



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
COLEGIO DE GEOGRAFÍA

DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL ARBUSTO
DE ALTA MONTAÑA JUNIPERUS MONTICOLA
Y SU RELACIÓN CON LA GEOMORFOLOGÍA
EN EL VOLCÁN IZTACCÍHUATL.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

LICENCIADA EN GEOGRAFÍA

P R E S E N T A:

ANDREA YOALI GARDUÑO CUEVAS



DIRECTOR DE TESIS:
DR. LORENZO VÁZQUEZ SELEM

Ciudad Universitaria, Cd. Mx.
2017



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICATORIA

Primeramente a Dios

A mí

A mi abuelo José Luis Garduño Carbajal †

A mis padres: Yolanda Cuevas y José Cruz Garduño; y a mi hermana Nayeli.

Todo lo que soy se los debo a ustedes, gracias.

“Si se desmayan mis rodillas, si se me cae el cielo, si se desfigura el día y se convierte en hielo, si mi sangre se torna color cobarde frío, si mi valor tiene el estómago vacío, si mis sueños se pelean con la suerte puede que el fracaso abra los ojos y despierte, pero estoy preparado para los días salados, cualquiera que camine se tiene que haber resbalado.

Caí con todo el peso, pero si es fuerte la caída más impresionante será mi regreso. Ya no corro, le salieron alas a mis botas, mi cuerpo navega por el aire, flota. Voy contra todo, hago sudar al viento, cada paso que doy va narrando un cuento. Hasta mis hazañas se asombran, la historia me persigue porque la convertí en sombra.

Y los deseos me vieron nacer, los árboles me vieron crecer, el océano me vio navegar, las estrellas me vieron cruzar, las estrellas me vieron llegar, las estrellas me vieron perder, las estrellas me vieron ganar, las estrellas me vieron correr, las estrellas me vieron volar, las estrellas me vieron perder, las estrellas me vieron ganar.”

Calle 13. (2014). *Me vieron cruzar*. En Multi viral [CD]. El abismo.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por ser mi segundo hogar y formarme académica y personalmente desde el 2009.

Al Instituto de Geografía por siempre recibirme y apoyarme con las becas de iniciación a la investigación y María Teresa Gutiérrez de MacGregor.

Al CentroGeo, y a las grandes personas que he conocido allí, por recibirme y apoyarme en el servicio social, así como académica y laboralmente.

Al Dr. Lorenzo Vázquez Selem, asesor de esta tesis y gran amigo, agradezco sus consejos, aprendizajes y sobre todo el apoyo brindado incondicionalmente.

Al Dr. José Villanueva Díaz y al Dr. Julián Cerano Paredes, del Laboratorio de Dendrocronología del Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera (CENIP-RASPA) del INIFAP, Gómez Palacio, Dgo., por el apoyo brindado para el proceso y análisis de las muestras dendrocronológicas.

Al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) de la UNAM, por el proyecto IN109216, del cual surge esta investigación.

A las autoridades y personal del Parque Nacional Izta-Popo por las facilidades brindadas para la realización del trabajo de campo y por la autorización otorgada para la colecta de muestras dendrocronológicas (Oficio Núm. DRCEN/PNIP/1015/2014 firmado por el Lic. M.A. Rodríguez Trejo, Director).

Al Ing. Alfredo Rodríguez Manjarrez, de la Sección de Mecánica del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM por la colaboración en la preparación y lijado de las muestras.

Al Mtro. José Manuel Espinoza Rodríguez, la Dra. Leticia Gómez Mendoza, y el Dr. Osvaldo Franco Ramos, por aceptar revisar este trabajo, agradezco sus comentarios y aportes. Pero igualmente gracias por sus enseñanzas en clase y en campo.

Al Mtro. José Mauricio Galeana Pizaña, por la valiosa e imprescindible ayuda para esta tesis, pero especialmente por el apoyo académico y personal.

A los profesores Mtro. Sergio Salinas Sánchez, Dr. José Juan Zamorano Orozco y Dr. Álvaro Sánchez Crispín por sus valiosas clases y prácticas de las cuales aprendí mucho y conocí mi amor por la geografía y geomorfología; son parte fundamental de mi formación académica.

Agradezco todo el apoyo brindado por mi familia, especialmente a mi madre, a abuela Lupe y a mi tía Lety, porque son mi ejemplo a seguir, gracias por estar siempre ahí para mí.

A Leonardo Monroy por su total y reconfortante apoyo; gracias por tantos momentos juntos, por tantas locuras, gracias por tanto...

A Ana Karen Romero por tu ayuda, apoyo y consejos, eres la mejor compañera de campo, la mejor confidente y mi mejor amiga, gracias por las miles de horas de desahogo, risas y chismes.

A Aldo Jiménez porque en poco tiempo te volviste mucho, gracias por el apoyo y la confianza. Tus locuras van con las mías.

A Lilia Vazquez Jasso, Jazmín Nieto, Víctor Hugo Bazán, Jessica Jaime, Mariana Vargas, Mariana Ríos, Patricia Miranda y Laura Martínez, gracias a ustedes por enseñarme, apoyarme, aconsejarme y malformarme durante muchos años, pero sobre todo gracias por ser esos pocos a los que se les puede decir amigo de verdad.

A Fernanda Flores y Moisés Reyes, por hacer únicas y divertidas las tardes en el CentroGeo donde surgió una gran amistad.

A Ale Franco y Jesús Alcalá por hacerme sentir bienvenida en el Instituto y en el dendro-team, por las divertidas salidas a campo, pero sobre todo por su amistad y apoyo.

A los hermanos Meza (Memo, Lalo y Oscar), Edith Mancha y Pablo Castorena, por ser los mejores roommates, vivir en "La cueva del Oso" fue de lo mejor de estudiar en CU.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
HIPÓTESIS.....	2
OBJETIVOS.....	2
CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES	4
1.1 Perspectivas teóricas y conceptuales	4
1.1.1. Geomorfología y biogeomorfología.....	4
1.1.2. Dendrocronología.	6
1.2 Antecedentes investigativos sobre vegetación alpina.....	7
1.2.1. Conceptos generales	7
1.2.2 Vegetación alpina de México	8
1.2.3 <i>Juniperus monticola</i>	12
CAPÍTULO 2. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-GEOGRÁFICAS DEL VOLCÁN IZTACCÍHUATL.	15
2.1 Localización	15
2.2 Evolución geológica y geomorfológica.....	16
2.3 Clima y suelo.....	21
2.4 Flora y fauna	26
CAPÍTULO 3. DISTRIBUCIÓN DE <i>Juniperus monticola</i> EN EL VOLCÁN IZTACCÍHUATL Y SU RELACIÓN CON LA GEOMORFOLOGÍA	28
3.1 Estrategia metodológica.....	28
3.2 Distribución del <i>Juniperus monticola</i> en los valles de Alcalica y Apatlaco	29
3.3 Geomorfología de los valles Alcalica y Apatlaco.....	36
3.3.1 Morfometría	36
3.3.2 Morfología.....	44
3.4 Relación geomorfología-distribución de <i>Juniperus monticola</i>	46
3.5 Zonas aptas para el <i>Juniperus monticola</i> en el Volcán Iztaccíhuatl.....	58
3.5.1. Formulación de un modelo basado en variables morfométricas	58
3.5.2. Verificación del modelo.....	60

CAPÍTULO 4. DENDROCRONOLOGÍA DE <i>Juniperus monticola</i> Y RELACIÓN CON LA GEOMORFOLOGÍA	62
4.1. Muestreo y análisis dendrocronológico	62
4.2. Relaciones entre la edad de <i>Juniperus monticola</i> y la geomorfología	70
CONCLUSIONES	74
BIBLIOGRAFÍA	76
APÉNDICE 1. MAPAS	81
APÉNDICE 2. TABLAS DE DATOS	88
APÉNDICE 3. DENDROCRONOLOGÍA	109

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Ecotonos y sus factores limitantes en alta montaña. Tomado de Körner (2012).

Figura 1.2. Cinturones altitudinales de vegetación entre Iztaccíhuatl y Veracruz. Tomado de Lauer (1973).

Figura 1.3. Perfil general de la distribución de las asociaciones en los volcanes Popocatepetl, Iztaccíhuatl y Nevado de Toluca, México. Tomado de Almeida-Leñero *et al.* (2015).

Figura 1.4. Clasificación del *Juniperus monticola* según el Equipo “Flora alpina del centro de México” Instituto de Ecología. Tomada de CONANP (2017).

Figura 2.1. Localización de la Sierra Nevada, al norte el Complejo Volcánico Iztaccíhuatl, al sur el volcán Popocatepetl.

Figura 2.2. Evolución volcánica del Iztaccíhuatl. Tomada de Nixon, 1989.

Figura 2.3. Cronología glacial del CVI. Tomada de Vázquez-Selem y Heine, 2004.

Figura 2.4. Tipos de suelo en el volcán Iztaccíhuatl.

Figura 3.1. La metodología se organizó en 4 fases, la recopilación de información básica de la zona es la primera, la fase 2 es el trabajo en campo y en gabinete, la fase 3 la elaboración y verificación de áreas aptas para la presencia del arbusto y por último la parte de la dendrocronología es la fase 4.

Figura 3.2. Localización de la zona de estudio. Al este en el mapa el valle de Alcalica, al oeste el valle de Apatlaco, ambos al sur del volcán.

Figura 3.3. La imagen B con fecha del 19 de noviembre de 2012, fue la seleccionada para interpretar a la especie pues con mayor iluminación que la imagen predeterminada del programa Google Earth con fecha del 6 de mayo de 2016 (imagen A), es más fácil interpretar el tono verde oscuro de los individuos de *Juniperus monticola*, los cuales se encuentran justo al centro de ambas imágenes.

Figura 3.4. En la imagen A se muestra el levantamiento del Eje Mayor de un individuo con clave IJU en el valle de Apatlaco, y en la imagen B se está tomando el diámetro en mm de un IJU del valle de Alcalica con un calibre de Vernier.

Figura 3.5. Puntos de individuos *Juniperus monticola* en la zona de los valles de Alcalica y Apatlaco.

Figura 3.6. Mapa de los individuos *Juniperus monticola* en la zona de los valles de Alcalica y Apatlaco, siendo en total 285 puntos.

Figura 3.7. Resultado de la clasificación supervisada.

Figura 3.8. Mapa altimétrico de la zona de estudio.

Figura 3.9. Mapa de pendientes de la zona de estudio.

Figura 3.10. Mapa de orientación de laderas de la zona de estudio.

Figura 3.11. El renglón de la A ejemplifica la curvatura del perfil y el de B la curvatura en plano. Tomado de ArcGIS (2017).

Figura 3.12. Mapas de geometría del relieve de la zona de estudio.

Figura 3.13. Mapa de radiación solar en la zona de estudio.

Figura 3.14. Mapas de acumulación de flujo de la zona de estudio.

Figura 3.15. Mapa geomorfológico de la zona de estudio.

Figura 3.16. Mapa de la sobreposición de las variables morfología-*Juniperus monticola* en la zona de estudio.

Figura 3.17. Preferencia de la especie por las geoformas rocosas.

Figura 3.18. Individuo de JM el cual la mitad más cercana al zacatonal alpino se vio afectada por algún incendio, mientras la otra mitad sana está en una zona de mayor pendiente y lejos de algún zacatonal.

Figura 3.19. Modelo de áreas aptas para la presencia de la especie en toda la montaña.

Figura 3.20. Modelo de áreas aptas para la presencia de la especie en toda la montaña y puntos IZJ para verificarlo.

Figura 4.1. Toma de muestras de *Juniperus monticola*.

Figura 4.2. Corte transversal de un *Juniperus monticola*.

Figura 4.3. Preparación de las muestras de *Juniperus monticola*.

Figura 4.4. Distribución de los 47 puntos IZJ en el mapa geomorfológico.

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Datos de IJU tomados en campo que son visibles en la imagen satelital con Google Earth.

Tabla 2. Cantidad de JM en cada geoforma en la zona de los valles.

Tabla 3. Tabla de clasificación de Guilford. Tomado de Manteiga y de Vargas Luque (2012).

Tabla 4. Resumen de la regresión

Tabla 5. 35 muestras de JM con el valor real de número máximo de anillos y el valor estimado.

Tabla 6. Valores máximo, mínimo y promedio de las estimaciones de anillos en los individuos con clave IJU.

Tabla 7. Distribución por morfología de los 47 puntos IZJ.

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Porcentaje de la cantidad de puntos por geoforma.

Gráfica 2. Porcentaje de JM por rangos altitudinales.

Gráfica 3. Porcentaje de JM por grados de pendiente.

Gráfica 4. Porcentaje de JM por orientación de laderas.

Gráfica 5. Porcentaje de JM por geometría del relieve en perfil.

Gráfica 6. Porcentaje de JM por geometría del relieve en plano.

Gráfica 7. Porcentaje de JM por radiación solar.

Gráfica 8. Porcentaje de JM por acumulación de flujo.

Gráfica 9. Dispersión de la cantidad de anillos y el diámetro de las muestras, con la línea de tendencia lineal, su ecuación y R cuadrada.

Gráfica 10. Distribución de la cantidad de muestras por morfología y la edad de cada individuo.

Gráfica 11. Dispersión de la cantidad de anillos contra la altimetría, con la línea de tendencia lineal.

Gráfica 12. Dispersión de anillos contra la pendiente, con la línea de tendencia lineal.

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas en México se ha incursionado en la dendrocronología, que es la ciencia que estudia la edad de los árboles y los cambios en el ambiente con base en los anillos de crecimiento (Cook, 1987). Dicha ciencia tiene aplicaciones en la climatología, la ecología, la geomorfología y la arqueología por la precisión anual de sus resultados y su temporalidad en cientos y a veces hasta en miles de años (Fritts, 2001).

Pero sólo las plantas arbóreas y arbustivas leñosas son factibles para este procedimiento, ya que se requiere la formación de anillos de crecimiento anuales por parte de estos individuos para su posible fechamiento. Una de éstas es el arbusto alpino *Juniperus monticola*, del que recientemente se ha descubierto que puede superar los 800 años, lo cual permite considerarla como una de las especies más longevas de México, de hecho la más longeva hasta ahora encontrada en las altas montañas del centro de México (Villanueva Díaz *et al.*, 2016).

Al *Juniperus monticola* se le adjudica el término *krumholz*, que significa árbol o arbusto leñoso con una estructura retorcida y que crece en la horizontal. En México se le conoce por su distribución en alta montaña, en el intervalo comprendido entre los 3,700 y los 4,200 msnm. Se localiza de manera puntual en afloramientos rocosos dentro del paisaje vegetal dominado por comunidades zacatonales y arboledas de pino principalmente (Giménez de Azcarate y Escamilla, 1999).

En esta investigación se tratará de determinar los factores limitantes o los rangos del hábitat de la especie, con énfasis en los parámetros geomorfológicos, primeramente en la zona sur del volcán Iztaccíhuatl, en los valles de Alcalica y Apatlaco más específicamente, para después extrapolarlos a todo el volcán con base en un modelo de zonas aptas para su presencia, y verificarlo. De ser correcto, este modelo podría usarse para otras regiones similares de México. Todo esto con el fin de obtener una base de datos que permita conocer la distribución de este arbusto alpino, así como el desarrollo de su potencial dendrocronológico, el cual es de suma importancia por el archivo histórico-natural que contiene.

Este análisis es de gran valor para múltiples ciencias, tales como la climatología, por los registros de precipitación, temperatura, retrocesos glaciares, entre otros; la geomorfología, para datar eventos como procesos de remoción en masa, erupciones, sismos, etc.; la ecología, por la posibilidad de analizar la dinámica en poblaciones y comunidades arbóreas, los patrones temporales y espaciales de especies, así como conocer los ataques masivos de insectos como los descortezadores, y el fechado de perturbaciones como caídas de árboles e incendios.

HIPÓTESIS

La distribución del arbusto alpino *Juniperus monticola* en el volcán Iztaccíhuatl está determinada por la altitud, la geomorfología, y una orientación que le asegure la suficiente radiación solar para su supervivencia.

OBJETIVOS

-GENERAL

- Caracterizar los factores del relieve que determinan la distribución espacial de la especie *Juniperus monticola* y modelar su distribución potencial en el volcán Iztaccíhuatl.

-PARTICULARES

- Identificar la distribución del *Juniperus monticola* en los valles de Alcalica y Apatlaco en el sur del volcán Iztaccíhuatl.
- Reconocer las principales formas del relieve en los valles de Alcalica y Apatlaco.
- Comparar la distribución del *Juniperus monticola* en relación con la morfometría y morfología en los valles de Alcalica y Apatlaco.

- Identificar áreas aptas para la presencia de *Juniperus monticola* en el volcán Iztaccíhuatl.
- Detectar la correlación entre las variables anillos-diámetro y anillos-geomorfología de los *Juniperus monticola*, con base en técnicas dendrocronológicas y estadísticas.

CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES

1.1 Perspectivas teóricas y conceptuales

1.1.1. Geomorfología y biogeomorfología

El mapa geomorfológico representa el relieve con base en la morfología, la génesis, la morfometría, litología, edad y más (Lugo-Hubp, 2011). Hay una gran variedad de mapas geomorfológicos, pero los básicos son producto de levantamiento de campo y/o interpretación de fotos aéreas, así como de mapas geológicos, de suelos, vegetación, uso de suelo, y demás. De estos mapas geomorfológicos, según Smith *et. al.* (2011), hay dos tipos: los morfoevolutivos y los morfodinámicos. Los primeros representan la evolución en relación a agentes endógenos y exógenos, junto con su conexión con climas pasados y actuales, así como eventos recientes como la actividad humana; generalmente son mapas de escalas pequeñas. Por el contrario, los mapas morfodinámicos son de una escala más detallada, ya que es importante el detalle de la representación litológica y el ajuste estructural así como de los procesos activos. Por otra parte Lugo-Hubp (2011) menciona que hay mapas geomorfológicos temáticos, entre ellos los morfométricos, morfográficos, morfodinámicos, de morfocronología, morfotectónica, de procesos gravitacionales, erosión del suelo, paleogeomorfología y más.

La escala en los mapas geomorfológicos es esencial pues dependiendo de ésta, los fenómenos o parámetros a interpretar se modificarán. Si la escala se mueve hacia arriba, hacia escalas más pequeñas, los polígonos pueden cambiar a líneas o símbolos. Si se mueve hacia abajo, los símbolos pueden cambiar a líneas o polígonos, mientras que los polígonos se pueden descomponer en elementos más pequeños (Smith *et. al.*, 2011)

Es por esto que en este trabajo se pretende utilizar dos escalas para conocer diferentes aspectos del relieve, que se relacionan con la distribución del arbusto alpino *Juniperus monticola* cartográficamente hablando. En cuanto a los tipos de mapas, se realizará un mapa geomorfológico no temático, solamente de las principales geoformas, y también una serie de mapas geomorfométricos para estudiar las características cuantitativas de las formas del relieve.

El análisis que se pretende realizar al conjuntar geomorfología y biogeografía es de carácter biogeomorfológico. La biogeomorfolología es útil para identificar cómo algunos procesos o ambientes geomorfológicos tienen influencia en la distribución de la biota.

Hasta hace poco tiempo, los componentes geomórficos y ecológicos del paisaje han sido conceptualizados en gran parte como componentes independientes. Pero cada vez más, las interacciones entre estos componentes son más circulares, y esto resulta en la biogeomorfolología. En una dirección, los procesos geomórficos y las formas de relieve influyen en la distribución de la biota; mientras que, en la otra dirección, la biota modifica los procesos geomórficos y los relieves (Stallins, 2006).

La distribución de la vegetación es una respuesta a la estructura subyacente de gradientes ambientales de suelo, el agua y los nutrientes. Pero también la distribución de la vegetación en un paisaje a menudo se explica como un resultado de la dinámica de parches de perturbación, como, por ejemplo, incendios, inundaciones y deslizamientos que dan como resultado parches de vegetación de diferentes edades y composición (Stallins, 2006).

Tricart y Kilian (1982) proponen que el estudio de las interacciones entre procesos ofrece un principio de integración para el estudio eco-geográfico, pues permite definir el grado de estabilidad de los medios naturales en función de su grado de estabilidad morfodinámica. Dando así otra variante que abarca más allá de la biota, la denominada ecogeografía.

Los fenómenos geomorfológicos forman parte de la dinámica general de los sistemas naturales debido a los flujos de materia que provocan y a las modificaciones de la superficie que resultan. Su energía somete a los demás fenómenos del medio natural a unas presiones que son una fuente de limitaciones. Los flujos de materia interfieren también en la pedogénesis, y su estudio debe recurrir a la geomorfología pues hay relaciones geomorfología/ecología vegetal y geomorfología/pedología que no podían ser percibidas cuando la geomorfología estaba reducida todavía a una visión estática y fisiográfica del relieve (Tricart y Kilian, 1982).

En el balance morfogénesis/pedogénesis uno siempre domina más que el otro, por ejemplo, donde se producen acciones geomórficas localizadas, intensas, los suelos (y

la vegetación) son destruidos por ellas, pero una vez que el proceso geomórfico termina, la vegetación vuelve a instalarse de forma pionera, y se manifiesta la pedogénesis (Tricart y Kilian, 1982).

Otro concepto relacionado es el de geo-ecología, término introducido por el geógrafo alemán Carl Troll (1971) el cual tiene dos componentes: una aproximación al estudio del paisaje que lo interpreta como un apoyo a los ecosistemas naturales y culturales; y la ciencia que investiga las relaciones entre la biosfera y la antropósfera, la superficie de la tierra o los componentes abióticos (como se cita en Thomas y Goudie, 2009).

1.1.2. Dendrocronología

La dendrocronología es la disciplina que estudia la edad de los árboles. Se basa en la medición y conteo de los anillos de crecimiento de diversas especies con la capacidad de crear anillos anualmente y a partir de las características de éstos realiza inferencias sobre las condiciones ambientales en las cuales crecen los árboles (Fritts, 2001). El término proviene del griego *dendros* que significa árbol, *chronos* tiempo y *logos* conocimiento.

