden contrastar por un mayor contenido de agua, de sólidos más finos y un índice de plasticidad mayor al 5% (Jakob, 2010).

Los flujos de escombros son impredecibles, el área y el volumen del flujo pueden cambiar drásticamente en periodos muy cortos y se atribuyen a fenómenos naturales como los hidrometeorológicos. (Erokhin *et al.*, 2018; Jakob, 2010).

El interés de estudios de riesgos naturales y en específico de los riesgos geomorfológicos se han incrementado en las últimas décadas; el desarrollo y aplicación de nuevas herramientas y métodos de trabajo han hecho posible que desde el área de la geomorfología se hayan producido avances significativos sobre

comprensión, registro y prevención de los procesos geodinámicos que se originaron y que suponen un riesgo al hombre (González-Díez *et al.*, 2012).

Con frecuencia, procesos activos como movimientos de ladera, aludes, caídas de rocas, erupciones volcánicas, erosión laminar de suelos y especialmente avenidas torrenciales, afectan a los árboles y arbustos que crecen en sus áreas de actuación o influencia, registrándose estos procesos en los anillos de crecimiento de los árboles, produciéndose anomalías en la madera de las distintas especies de árboles y arbustos afectados por estos procesos (Ballesteros *et al.*, 2006).

La aplicación y el uso de métodos científicos procedentes de análisis dendrogeomorfológicos pueden contribuir a la mejora de estimaciones de la frecuencia y magnitud de las avenidas torrenciales, para establecer las medidas preventivas más adecuadas en la mitigación de los riesgos asociados; pero es necesario un enorme rigor metodológico para no introducir errores; así también estar conscientes de las limitaciones de aplicar esta disciplina (Díez-Herrero *et al.*, 2007).

Una de las limitantes es que no siempre se dispone de series tan extensas de datos de origen dendrogeomorfológico, puesto que las edades de los árboles susceptibles de haber interferido con la dinámica torrencial ubicados en los márgenes de caudales, no suelen exceder varias décadas; raramente se ubican árboles longevos lo tanto susceptibles de haber interferido con la dinámica torrencial (García-Oteyza *et al.*, 2015).

El método *proceso-evento-respuesta* propuesto por Shroder (1978) es la base de los métodos más recientes de la dendrogeomorfología para la reconstrucción de procesos

del pasado como flujos de escombros, caídas de roca, lahares o flujos de lava. Se basa en el análisis de la relación del proceso que es el fenómeno geomorfológico ocurrido; el evento es cuando el arbolado es afectado por el proceso, y la respuesta se refiere a la forma en que el árbol reaccionó ante el evento; esto proporciona información de la ocurrencia de un evento y su distribución en el espacio (Stoffel y Bollschweiler, 2009; Franco-Ramos, 2014).

La sociedad sufre vulnerabilidad a los efectos de fenómenos meteorológicos extremos que se producen sean cuales sean sus dimensiones; y en la actualidad cada vez con más frecuencia; la evaluación del riesgo de estos fenómenos exige datos y conocimientos sobre los registros de ocurrencia y su frecuencia, y los posibles desastres que ocasionan (Gutiérrez *et al.*, 2011).

Las investigaciones dendrogeomorfológicas cada vez han ido aumentando entre las más recientes están, el estudio donde se analizó la relación y frecuencia de 62 flujos de escombros con muestras de *Larix decidua* Mill, *Picea abies* L. Karst., y *Pinus cembra* L. en un cono del torrente Ritigraben al sur de Grachen, Valais, en Suiza por Stoffel, (2010). Kogelnig-Mayer *et al.* (2011) evaluaron y compararon disturbios en los anillos de crecimiento de 372 árboles de *Picea abies* (L.) Karst., en el valle de Pitztal, al oeste de Austria donde se identificaron 17 eventos de avalanchas de nieve y 8 eventos de flujos de escombros. Por su parte, Trappmann *et al.* (2013) realizaron un análisis de tres sitios de investigaciones anteriores donde describieron que el potencial de los anillos de los árboles para reconstrucción de deslizamientos de rocas se determina bajo análisis de la intensidad de disturbios, extensión espacial de los árboles y la frecuencia de ocurrencia del evento.

En México, las investigaciones de aplicación de la dendrocronología conjuntamente con la geomorfología en ciencias de la Tierra están poco estudiadas, entre las pocas investigaciones se encuentra el trabajo de Franco-Ramos (2014) un estudio que realizó en el volcán “Volcán de Colima”, volcán “La Malinche” y “Cofre de Perote”, sitios que forman parte de Cinturón Volcánico Transmexicano, encontró cicatrices, supresiones abruptas y filas tangenciales de ductos de resina traumáticos como los disturbios más comunes a partir de muestras de *P. leiophylla*, *A. religiosa* y *P. hartwegii*, y reconstruyó un total de 39 laharias y 73 eventos de caída de rocas. Asimismo, Franco-Ramos *et al.* (2018) evaluaron los disturbios de árboles afectados por lahares y caída de rocas en *Pinus hartwegii*, *Pinus leiophylla*, *Pinus ayacahuite*, *Abies religiosa* y *Juniperus monticola*, localizados en áreas volcánicas del centro de México y determinaron que existe potencial dendrogeomorfológico de coníferas en volcanes del centro de México.

Por lo que, en el presente trabajo se estudiaron registros de fechas de ocurrencia de avenidas torrenciales, para contribuir a evaluar los riesgos que se presentan y elaborar propuestas de acciones para prevenir desastres que afecten la población humana en un futuro.

1.1 Objetivos

- Determinar la ocurrencia de daños por avenidas torrenciales (flujos de escombros) en los anillos de crecimiento de *P. ponderosa* de Los Picos de Davis, Múzquiz, Coahuila.

- Generar una cronología de avenidas torrenciales con base en los anillos de crecimiento de *P. ponderosa* de Los Picos de Davis, Múzquiz, Coahuila.
- Analizar la influencia de los huracanes en la ocurrencia de las avenidas torrenciales registradas en los anillos de crecimiento de *P. ponderosa* de Los Picos de Davis, Múzquiz, Coahuila

1.2 Hipótesis

Ho: Eventos geomorfológicos se registran en los anillos de crecimiento de *P. ponderosa* produciendo anomalías o daños físicos por la ocurrencia de avenidas torrenciales provocadas por la presencia de huracanes entre 1990 a 2015 en Los Picos Davis, Múzquiz, Coahuila.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Descripción de área de estudio

El estudio de reconstrucción de eventos geomorfológicos con base en los crecimientos anuales de *P. ponderosa*, se realizó en la montaña Los Picos de Davis al noreste de Múzquiz, al centro-norte del estado de Coahuila de Zaragoza, México (INEGI, 2009). Los sitios de estudio Cañón del Oso (OSO) y Cañón Ojo de Agua (OJO), se localizan entre las coordenadas $28^{\circ} 58' 12.45''$ (28.9701°) N y $-102^{\circ} 01' 27.99''$ (-102.0244°) W (Figura 1).

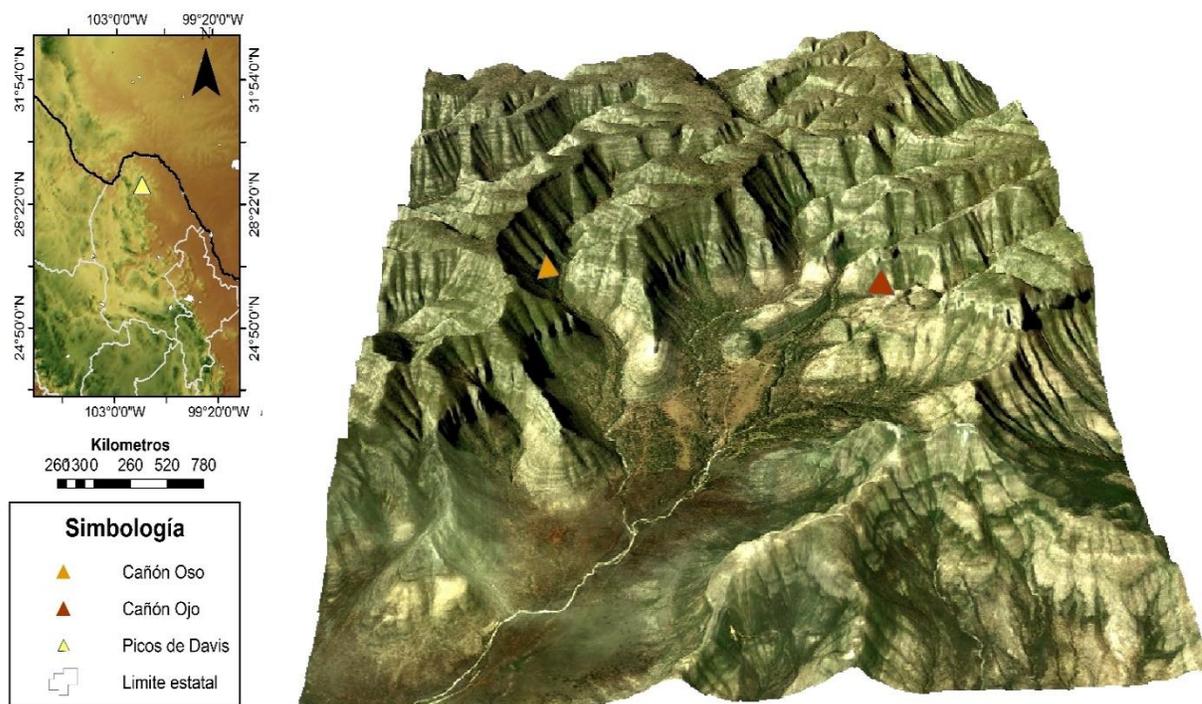


Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio Los Picos de Davis, Múzquiz, Coahuila, México.

2.1.1 Fisiografía

Dentro de las quince provincias de México, la montaña Los Picos de Davis se localiza en la provincia fisiográfica Sierra Madre Oriental (SMO), la cima del cerro está a una altitud de 1807 msnm; esta provincia ocupa un 88 % del total del municipio que está constituida por sierras, valles, y bajadas, cuyas altitudes oscilan entre los 800 y 2200 msnm; en la SMO las bajadas son bastante amplias originadas de materiales erosionados, formándose terrenos aluviales de ligera inclinación. Dentro de las ocho subprovincias que conforman la SMO y de las tres que están dentro del municipio de Múzquiz, el área se ubica en la subprovincia denominada Serranía del Burro (INEGI, 2009).