La dendrocronología aporta a la ciencia en general un archivo histórico-natural del planeta de hasta miles de años, y se ha utilizado ampliamente por variados autores desde inicios del siglo XX cuando Andrew E. Douglas, fundador de la dendrocronología, comenzó sus investigaciones, hasta la actualidad.

La dendrocronología puede dividirse en varios subcampos, por ejemplo la dendroclimatología, que se refiere a las investigaciones dendrocronológicas de climas pasados y presentes, o la dendroclimatografía, que se refiere a la cartografía de climas pasados y presentes. Igualmente, existen la dendroecología, la dendrohidrología y la dendrogeomorfología, que se refieren a la aplicación de la dendrocronología al estudio de la ecología de las comunidades bióticas pasadas, el flujo de los ríos y la historia de las inundaciones; y los procesos geomorfológicos, respectivamente.

Por ejemplo, el caso más reciente para México es el de Franco-Ramos *et al.* (2017) quienes realizaron un estudio dendrogeomorfológico determinando las edades mínimas de las superficies geomorfológicas con base en la edades de los arboles

presentes en ellas. Las especies utilizadas fueron *Pinus hartwegii*, *Pinus ayacahuite* y *Abies religiosa*.

El potencial dendrocronológico de una especie es su capacidad para desarrollar anillos de crecimiento anual, con una fuerte señal climática; esta variabilidad climática se refleja a través de las fluctuaciones en el grosor de sus crecimientos anuales (Constante-García *et al.*, 2010).

De acuerdo con Villanueva *et al.* (2016) *Juniperus monticola* es una especie viable para este método, pues se comparó con las series de *Pinus hartwegii* y se confirmó su potencial dendrocronológico.

1.2 Antecedentes investigativos sobre vegetación alpina

1.2.1. Conceptos generales

Los términos alpino y subalpino se refieren a las áreas de vegetación por arriba y por abajo respectivamente del *timberline* o límite superior del bosque (Beaman, 1962). El *timberline* compone la zona de transición o ecotono entre el margen superior de la vegetación boscosa y el margen inferior de los zacatonales (Giménez de Azcarate y Escamilla, 1999).

Cualquier especie arbórea tiene un límite superior de elevación y se puede observar la diversidad de árboles a lo largo de cualquier montaña. Existen limitaciones ambientales comunes a todas las altas montañas que impiden el crecimiento de los árboles más allá de cierta altitud y dan lugar a la vegetación alpina de baja estatura como los *krummholz* (Fig. 1.2). Las limitantes altitudinales de las especies están ligadas a las peculiaridades locales del medio ambiente y/o a la incapacidad de las especies a una multitud de perturbaciones, incluyendo las de los seres humanos (Körner, 2012).

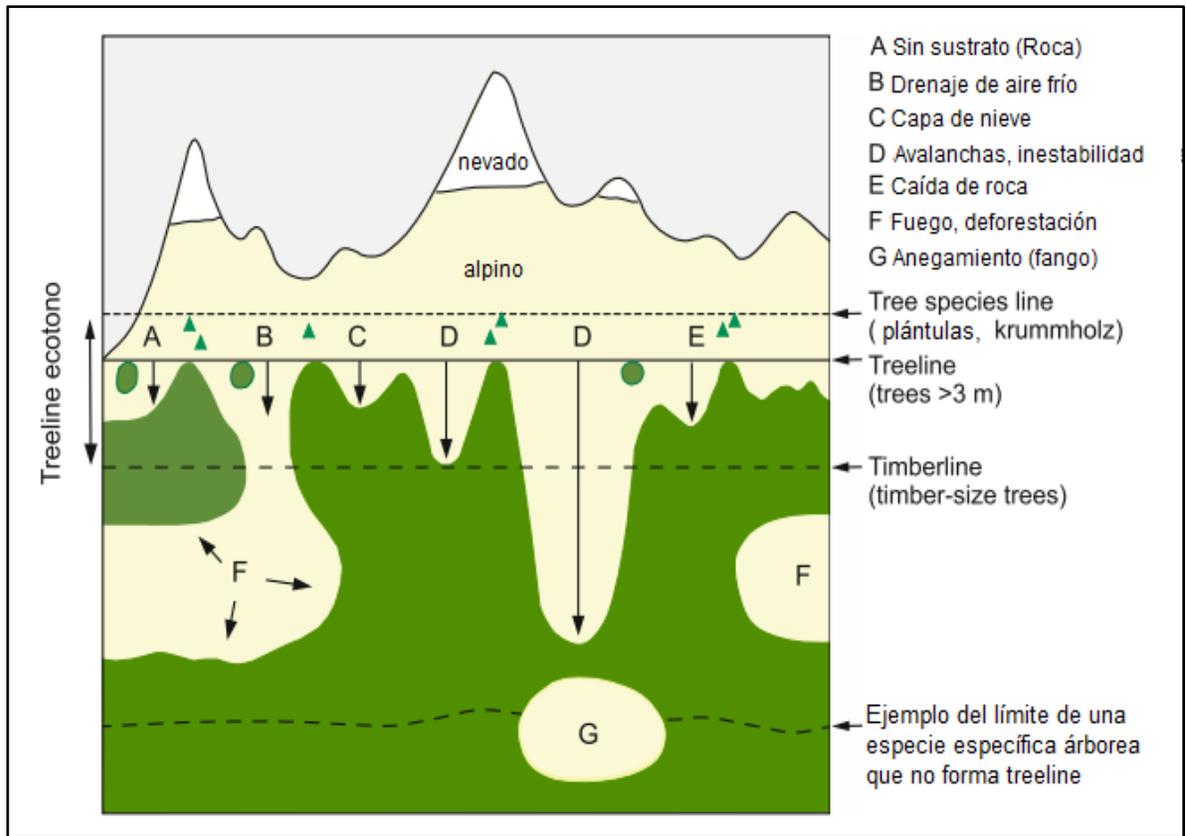


Figura 1.1. Ecotonos y sus factores limitantes en alta montaña. Tomado de Körner (2012).

1.2.2 Vegetación alpina de México

Beaman (1962) asigna al timberline una elevación media de 4,020 msnm para el Iztaccíhuatl y 3,911 msnm para el Popocatepetl, y especifica que para ambos está determinado por factores climáticos, mientras que para el segundo adicionalmente es por los recientes depósitos de ceniza volcánica. En este estudio el timberline significa el límite entre el bosque subalpino y el prado alpino y delimita el borde inferior de la vegetación alpina. La especie que predomina en el timberline es *Pinus hartwegii* con un límite altitudinal inferior de 3,100-3,200 msnm y es el único árbol por encima de los 3,600 m de altitud, pero hay otra gimnosperma en y sobre del timberline en las dos montañas, el *Juniperus monticola*, que suele acomodarse en pequeñas y densas comunidades en forma de arbusto.

En otros estudios sobre el timberline en México, lo definen como el límite superior del bosque más o menos cerrado, y a la vez como el límite continuo de crecimiento

arbóreo, y mencionan que los factores que determinan su distribución son la altitud, la oscilación diaria de las temperaturas diurnas y nocturnas, procesos como la soliflujión, denudación y crioturbación (Lauer y Klaus, 1975, Lauer, 1978).

En 1973, Lauer estudia los cinturones altitudinales de la vegetación en las tierras altas del centro de México y las divide en 4: tierra caliente, de los 0 a 800 msnm; tierra templada de 800 a 1,800 (2,000) msnm; tierra fría de 1,800 – 2,700 (3,200) msnm; tierra helada, de 3,200 a 4,800 msnm; a mayor altitud lo llama tierra nevada pero no le asigna vegetación.

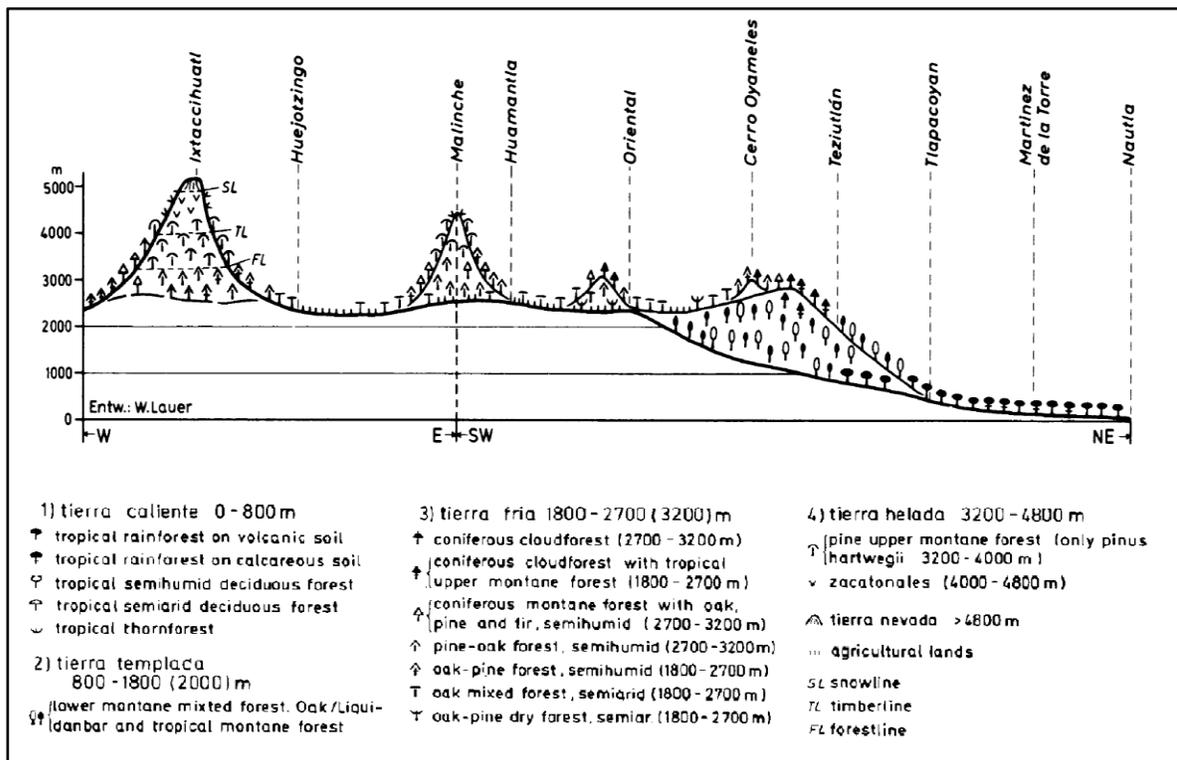


Figura 1.2. Cinturones altitudinales de vegetación entre Iztaccíhuatl y Veracruz. Tomado de Lauer (1973).

Dentro de la tierra helada, el *Pinus hartwegii* delimita el timberline a los 4,000 msnm aproximadamente (Fig. 1.3). Desde los 3,200 m de altitud, por encima del timberline y hasta los 4800 están los prados subalpinos o zacatonales (*Festuca tolucensis*, *Calamagrostis sp.* Y *Muhlenbergia sp.*), y otros géneros como *Senecio*, *Gnaphalium*, *Lupinus* y *Cirsium*.

Según Almeida-Leñero *et al.* (2015), la vegetación alpina en los volcanes Popocatepetl, Iztaccíhuatl y Nevado de Toluca, se ubica entre el límite superior del bosque de *Pinus hartwegii* y el límite inferior de la nieve y el hielo a los 5,000 msnm. Con una división en zona baja (3,860-4,300 msnm) que corresponde al zacatonal, y una zona alta (4,300-4,550 msnm) que es el superzacatonal (Fig. 1.4). Entre los 4,400 y los 4,900 msnm aproximadamente hay una comunidad de cojines de musgos acrocárpicos asociada con líquenes sobre material piroclástico. De igual manera hacen referencia a un mayor número de géneros y especies alpinas en el volcán Iztaccíhuatl y Nevado de Toluca que en el Popocatepetl debido a diferencias histórico-geológicas, edáficas, topográficas y de perturbación.

García-Romero (2004) discute sobre la estrecha relación entre el manejo que se hace del fuego y la dinámica del paisaje en el Iztaccíhuatl, sobre todo para el pastizal subalpino, que es un tipo de vegetación de escasa distribución en el trópico, pero se les encuentra en el centro de México en las laderas de las principales montañas. Con las quemadas en periodos de dos años se rompe el ciclo de regeneración vegetal y se favorece la expansión de matorrales con pastos inmaduros y de baja cobertura. Los factores que mejor explican la distribución del paisaje post-fuego son la altitud, la exposición y la orientación de las laderas.

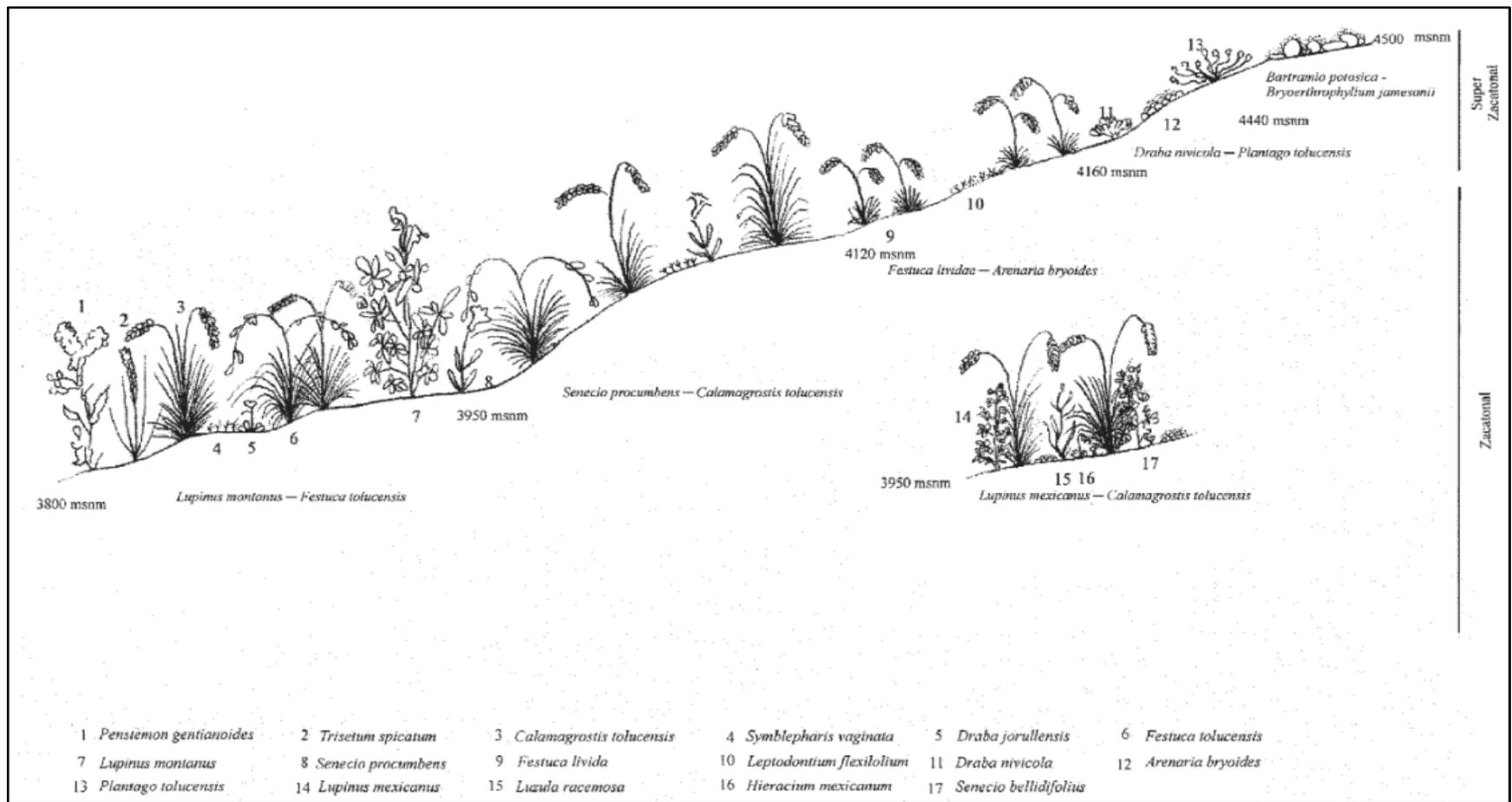


Figura 1.3. Perfil general de la distribución de las asociaciones en los volcanes Popocatépetl, Iztaccíhuatl y Nevado de Toluca, México. Tomado de Almeida-Leñero *et al.* (2015).

1.2.3 *Juniperus monticola*

El *Juniperus monticola* es un arbusto de 1 a 3 metros con follaje oscuro y frutos esféricos de tonalidad azul violáceo. Se ha localizado en los estados de: Hidalgo, Estado de México, Michoacán, Veracruz, y Ciudad de México; en altitudes mayores a los 2,800 msnm. La forma *compacta* se ha observado en Nuevo León, México y Veracruz entre los 3,500 y 4,200 msnm. Sus ramillas son cortas, ásperas y aglomeradas; y son arbustos de un máximo de 2 metros de altura (Martínez, 1963).

De la subsección *monticolae*, el *Juniperus* a estudiar se cree será el de forma *compacta* en específico, ya que como describe a detalle Martínez (1963), es un arbusto de 40 a 60 cm, a veces de hasta uno o dos metros, que lo distingue de la forma típica por su escasa altura, por sus ramillas más cortas, ásperas y apretadas; por sus hojas uniformes y sus frutos más pequeños. Se desarrolla en altitud mayor a 3,500 metros. Pero esto es incierto debido a que hay algunos ejemplares que parecen establecer el enlace entre la forma típica y de la forma *compacta* y entre esta y la forma *orizabensis*.

Adams (2014) describe al *Juniperus monticola* f. *compacta* como arbustos postrados con ramas retorcidas, con el tronco color marrón canela, exfoliado en tiras finas, así como follaje muy densamente compacto; que libera polen en otoño y crece en el treeline de bosques de pino (3,000 msnm aproximadamente); o encima del treeline de árboles alpinos, en pastizales de montaña usualmente en grietas de roca volcánica, o en afloramientos rocosos volcánicos a 3000-4300 msnm. Y menciona su presencia en puntos altos del país como el Ajusco, Nevado de Colima, Popocatepetl, Iztaccíhuatl, Tláloc, Nevado de Toluca, La Malinche, y El Cofre de Perote.

De igual manera, en información proporcionada sobre su flora y fauna, el Parque Nacional Izta-Popo, en su sitio web (CONANP, 2017), le denomina científicamente como *Juniperus monticola* f. *compacta* Martínez, y menciona que es comúnmente conocido como cedro blanco, enebro o tláxcal. Se le otorga las características de ser un arbusto muy aromático de 40 a 60 cm de altura, postrado, ramificado desde la base y torcido, de corteza rasgada longitudinalmente y fibrosa; hojas diminutas con forma de escamas; fruto carnoso azul-negruzco. Crece principalmente en afloramientos rocosos, en bosques de encino, pino y pastizal alpino en el norte y centro de México.

El género *Juniperus* forma parte del grupo de taxones holárticos (Norteamérica y Eurasia) que han alcanzado los territorios meridionales montañosos de México y Guatemala aprovechando corredores biogeográficos (Lauer, 1968 en Giménez de Azcárate y Escamilla, 1999).

Giménez de Azcarate y Escamilla (2001) mencionan que el género *Juniperus* se caracteriza por su resistencia a condiciones climáticas adversas, y mediante su trabajo de campo constataron la presencia de manera puntual del *Juniperus monticola* en la franja alpina-subalpina a ambos lados del timberline y ligado a afloramientos rocosos en las principales cumbres del Faja Volcánica Transmexicana (FVT), en un rango de los 3,700 y los 4,200 metros de altitud, y preferentemente orientadas al sur donde el balance térmico es más favorable. La dependencia a los medios rocosos hace que ocupe superficies inclinadas a verticales (45-90 grados). Se encuentra en asociación con otras especies como *Echeveria secunda*, *Gnaphalium lavandulaceum*, *Oxylobus arbutifolius*, *Villadia batesii* y *Berberis schiedeana*, así como con el teporingo o zacatuche (*Romerolagus diazzi*) endémico de las montañas de la zona que utiliza estos enebrales como refugio.

En toda la región central de la FVT, la profundidad del suelo y la exposición definen a las comunidades azonales. Tal es el caso de la comunidad aislada de *Juniperus monticola* que constituyen remanentes de la banda arbustiva de transición entre el bosque de *Pinus hartwegii* y los zacatonales alpinos, y que ha disminuido como resultado de perturbaciones provocadas por las erupciones volcánicas, la disminución de la precipitación y los fuegos reiterados. Estos incendios (mayormente provocados) que ocurren anualmente en la franja subalpina favorecen la expansión del zacatonal y desplazan al *Juniperus monticola* a las zonas rocosas para su protección, pues esta especie es susceptible al fuego debido a la alta combustibilidad de su madera y su poca regeneración. Esto mismo le ha causado un efecto severo en su estado de conservación, por la reducción de sus poblaciones y de su área de distribución (Giménez de Azcarate y Escamilla, 2001; Almeida-Leñero *et al.*, 2015).

La especie se encuentra referida en la norma NOM-059-SEMARNAT-2010, lo cual quiere decir que es una especie bajo la categoría de protección especial. Este estatus

impide el aprovechamiento de la especie debido a la reducción en sus poblaciones, de igual manera propicia la recuperación o conservación de la especie y de la comunidad. (Giménez de Azcarate y Escamilla, 2001).

FICHA DE IDENTIFICACIÓN			
TAXONOMÍA	FAMILIA: CUPRESSACEAE	GÉNERO: <i>Juniperus</i>	ESPECIE: <i>monticola</i>
	NOMBRE CIENTÍFICO: <i>Juniperus monticola</i> fo. <i>compacta</i> (Martínez)		
NOMBRES COMUNES: cedro blanco, sabino, sabino del castillo, tlascal			

Figura 1.4. Clasificación del *Juniperus monticola* según el Equipo “Flora alpina del centro de México” Instituto de Ecología. Tomada de CONANP, 2017.