2.1.2 Hidrología

De las 37 regiones hidrográficas de México, Los Picos de Davis se encuentran en la Región Hidrológica Bravo-Conchos (RH24), dentro de la cuenca hidrográfica Presa Falcón-Rio Salado y en la subcuenca Rio Álamos (RH24Df) (INEGI, 2009); la corriente de agua intermitente que circunda el área lleva por nombre Los Picos (INEGI, 2017).

2.1.3 Geología

El área de estudio presenta unidades geológicas de origen sedimentario, partes que sufrieron una evolución que dio lugar a levantamientos originando las áreas serranas que atraviesan el municipio, además, los procesos erosivos fueron desgastando los materiales originales para conformar las bajadas, llanos, valles, y lomeríos, a través

de acarreos y depósitos de materiales que circundan a las principales cadenas montañosas de la región; en el sitio el material predominante es de tipo caliza, que data del periodo Cretácico temprano de la era mesozoica (Ki (cz), que es una división de la escala temporal geológica, y la primera de dos series o épocas del periodo Cretácico; el sistema de tofoformas que se encuentran son sierra compleja constituida por pendientes fuertes, sierra compleja con lomeríos, y de valle intermontano (INEGI, 2005a; INEGI, 2009).

2.1.3 Edafología

En el municipio de Múzquiz, se encuentran los tipos de suelos Xerosol, Vertisol, Rendzina, Regosol, Planosol, Litosol, Feozem, y Castañozem. Dentro de estos tipos de suelo en Los Picos de Davis solo se encuentra Litosol de textura media y Xerosol Luvico de textura media (CONABIO-INIFAP, 2001).

2.1.4 Clima

En el municipio de Múzquiz predomina un clima tipo B (seco), y dentro de este tipo de clima, el sitio de estudio registra dos tipos: seco semicálido (BS0hw) y semiseco templado (BS1kw (x')). La temperatura media anual oscila entre los 14 - 22°C y una precipitación de 300 a 700 milímetros (INEGI, 2005b; INEGI, 2009).

2.1.5 Vegetación

El área de estudio presenta en mayor porcentaje bosque de pino-encino (40 %) y bosque de encino (38%) bajo condiciones climáticas templadas, sus principales componentes son del género: *Pinus sp.*, *Quercus sp.*, y *Arbutus sp.*, algunas de estas especies son explotadas para uso doméstico; seguido de chaparral con un 17%; y en un porcentaje bajo se encuentra vegetación de pastizal dominando la especie *Bouteloua oligostachya* (zacate navajita), entre otras (INEGI, 2005b).

2.2 Etapa de campo

2.2.1 Diseño de muestreo

Para la colecta de muestras se empleó un diseño de muestreo selectivo sin parcelas; se seleccionaron ejemplares arbóreos con claras evidencias de daños externos, que muy posiblemente se originaron por avenidas torrenciales por proceso de flujos de escombros (Figura 2a y b). Los indicadores de daños para que el árbol se seleccionara fueron: heridas con formación de callo o anomalías similares, árboles con pérdida de fuste y/o sustitución por una(s) rama(s) secundaria(s) o bifurcados, árboles inclinados, así como individuos sepultados por los materiales arrastrados.

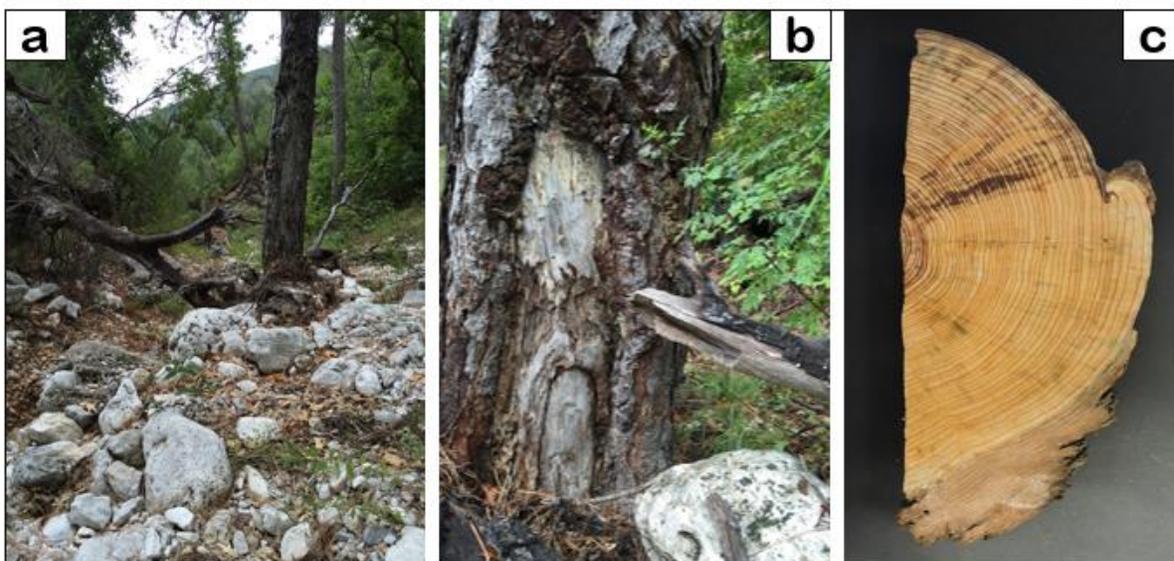


Figura 2. Árbol en centro del Cañón del Oso en la montaña Los Picos de Davis con indicio macroscópico y potencial para detectar eventos de avenidas torrenciales (flujos de escombros) (a), árbol con disturbio dendrogeomorfológico: descortezado por impacto de carga sólida de la corriente (b), y cuña con cicatriz por impacto de roca una vez preparada para su análisis (c).

2.2.2 Recolección de muestras en campo

Se realizó la colecta de las muestras dendrocronológicas con el apoyo de una motosierra. En árboles vivos y muertos en pie se extrajeron pequeñas cuñas (Figura 2c), para el caso de árboles tirados se cortó una sección transversal. Las muestras se obtuvieron cerca de donde se observó el indicador de daño; se procuró que las muestras estuvieran lo más completas posibles y con la mejor claridad de los registros de daños. Para la identificación en laboratorio y en el proceso de análisis, a cada muestra se le asignó una clave de identificación: OSO, OJO, que señalan el sitio en que se colectó; seguido de un número (01, 02, 03,...) indicando la muestra colectada. Así mismo, en un formato de campo, se registró información como: la clave de la

muestra, coordenadas geográficas, altura sobre el nivel del mar (msnm), tipo de disturbio ambiental, indicador de daño (externo o interno), y exposición, de cada individuo del que se tomó una muestra; esto para complementar la información del muestreo.

2.3 Etapa de laboratorio

2.3.1 Preparación de muestras

Las muestras se prepararon para su análisis en el Laboratorio de Dendrocronología CENID-RASPA, INIFAP, en Gómez Palacio, Durango. Las muestras se pulieron con diferentes granos de lija, progresivamente de la más gruesa a la más fina (120-1200) hasta lograr tener una superficie lisa y un buen contraste de la estructura de los anillos de crecimiento; esto permitió mejor manipulación de las muestras bajo el estereomicroscopio.

2.3.2 Pre-fecha de muestras

El pre-fecha consistió en el conteo visual de los anillos de crecimiento de cada muestra bajo un estereomicroscopio, se contó a partir del anillo más interno o médula hacia el anillo más externo de la muestra, se marcó un punto cada diez años, dos puntos alineados verticalmente cada 50 años, y tres puntos de forma vertical cada 100 años, dos puntos horizontales para indicar un anillo perdido, y los anillos falsos se marcaron con una diagonal (Stokes y Smiley, 1996).

Posteriormente, se elaboraron *skeleton-plots* (gráficos de crecimiento en papel milimetrado) para cada muestra; técnica empleada para relacionar y comparar las series de crecimiento de todas las muestras y definir un patrón de crecimiento común que permite tener un fechado exacto (Stokes y Smiley, 1996). Adicionalmente, cada serie de crecimiento se comparó con una cronología maestra de referencia del sitio para detectar anomalías en el patrón normal, esta cronología se elaboró a partir de curvas de crecimiento mejor correlacionadas entre sí y sin disturbios significativos en los anillos de crecimiento. Posteriormente, una vez identificados los problemas (anillos perdidos, dobles y falsos) y observar sincronía de los patrones de crecimiento entre muestras, se asignaron las fechas precisas a cada uno de los crecimientos anuales, iniciando del anillo más interno al anillo más externo, así como la fecha precisa del anillo de crecimiento donde se percibió el disturbio o daño.

2.3.3 Medición y calidad del fechado

La medición de cada uno de los crecimientos anuales por muestra se llevó a cabo con un sistema de medición Velmex que permite una precisión en la medida de 0.001 mm, equipo con platina de fase deslizante acoplado a una computadora y vinculado al software de medición MeasureJ2X para Windows que sirve para capturar y leer las mediciones (Robinson y Evans, 1980).

La calidad del fechado y medición de las muestras se verificó en el programa COFECHA, que se basa en el análisis estadístico de correlación entre series de tiempo, comparando segmentos de 50 años con traslapes de 25 años y cada una de las muestras se correlacionó con la serie promedio (Holmes, 1983).

Durante este proceso se identificaron problemas de fechado que incluye problemas de anillos perdidos, falsos, o dobles, problemas de medición, o problemas de crecimiento propios de cada muestra; algunos de estos problemas fueron corregidos y se logró un fechado correcto de las muestras. Es importante aclarar que se presentaron muestras que no fue posible validar su fechado en el programa COFECHA, esto dado el grado de deformación del crecimiento de los anillos por el disturbio.

2.3.4 Detección y datación de eventos dendrogeomorfológicos

Para la detección y datación de eventos dendrogeomorfológicos se siguieron metodologías que se centran en la relación sistemática entre *proceso-evento-respuesta*. De acuerdo a las metodologías propuestas por Stoffel y Corona (2014), Diez-Herrero *et al.* (2007), Frazer (1986) y Kogelnig-Mayer *et al.* (2011) se elaboró una tabla de eventos dendrogeomorfológicos de los dos sitios de estudio (OSO y OJO), considerando las siguientes variables, clave de la muestra (ID), altura del árbol de donde se colectó la muestra, coordenadas UTM (X, Y), caracterización de la muestra, fecha correspondiente al anillo más interno, fecha correspondiente al anillo externo, edad en años, año del disturbio, tipo de disturbio, intensidad de disturbio, año de evento, y en algunos casos posición intra-anual del disturbio. Parte de esta metodología para identificar y clasificar los disturbios por impacto de roca de los flujos de escombros se realizó en el Instituto de Geografía de la UNAM, Ciudad Universitaria en la CDMX bajo la asesoría del Dr. Osvaldo Franco Ramos.