Según Almeida-Leñero y más (2015) *Juniperus monticola* f. *compacta* y *Echeveria secunda* son una comunidad de vegetación azonal florísticamente muy rica, densa y compacta de arbustos achaparrados siempreverdes, que se ubican entre los 3,700 y los 4,100 msnm, en sitios protegidos de los vientos, ligados a sitios con más de 50% de cobertura de roca e inclinación moderada (entre 20 y 40 grados) o paredes verticales de escorrentía con exposición preferentemente al S. Se encuentran sobre suelos de ceniza volcánica con mucha pedregosidad.

CAPÍTULO 2. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-GEOGRÁFICAS DEL VOLCÁN IZTACCÍHUATL.

2.1 Localización

Localizado entre los 19° 05'-19° 18' N, y 98° 32'-98° 45' W, el Complejo Volcánico Iztaccíhuatl (CVI) junto con el Volcán Popocatepetl conforman la Sierra Nevada (Fig. 2.1), la cual continua al norte con los volcanes Telapón y Tláloc. Se localiza en la parte central-este de la FVT a 60 kilómetros aproximadamente de la Ciudad de México, y a 45 al noroeste de la capital de Puebla. Tiene cerca de 653 km² de área y una elevación máxima de 5,286 msnm, lo que lo cataloga como la tercer cima más alta en México después del Pico de Orizaba y el Popocatepetl (García-Tenorio, 2002; Macías *et al.*, 2012).



Figura 2.1. Localización de la Sierra Nevada, al norte el Complejo Volcánico Iztaccíhuatl, al sur el volcán Popocatepetl.

La Faja Volcánica Transmexicana (FVT) es un arco que se desarrolla sobre la margen sudoccidental de la Placa de Norteamérica como resultado de la subducción de las Placas Rivera y Cocos a lo largo de la trinchera de Acapulco (Ferrari, 2000). Esta provincia es predominantemente calco-alkalina y está orientada oeste a este, atravesando el país desde el Pacífico hasta el Golfo de México (Nixon, 1989).

La FVT se encuentra entre los paralelos 19° y 21° N abarcando grandes urbes como la Ciudad de México, Toluca, Tlaxcala, Morelia, Guadalajara y otras que en conjunto concentran más del 50% de la población total del país.

El arco está compuesto por un gran número de volcanes del Neógeno y Cuaternario, predominando los conos cineríticos, maars o axalapascos y domos; así como algunos estratovolcanes y calderas; de los cuales, los principales muestran una alineación norte-sur, perpendicular a la tendencia general de la FVT. Los ejemplos más prominentes de tal arreglo son las cadenas volcánicas Cofre de Perote- Pico de Orizaba, Iztaccíhuatl-Popocatepetl y Nevado de Colima-Volcán de Colima (Macías *et al.*, 2012).

2.2 Evolución geológica y geomorfológica.

El Complejo Volcánico Iztaccíhuatl consta de dos formaciones principales: Llano Grande e Iztaccíhuatl, con edades que van desde principios del Pleistoceno al Holoceno. La Formación Llano Grande se conforma secuencialmente por *Púlpito del Diablo*, un edificio volcánico dacítico del Plioceno-Tardío-Pleistoceno; dos aparatos volcánicos de gran volumen de composición andesítica-dacítica, la *Caldera Llano Grande* o *Llano Grande el Alto* y el *Volcán Pies Ancestral* al sur del anterior; así como de domos periféricos andesítico-dacíticos; flujos de lava riodacíticos-riolíticos de fisuras correspondientes al Pleistoceno Temprano y Medio y algunos andesíticos (García-Tenorio, 2002; Macías *et al.*, 2012).

Algunas muestras fechadas con K-Ar de la Formación Llano Grande han arrojado edades máximas de 0,9 millones de años (Ma) según Nixon (1989) y 1,09 Ma según Cadoux *et al.* (2011).

Por otra parte, La Formación Iztaccíhuatl incluye la actividad más reciente del CVI con, primeramente, el episodio de mayor volcanismo que dio paso a la construcción de cuatro conos lávicos andesítico-dacíticos, alineados NNW-SSE, que de sur a norte son: Los Pies Reciente (4,703 msnm), Las Rodillas (5,100 msnm), El Pecho (5,286 msnm) y La Cabeza (5,146 msnm; posteriormente una serie de emplazamientos de flujos de lava fisurales, 5 andesítica-basálticas emitidas de diferentes focos llamados *La Joya, Amalacaxco, Alcalican, Yzotquinzinco A y B*, después un evento dacítico en la parte norte del CVI llamado *Téyotl* (Fig. 2.2) (García-Tenorio, 2002; Nixon, 1989).

En esta formación se manifestó un gran evento eruptivo tipo Santa Helena que produjo el colapso del sector de los Pies Reciente con una extensa avalancha de escombros hacia el SE del volcán, formando un cráter en forma de herradura (García-Tenorio, 2002). Las rocas de esta formación son andesitas a dacitas. Varias fechas K-Ar de rocas de esta formación arrojaron edades de 0.08, 0.27, 0.34, 0.41, y 0.58 Ma (Nixon, 1989).

El nombre de Iztaccíhuatl deriva del Náhuatl “mujer blanca” (*iztac=blanco cihuatl=mujer*) debido a su forma que asemeja a una mujer acostada y por la presencia de nieve y glaciares en sus cimas. Más de 6 km de su longitud están cubiertos de nieves perennes.

Este tipo de volcanes de más de 4,000 metros de altitud han sido afectados por la erosión glacial durante el último periodo de glaciación, lo que ha modificado profundamente su morfología.

EVOLUCIÓN VOLCÁNICA DEL IZTACCÍHUATL

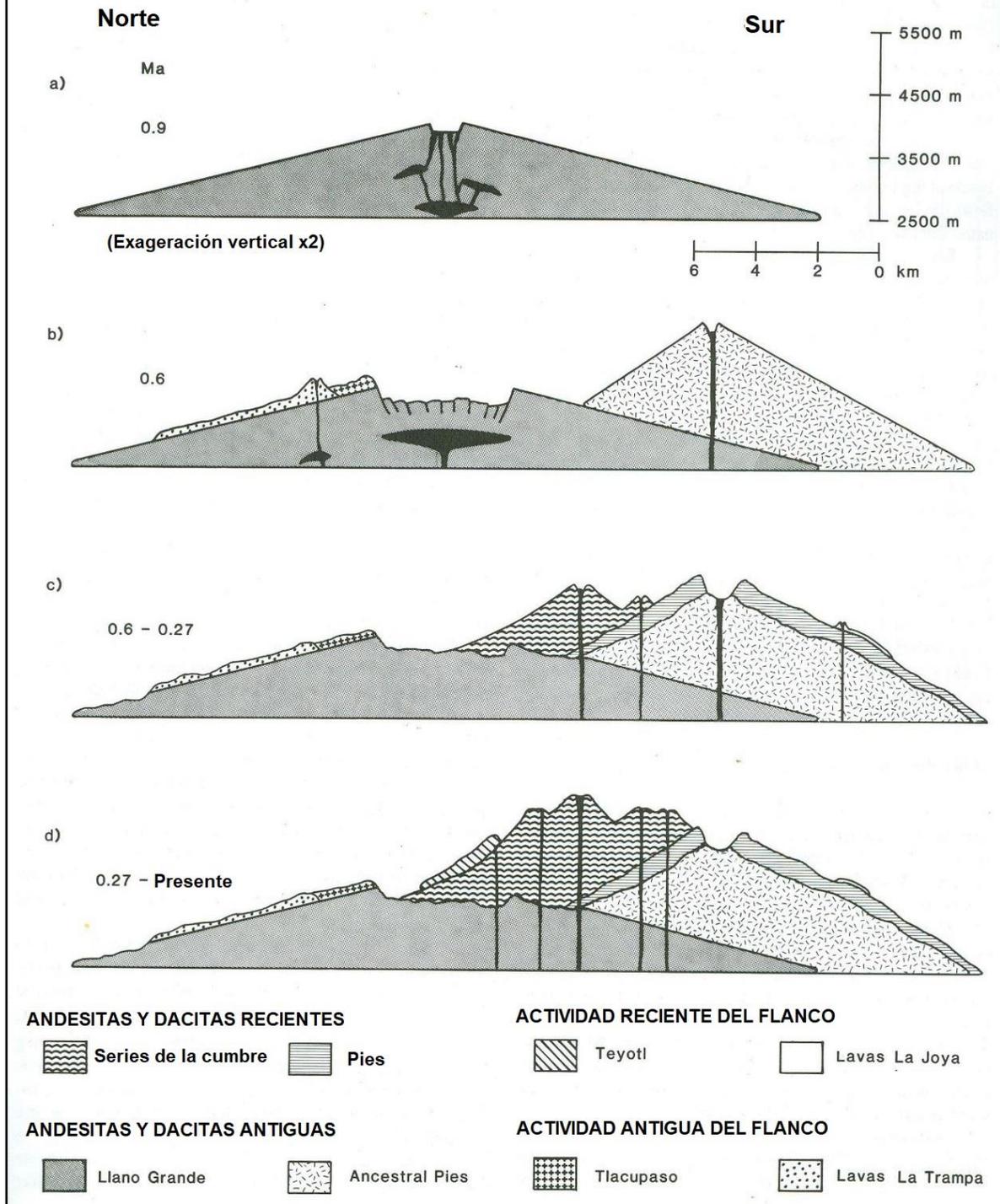


Figura 2.2. Evolución volcánica del Iztaccíhuatl. Tomada de Nixon (1989).

Después del cese de actividad volcánica del Iztaccíhuatl hubo una gran acumulación de sedimentos en las zonas bajas, debidos a la denudación, pues la erosión y los glaciares afectaron las cimas y formaron grandes barrancos. El relieve variado del Iztaccíhuatl comprende restos de glaciares (Yarza De la Torre, 2003). Entre el Pecho y los Pies del volcán se forma una depresión llamada Ayoloco o Ayolocotl, es el lecho del mayor glaciar actual.

En los últimos 40,000 años hubo una serie de etapas glaciares que se distinguen por medio de morrenas, rocas estriadas y depósitos periglaciales a lo largo de la FVT, el CVI conserva una de las mejores secuencias de depósitos morrénicos de México.

Según White (1962) hay 5 grandes depósitos glaciares, el más antiguo lo registra en 2,450-2,950 msnm, el siguiente llamado "Nexcoalango" en 2,750-3,050 msnm; sigue a los 3,135-3,650 msnm el depósito "Hueyatlaco", luego el depósito "Milpulco" de 3,630-3760 msnm y por último el depósito "Ayoloco" como resultado de la Pequeña Edad de Hielo, de los 4,270-4,410 msnm.

En 1973, Heine define igualmente 5 depósitos, pero el 3 lo divide en 1° y 2° avance. Para distinguirlas, menciona que las morrenas más recientes (MV) tienen formas más frescas, las MIV se localizan en la zona del reciente límite superior arbóreo, las morrenas MIII se formaron sobre los 3,000 msnm, casi siempre laterales extendidas. Por último las MII y MI siempre se encuentran enterradas, pero la MI se distingue por tener una mayor meteorización y estar bajo un suelo fósil.

Vázquez-Selem y Heine (2004) modificaron la cronología glacial, y las morrenas más antiguas conservadas y de mayor avance llamadas Nexcoalango las dataron en 195 mil años antes del presente (ka AP) y la altitud media del término glacial está aproximadamente en los 3,000 msnm. El ultimo máximo avance glaciar llamado Hueyatlaco es dividido en 2, Hueyatlaco-1 llegó en promedio hasta los $3,390 \pm 160$ m de altitud y ocurrió entre 20 y 17.5 ka AP; y Hueyatlaco-2 abarcó hasta los $3,500 \pm 190$ msnm y fue hace 17-14 ka. Después nuevos avances ocurrieron, el Milpulco se divide de nuevo en dos, Milpulco-1 hace 12 ka - 10 ka en los $3,810 \pm 80$, y Milpulco-2 hacia los 8.3 ka y una morrena recesional hacia los 7.8-7.3 ka AP, cuyos frentes glaciares se situaron alrededor de los 4,000-4,200 msnm. El último avance fue durante la

Pequeña Edad de Hielo (PEH) y es llamado Ayoloco, es menor a 1 ka AP y se situó en los $4,510 \pm 110$ msnm.

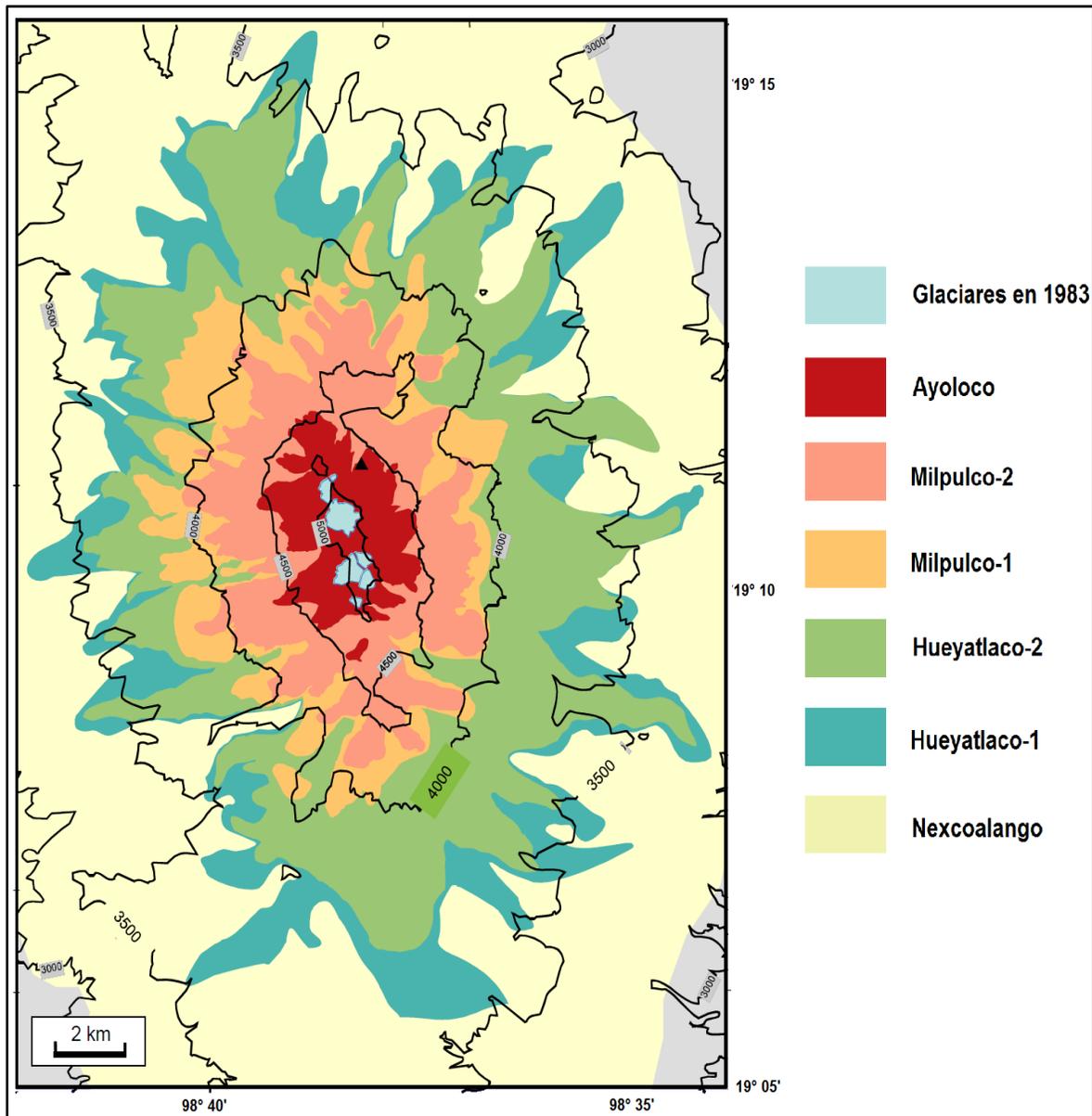


Figura 2.3. Cronología glacial del CVI. Tomada de Vázquez-Selem y Heine (2004).

Estos procesos glaciares han creado rasgos morfológicos del relieve que se preservan. Si a ello se suma el resto de procesos exógenos que actúan sobre el Iztaccíhuatl, resulta una zona de gran complejidad de procesos exógenos actuando sobre los relictos de procesos anteriores. Otros procesos activos en zonas de alta montaña son los de tipo periglacial, que ocurren a partir de los 3,900 m de altitud y se intensifican de ahí hacia las cimas (Lorenzo, 1969). De acuerdo con Andrés *et al.* (2010) la actividad periglacial ocurre a partir de entre los 4,300 y 4,400 msnm, en tanto que el permafrost se presenta a partir de los 4,600.

2.3 Clima y suelo

En los valles de México y Puebla los veranos son húmedos y frescos, mientras que los inviernos secos y frescos. Pero a mayor elevación, la temperatura y la humedad relativa tienden a descender y la precipitación a aumentar, llegando a 1,200 mm a los 4,000 msnm (aunque más cerca de la cima vuelve a disminuir) (Beaman, 1962).

Robles-Ramos (1944) obtuvo los registros climáticos más extensos de la época en alguna zona cerca del timberline, estos fueron del año 1942 en Hueyatenco en el lado oeste del Iztaccíhuatl a 3,551 m de elevación. La media de las temperaturas medias mensuales en esta estación fue de 7.7°C. La media de las temperaturas máximas mensuales fue de 16.6°C y la media de las temperaturas mensuales mínimas fue de 0.6°C. La temperatura más alta se registró en mayo y fue de 20.5°C, mientras que la más baja fue de -2.6°C y ocurrió en marzo. Las temperaturas mensuales medias más altas rondaron en los 9.0-9.2°C fueron en abril, mayo y junio, y la más bajas de 6.1-6.2°C en diciembre y enero. Las heladas ocurrieron todos los meses, excepto en mayo y junio, y fueron más frecuentes entre octubre y marzo. En cuanto a precipitación, ese año el total fue de 1,368.7 mm; los meses más húmedos fueron de junio a septiembre y noviembre y cada uno recibió entre 186.4 y 296.5 mm. Los meses más secos, con entre 6.1 y 40.9 mm fueron de enero a abril, octubre y diciembre. La nieve cayó sólo durante noviembre (2 veces), diciembre (11 veces) y enero (2 veces). En las elevaciones más altas los días nevados vienen en cualquier momento durante el año (Como se cita en Beaman, 1962).

White (1962) observó que por encima de 4,300 msnm sobre el Popocatepetl la nieve es la forma habitual de precipitación durante junio, julio y agosto; que el granizo también es común en el verano y que las tormentas de verano son del tipo orográfico, con fuertes vientos y mucho relámpago.

Las mañanas tempranas suelen ser claras, pero después de las 9 horas comienzan a formarse nubes cúmulos, primero en Iztaccíhuatl, y más tarde en Popocatepetl. La precipitación a veces comienza en la mañana pero con más frecuencia viene por la tarde. Las tormentas pueden terminar en la tarde o en la noche. Ocasionalmente durante el verano hay períodos de varios días que están continuamente nublados con lluvia ligera que cae la mayor parte del tiempo. Durante los meses secos de invierno los días completamente nublados son raros (White, 1962).

En 1975 Lauer y Klaus publican algunos datos climáticos del Pico de Orizaba a 4,000 msnm, donde la temperatura media anual fue de 5°C, la temperatura media de enero fue de 3°C, la de agosto 7°C y la media diaria de 6°C. El régimen pluviométrico presenta dos temporadas definidas: invierno seco (diciembre-abril) y verano lluvioso (mayo-octubre), donde se recibe más del 85% de la precipitación total anual, esto debido a la convergencia intertropical. El número de días despejados, con neblina, granizo, hielo y la duración del hielo en el suelo aumenta con la altitud, en función de una hora por cada 100 metros. La cantidad de precipitación anual fue de 900 mm aproximadamente.

Según el Sistema Climático de Köppen (1936), en la zona de la Sierra Nevada, el clima es templado con lluvias en verano (Cw). No obstante, con las modificaciones de García (1988) que se basa en los datos obtenidos de la estación Campamento Hueyatenco del Servicio Meteorológico Nacional (mismos que utilizó Robles Ramos en 1944), se destacan dos tipos:

El tipo E(T)HC (w) que se localiza entre los 5,272 msnm y 4,000 msnm en promedio, es un clima frío con lluvias en verano. Con precipitación total anual entre 800 y 1,300 mm.

El tipo climático E(F)HW, muy frío, corresponde a las cimas o a la zona de los glaciares. En general se considera para México a partir de los 5,272 msnm. Tiene una precipitación total anual de menos de 800 mm.

En el 2007, Almeida-Leñero y otros determinaron con base en la clasificación de García (1988) que, por la altitud superior a los 4000 metros y por el relieve, el clima que se registra para la cima de los volcanes del centro de México es frío subhúmedo de alta montaña E(T)HC (w_2) con una temperatura media anual de entre -2 y 5°C y precipitación en verano. Lo denominan como el clima de los pastizales alpinos "Almenklima". Por debajo de los 4000 metros de altitud, el clima es Cb' (w_2) (w) ig, que es el semifrío subhúmedo, el más frío de los templados con una temperatura media anual de entre 5 a 12°C con un verano fresco y seco, menos de 4 meses con temperatura mayor a 10°C y con una precipitación de menos de 40 mm en el mes más seco, isotermal y con marcha de temperatura tipo Ganges; la intensidad de la luz incidente y la radiación se incrementan a mayor altitud.

Más recientemente, Andrés y colaboradores (2010) publicaron el análisis de los datos de temperatura que obtuvieron durante 7 años en el volcán Iztaccíhuatl (2001-2008) donde instalaron 5 estaciones de sondas térmicas de aire y suelo a diferentes altitudes. Compararon los datos que obtenían junto con las dos únicas estaciones más cercanas, San Pedro Nexapa y Amecameca de Juárez. Con la primera concluyeron que hay un gradiente térmico vertical donde la temperatura media anual disminuye 0.69°C cada 100 m de ascenso. Asignaron una altitud promedio a las isotermas de -2°C a 5,100 msnm, la de 0°C a los 4,812 m y la de 3°C a 4,379 m. Con la estación Amecameca los resultados fueron ligeramente diferentes, el gradiente térmico altitudinal tiene una reducción de 0.61°C por cada 100 m. Y las isotermas de -2°, 0° y 3°C se encuentran a 5,260 m, 4,931 m y 4,437 msnm respectivamente.

En cuanto a la clasificación de los suelos en la zona, según Kneib *et al.* (1973) en las cumbres y laderas abruptas los suelos son litosoles asociados con regosoles alrededor de los 4,000 msnm; pero generalmente los suelos son andosoles derivados de cenizas volcánicas recientes, con menos de 10 cm de espesor, poco desarrollados y de rápido

escurrimiento. Por arriba de los 5,000 msnm no hay formación de suelo (citado en Almeida-Leñero *et al.*, 2007).

Según el Atlas de Suelos de América Latina y el Caribe, elaborado por la FAO en 2014, el mapa a escala 1:3,000,000 revela que para la zona de la Sierra Nevada la clasificación es ANhu que significa Aluandic andosol. Este tipo de andosol tiene un perfil que tiene una meteorización rápida de vidrio volcánico que resulta en la acumulación de complejos órgano-minerales estables, bajo condiciones de pH ácido. Los suelos aluándicos a menudo contienen cantidades considerables de filosilicatos, tales como minerales 2:1 cloritizados (Chesworth, 2008 y Gardi *et al.*, 2015).

Por otra parte, se obtuvieron para la zona otros tipos de suelo gracias al portal de geoinformación de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) (<http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/> en enero del 2017) que en conjunto con el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP) crearon un mapa que muestra los diferentes tipos de suelo que se encuentran a nivel nacional a partir de la unión de 32 coberturas: 17 a escala 1:250000 y 15 a 1:1000000. El litosol de textura gruesa se encuentra en el Iztaccíhuatl a partir de los 3,700 msnm aproximadamente, estos son suelos poco desarrollados con una profundidad de menos de 10 cm. El regosol dístico es el suelo que parece predominar más, es también de poco desarrollo, con fragmentos rocosos intercalados con partículas finas de tierra. En altitudes menores se encuentra el andosol húmico que según INEGI es un suelo con una capa superficial algo gruesa, oscura pero pobre en nutrientes, con terrones muy duros cuando están secos (Fig. 2.4). En conclusión parece que a mayor altitud el suelo es de menor espesor y de texturas más gruesas.

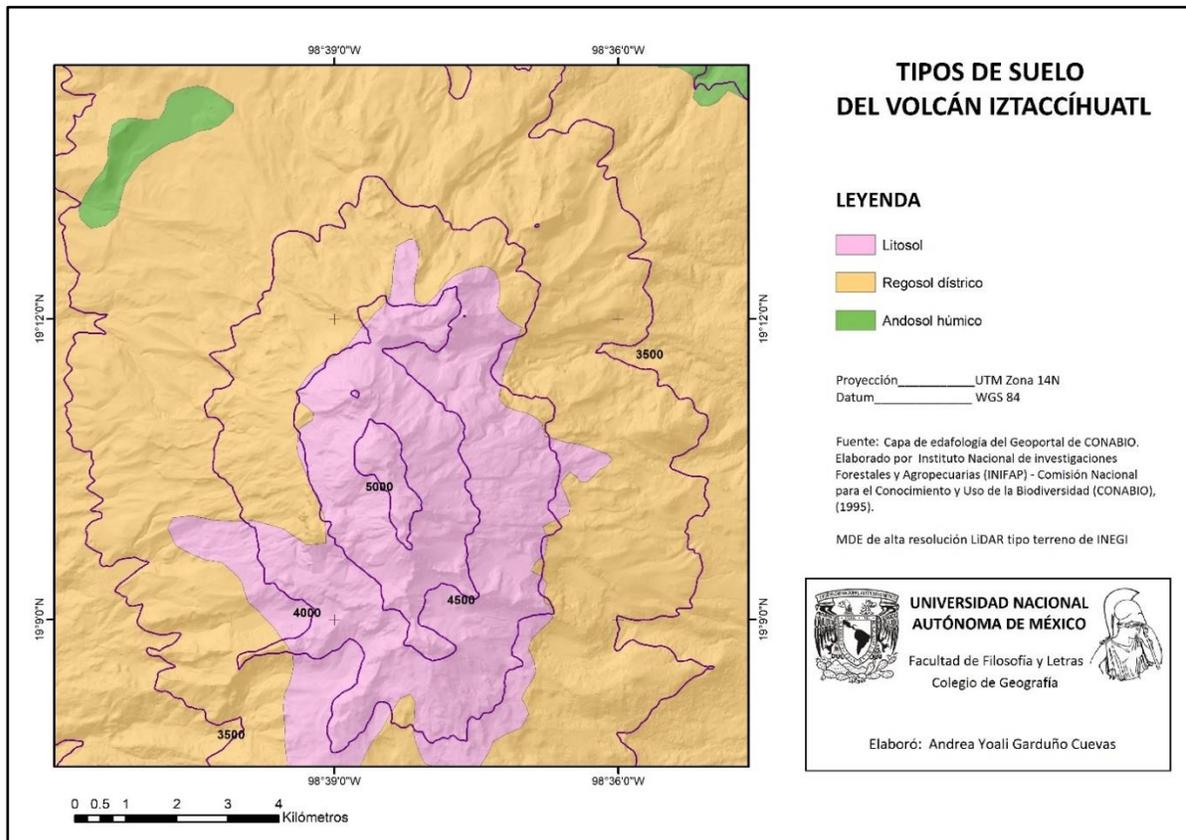


Figura 2.4. Tipos de suelo en el volcán Iztaccíhuatl.

En cuanto al permafrost, las características hidroclimáticas que lo condicionan son muy diferentes en esta zona a las áreas templadas o polares por ser tropical. Por lo que el permafrost continuo no se encuentra por falta de la altitud necesaria para el clima actual. El permafrost discontinuo esta alrededor de los 4,900 msnm y el permafrost aislado a los 4,640 m, con variaciones según la orientación.

2.4 Flora y fauna

La Sierra Nevada establece el límite biogeográfico de la región neártica y neotropical (Neyra, 2012). Gracias a esto y a la orografía presente en la zona hay una gran variedad de ecosistemas que según la página web del Parque Nacional (CONANP, 2017) albergan a un total de 467 especies de las cuales 14 son endémicas y 36 están en alguna categoría de riesgo.

En cuanto a vegetación, hay un total de 168 especies que conforman el bosque de coníferas, encinos, mesófilo de montaña y zacatonal de alta montaña. De igual manera existe vegetación secundaria inducida antrópicamente.

En el bosque mesófilo las especies de árboles más frecuentes son *Prunus prionophylla*, *Clethra mexicana*, *Cornus disciflora*, *Meliosma dentata*, *Ilex toluhana* y *Quercus laurina* o encino rojo. Abundan las trepadoras y epífitas.

El bosque de encinos abarca el principal es el *Quercus rugosa* o encino blanco, mientras que en el bosque de pino es el *Pinus moctezumae*, *Pinus ayacahuite* y el *Pinus hartwegii*. El bosque de oyamel domina *Abies religiosa*.

En los pastizales hay gramíneas como *Calamagrostis toluensis* y *Festuca toluensis*. En los zacatonales hay *Muhlenbergia macroura* y *Stipa ichu*. Y en el matorral de enebros está el *Juniperus monticola*, el cual se encuentra bajo protección especial junto con *Corallorhiza macrantha*. Estos dos son los únicos en alguna categoría de riesgo pertenecientes al reino plantae.

Todos los tipos de vegetación presentan signos de disturbios a diferentes escalas, siendo el pastoreo, las quemas y la tala las principales causas. De igual modo, aún hay sitios con un buen nivel de conservación.

Por lo que respecta al reino Fungi, hay 74 especies, de las cuales, *Morchella esculenta*, *Agaricus augustus*, *Amanita muscaria*, *Boletus edulis* y *Psilocybe aztecorum* se encuentran amenazadas.

En cuanto a la fauna, y siguiendo con el listado del Parque Nacional, hay 48 especies de mamíferos, entre ellas roedores, carnívoros, murciélagos, musarañas, lagomorfos

y marsupiales, de los cuales 1 es endémico. En peligro de extinción está el teporingo o zacatucho.

Hay cerca de 161 especies de aves de las cuales 5 solo habitan en México, 10 en alguna categoría de riesgo y el gorrión serrano en peligro de extinción.

Entre reptiles y anfibios hay un total de 16 especies, 8 endémicas y 11 en alguna categoría de riesgo como la rana de árbol, la salamandra pinta, la culebra listonada del sur mexicano, entre otras.

CAPÍTULO 3. DISTRIBUCIÓN DE *Juniperus monticola* EN EL VOLCÁN IZTACCÍHUATL Y SU RELACIÓN CON LA GEOMORFOLOGÍA

Con la presente investigación se documenta las preferencias de la especie en relación con la morfología y morfometría de dos valles, para posteriormente modelar la distribución potencial en todo el volcán. Igualmente mediante dendrocronología se pretende conocer la edad mínima de algunos individuos y analizar si hay relación entre la edad y algunos atributos de las geofomas (Fig. 3.1).

3.1 Estrategia metodológica

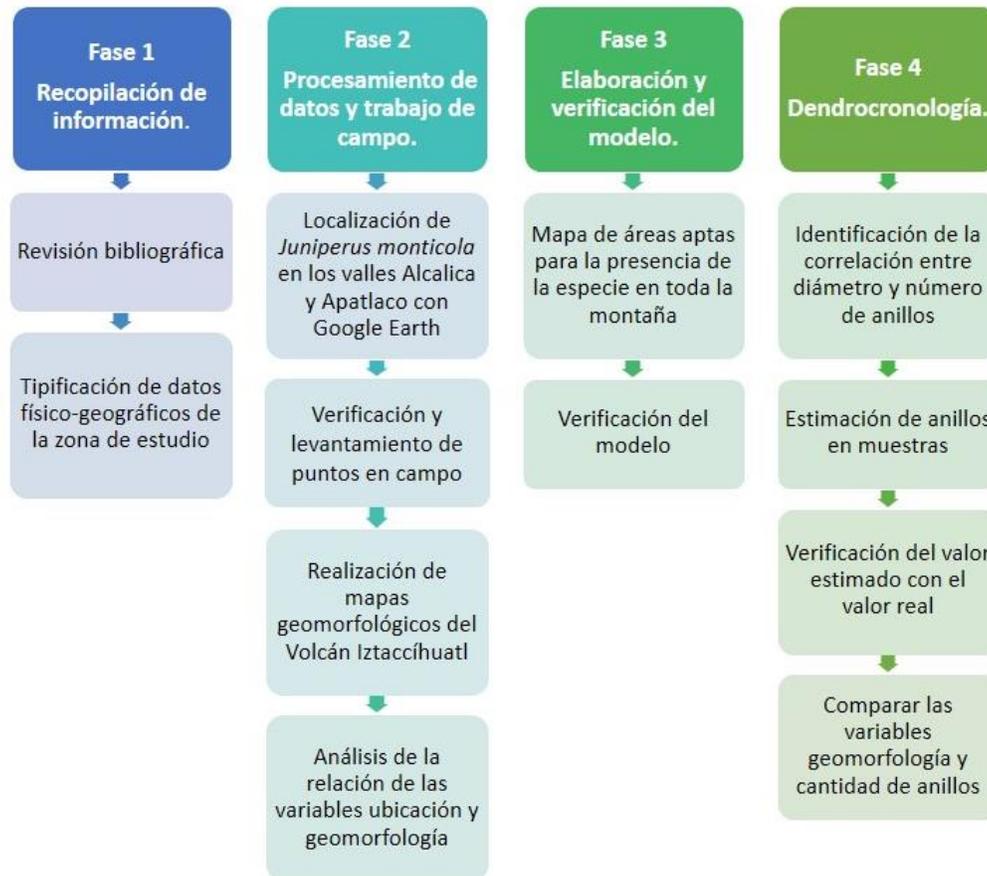


Figura 3.1. La metodología se organizó en 4 fases, le recopilación de información básica de la zona es la primera, la fase 2 es el trabajo en campo y en gabinete, la fase 3 la elaboración y verificación de áreas aptas para la presencia del arbusto y por último la parte de la dendrocronología es la fase 4.

3.2 Distribución del *Juniperus monticola* en los valles de Alcalica y Apatlaco

Primeramente, en la zona sur del volcán Iztaccíhuatl se estableció un polígono que incluye a la parte alta de los valles de Apatlaco (al este) y Alcalica (al oeste), el cual se delimitó con los parteaguas en el este y oeste, y en el sur con algunos puntos altos dentro de los valles (Fig. 3.2).

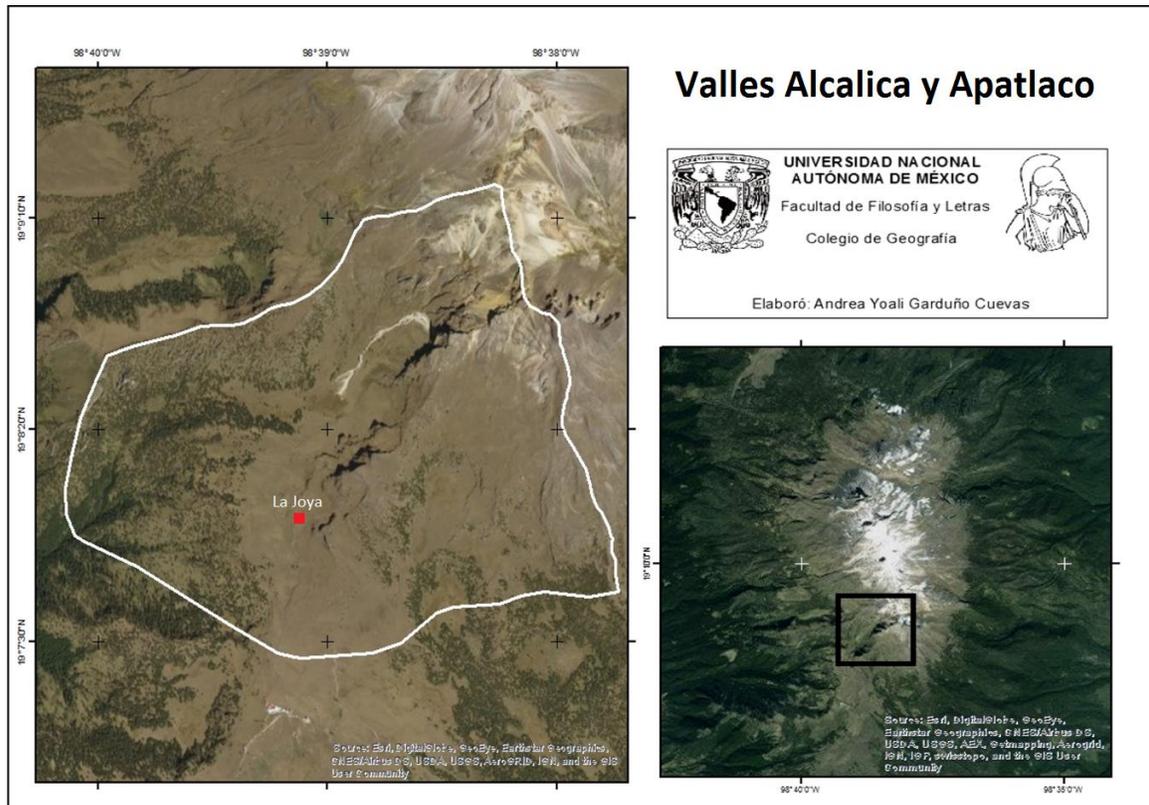


Figura 3.2. Localización de la zona de estudio. Al oeste en el mapa el valle de Alcalica, al este el valle de Apatlaco, ambos al sur del volcán.

Con base en una imagen de tipo multispectral del sensor *WorldView-2* con una resolución espacial de 1.85 metros propiedad de *DigitalGlobe*, la cual está disponible mediante la plataforma *Google Earth*, se identificaron puntos con presencia de *Juniperus monticola* (JM). Se seleccionó una imagen del 19 de noviembre del año 2012 por ser la más clara y con suficiente luz para localizar a la especie a partir de su particular color, el cual es de un verde más oscuro que los individuos de *Pinus hartwegii* que habitan igualmente en la zona de manera puntual (Fig. 3.2). Además de considerar

el factor sombra, esto debido a que el JM al ser de poca altura no presenta una sombra significativa, y de igual manera la textura, debido a que el *Pinus hartwegii* muestra una textura voluminosa mientras que el JM es más liso.

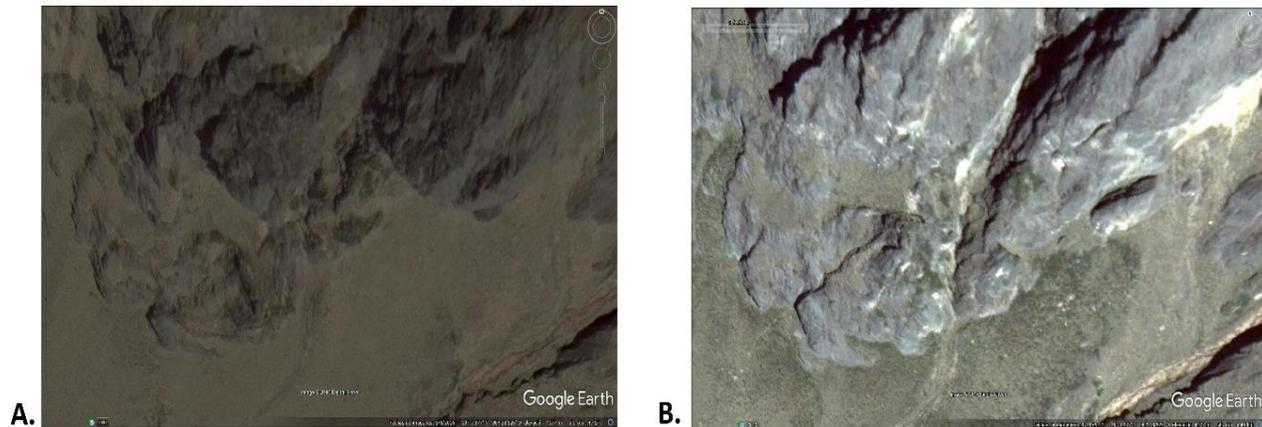


Figura 3.3. La imagen B con fecha del 19 de noviembre de 2012, fue la seleccionada para interpretar a la especie por presentar mayor iluminación que la imagen predeterminada del programa *Google Earth* con fecha del 6 de mayo de 2016 (imagen A). En la imagen B es más fácil interpretar el tono verde oscuro de los individuos de *Juniperus monticola*, los cuales se encuentran justo al centro de ambas imágenes.

Al finalizar el primer ejercicio se identificaron 34 puntos, posteriormente se realizaron 4 campañas durante junio, octubre, noviembre del 2016 y marzo del 2017 con la finalidad de obtener las coordenadas *in situ* de algunos individuos de JM, así como para verificar que los puntos que se fueran identificando en gabinete después de cada campaña estuvieran bien interpretados.

Los individuos fueron localizados en campo con un GPS *Garmin*, a los cuales se les asignó la clave IJU y se tomaron datos del eje mayor y eje menor con una cinta métrica, así como su altura a partir de donde crece la rama más ancha; el diámetro de los troncos con un calibre de Vernier, la orientación y pendiente del sitio con una brújula tipo *Brunton* (Fig. 3.4). Dando un total de 104 individuos muestreados en ambos valles, y 85 puntos GPS, esto debido a que algunos individuos comparten el mismo punto (Fig. 3.5.A).



A.



B.

Figura 3.4. En la imagen A se muestra el levantamiento del eje mayor de un individuo con clave IJU en el valle de Apatlaco, y en la imagen B se está tomando el diámetro en mm de un IJU del valle de Alcalica con un calibre de Vernier.

Al sobreponer en un mapa los puntos que se identificaron en campo con la clave IJU, como los que se localizaron en gabinete, se obtuvieron claves de interpretación que facilitaron la identificación de más individuos.

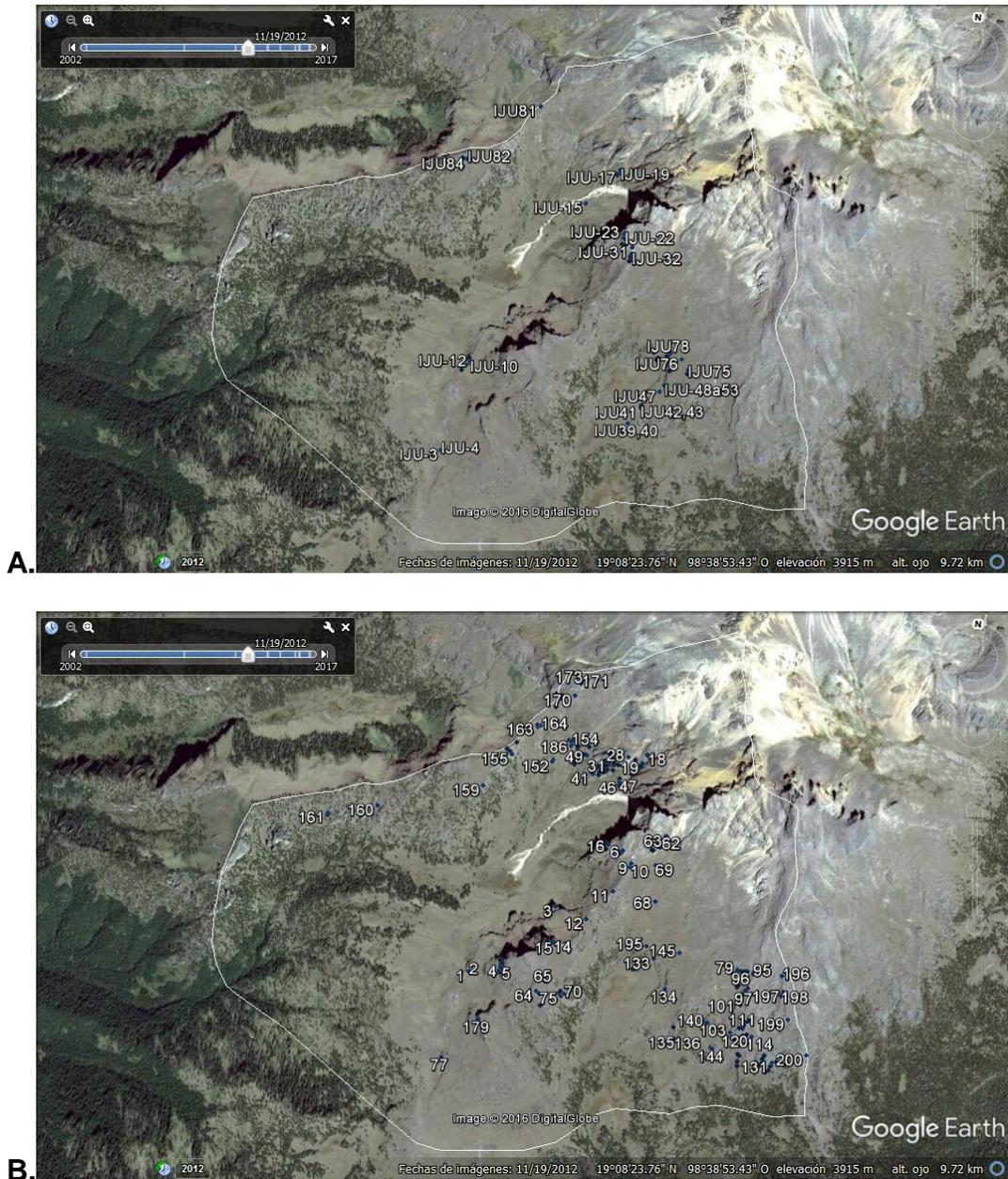


Figura 3.5. Puntos de individuos *Juniperus monticola* en la zona de los valles de Alcala y Apatlaco. La imagen A es de los puntos con individuos de *Juniperus monticola* registrados directamente en campo. La imagen B son los puntos con *Juniperus monticola* detectados en la plataforma *Google Earth*.