El tipo de disturbio presente en cada muestra se determinó visualmente por medio de un estereomicroscopio detectando si fue impacto (I), tejido calloso (TC), crecimiento excéntrico (CEX), madera de compresión (MC), crecimiento suprimido (CS), realce en crecimiento (RC), o filas tangenciales de ductos de resina traumático (TRD's); estos disturbios son los más comunes en investigaciones dendrogeomorfológicas (Stoffel y Corona, 2014); además, Schweingruber *et al.* (1990) menciona que el análisis visual del crecimiento es una herramienta importante para la identificación de la disminución repentina del crecimiento (CS) o aumento en el crecimiento.

En función del tipo de disturbio o respuesta, y en base a los criterios propuestos por Kogelnig-Mayer *et al.* (2011), se determinó su intensidad la cual se enumeró del número uno (menor intensidad) al número cinco (mayor intensidad). Los tipos de disturbio se agruparon en dos tipos: alteraciones centradas en el crecimiento de los anillos como por ejemplo supresiones, realce en crecimiento o filas tangenciales de ductos de resina traumáticos y que se clasifican por sus siglas en inglés en débil (Tw), moderada (Tm), fuerte (Ts); y lesiones externas en el árbol, con la máxima intensidad que es muy fuerte (Ti) (Cuadro 1). Para supresión en crecimiento los niveles categorizados corresponden a: débil, cuando el ancho del anillo fue menor a 60 por ciento y duración igual o mayor a dos años; moderada, cuando el ancho del anillo fue igual o mayor al 60 por ciento y con una duración entre dos y cinco años; fuerte, cuando el ancho del anillo fue mayor al 60 por ciento y duración igual o mayor a cinco años (Stoffel y Corona, 2014).

Cuadro 1. Categorización de la intensidad del disturbio de acuerdo con Kogelnig-Mayer et al. (2011). La intensidad comprende cinco clases de menor (1) a mayor (5), y se clasifica en cuatro categorías débil (Tw), moderada (Tm), fuerte (Ts), y muy fuerte (Ti); estas categorías se agrupan en dos tipos: (1) las alteraciones en crecimiento (se clasifican de acuerdo al porcentaje de ancho del anillo y duración del disturbio en años) que incluye débiles (Tw), moderadas (Tm), fuertes (Ts); y (2) las lesiones físicas externas en el árbol, muy fuerte (Ti).

Tipo de disturbio	Intensidad				
	1	2	3	4	5
TRD's	Débil		Moderada		Fuerte
Realce de crecimiento	Moderada % de ancho del anillo \geq 60 y duración < 5 pero > 2 años	Fuerte % de ancho del anillo \geq 60 y duración \geq 5 años			
Crecimiento suprimido		Débil % de ancho del anillo < 60 y duración \geq 2 años	Moderada % de ancho del anillo \geq 60 y duración < 5 pero \geq 2 años	Fuerte % de ancho del anillo \geq 60 y duración \geq 5 años	
Madera de compresión		Débil % de ancho del anillo >50 y duración \geq 2 años	Moderada % de ancho del anillo \geq 50 y duración de 3 a 5 años	Fuerte % de ancho del anillo \geq 50 y duración \geq 5 años	
Tejido calloso					Muy fuerte
Cicatrices de impacto					Muy fuerte

Cuando se presentó como disturbio una cicatriz, se realizó un análisis de la posición intra-anual del disturbio, para definir y asociarlo con la época o estación del año aproximada de ocurrencia del evento, en eventos geomorfológicos es importante este análisis para conocer los tipos de eventos a los que están ligados (Figura 3).

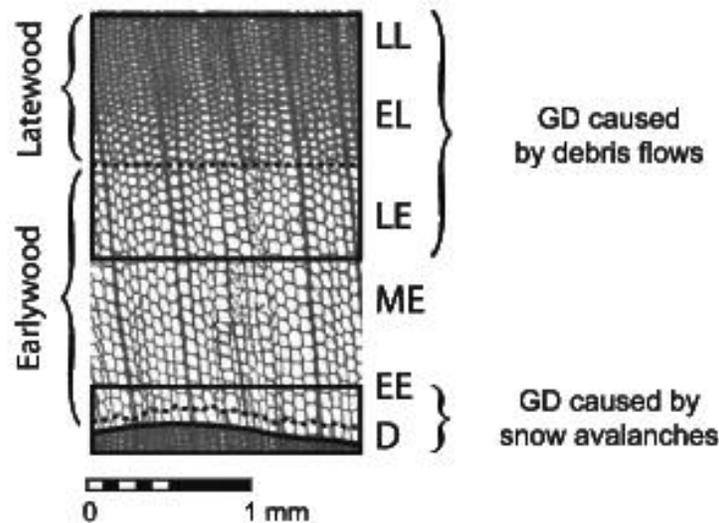


Figura 3. Zonas de crecimiento dentro de un anillo de *Larix decidua* y temporización estacional de eventos de flujos de escombros y avalanchas de nieve. Los flujos de escombros causan disturbios en (LE, EL, LL, por sus siglas en inglés). (EE) etapa temprana, (ME) etapa media y (LE) etapa final corresponden a la madera temprana (EW); mientras que (EL) etapa temprana y (LL) etapa tardía corresponden a la madera tardía (LW) del anillo, (D) etapa de dormancia. (Tomada de Stoffel *et al.*, 2006).

A través del estereomicroscopio se identificó la etapa de crecimiento en la cual se percibió el disturbio, para esto se ubicaron las siguientes categorizaciones por sus siglas en inglés, EW (madera temprana), parte del anillo de crecimiento de color claro y menos densa, y esta parte a su vez se subdividió en tres partes: etapa temprana

(EE), etapa media (ME), y etapa final (LE); mientras que LW (madera tardía) corresponde a la estructura de color oscuro y más densa que visualmente es discernible al final del anillo de crecimiento y que se subdividió en dos partes: etapa temprana de la madera tardía (EL) y etapa tardía (LL).

Finalmente, se definió el año del evento de dinámica torrencial. La reconstrucción de eventos se basó en el análisis de replicación e intensidad de disturbios dentro de series de los anillos de árboles y la distribución espacial de los árboles afectados.

2.4 Recopilación de información climatológica histórica

Se recopiló información climatológica histórica para la validación de las fechas de eventos geomorfológicos que se reconstruyeron en el estudio, especialmente aquellas fechas con mayor sincronía.

- Obtención de datos de ciclones tropicales

La información de los huracanes que afectaron el área de estudio y pudieron estar asociados con los flujos de escombros, se obtuvo de la base de datos del Centro Nacional de Huracanes (NHC por sus siglas en inglés) y de la Administración Nacional de los Océanos y la Atmósfera de Estados Unidos (NOAA por sus siglas en inglés). Se localizó el área de estudio, posteriormente, se analizó cada uno de los huracanes y sus fechas de ocurrencia para conocer su relación con los años de eventos reconstruidos.

Así mismo, se obtuvo información histórica del Servicio Meteorológico Nacional sobre los ciclones tropicales que tocaron tierra en México, y que pasaron cerca del área de estudio para los años en que se registró un evento geomorfológico.

- Obtención de datos de precipitación

Los eventos geomorfológicos se asociaron con información meteorológica histórica de precipitación, se descargó la precipitación promedio mensual del punto más cercano al área de estudio de la malla de precipitación para todo México (Terán, 2010).

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Cronología de anillos de árboles

El registro de los anillos alcanzó una serie de tiempo de 67 años, que comprende el periodo de 1949 a 2015. La edad media del arbolado fue de 45 años, los árboles muestreados crecen en lóbulos activos de dinámica torrencial y se ubican en terrazas jóvenes y cerca al sector del cauce principal, a lo cual se atribuye su corta edad. En zonas próximas a escarpes (zonas de desprendimientos de rocas) o zonas en condiciones inestables se limita el desarrollo del arbolado, encontrando arbolado joven (<50 años de edad), en contraste con zonas más estables donde generalmente se ubican árboles más longevos (Franco-Ramos, 2014). En estas zonas inestables el arbolado no registra individuos longevos, esto como consecuencia de haber interferido algún proceso de dinámica torrencial (Diez-Herrero *et al.*, 2007).

Kogelnig-Mayer *et al.* (2011) reporta resultados similares en cuanto a las edades del arbolado en un estudio de avalanchas de nieve y flujos de escombros, en zonas estables se desarrolló una serie de tiempo de 188 años, y en las zonas más inestables se observó arbolado entre 17 a 40 años de edad.

Del total de las muestras analizadas que comprende el estudio, se logró el co-fechado de un 68 % de las muestras, cada muestra proveniente de un árbol diferente. La correlación entre series mostró una relación significativa de $r = 0.403$ ($P < 0.001$) y una sensibilidad promedio de 0.447 (Figura 4). La correlación resulta estadísticamente aceptable comparada con la $r = 0.328$ ($P < 0.001$), que es la mínima correlación

significativa entre series que establece el programa COFECHA para asegurar un fechado exacto y calidad de respuesta (Holmes, 1983).

Schiappacasse (2007) reporta en su estudio dendrogeomorfológico de reconstrucción de sismos un co-fechado con una correlación entre series de $r=0.469$ ($P<0.001$) donde en la mayoría de las muestras más de una proviene del mismo árbol. Estos valores de correlación son usuales en este tipo de estudios dendrogeomorfológicos ya que se ubican en sitios perturbados.

Con relación al 32 % de las muestras restantes, no fue posible incluirlas en la base de datos para validar su fechado con el programa COFECHA, debido a que presentaban patrones de crecimiento diferentes, y que aun verificando los problemas de fechado y medición no fue posible encontrar una asociación entre series por tratarse de árboles con alto grado de disturbio que propicio crecimientos atípicos, lo anterior atribuido a los eventos que impactaron la zona de estudio y generaron gran magnitud de disturbios en los anillos de crecimiento en esas muestras.