Posteriormente se analizaron los 104 individuos localizados en campo en la imagen preseleccionada de *Google Earth* para comprobar el tamaño mínimo visible con las medidas de eje mayor y menor. En total solo 31 de los IJU fueron visibles, con una medida promedio de 4.25 m en el eje mayor y 3.15 m en el eje menor. La medida máxima del eje mayor fue de 7.2 m y la mínima de 1.95 m. En caso del eje menor la máxima fue 5.5 m y la mínima de 1.5 m (Tabla 1).

IJU	Eje mayor (m)	Eje menor (m)
IJU-02	4.6	2.3
IJU-13	6.1	5
IJU-17	5.9	5.5
IJU-28	4.1	2.6
IJU-29	4.2	3.1
IJU-33	2.7	1.9
IJU-34	3.6	1.7
IJU-37	3	2
IJU-38	6	4
IJU-58	3.9	3.4
IJU-63	3.95	3.25
IJU-66	5.34	2.55
IJU-67	3.4	3.1
IJU-74	7.12	4.4
IJU-75	4.45	4.1
IJU-81	4.95	3.95
IJU-85	3.7	3.05
IJU-89	5.3	3.85
IJU-94	3.8	3.1
IJU-95	3.5	1.5
IJU-96	3.75	2.9
IJU-97	3.95	3.15
IJU-98	5.7	4.85
IJU-99	2.7	2.03
IJU-100	1.95	1.6
IJU-101	4.3	3.5
IJU-103	4.6	3.8
IJU-104	2.3	2
IJU-47	4.1	3.28
IJU-84	4.1	3.5
IJU-88	4.7	2.75
MODA	4.1	3.1
PROMEDIO	4.25	3.15
MÁXIMO	7.12	5.5
MÍNIMO	1.95	1.5

Tabla 1. Datos de individuos de *Juniperus monticola* tomados en campo que son visibles en la imagen satelital con Google Earth.

Sumando los puntos identificados en la imagen (200) con los registrados como los puntos GPS de los clave IJU, da como resultado una cantidad total de 285 puntos de individuos *Juniperus monticola* en los valles, los cuales sirvieron para la posterior elaboración del modelo (Fig. 3.6).

El resultado de los individuos en ambos valles es con base en levantamientos de campo, la resolución de la imagen y las claves de interpretación, por ende no es el total de los individuos, pero los 285 puntos totales son certeros.

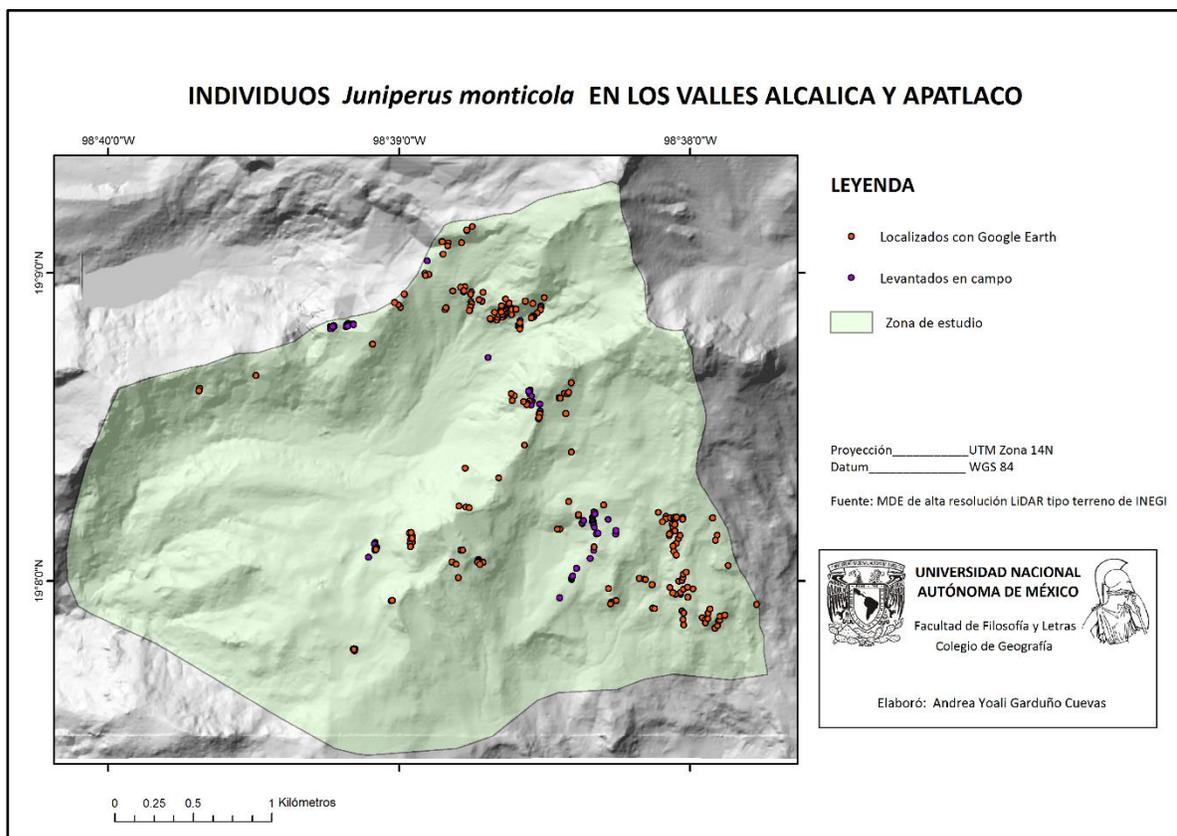


Figura 3.6. Mapa de los individuos *Juniperus monticola* en la zona de los valles de Alcalica y Apatlaco, siendo en total 285 puntos.

Un primer ejercicio exploratorio se realizó a través de percepción remota, esto para conocer los alcances de métodos de clasificación supervisada del *Juniperus monticola* con imágenes *RapidEye*, cuya resolución espacial es de 5 metros. Se efectuó una corrección atmosférica y normalización de reflectancia de las 5 bandas (Azul, Verde, Roja, Infrarrojo cercano y Bordo Rojo). Posteriormente se obtuvieron los datos por banda de los puntos JM, así como de 30 puntos de Oyameles, 30 de *Pinus hartwegii*, 30 de zacatonal, 30 de suelo desnudo y 30 de nieve. Lamentablemente por la resolución de dicha imagen, el *Juniperus monticola* da la misma respuesta espectral que el zacatonal alpino, complicando el análisis mediante clasificación supervisada en ENVI que se llevó a cabo varias veces sin un resultado con buena precisión.

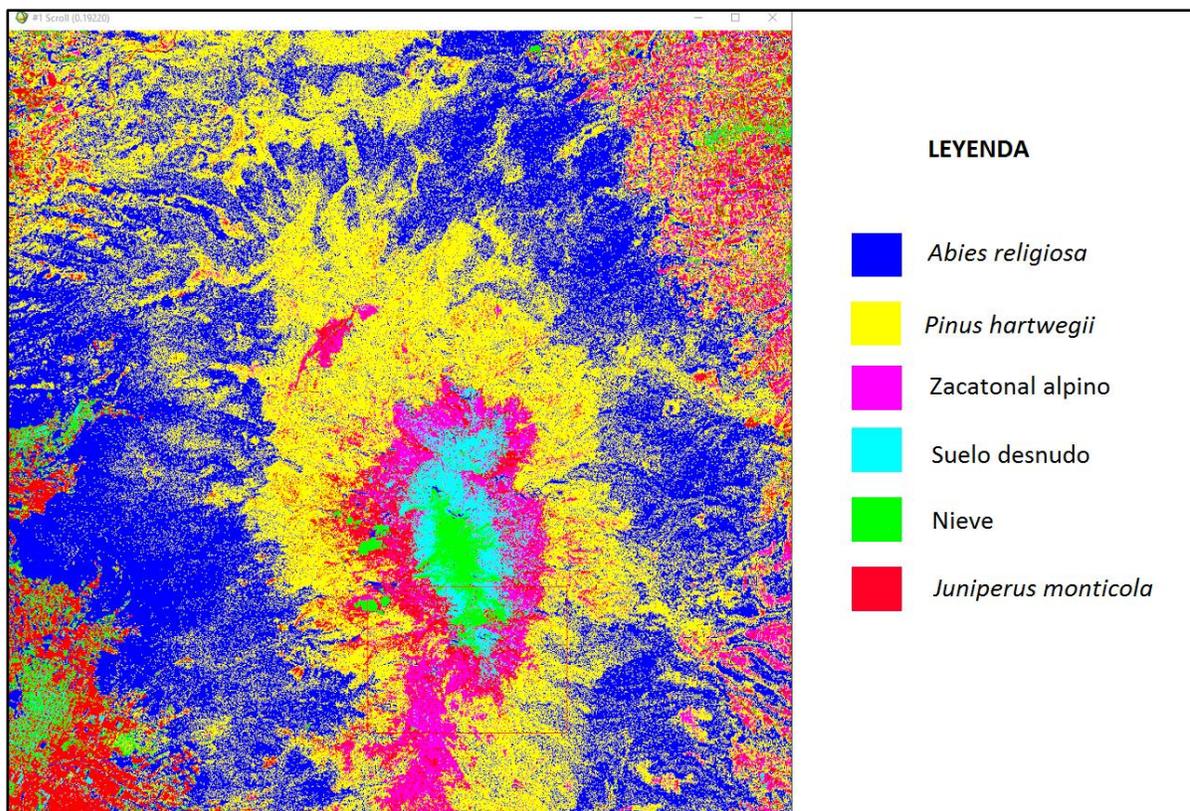


Figura 3.7. Resultado de la clasificación supervisada con imágenes RapidEye (resolución espacial 5 m, bandas Azul, Verde, Roja, Infrarrojo cercano y Bordo Rojo). Como puede apreciarse, hay zonas muy extensas de JM cuando en la realidad la especie tiene una distribución más puntual y no se ubica debajo del piso altitudinal de la *Abies religiosa*, por lo que se descartó esta opción justificando que el problema es la resolución de la imagen.

3.3 Geomorfología de los valles Alcalica y Apatlaco

Los mapas geomorfológicos se dividen en dos escalas, la menor (1: 50,000) abarca todo el Iztaccíhuatl, mientras que la escala más grande es de 1:15,000 y abarca sólo los valles Alcalica y Apatlaco.

En cuanto a los tipos de mapas, se realizó un mapa geomorfológico no temático, solamente de las principales geoformas en los valles; y también una serie de mapas geomorfométricos para estudiar las características cuantitativas de las formas del relieve. Estos últimos en ambas escalas.

3.3.1 Morfometría

Con base en dos Modelos Digitales de Elevación (MDE) derivados del sensor LiDAR, con resolución espacial de 5m obtenidos de INEGI, se elaboró la morfometría de todo el Complejo Volcánico Iztaccíhuatl (CVI), y de la zona de los valles Alcalica y Apatlaco, a través del software de información geográfica *ArcMap* versión 10.1. Estos se elaboraron a mayor escala para conocer los rangos donde la especie prefiere ubicarse por cada variable morfométrica. A continuación, se realizaron a menor escala para todo el CVI para la creación del modelo potencial de su distribución.

- Altimetría

Mediante la herramienta de geoprocésamiento *ArcToolbox - 3D Analyst Tools - Conversion - From Raster - Raster to TIN*, se creó una Red Irregular de Triángulos (TIN por sus siglas en inglés) cuya superficie no se desvíe del ráster de entrada en más de una tolerancia Z especificada, con la finalidad de tener un ráster altimétrico con cotas cada 100 metros. La altitud es necesaria para conocer el rango altitudinal que alcanza la especie en la zona de estudio.

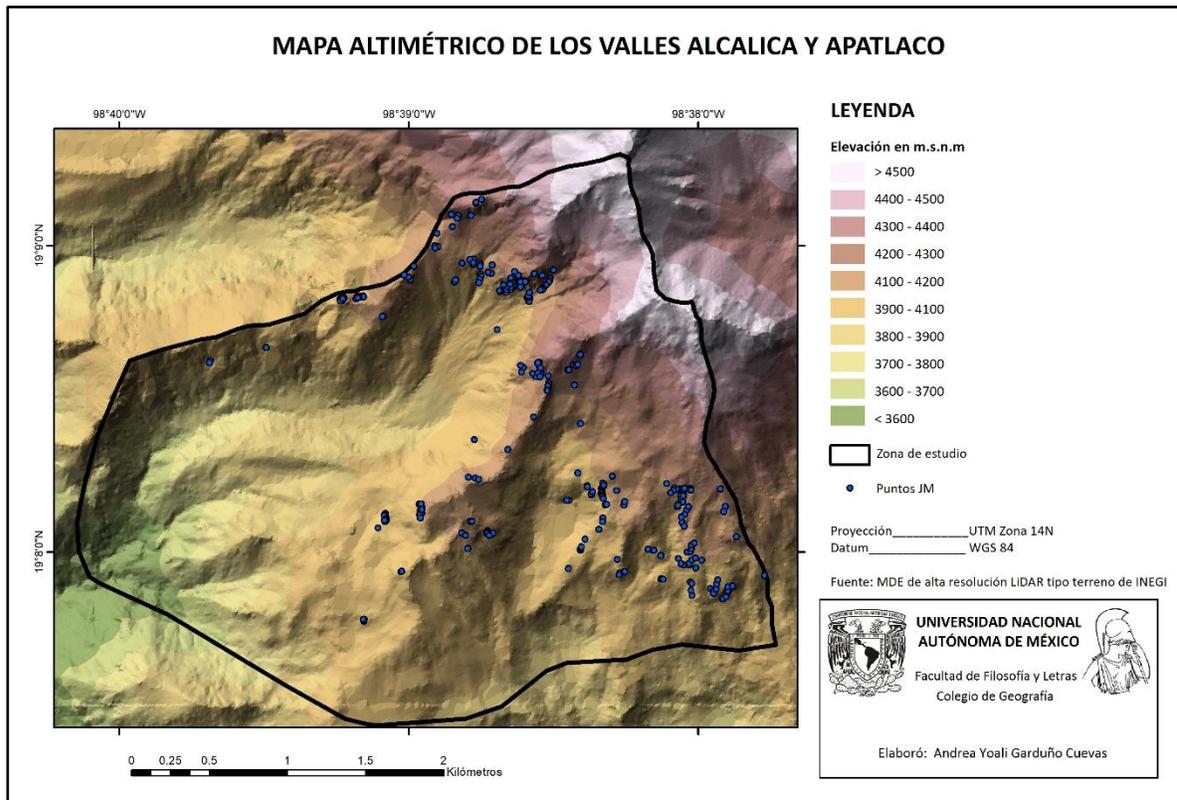


Figura 3.8. Mapa altimétrico de la zona de estudio.

- Pendiente

Posteriormente con base en el MDE y con la herramienta de geoprocésamiento *ArcToolbox - 3D Analyst Tools - Raster Surface – Slope*, se creó la capa de pendientes, que identifica el gradiente o tasa de cambio máximo en el valor altitud desde cada celda de la superficie del ráster. La pendiente es una variable importante dado que afecta directamente la formación de suelo y a los procesos de remoción en masa, así como influye en la dinámica del fuego (L.Vazquez-Selem, com. Pers., 12 de octubre de 2016 y García-Romero, 2004). La zona de estudio presentó una pendiente heterogénea y abarca pendientes desde los 0 hasta los 90 grados, concentrándose estos últimos en el centro, norte y en el oeste.

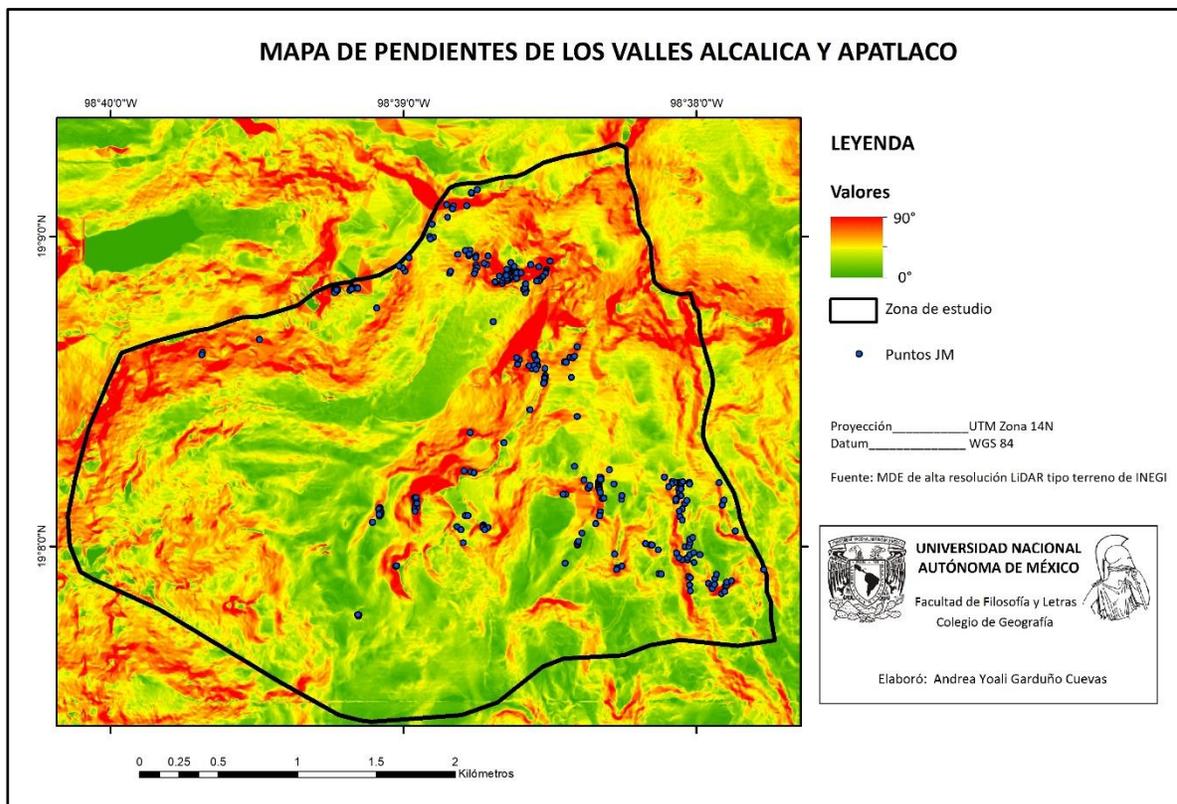


Figura 3.9. Mapa de pendientes de la zona de estudio.

- Orientación

El siguiente fue el ráster de orientación, el cual se obtiene con base en el MDE y con la herramienta de geoprocresamiento *ArcToolbox - 3D Analyst Tools - Raster Surface - Aspect*. Este comando identifica la dirección de la pendiente descendente de la tasa de cambio máxima en un valor desde cada celda hacia sus vecinas. Los valores del ráster de salida serán expresados en grados de azimut y agrupados en función de la rosa de los vientos. La orientación es importante para la especie, pues según Almeida-Leñero *et al.* (2007) hay una exposición preferentemente al sur para contar con la mayor cantidad de horas de sol.