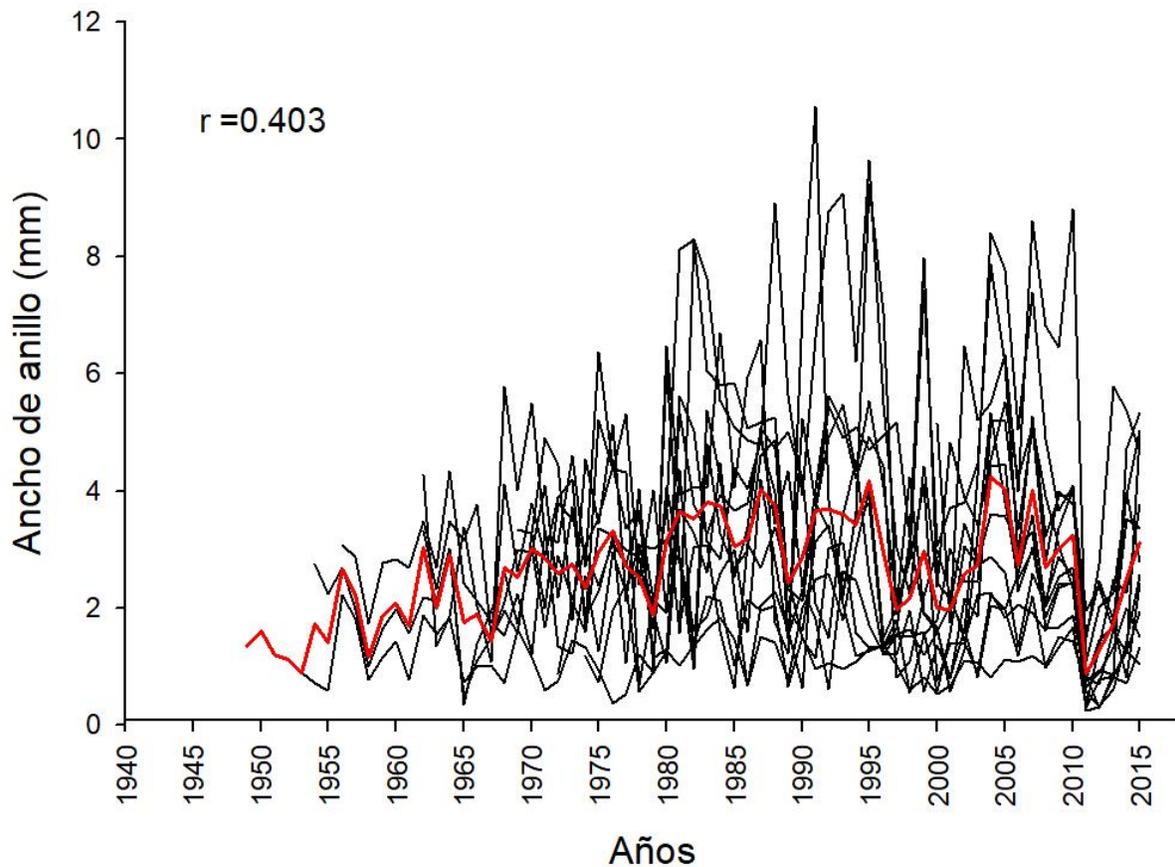


Figura 4. Series de ancho de anillos de *Pinus ponderosa* en los cañones de Los Picos de Davis, Múzquiz, Coahuila. (La serie promedio indicada en color rojo y las series de cada muestra se indican en color negro).

3.2 Comportamiento evento-respuesta

De acuerdo al análisis de *proceso-evento-respuesta*; del total de las muestras analizadas de los cañones Los Picos de Davis, se identificaron 25 disturbios geomorfológicos como respuesta de dinámica torrencial. El tipo disturbio más común se presentó en forma de cicatriz por un impacto directo en el árbol con el 72 % de total, dividido en 52% y 20% para el cañón del OSO y cañón del OJO, respectivamente. El

segundo disturbio más común con el 20 % se presentó como una supresión en el crecimiento de los anillos, registrando 8% el cañón del OSO y 12% el cañón del OJO. Por último, el 8% de las muestras registró madera de compresión, este tipo de disturbio solo se observó en el cañón del OSO. En general, el mayor porcentaje de disturbios se registró en el cañón del OSO con el 68 % y 32 % en el Cañón del OJO. No se observaron filas tangenciales de ductos de resina traumáticos, tejido caloso, o realce abrupto entre el crecimiento de más de dos anillos (Cuadro 2).

Cuadro 2. Tipo, número, y porcentaje de disturbio encontrados en los anillos de crecimientos de *Pinus ponderosa* en dos cañones de la montaña Los Picos de Davis.

Tipo de disturbio	Cañón OSO		Cañón OJO		Total de disturbios	
	Número	%	Número	%	Número	%
Cicatrices de impacto	13	52	5	20	18	72
Supresión en crecimiento	2	8	3	12	5	20
Madera de compresión	2	8	0	0	2	8
Realce de crecimiento	0	0	0	0		
Tejido caloso	0	0	0	0		
Total	17	68	8	32	25	100

Las cicatrices y las filas tangenciales de ductos de resina traumáticos (TRD's) en los árboles se consideran como los indicadores o perturbaciones más confiables de evidencia de eventos geomórficos del pasado; sin embargo, el género *Pinus* presenta ductos de resina no asociados a heridas mecánicas y gran cantidad de resina, por lo que no produce TRD's, en contraste con otras coníferas del género *Abies*, *Picea* o *Pseudotsuga* (Phillips y Croteau 1999; Ballesteros *et al.*, 2010; Stoffel y Corona, 2014). En coníferas del centro de México, la especie *Abies religiosa* es hasta ahora la única que forma TRD's asociados a eventos geomorfológicos y que los permiten fechar con una resolución anual o incluso estacional (Franco-Ramos *et al.*, 2016). Por otro lado,

Franco-Ramos, (2014) menciona que las cicatrices por impacto y el tejido calloso son anomalías de mayor significancia dendrogeomorfológica por tener una fuerte señal. Así mismo, entre mayor sea la intensidad de cualquier disturbio mayor confiabilidad de que hubo eventos geomorfológicos (Stoffel y Corona, 2014).

Del 100 % de los disturbios detectados como respuesta de eventos por procesos geomorfológicos, el 8 % de las muestras con respuesta de crecimiento excéntrico que provocó el desarrollo de madera de compresión (árboles inclinados), presentaron una intensidad de disturbio de cuatro (Cuadro 3), clasificándose en intensidad fuerte que mostró un incremento abrupto en el ancho del anillo de más del 50 % en comparación con los demás anillos y esta asimetría radial duró al menos cinco años (Cuadro 1). Este hecho también influyó en la baja correlación entre series del 32% de las muestras que no se integró a la base de datos verificada por COFECHA. En el área de los Cañones se observaron este tipo de árboles inclinados que causó la producción de madera de compresión. De acuerdo a Stoffel *et al.* (2010) después de un deslizamiento, los árboles buscan enderezar sus tallos especialmente las coníferas, produciendo madera de compresión preferentemente en el lado inclinado hacia debajo del tronco. Stoffel y Corona (2014) mencionan que la inclinación de los árboles es un evento en la mayoría de las áreas afectadas por procesos geomórficos. Atribuido en este estudio al peso de los bloques y sedimentos que acarrear los flujos de escombros y que se acumulan en la base de los troncos de algunos árboles.

Cuadro 3. Intensidad de los tipos de disturbios de menor (1) a mayor (5) y su posición intra-anual en el anillo en la montaña Los Picos de Davis, Múzquiz, Coahuila.

Tipo de disturbio	Intensidad					Posición del anillo					Total	
	1	2	3	4	5	EE	ME	LE	EL	LL		N/A
Supresión de crecimiento		4	1									5
Madera de compresión				2								2
Cicatrices de impacto					18	1	2	7	3	4	1	18
Total												25

Intensidad de disturbio: 2, débil (Tw), 3 moderada (Tm), 4 fuerte (Ts) cuando se presenta supresión en crecimiento o excentricidad; las cicatrices representan intensidad 5 y muy fuerte (Ti). (EE) etapa temprana, (ME) etapa media y (LE) etapa final corresponden a la madera temprana (EW); mientras que (EL) etapa temprana y (LL) etapa tardía corresponden a la madera tardía (LW) del anillo. (N/A) no se distingue.

Del 20 % de los disturbios que se presentaron como crecimiento suprimido, el 16 % mostró supresión de los anillos de crecimiento en una intensidad de dos, conociéndose como intensidad débil (Tw), el otro 4 % mostró una intensidad en el nivel tres, clasificándose como un crecimiento suprimido moderado (Tm) (Cuadro 3). En el 16 % de las muestras con supresión, se observó que el grosor de los anillos no se redujo hasta un 60 % en cuanto al patrón de los anillos antes de la supresión y duró más de dos años con supresión en crecimiento; en el resto, el grosor de cada anillo decreció más del 60 % con respecto al patrón de los anillos antes del disturbio, con una duración de supresión de cinco años (Cuadro 1). El evento que provoca la supresión es una evidencia de árboles decapitados o sepultados, entonces el evento se asocia a flujos de escombros de poca magnitud.

Finalmente, las cicatrices por impacto estuvieron asociadas con la mayor intensidad dendrogeomorfológica observada (cinco), clasificada en la intensidad Ti; y de acuerdo

a las técnicas usadas en el estudio que permitieron discernir la posición dentro del anillo y al mismo tiempo la época del año en que se produjo esta perturbación o cicatriz, se determinó que el mayor número de cicatrices están al final de la madera temprana y en la madera tardía (Cuadro 3 y Figura 5).