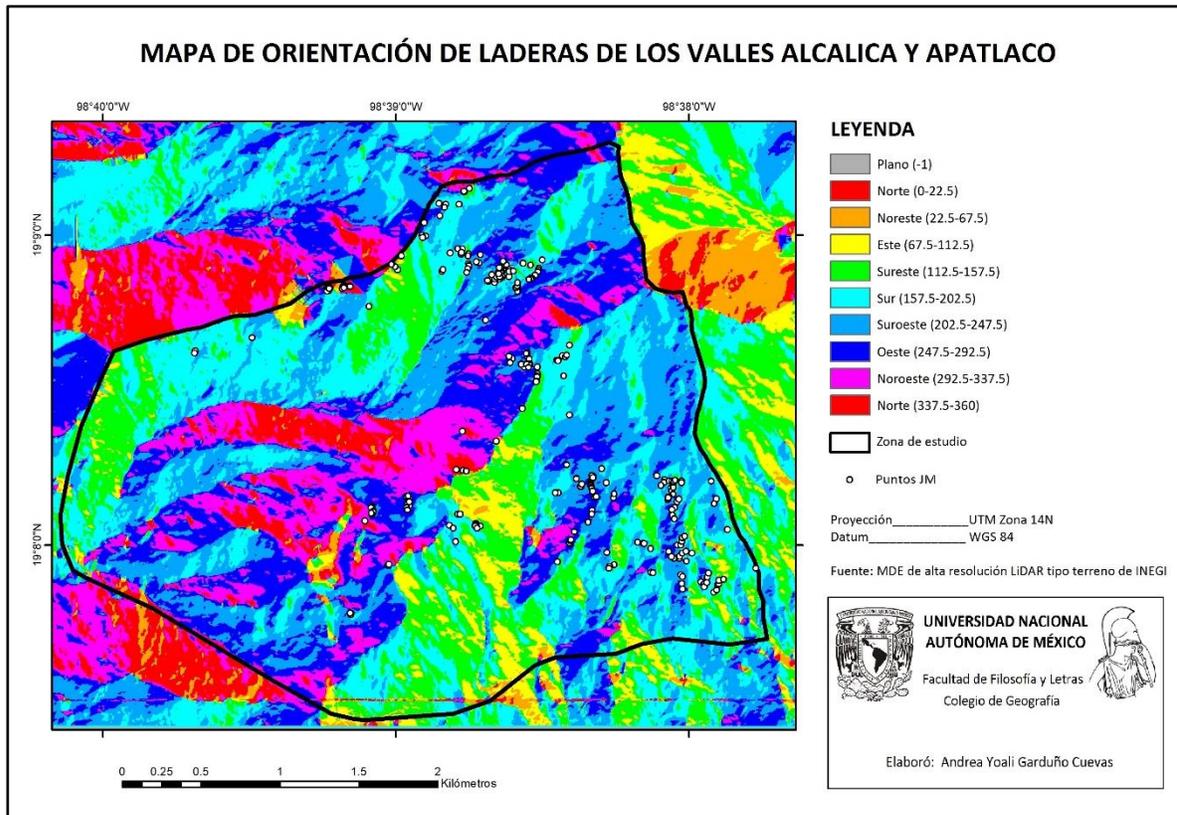


Figura 3.10. Mapa de orientación de laderas de la zona de estudio.

- Geometría del relieve

La geometría del relieve en plano y perfil se llevó a cabo con la herramienta de geoprociamiento *ArcToolbox – Spatial Analyst Tools - Surface – Curvature*.

La curvatura de perfil es paralela a la pendiente e indica la dirección de la pendiente máxima. Un valor negativo indica un relieve convexo, un valor positivo indica que la superficie es cóncava y un valor de cero indica morfologías rectas. La curvatura del plano es perpendicular a la dirección de la pendiente máxima y se relaciona con la convergencia y divergencia de la corriente por una superficie. Un valor positivo indica que la superficie es lateralmente convexa, uno negativo que la superficie es lateralmente cóncava y un valor de cero indica que la superficie es lineal (ArcGIS, 2017).

La morfología del relieve afecta a la aceleración y desaceleración de las corrientes contribuyendo en la tendencia a la erosión o a la acumulación en el terreno (L.Vazquez-Selem, com. Pers., 12 de octubre de 2016).

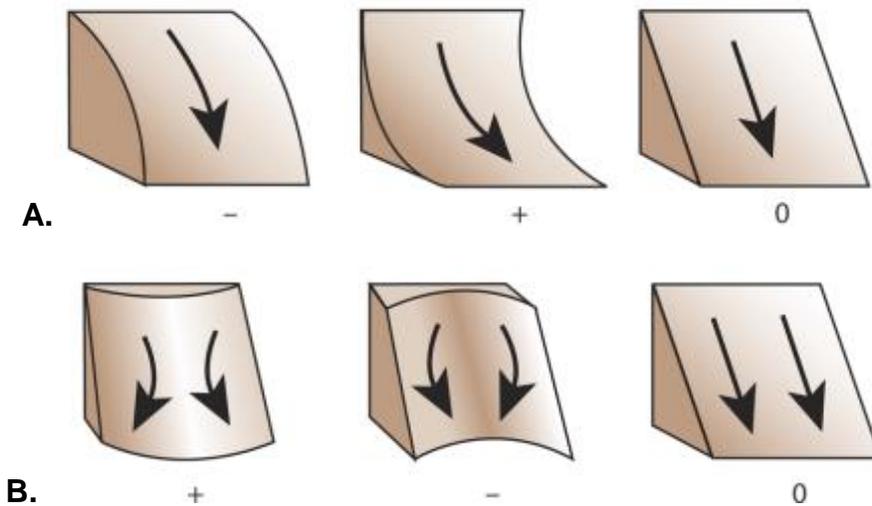


Figura 3.11. El renglón de la A ejemplifica la curvatura del perfil y el de B la curvatura en plano.

Tomado de ArcGIS (2017).

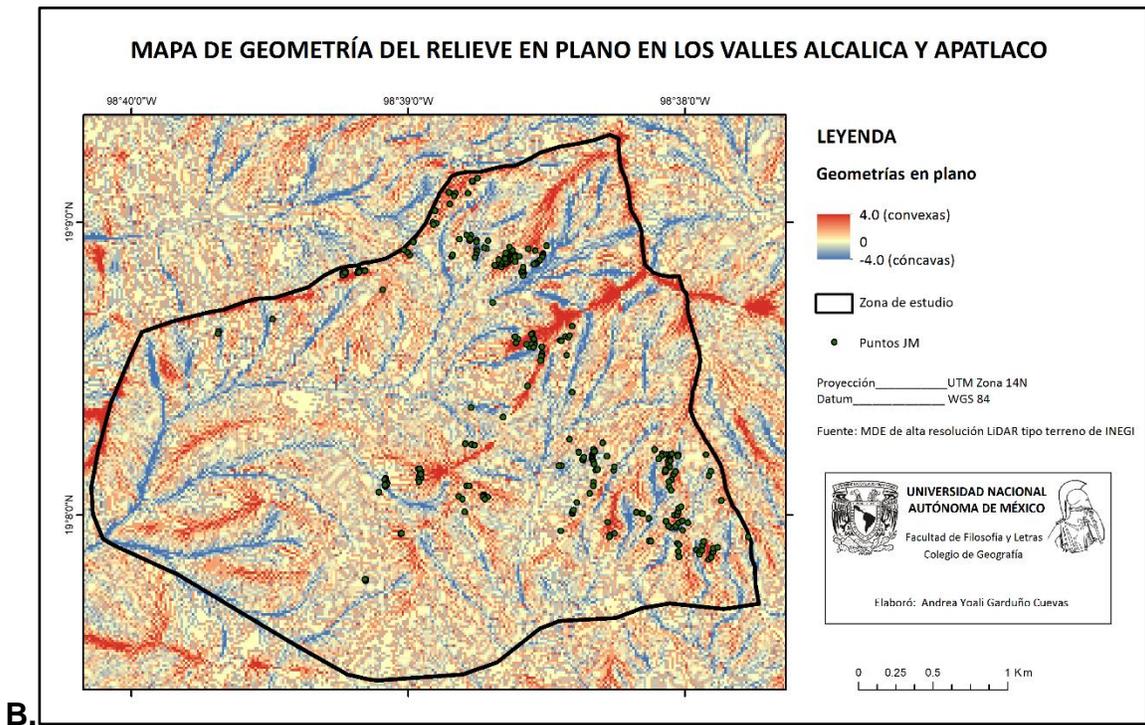
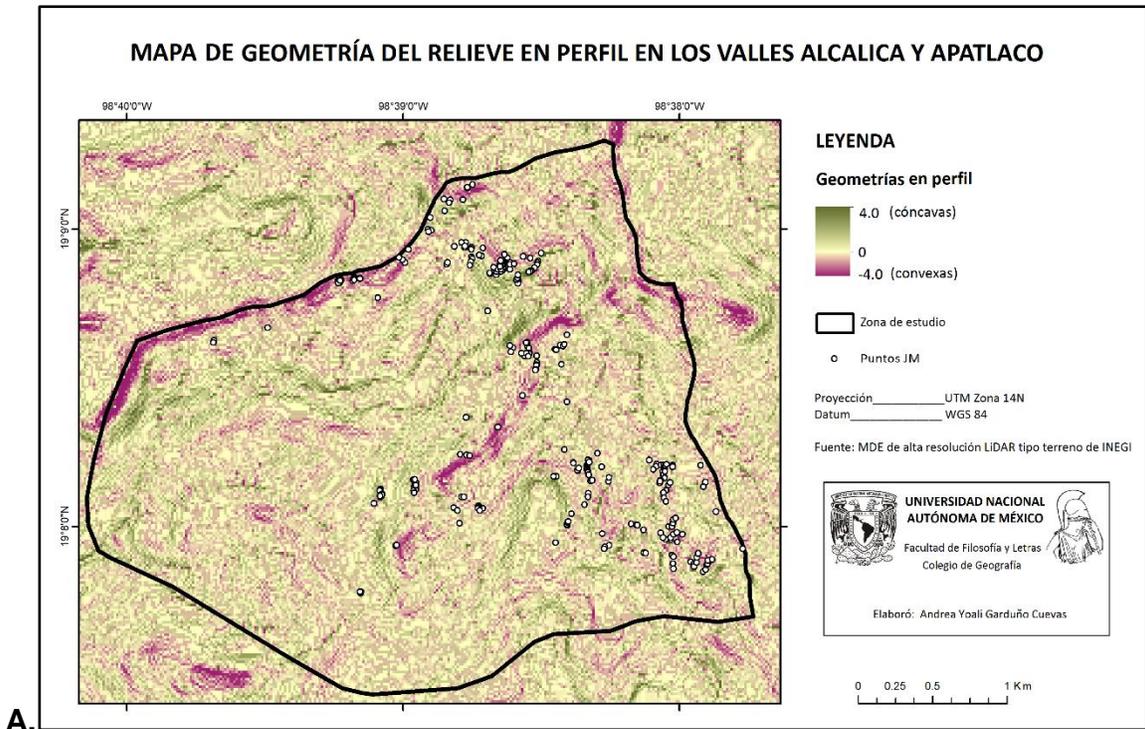


Figura 3.12. Mapas de geometría del relieve de la zona de estudio.

- Radiación solar

El ráster de radiación solar es resultado de la herramienta de geoprocésamiento *ArcToolbox – Spatial Analyst Tools – Solar Radiation – Area Solar Radiation*, en las opciones del comando se escogió un valor de 32 direcciones azimutales correspondiente al cálculo de una topografía compleja, y un intervalo anual en la opción de configuración de tiempo, donde se seleccionó el año 2012 por ser el año de la imagen con la que se interpretaron los JM en la zona de los valles. Este ráster muestra la insolación en la superficie y arroja resultados en unidades de vatios hora por metro cuadrado (WH/m²).

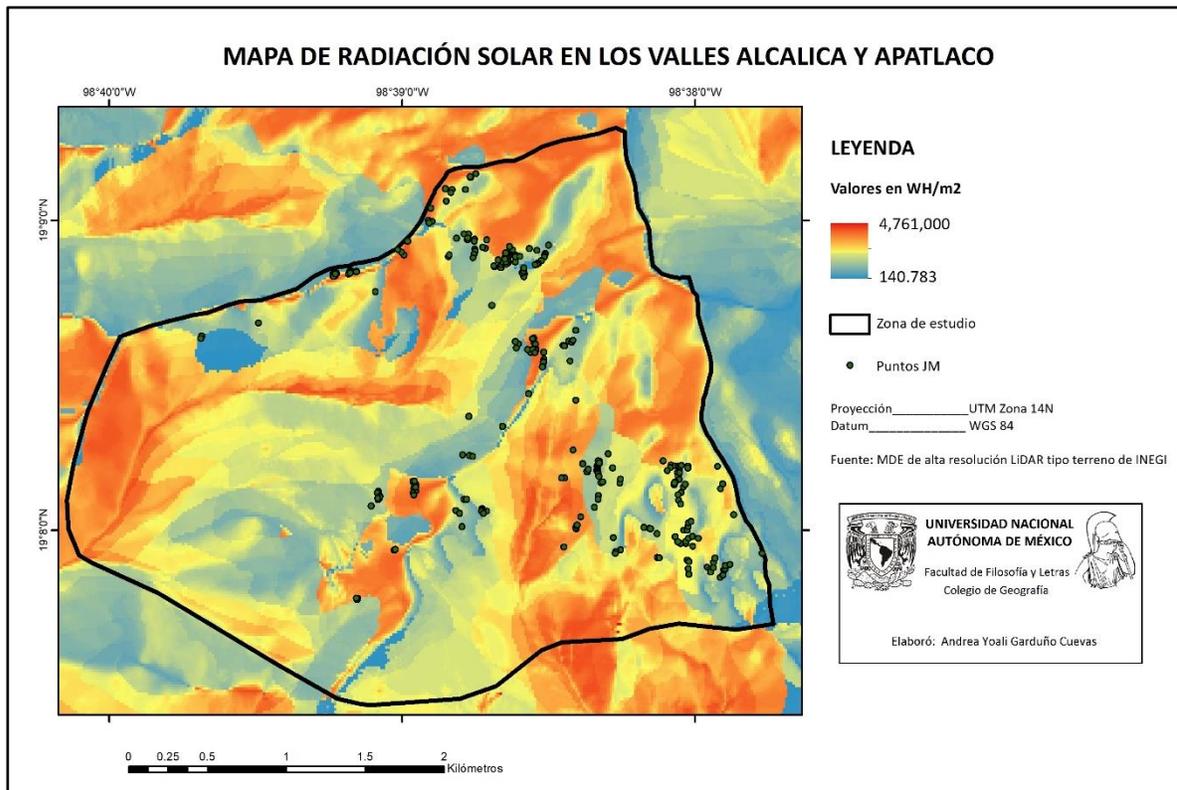


Figura 3.13. Mapa de radiación solar en la zona de estudio.

- Acumulación de flujo

El último ráster a elaborar fue el de acumulación de flujo, que se elabora primeramente con base en un ráster resultado de la herramienta de geoprocésamiento *ArcToolbox – Spatial Analyst Tools - Hydrology – Fill* que corrige errores del MDE causados por la resolución, completando los sumideros y nivelando los picos. Posteriormente con el resultado del *Fill* se elabora el ráster que determina la dirección de flujo desde cada celda en el ráster con *Flow direction*, para posteriormente derivar el modelo *Flow accumulation*. El resultado representa la cantidad de lluvia, de las precipitaciones promedio durante una tormenta determinada, que puede fluir por cada celda, asumiendo que toda la lluvia se convirtió en escorrentía y que no hubo intercepción, evapotranspiración o pérdida al agua subterránea. Los valores altos (tono oscuro en el mapa) indican áreas de concentración de escorrentía que en general coinciden con áreas cóncavas en planta y perfil. En contraste los valores bajos son áreas que tienden a dispersar la escorrentía por ser convexas en planta.

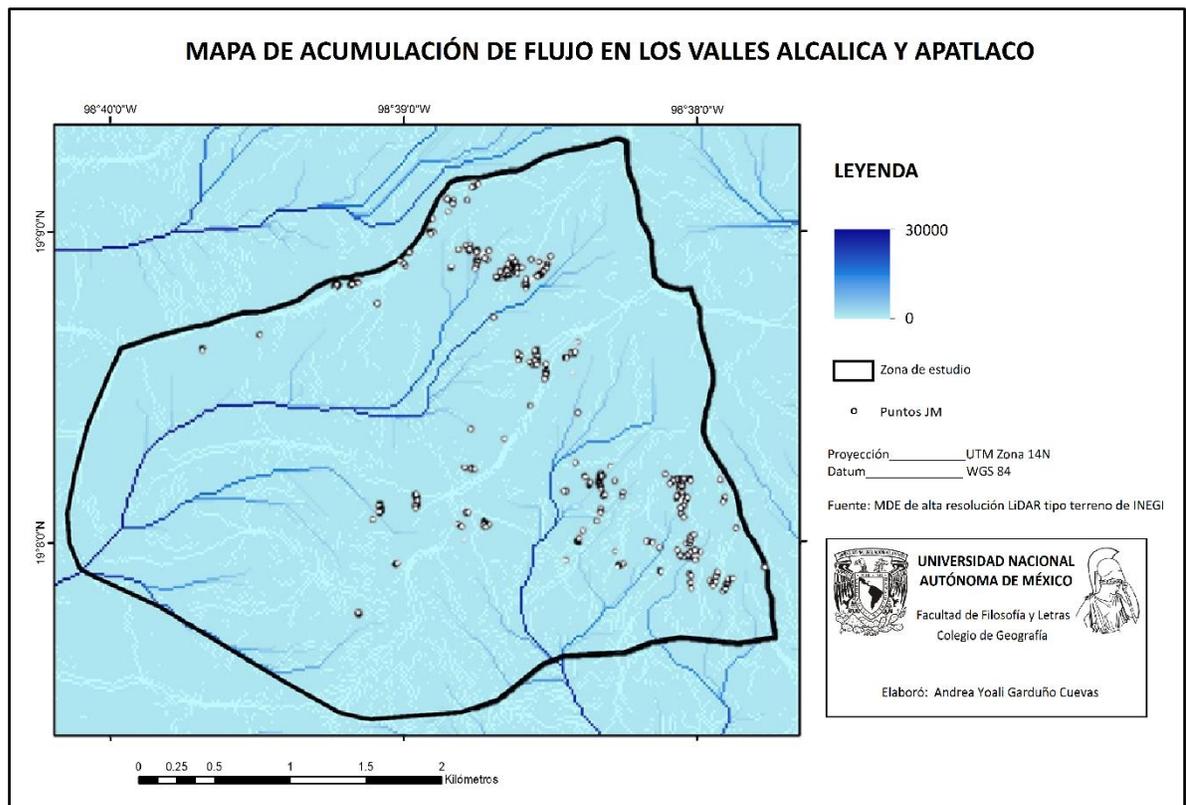


Figura 3.14. Mapa de acumulación de flujo de la zona de estudio.

3.3.2 Morfología

Con base en fotos aéreas del CETENAL con fecha de marzo de 1977 a una escala de 1:35,000 y con un estereoscopio de espejos, se realizó la fotointerpretación con la finalidad de marcar las geoformas más significativas en dicha escala, esto fue con polígonos y líneas. Posteriormente se digitalizó y resultó un mapa geomorfológico a mayor escala en los valles de Alcalica y Apatlaco.

El mapa se realizó con la finalidad de conocer las áreas morfológicas afines a la especie que servirán para la posterior clasificación de su hábitat.

Algunas definiciones de las geoformas ubicadas en el mapa conforme aparecen, de acuerdo con Lugo-Hubp (2011) son:

- Rocas aborregadas: Salientes redondeadas, modeladas por la erosión del hielo sobre el sustrato rocoso. En el mapa se ubican predominantemente en el valle de Apatlaco y más específicamente en el Este, aunque también aparecen en la parte alta del valle de Alcalica.
- Morrena: Conjunto de detritos rocosos transportados o depositados por un glaciar. En el valle de Apatlaco hay de 3 temporalidades: Hueyatlaco-2, de hace 17-14 mil años; Milpulco-1, de hace 12 - 10 mil años; y Milpulco-2, que se ubica por encima de la cota de los 4,000 msnm y data de hace 7-8 mil años. En el valle Apatlaco solo son visibles las dos morrenas Milpulco.
- Cresta: Elevaciones alargadas de diversas dimensiones, que en este caso son modeladas por la erosión, pues son áreas de parteaguas. Una se ubica en el centro del mapa formando el parteaguas entre los dos valles estudiados y otra en el noroeste.
- Talud: Superficie inclinada del terreno donde el material de origen gravitacional se encuentra en equilibrio. En el mapa se ubica en las zonas altas de ambos valles y está formado por una acumulación de clastos al pie de las laderas escarpadas de roca.
- Flujo de escombros: Se refiere a una mezcla de material desde muy fina hasta grava y bloques con una cantidad variable de agua que forma una corriente lodosa, que se mueve ladera abajo y surge inducida por la gravedad y un colapso repentino de material. En el mapa solo hay uno en la parte noreste del valle de Alcalica.

MAPA GEOMORFOLÓGICO DE LOS VALLES ALCALICA Y APATLACO, IZTACCÍHUATL, MÉXICO.

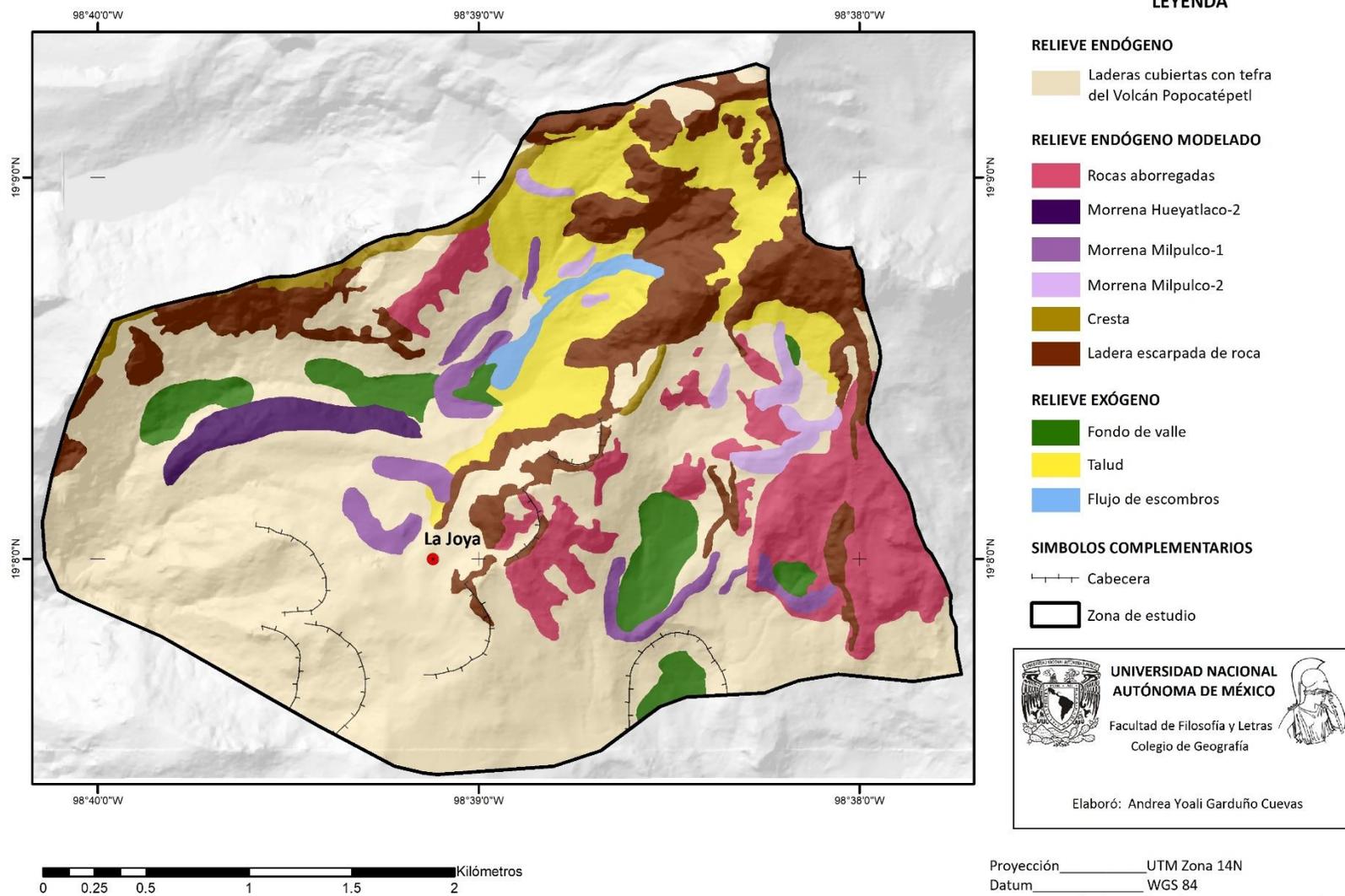


Figura 3.15. Mapa geomorfológico de la zona de estudio.