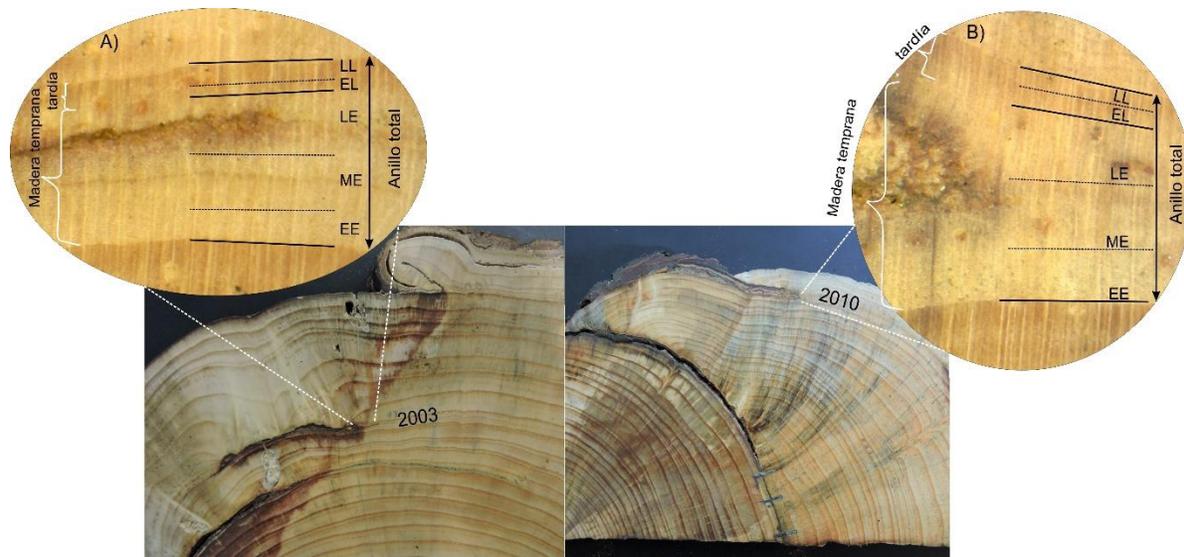


Figura 5. Ejemplo de la posición intra-anual de una cicatriz como evidencia dendrogeomorfológica causada por flujos de escombros en *Pinus ponderosa* en los Cañones Los Picos de Davis. A) Cicatriz producida por impacto registrada al final de la madera tardía en el año 2003; B) cicatriz detectada a la mitad de la madera temprana del año 2010. (EE) etapa temprana, (ME) etapa media y (LE) etapa final corresponden a la madera temprana (EW); mientras que (EL) etapa temprana y (LL) etapa tardía corresponden a la madera tardía (LW) del anillo.

En base a los resultados de la posición intra-anual de las cicatrices en los anillos de crecimiento de los árboles, el mayor porcentaje de cicatrices se categorizó en la estación de verano y se asoció con años de lluvia extrema que generaron desestabilización del suelo y que provocaron procesos de flujos de escombros. Kogelnig-Mayer *et al.* (2011) señala que los eventos de flujo de escombros ocurren

entre julio y finales de septiembre, en años lluviosos. Lo cual coincide con los resultados encontrados en el presente estudio.

Entonces, dado que *P. ponderosa* no produce TRD's y no presentó tejido calloso, los indicadores más confiables para datar eventos geomorfológicos en el estudio fueron: (1) las cicatrices por impacto, esto debido al tipo de disturbio, su intensidad y el gran número de muestras que registraron este tipo de disturbio; (2) supresiones en crecimiento, que aunque se presentó en mayor porcentaje con intensidad de dos y no en su mayor intensidad (4 clasificada en Tw). Este tipo de disturbio fue el segundo con más sincronía, y se registró en las mismas fechas que los impactos, pudo ser que el evento fue de menor magnitud que dejó un daño incipiente en los árboles. Franco-Ramos (2014) reportó resultados de cicatrices y tejido calloso como los disturbios más confiables para datar eventos geomórficos, pero estos corresponden a respuestas de eventos geomorfológicos más fuertes y en sitios por mayor dinámica torrencial.

Además, de acuerdo a la distribución espacial de los árboles, y sedimentos que aún se evidenciaban en el área de estudio, se determinó que los procesos generados fueron flujos de escombros. La determinación de los eventos geomorfológicos registrados en otras investigaciones, también se basan en análisis similares de asociación (proceso-evento-respuesta) que se centran en el análisis del tipo de disturbio, posición intra-anual, intensidad de las perturbaciones y distribución espacial (Stoffel y Perret, 2006; Kogelnig-Mayer *et al.*, 2011; Trappmann *et al.*, 2013; Stoffel y Corona, 2014; Franco-Ramos, 2014). Algo usual que muestran los resultados de investigaciones dendrogeomorfológicas (Stoffel *et al.*, 2010).

3.3 Reconstrucción de flujos de escombros

A partir del fechamiento de los disturbios como cicatrices de impacto, supresión en crecimiento, madera de compresión por crecimiento excéntrico, y su intensidad, se reconstruyeron 10 flujos de escombros en Los Picos de Davis durante el período de 1990 a 2015 (Figura 6), eventos posiblemente producidos por lluvias torrenciales. Los flujos de escombros de poca magnitud se observaron de 1 a 4 árboles que mostraron diferentes tipos de disturbios como respuesta dendrogeomorfológica. El mayor registro de eventos se observó durante el periodo 2003-2010, sobresaliendo más de la mitad de disturbios de impacto por roca; se logró reconstruir con fiabilidad un total de tres eventos de flujos de escombros, el primero en el año 2010 con el máximo número de registros de impacto (cinco árboles), siendo el evento con mayor sincronía en los dos cañones de Los Picos de Davis, el segundo en el año 2008 con cuatro registros por impacto de roca en los dos cañones OSO y OJO, y el tercero en el año 2003 con cinco registros de disturbios de los cuales cuatro fueron por impacto de roca y sedimentos (Figura 6). Franco-Ramos (2014) reportó resultados similares donde los eventos máximos que ocurrieron en uno de los sitios de su estudio registraron 5, 7 y 11, impactos para los años 1995, 2005, 1998, respectivamente. García-Oteyza *et al.* (2015) reconstruyeron 11 fechas de eventos geomorfológicos de avenidas torrenciales.

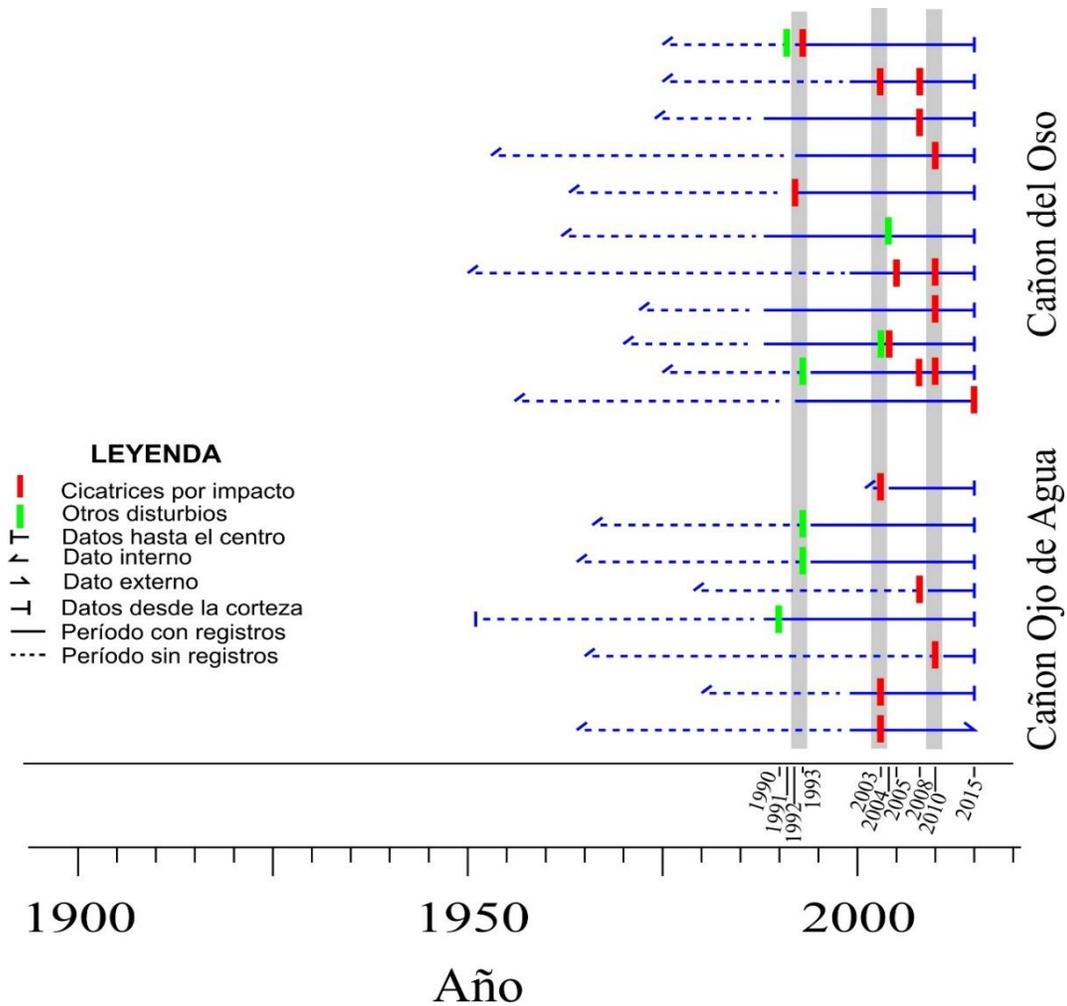


Figura 6. Reconstrucción de flujos de escombros en Los Picos de Davis, Múzquiz, Coahuila. Las líneas horizontales en color azul representan la longitud de cada una de las muestras en los Cañones del Oso y Ojo de Agua. Las líneas de color rojo indican las cicatrices por impacto, las líneas de color verde indican supresiones y crecimientos excéntricos.

El evento más importante y de mayor magnitud por proceso de flujos de escombros fue el del año 2010, para este año se registró el mayor número de árboles impactados en ambos cañones de Los Picos de Davis (Figura 6), registraron la máxima intensidad del disturbio (Ti), y la posición intra-anual mostró el evento a la mitad y al final de la madera

temprana (Figura 5); por lo que se atribuye y coincide con eventos hidrometeorológicos registrados en ese mismo año (Cuadro 4).

Otro evento extraordinario que destaco fue el del año 2008, el total de registros por impacto de roca en los árboles registraron la máxima intensidad del disturbio (Ti) y de acuerdo a la posición intra-anual, las cicatrices están al inicio de la madera tardía, se determinó que fueron propiciados por un evento geomorfológico de flujos de escombros; que se atribuye a sucesos hidrogeomorfológicos registrados en este año. Otro evento importante se registró en el año 2003, mostró alta sincronía de registros en los árboles por impacto de materiales arrastrados por avenidas torrenciales (Figura 6), se registró la máxima intensidad del disturbio (Ti), y de acuerdo con la posición intra-anual las cicatrices estuvieron al final de la madera temprana (Figura 5).

3. 4 Influencia de huracanes en avenidas torrenciales

Finalmente se analizaron eventos hidro-meteorológicos extremos que de acuerdo con información histórica afectaron la región de Los Picos de Davis, ciclones tropicales registrados en las mismas fechas que pudieron desencadenar avenidas torrenciales (de flujos de escombros) (Cuadro 4).

Los eventos hidro-geomorfológicos, además de que eliminan árboles a lo largo de canales o cañones, también dejan intactos árboles vecinos, como los eventos por flujos de escombros (Stoffel *et al.*, 2006; Kogelnig-Mayer *et al.*, 2011).