3.4 Relación geomorfología-distribución de *Juniperus monticola*

Con base en cada una de las variables morfológicas y morfométricas se analizó la relación que tenían los 285 puntos de *Juniperus monticola* en los valles.

3.4.1 Morfología

Con ArcMap 10.1 se sobrepusieron el mapa geomorfológico de la zona de los valles y los 285 puntos de *Juniperus monticola* (Fig. 3.16). Con la herramienta de geoprocésamiento ArcToolbox – Spatial Analyst Tools – Extraction – Extract Multi Values to Points se obtuvo una tabla de datos en Excel que indicaba la cantidad de puntos en cada geoforma, se sumaron y el resultado se graficó (Tabla 2, Gráfica 1).

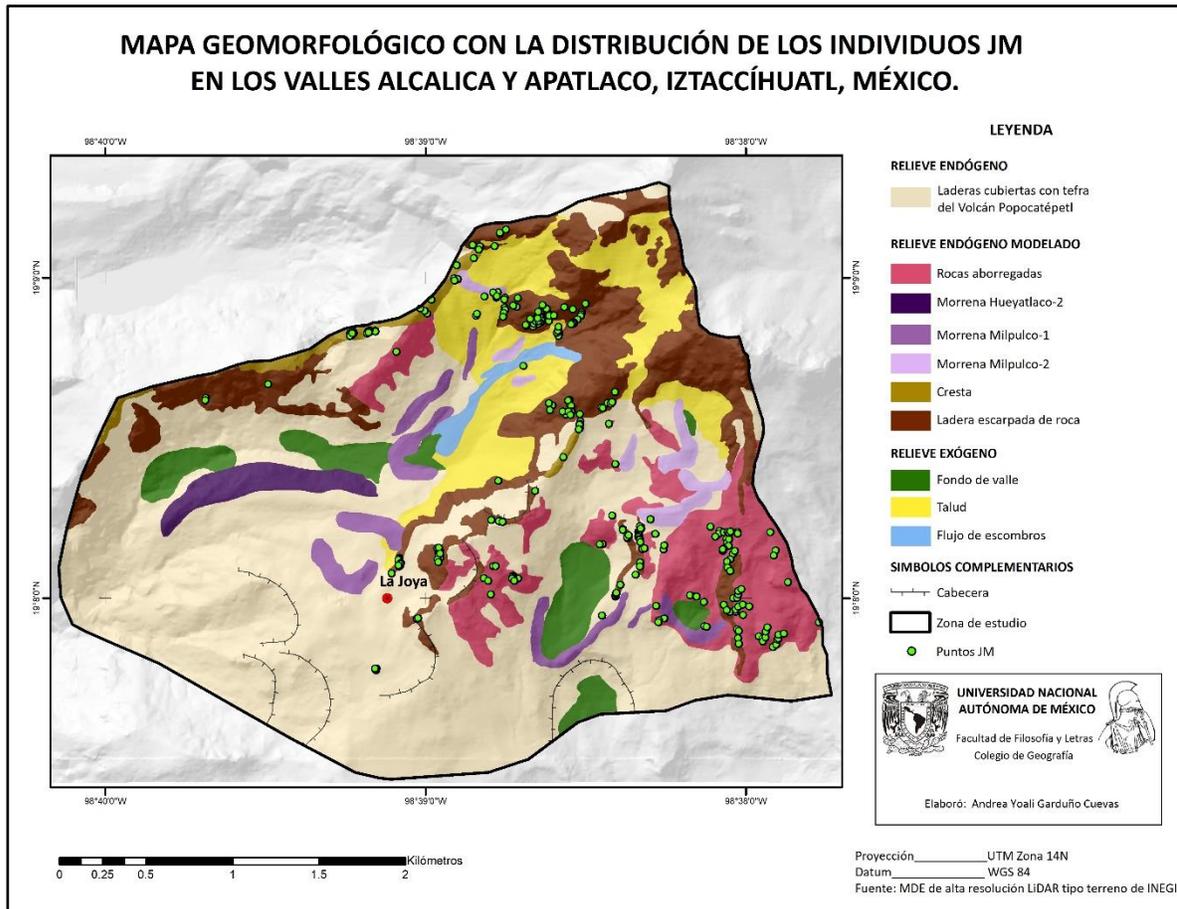
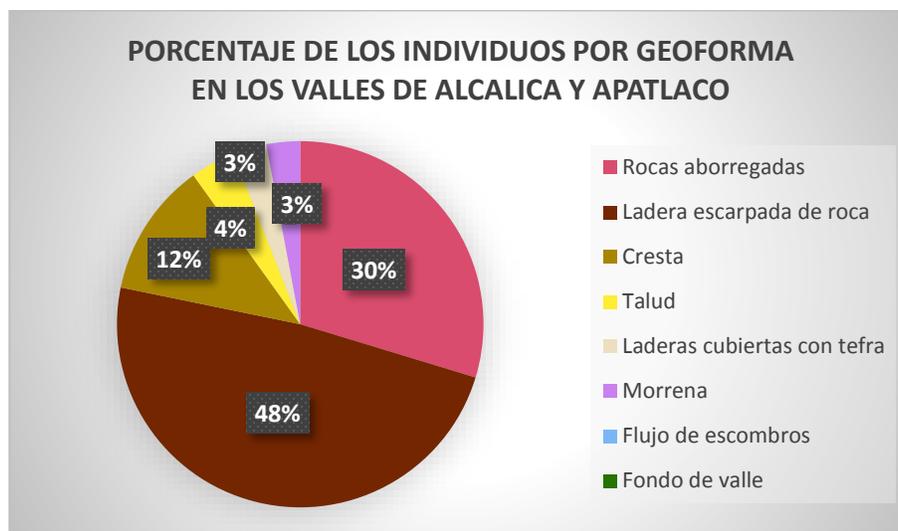


Figura 3.16. Mapa de la sobreposición de las variables morfológica-*Juniperus monticola* en la zona de estudio.

GEOFORMAS	Puntos JM	Porcentajes
Rocas aborregadas	85	30
Cresta	33	12
Flujo de escombros	0	0
Ladera escarpada de roca	141	48
Laderas cubiertas con tefra	8	3
Fondo de valle	0	0
Morrena	8	3
Talud	10	4
TOTAL	285	100

Tabla 2. Cantidad de JM en cada geoforma en la zona de los valles.



Gráfica 1. Porcentaje de la cantidad de puntos con *Juniperus monticola* por geoforma.

Resultados

Como se observa, hay una preferencia notoria por las geoformas con afloramientos rocosos, como son las rocas aborregadas, las laderas escarpadas y las crestas (Fig. 3.17) y que juntas suman el 90% de los individuos. El 10% restante se ubican en taludes, laderas cubiertas con tefra y las morrenas, lo cual quiere decir que estas geoformas no están del todo exentas de la especie, pero son poco aptas para la misma, quizás por ser zonas con bastante cobertura de zacatonal o pastizal alpino. Y por último, el flujo de escombros y los fondos de valle no son hábitat de la especie posiblemente por su frecuente dinámica.



A.



B.

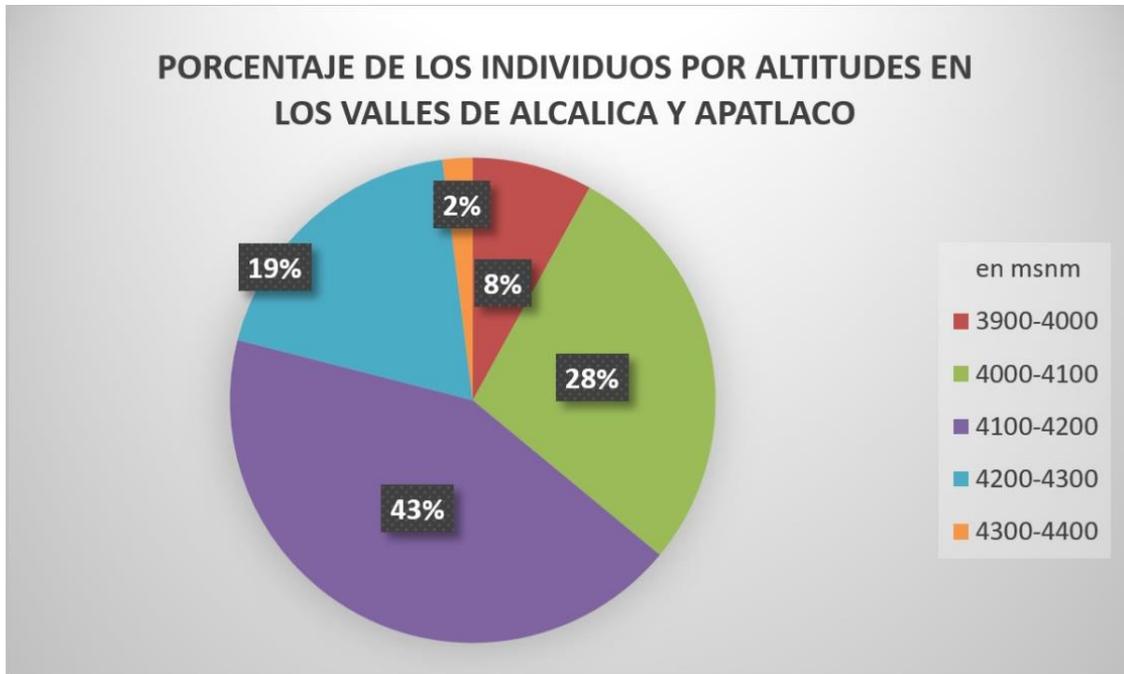
Figura 3.17. Preferencia de la especie por las geformas rocosas, en el caso A se ven al menos 3 individuos en la zona de las crestas, y en el caso B el individuo prefiere la roca aborregada evitando competencia (y fuego) con el zacatonal alpino.

3.4.2 Morfometría

Los 7 rásters de morfometría elaborados para los valles Alcalica y Apatlaco y la capa de los 285 puntos de JM localizados en la misma zona (Fig 3.2), se sobrepusieron con la herramienta de geoprocésamiento *Extract Multi Values to Points*, con lo que se obtuvieron los valores de cada ráster en cada uno de los puntos JM, lo que permitió conocer la preferencia a algunos rangos de cada variable por parte de la especie. Con base en lo anterior se establecieron tres rangos para cada variable: Muy apto, Apto y Poco apto, para la evaluación de la aptitud del hábitat de la especie. Entiéndase hábitat como el lugar de vida de un organismo o comunidad que está en función de sus propiedades físicas y/o bióticas (Allaby, 2010).

- Altimetría

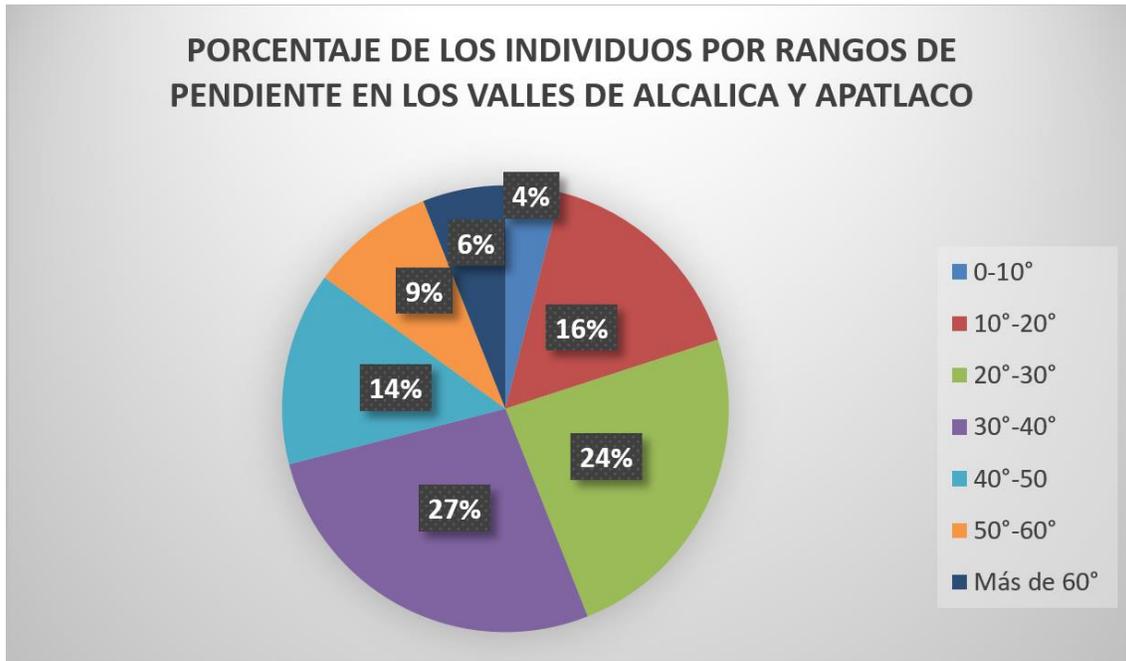
Según Giménez de Azcarate y Escamilla (1999) el *Juniperus monticola* se encuentra en el intervalo de los 3700 a los 4200 msnm. Sin embargo, los muestreos de la presente investigación indican que la especie se encuentra en altitudes desde los 3900 hasta los 4400 msnm, por lo que siguiendo solamente este intervalo, los rangos para conocer las zonas más aptas para la especie se dividieron cada 100 metros.



Gráfica 2. Porcentaje de JM por rangos altitudinales.

Con base en la distribución observada en la gráfica (Fig.3.18) se hizo la siguiente clasificación: Muy apto de 4100 a 4200 msnm, rango que abarca el 43% de las muestras. Apto para los 4200-4300 msnm, con el 19% de los puntos, junto con el rango 4000-4100 con el 28%. Y, Poco apto para los valores desde 3700 hasta 4000 msnm y de 4300 hasta 4400 msnm, teniendo en cuenta el valor de 3700 msnm indicado por Giménez de Azcarate y Escamilla (1999) y el de 4400 msnm de la muestra encontrada a mayor altitud en esta investigación.

- Pendiente



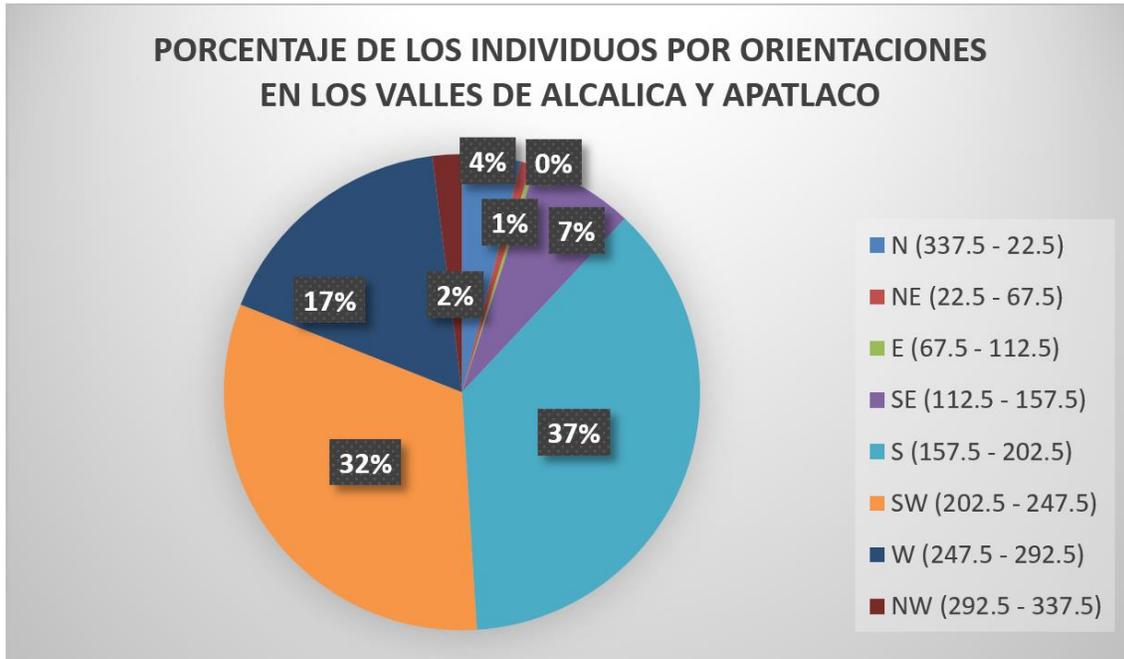
Gráfica 3. Porcentaje de JM por grados de pendiente.

En cuanto a la pendiente, los rangos se dividieron cada 10 grados, y la clasificación queda en Muy apto para los valores desde 20 hasta 40 grados con el 51% de las muestras; Apto para los 10°-20°, y de 40° hasta 60° con el 39%; y Poco apto para los menores de 10° y los más de 60° con el 10% de los JM. Se puede hipotetizar que la especie no se ubica en grandes pendientes forzosamente, sino que en zonas de difícil acceso al fuego, como crestas (Fig. 3.17A), o zonas lejos del zacatonal alpino.



Figura 3.18. Individuo de JM el cual la mitad más cercana al zacatonal alpino se vio afectada por algún incendio, mientras la otra mitad sana está en una zona de mayor pendiente y lejos de algún zacatonal.

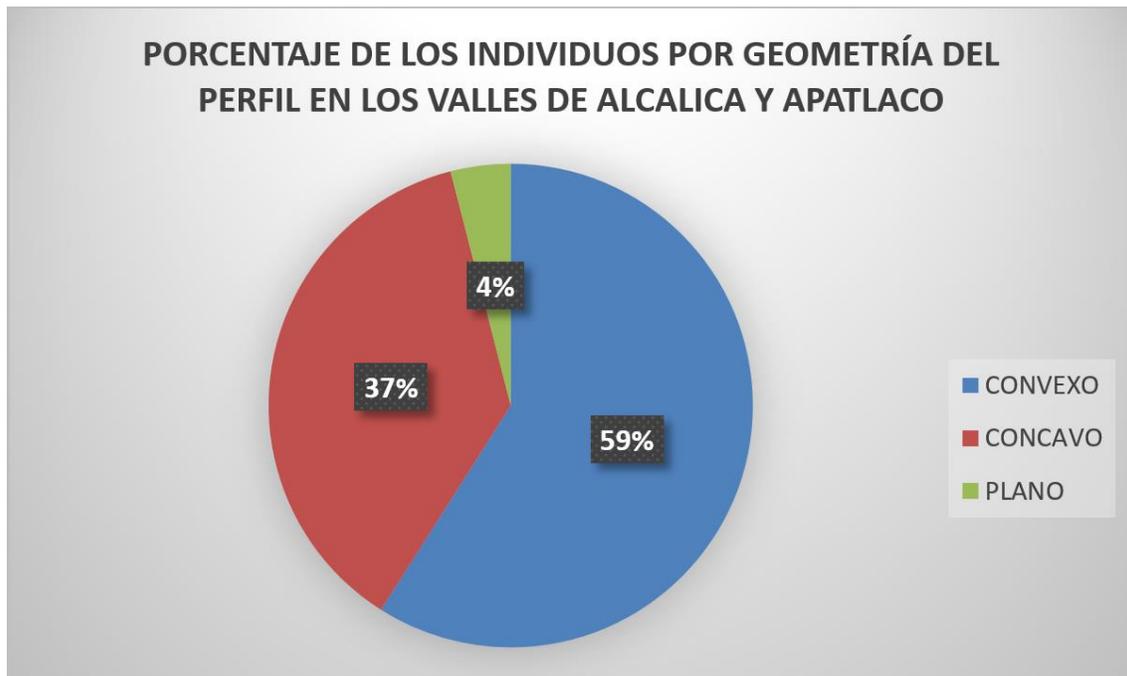
- Orientación



Gráfica 4. Porcentaje de JM por orientación de laderas.