Cuadro 4. Flujos de escombros identificados mediante métodos dendrogeomorfológicos en los cañones de Los Picos de Davis, Múzquiz, Coahuila; y su relación con huracanes y lluvias torrenciales.

Año con flujos de escombros en base a dendrogeomorfología	No. de disturbios	Evento en el árbol (tipo de daño)	Datos meteorológicos	
			Cantidad de lluvia anual (mm)	Ciclones tropicales
1990	1	Decapitado y/o sepultado	728	---
1991	1	Inclinación	579	---
1992	1	Impacto	658	---
1993	4	Impacto, Decapitado y/o sepultado	383	---
2003	5	Impacto, Inclinación	257	"CLAUDETTE" Depresión tropical
2004	2	Impacto, Decapitado y/o sepultado	311	---
2005	1	Impacto	194	---
2008	4	Impacto	391	"DOLLY" Huracán (H1)
2010	5	Impacto	790	"ALEX" Huracán (H2), Depresión tropical "DOS"
2015	1	Impacto	662	

Nota: Los datos de lluvias arrojaron un promedio de lluvia acumulada de 413 milímetros (mm). El registro de ciclones tropicales en su mayor categoría se obtuvo de la base de datos de NOAA (<https://www.nhc.noaa.gov/data/#tcr>). (H2) huracán categoría II, (H1) huracán categoría I, escala Saffir-Simpson.

El factor desencadenante del máximo evento hidro-geomorfológico del año 2010, proceso de flujo de escombros, se atribuye a la lluvia torrencial de verano que registró un acumulado de 691 mm (acumulado de promedio mensual de abril a septiembre), que comparado con la lluvia acumulada anual (790mm), representa aproximadamente

el 90 % de la lluvia anual (Figura 7), además de que ese año sobre paso la precipitación promedio histórica (1972-2013)(datos tomados de Terán, 2010), lo cual coincide con la presencia del huracán “ALEX” de categoría II y la depresión tropical “DOS” ambos fenómenos afectaron el área de estudio en este año.

El huracán “ALEX” de categoría II, fue el primer ciclón de la temporada del año 2010 del Océano Atlántico, proveniente del Mar Caribe que, al ingresar al Golfo de México, en su trayectoria tocó tierra por segunda ocasión sobre el Noroeste del país (Cuadro 4 y Figura 8). El huracán a “ALEX” en tierra, cruzó por el estado de Tamaulipas como huracán categoría II, por el estado de Nuevo León en categoría I, y siguió por San Luis Potosí donde bajo su intensidad. Por la gran intensidad del huracán, también afectó al estado de Coahuila, donde causó lluvias torrenciales y daños significativos por inundaciones. En Nuevo león, además causó pérdidas humanas, por lo que es considerado uno de los huracanes más potente que ha impactado al noreste de México en los últimos 40 años (Hernández y Bravo, 2010; Pasch, 2010). Además, después del huracán que dejo inestabilidad del suelo en el sitio de estudio, la depresión tropical “DOS” afectó directamente, tocó tierra en Texas y cruzó por los estados de Tamaulipas, Nuevo león y Coahuila (Anexo 1), originando lluvias extremas que provocaron flujos de escombros por tratarse de dos fenómenos extremos registrados con poco tiempo de diferencia. La Depresión “DOS” agudizó los daños causados por el reciente huracán “Alex” en el Noreste de México (Bravo, 2010).

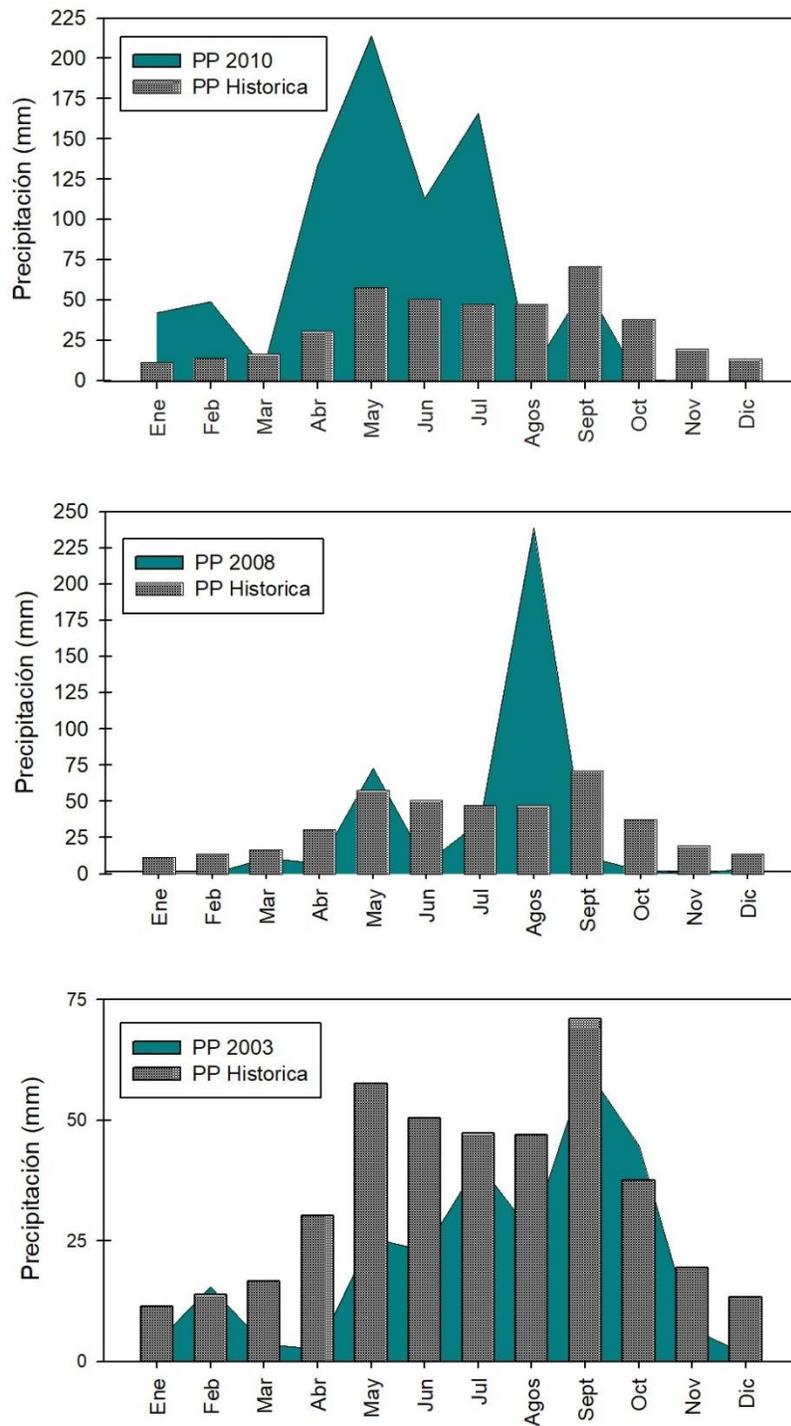


Figura 7. Relación entre la precipitación promedio histórica (1972-2013) y la precipitación promedio anual de los años 2010, 2003, 2008, años con eventos de mayor magnitud registrados en Los Picos de Davis.

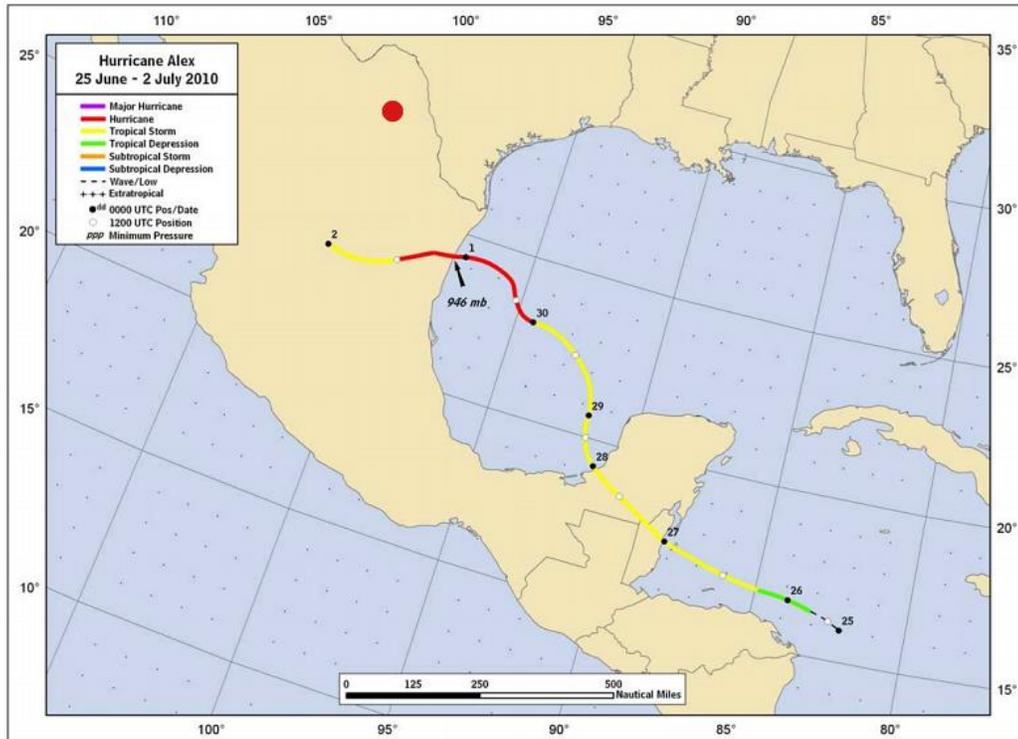


Figura 8. Trayectoria del huracán “ALEX” categoría II en el año 2010. (Tomada de Pasch, 2010.)

El evento hidrometeorológico que provocó un flujo de escombros en el año 2008, puede estar asociado al huracán “DOLLY” de categoría I (Figura 9), que impactó directamente sobre el área de estudio. Este huracán se generó en el Océano Atlántico que al ingresar al Golfo de México, su desplazamiento fue hacia el Noroeste, donde se intensificó a huracán categoría II y tocó tierra por segunda vez por lado de Texas, y siguió su trayectoria por los estados de Tamaulipas, Nuevo León, Coahuila, y Chihuahua, donde afectó fuertemente (Hernández y Bravo, 2008) hasta degradarse a depresión tropical.

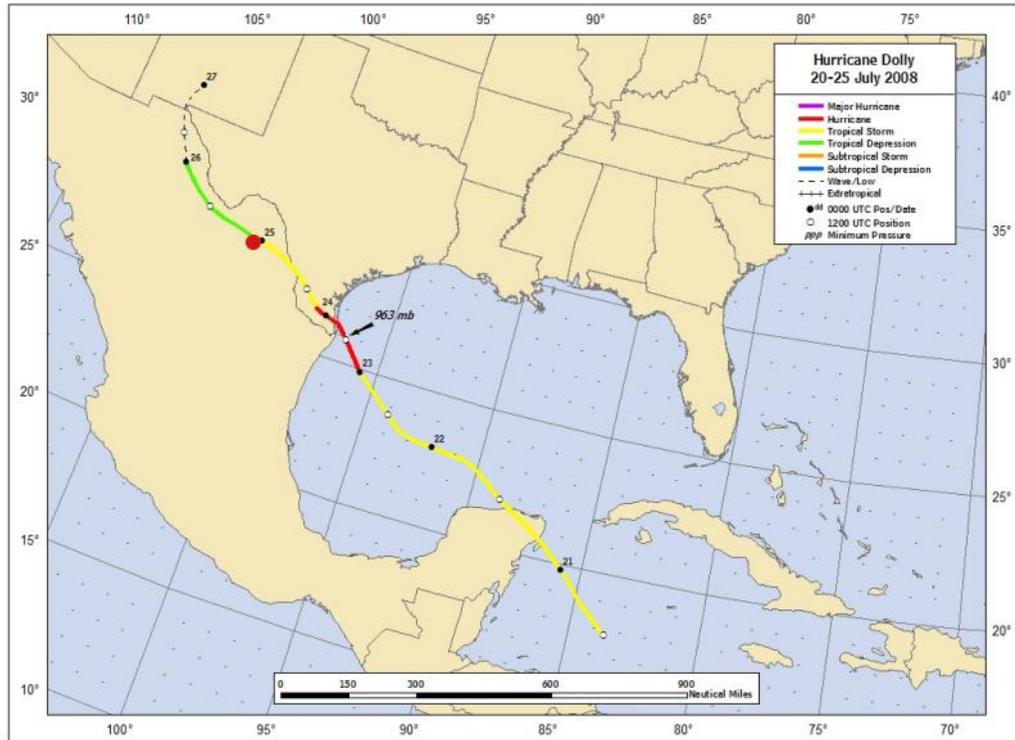


Figura 9. Trayectoria del huracán “Dolly” en el año 2008. Tomado de (Pasch y Kimberlain, 2008).

El flujo de escombros del año 2003 fue el tercer evento más importante en el estudio, mostró sincronía de registros de impactos en los dos cañones, y por la posición intra-anual del disturbio (Figura 5), el factor desencadenante de este evento pudo ser el huracán “Claudette”, el cual mantuvo su trayectoria directamente sobre el sitio de estudio (Figura 10), aunque la lluvia no registró un incremento superior a la media histórica de ese año en ninguno de los meses (Figura 7), esto se puede atribuir a dos aspectos, (1) que el suelo en época de verano no estaba estable como consecuencia de la cantidad de lluvia acumulada y (2) que aunado a lo anterior la lluvia provocada por el huracán “Claudette” se pudo haber registrado en un periodo de tiempo corto,

que esa cantidad de lluvia acumulada provocó las avenidas y por consecuencia un suceso destructivo en los cañones.

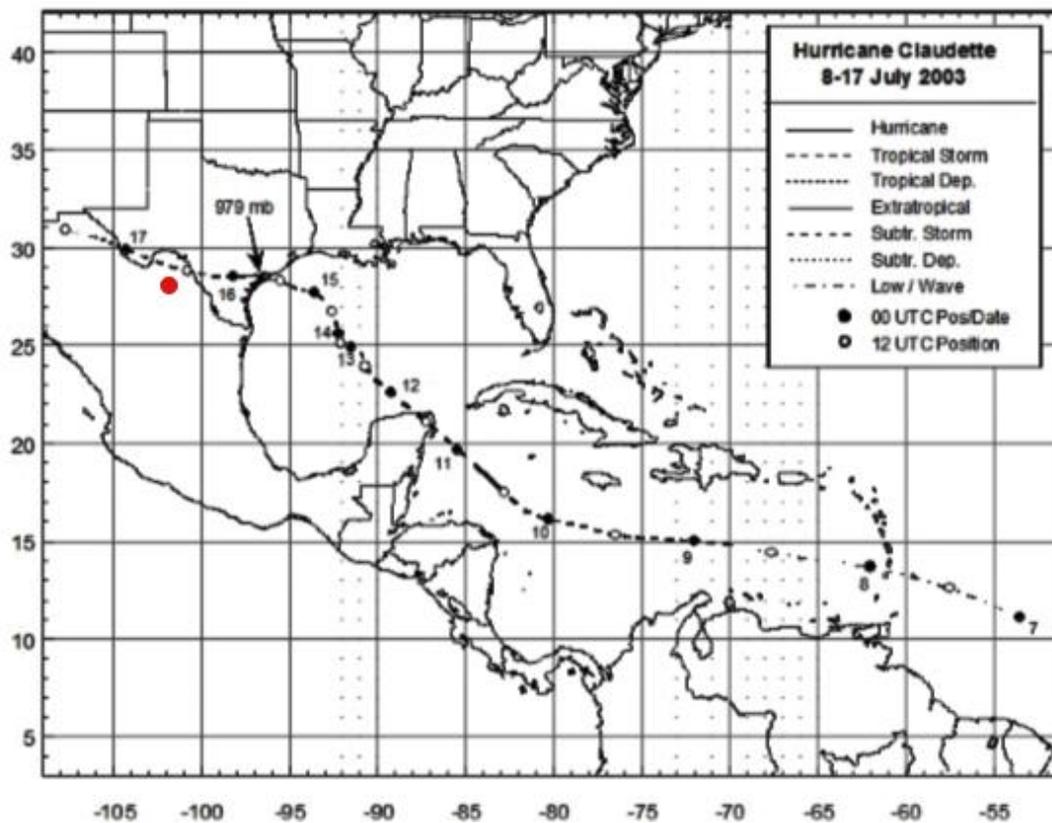


Figura 10. Trayectoria del huracán “Claudette” en el año 2003. Tomado de (Beven, 2003).

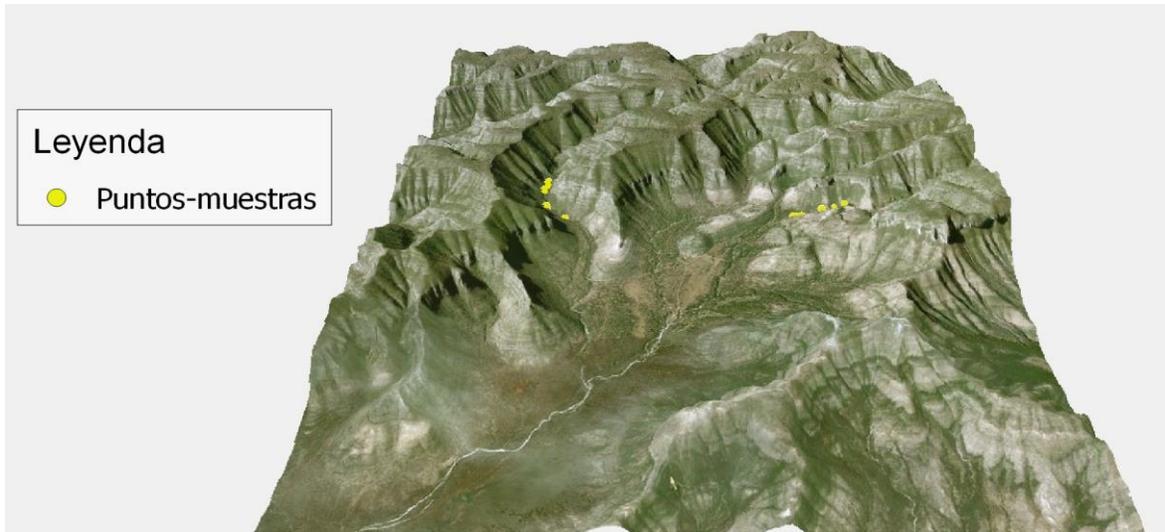


Figura 11. Distribución espacial de los árboles afectados por flujos de escombros en Los Picos de Davis, Múzquiz, Coahuila.

4 CONCLUSIONES

Para el presente estudio, se concluye:

- Los anillos de crecimiento de *Pinus ponderosa* registraron disturbios (cicatrices de impacto, supresiones abruptas y madera de compresión) ocasionados por flujos de escombros en Los Picos de Davis, Múzquiz, Coahuila, por lo tanto, la especie tiene buen potencial dendrogeomorfológico.
- Se generó una cronología de ocurrencia de 10 eventos (1990, 1991, 1992, 1993, 2003, 2004, 2005, 2008, 2010, 2015) dendrogeomorfológicos en los últimos 25 años en Los Picos de Davis, Múzquiz Coahuila.
- Eventos hidrometeorológicos extremos como huracanes y lluvias torrenciales de verano son factores que desencadenaron los flujos de escombros en los cañones de Los Picos de Davis, en Múzquiz, Coahuila.
- Las técnicas dendrogeomorfológicas son útiles y fiables para el fechado de avenidas torrenciales.
- Este trabajo sirve para una posterior evaluación de los flujos de escombros encontrados y tener una comprensión detallada de la frecuencia de ocurrencia, y crear acciones de planeación para evitar otros riesgos naturales como (perdida de suelo o vegetación), riesgos sociales, especialmente en periodos de mayor actividad (pérdidas humanas por asentamientos humanos, perdida de ganado) y económicos (perdida de infraestructuras) en la zona de estudio.

5 RECOMENDACIONES

Para futuros estudios, se recomienda:

- Incrementar el tamaño de muestra para lograr mayor sincronía registro de disturbios y fiabilidad de ocurrencia de eventos por avenidas torrenciales (flujos de escombros).
- Durante el muestreo en campo hacer la colecta de tres de muestras de diferentes ángulos o caras en árboles vivos cuando se emplee taladro de Pressler, esto para tener mejor visión del patrón de crecimiento de los anillos y mayor certeza de que fue provocado por un evento geomórfico.
- Para el caso de árboles que visualmente presenten una cicatriz o tejido calloso, se puede obtener solo una muestra por árbol lo más cercano posible al impacto.

6 REFERENCIAS

- Alestalo, J. (1971). Dendrochronological interpretation of geomorphic processes. *Fennia-International Journal of Geography*, 105, 1-139.
- Ballesteros, J. A., Díez-Herrero, A., Bodoque, J. M., Stoffel, M., Bollschuhweiler, M., & Hitz O. (2006). Caracterización de la señal anatómica en la madera de árboles afectados por avenidas torrenciales. *Trabajos de Geomorfología, en España*, 2008, 191-194.
- Ballesteros, J. A., Stoffel, M., Bodoque, J. M., Bollschweiler, M., Hitz, O. M., & Diez, A. (2010). Changes in wood anatomy in tree rings of *Pinus pinaster* Ait. following wounding by flash floods. *Tree-Ring Research*, 66, 93–103.
- Beven, J. (2003). *Tropical Cyclone Report Hurricane Claudette*. Recuperado de <https://www.nhc.noaa.gov/data/#tcr>
- Bravo, C. (2010). *Reseña de la depresión tropical DOS del Océano Atlántico*. Recuperado de <https://smn.cna.gob.mx/es/ciclones-tropicales/informacion-historica>
- Diez-herrero, A., Ballesteros, J. A., Bodoque, J. M., Eguíbar, M. A., Fernández, J. A., Génova, M. M., Lian, L., Llorente M., & Stoffel, M. (2007). Mejoras en la estimación de la frecuencia y magnitud de avenidas torrenciales mediante técnicas dendrogeomorfológicas. *Boletín geológico y minero*, 118(4), 789-802.
- Erokhin, S. A., Zaginaev, V. V., Meleshko, A. A., Ruiz-Villanueva, V., Petrakov, D. A., Chernomorets, S. S., & Stoffel, M. (2018). Debris flows triggered from non-stationary glacier lake outbursts: the case of the Teztor Lake complex (Northern Tian Shan, Kyrgyzstan). *Landslides*, 15(1), 83-98. DOI 10.1007/s10346-017-0862-3
- Franco–Ramos, O. (2014). *Estudio dendrogeomorfológico de procesos de remoción en masa. Lahares en el volcán de Colima y la Malinche, caída de rocas en el Cofre de Perote*. Tesis de Doctorado. Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Autónoma de México, México.

- Franco–Ramos, O., Castillo, M. & Muñoz–Salinas, E. (2016). Using tree-ring analysis to evaluate the intra-eruptive lahar activity in the Nexpayantla Gorge, Popocatepetl Volcano (Central Mexico). *Catena*, 147, 205-215.
- Franco–Ramos, O., Vázquez, L., Stoffel, M., & Villanueva, J. (2018). Potencial dendrogeomorfológico de coníferas en volcanes del centro de México. *Bosque (Valdivia)*, 39(2), 191-204.
- Frazer, G. (1986). *Dendrogeomorphic evaluation of snow avalanche history at two sites in Banff National Park*. MSc thesis. University of Western Ontario, London, Ontario, Canada.
- Fritts, H. (1976). *Tree Rings and Climate*. New York, Estados Unidos: Academic press.
 Recuperado de https://books.google.com.mx/books?id=mkjsuFdwjeoC&pg=PR4&lpg=PP1&focus=viewport&hl=es&output=html_text
- García–Oteyza, J., Génova, M., Calvet, J., Furdada, G., Guinau, M., & Díez-Herrero A. (2015). Datación de avenidas torrenciales y flujos de derrubios mediante metodologías dendrogeomorfológicas (barranco de Portainé, Lleida, España). *Ecosistemas*, 24(2), 1-8.
- González, J. L., Hermelin, M., & Cháves, O. A. (2005). Aspectos geomorfológicos de la avenida torrencial del 31 de enero de 1994 en la cuenca del río Fraile y sus fenómenos asociados. En M. Hermelin, *Desastres de origen natural en Colombia 1979-2004* (pp.135-146). Colombia: fondo editorial universidad EAFIT.
- González-Díez, A., Fernández-Maroto, G., Doughty, M. W., Remondo, J., Bruschi, V. M., Bonachea, J., Díaz de Terán, J. R., Martínez-Cedrún, P., Rivas, V., Flor, G., Serrano, E., Gutierrez-Santolalla, F., Benito, G., Desir, G., López, J., Romero, M. A., Batalla, R., Gracia-Prieto, F. J., Flor-Blanco, G., Garzón, G., Cardenal, J., Vilaplana, J. M., Corominas, J., Díaz-Martínez, E., Jiménez-Sánchez, M., & Guerra J. C. (2012). *Avances de la Geomorfología en España*

2010- 2012, *Actas de la XII Reunión Nacional de Geomorfología* (12ª ed.). Santander, España: PUbliCan, Ediciones de la Universidad de Cantabria.

Gutiérrez, J., Vargas, V., Romero, M., Plácido de la Cruz, J. M., Aguirre, M., & Silva, H. (2011). México Return periods of torrential rains for the state of Tamaulipas, Mexico. *Investigaciones Geográficas, Boletín Del Instituto de Geografía, UNAM*, 76, 20-33.

Hernández, A., & Bravo, C. (2008). *Reseña del huracán "DOLLY*. Recuperado de <https://smn.cna.gob.mx/es/ciclones-tropicales/informacion-historica>

Hernández, A., & Bravo, C. (2010). *Reseña del huracán "Alex" del Océano Atlántico*. Recuperado de <https://smn.conagua.gob.mx/tools/DATA/Ciclones%20Tropicales/Ciclones/2010-Alex.pdf>

Holmes, R. L. (1983). Computer-assited quality control in treering dating and measurement. *Tree-Ring Bulletin*, 43, 69-78.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2005a). *Guía para la interpretación de cartografía geológica*. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Recuperado de http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/1329/702825231767/702825231767_1.pdf

Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2005b). *Marco Geoestadístico Municipal 2005, versión 3.1*. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2009). *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos, Múzquiz, Coahuila de Zaragoza. Clave geoestadística 05020*. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Recuperado de

www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/05/05020.pdf

Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2017). *Carta de Datos Topográficos H13D59 (Coahuila de Zaragoza). Escala 1:50 000, serie III*. México.

Instituto Nacional de investigaciones Forestales y Agropecuarias -Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [INIFAP-CONABIO, 1995]. (2001). *Carta edafología Nacional. Escala 1: 250000*. México.

Jakob, M. (2010). State of the Art in Debris-Flow Research: The Role of Dendrochronology. In M. Stoffel, M. Bollschweiler, D. R. Butler, & B. H. Luckman (Eds.), *Tree Rings and Natural Hazards: A State-of-the-Art, Advances in Global Change Research 41* (pp. 183-192). New York: Springer Science+Business Media.

Kogelnig-Mayer B., M. Stoffel, M., M. Schneuwly-Bollschweiler, M., Hübl, J., & Rudolf-Miklau, F. (2011). Possibilities and Limitations of Dendrogeomorphic Time-Series Reconstructions on Sites Influenced by Debris Flows and Frequent Snow Avalanche Activity. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 43(4), 649-658.

Miranda, R., Puy M. J., & Martínez, J. J. (2007). El árbol: fuente de información de las ciencias de la tierra. *Elementos ciencia y cultura, Universidad Autónoma de Puebla*, 67(14), 41-43.

Pasch R. J. & Kimberlain T. B. (2008). *Tropical Cyclone Report Hurricane Dolly (AL042008)*. Recuperado de <https://www.nhc.noaa.gov/data/#tcr>

Pasch, R. J. (2010). *Tropical Cyclone Report, Hurricane Alex (AL012010)*. Recuperado de <https://www.nhc.noaa.gov/data/#tcr>

Phillips, M. A., & Croteau, R. B. (1999). Resin-based defences in conifers. *Trends in Plant Science*, 4, 184 –190.

- Robinson, W. J., & Evans, R. (1980). A microcomputer-based tree-ring measuring system. *Tree-Ring Bulletin*, 40, 59-64.
- Schiappacasse, I. L. (2007). *Evaluación de la capacidad del coihue (nothofagus dombeyi) para registrar eventos sísmicos*. Tesis. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Quillota, Chile.
- Schweingruber, F.H., Eckstein, D., Serre-Bachet, F., & indBrfu, O. U. (1990). Identification, presentation and interpretation of event years and pointer years in dendrochronology. *Dendrochronologia*, 8, 9-38. Recuperado de <https://www.naturfagsenteret.no/c1761334/binfil/download2.php?tid=1856970>
- Shroder, J. (1978). Dendrogeomorphological analysis of mass movement on Table Cliffs Plateau, Utah. *Quaternary Research*, 9, 168-185. doi.org/10.1016/0033-5894(78)90065-0
- Stoffel, M., & Perret, S. (2006). Reconstructing past rockfall activity with tree rings: some methodological considerations. *Dendrochronologia*, 24(1), 1-15.
- Stoffel, M., Bollschweiler, M., & Hassler, G. R. (2006). Differentiating past events on a cone influenced by debris-flow and snow avalanche activity—a dendrogeomorphological approach. *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group*, 31(11), 1424-1437.
- Stoffel, M., & Bollschweiler, M. (2009). What tree-ring can tell about Earth-surface processes: teaching the principles of dendrogeomorphology. *Geography Compass*, 3(3), 1013-1037. doi/abs/10.1111/j.1749-8198.2009.00223.x
- Stoffel, M. (2010). Magnitude-frequency relationships of debris flows-A case study based on field surveys and tree-ring records. *Geomorphology*, 116, 67-76. doi:10.1016/j.geomorph.2009.10.009
- Stoffel, M., Bollschweiler, M., Butler, D. R., & Luckman, B. H. (2010). *Tree rings and natural hazards: a state-of-art Advances in Global Change Research 41*. Springer Science & Business Media.

Stoffel, M., & Corona, C. (2014). Dendroecological dating of geomorphic disturbance in trees. *Tree-Ring Research*, 70(1), 3-20.

Stokes, M. A., & Smiley, T. L. (1996). *An introduction to the tree-ring dating*. The University of Arizona Press.

Terán, C.A.R. (2010). *Escenarios de lluvia en México*. Tesis Doctoral. CIEMAD-IPN.

Trappmann, D., Corona, C., & Stoffel, M. (2013). Rolling stones and tree rings: a state of research on dendrogeomorphic reconstructions of rockfall. *Progress in Physical Geography*, 37(5), 701-716. doi.org/10.1177/0309133313506451

7 ANEXOS



Anexo 1. Trayectoria final de la Depresión Tropical “DOS”, tomada de (Bravo, 2010).