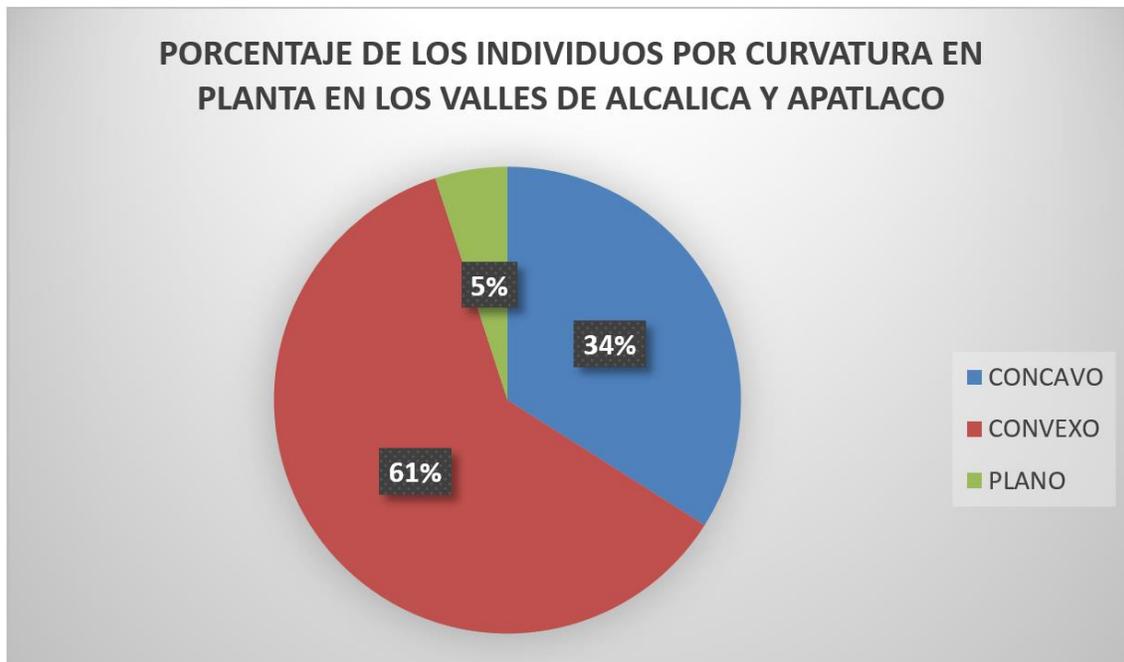
Entre el sur y el suroeste suman 69% de las muestras, una preferencia que le asegura bastantes horas de sol, por eso estas dos orientaciones son la clasificación Muy apto. Para Apto están el oeste y el sureste, que son el 24%; y el 7% restante son el este, el norte, noreste y noroeste, los cuales entran a la clasificación Poco apto.

- Geometría del relieve



Gráfica 5. Porcentaje de JM por geometría del relieve en perfil.

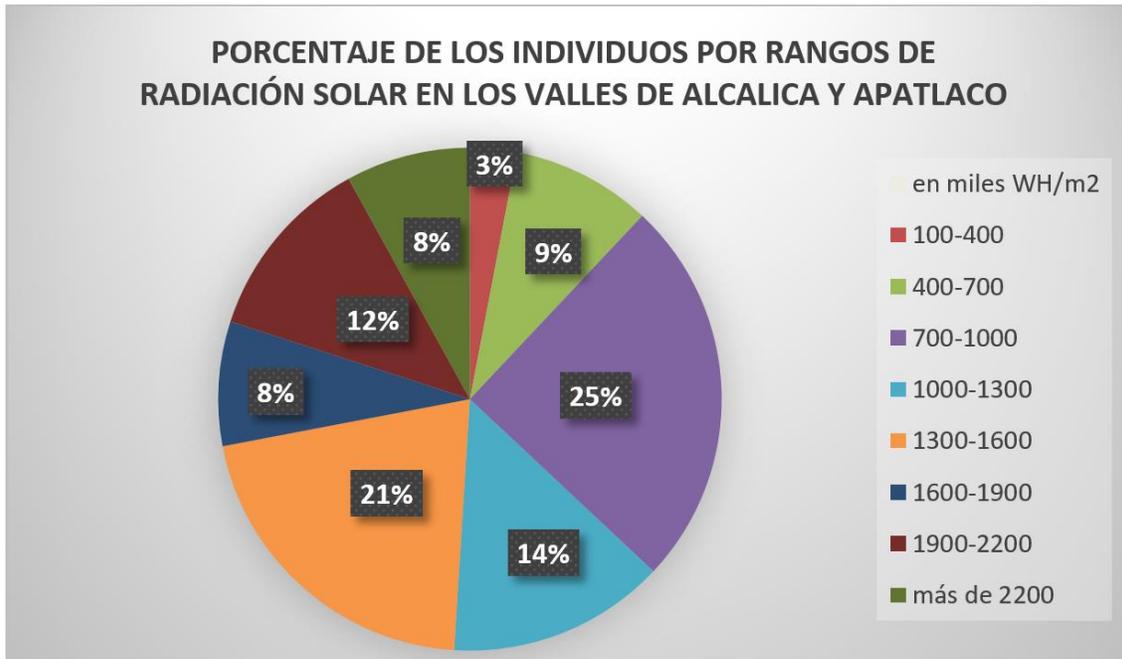
En cuanto a la geometría del relieve en perfil solo hay 3 opciones: cóncavo, convexo y plano, por lo que la clasificación fue de acuerdo al porcentaje de cada uno. En geometría en perfil convexa cae la mayoría de las muestras con el 59%, y por lo tanto es la clase Muy apto; Apto para las cóncavas con el 37%; y el 4% restante son las geometrías planas y queda como Poco apto.



Gráfica 6. Porcentaje de JM por geometría del relieve en plano.

Para las geometrías en planta la clasificación quedó de la siguiente manera. Muy apto para las geometrías convexas, las cuales tienen la mayoría de las muestras con el 61%; Apto fue para las cóncavas con el 34%; y Poco apto para las geometrías planas con el 5% de las muestras.

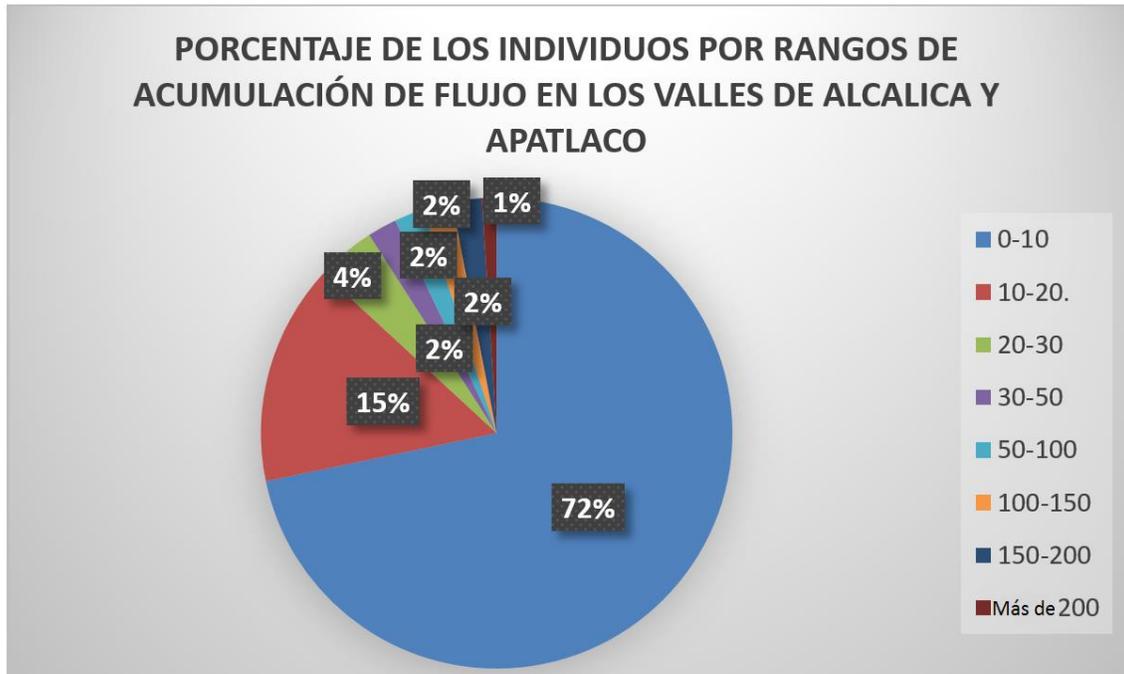
- Radiación solar



Gráfica 7. Porcentaje de JM por radiación solar.

Para los rangos de radiación solar, los porcentajes no muestran una preferencia muy significativa por parte de la especie, aun así fue posible la clasificación uniendo rangos. Para Muy apto se unieron los 3 rangos desde los 700 mil hasta los 1 millón 600 mil vatios por metro cuadrado y el porcentaje de muestras fue del 60%. En Apto quedaron los valores de 400 mil a 700 mil vatios por metro cuadrado, y del 1 millón 600 mil hasta los 2 millones 200 mil vatios por metro cuadrado, que suman el 29%. Y en Poco apto, con el 11% quedaron los valores de menores a 400 mil vatios por metro cuadrado y los mayores de 2 millones 200 mil y hasta los 2 millones 500 mil vatios por metro cuadrado, ya que pasando esta cantidad no hay ninguna muestra registrada.

- Acumulación del flujo



Gráfica 8. Porcentaje de JM por acumulación de flujo.

Para el último ráster de acumulación de flujo la preferencia de JM fue muy notoria por el rango de 0 a 10, es decir de baja concentración de flujo, que corresponde a zonas de morfología convexa en planta y que suelen ser parteaguas, donde cae el 72% de las muestras y clasificó con Muy apto. En valores entre 10 y 30 cae el 19% de los casos de JM y clasificó como Apto. Y los valores entre 30 y 430 que en suma dan 13% corresponden a la clase Poco apto; ninguna muestra de JM cae en valores >430. Esto quiere decir que la especie evita zonas de acumulación del flujo de agua, donde hay mayores espesores de suelo y por ende hay otras especies.

3.5 Zonas aptas para el *Juniperus monticola* en el Volcán Iztaccíhuatl

3.5.1. Formulación de un modelo basado en variables morfométricas

Con base en los 3 rangos de aptitud aplicados a las 7 variables para los valles Alcalica y Apatlaco, se reclasificaron las 7 capas a mayor escala para todo el Volcán Iztaccíhuatl con la herramienta *ArcToolbox – Spatial Analyst Tools – Reclass – Reclassify*, donde los rangos dentro de Poco apto quedaron con el número 1, los Apto con 2 y el Muy apto con 3. Todos los valores fuera o los No aptos quedaron en 0.

Estas nuevas 7 capas reclasificadas sirvieron de base para elaborar el modelo de toda la montaña, el cual se hizo con el comando *ArcToolbox – Spatial Analyst Tools – Map Algebra – Raster Calculator* donde la fórmula fue la suma de las 7 capas, resultando en un solo ráster con 19 valores, donde el mínimo fue 3 y el máximo 21. Posteriormente esta capa fue filtrada por la variable “altitud”, esto debido a que la especie tiene un límite muy claro con esta variable. El resultado fue el ráster con los mismos 19 valores, pero solamente entre los 3700 y los 4400 msnm.

Para el modelo final se utilizó la función *Stretched* en la simbología para tener mayor percepción de la aptitud en función del tono. En cuanto más oscuro la aptitud es mayor (Fig. 3.19).

Se normalizó el modelo ajustando los valores medidos en diferentes escalas respecto a una escala común mediante el método de Característica Staling, que transforma todos los valores en el rango de [0,1]. Esto para restringir la gama de valores en el conjunto de datos entre puntos arbitrarios a y b utilizando:

$$X' = a + \frac{(X - X_{min})(b - a)}{X_{max} - X_{min}}$$

Con el modelo en valores del 0 al 1 se clasificó en 3 rangos del 0 al 0.33, 0.33-0.66 y de 0.66 al 1 para obtener el Poco apto, Apto y Muy apto respectivamente.

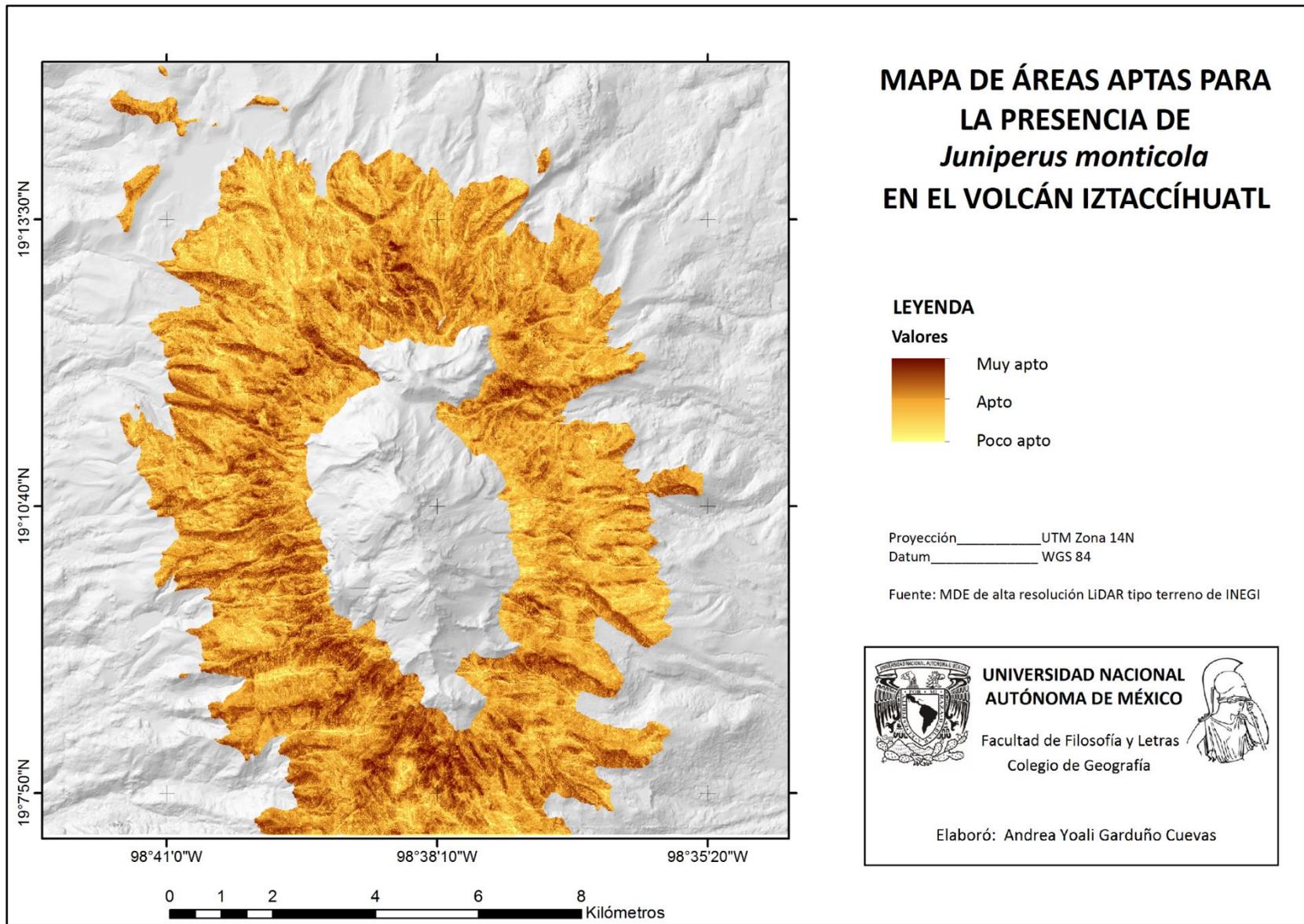


Figura 3.19. Modelo de áreas aptas para la presencia de la especie *Juniperus monticola* en todo el volcán Iztaccíhuatl.

3.5.2. Verificación del modelo

Durante los últimos 5 años se ha construido una base de datos de las muestras de *Juniperus monticola* colectadas en el volcán Iztaccíhuatl, la cual incluye la clave, la fecha, las coordenadas, la altitud y algunas observaciones de un total de 154 puntos de muestreo dendrocronológico de *Juniperus monticola*. Estas colectas con clave IZJ han sido por parte de investigadores y becarios del Instituto de Geografía en conjunto con investigadores del Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en relación Agua, Suelo, Planta, Atmósfera (CENID RASPA) del INIFAP. Los 154 puntos son independientes a los de la presente investigación y se distribuyen en valles del S, SW y W de la montaña, incluyendo los valles de Alcalica y Apatlaco, pero también otros valles del S, además de Milpulco y Nahualac en el W.

Con esta base de 154 puntos de JM a lo largo del volcán, se utilizó la herramienta de geoprocésamiento *ArcToolbox - Spatial Analyst Tools - Extraction - Extract Multi Values to Points*, para conocer la ubicación de las muestras en el modelo.

El resultado fue que el 92% de los puntos de muestreo dendrocronológico se encontraron en el rango de Muy apto, y el restante 8% en el rango de Apto; por lo que ningún punto se encontró dentro de Poco apto. Con lo anterior podemos concluir que el modelo tiene bastante certeza para el área del Complejo Volcánico Iztaccíhuatl.

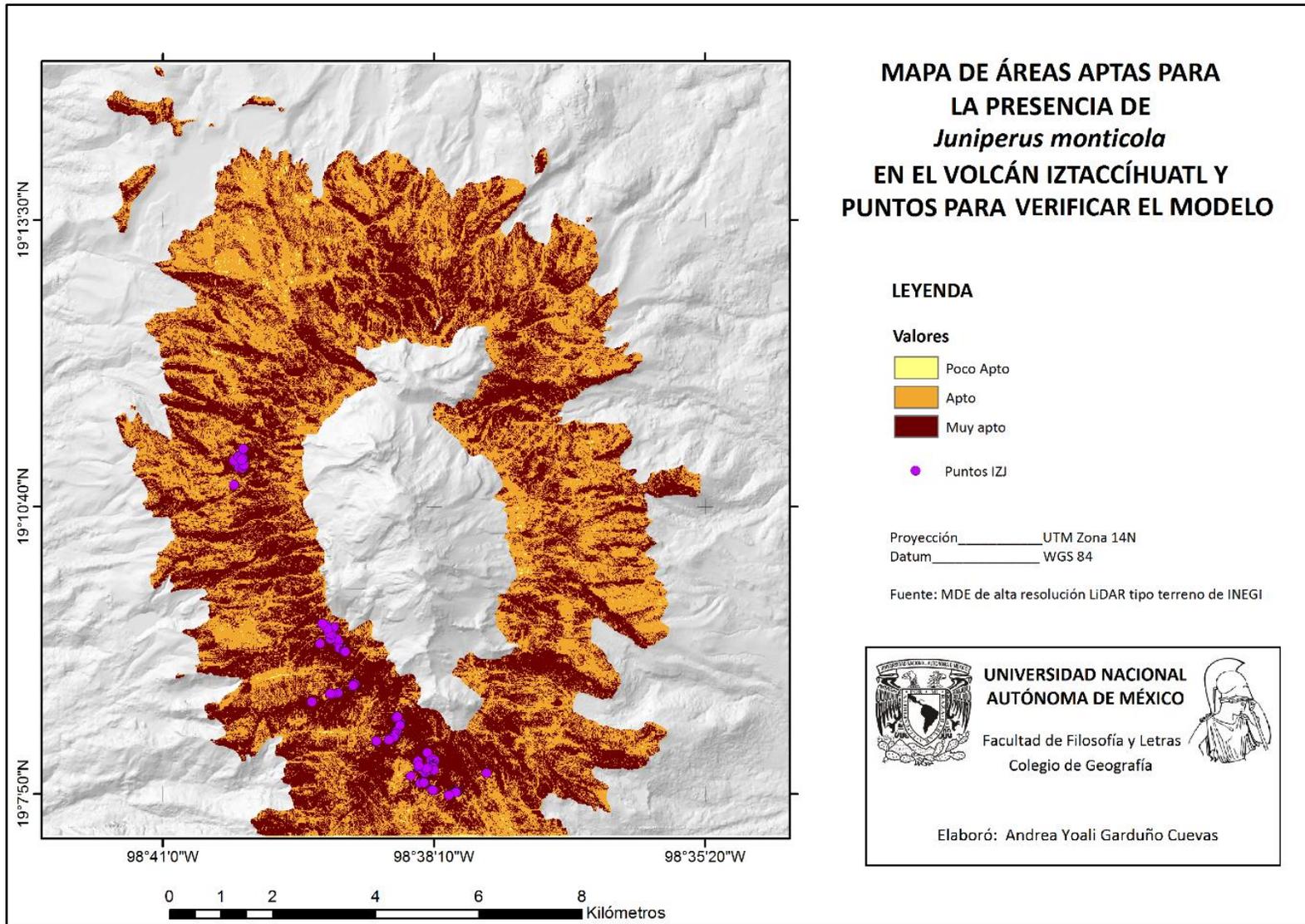


Figura 3.20. Modelo de áreas aptas para la presencia de la especie en toda la montaña y puntos de muestreo dendrocronológico IZJ utilizados para probar el modelo.

CAPÍTULO 4. DENDROCRONOLOGÍA DE *Juniperus monticola* Y RELACIÓN CON LA GEOMORFOLOGÍA

4.1. Muestreo y análisis dendrocronológico

El *Juniperus monticola* crea anillos no concéntricos, lo cual implica que para tener el correcto conteo de anillos de un individuo es necesaria una sección transversal completa, por lo cual en casi todos los casos se toman muestras de individuos muertos.

Las muestras tomadas en el volcán Iztaccíhuatl reciben la clave de IZJ, son cortadas con sierras de bolsillo o con motosierra eléctrica, se toma su punto GPS y se le escribe su respectiva clave con plumín. (Fig. 3.21).



A.



B.



C.

Figura 4.1. Toma de muestras de individuos muertos de *Juniperus monticola* en el Iztaccíhuatl. A, corte con una sierra de bolsillo y B con motosierra. En función del tamaño del tronco está la selección de la herramienta. C. Muestra transversal de *Juniperus monticola* marcada con la clave IZJ.

La base de datos es de 154 individuos diferentes, pero el número de muestras es mayor debido a que de un solo individuo se pueden extraer hasta 4 muestras, diferenciándolas con letras.

En el Laboratorio de Dendrocronología del INIFAP-CENID-RASPA de Gómez Palacio, Durango, se realizó el conteo de anillos en radio mayor y menor de secciones de las primeras muestras con las claves IZJ-01 hasta la IZJ-119, de los cuales se depuraron los datos para el análisis de la correlación entre diámetro y número máximo de anillos (datos proporcionados por el Dr. José Villanueva Díaz). Se utilizaron solo las muestras que estuvieran completas, y dentro de los valles de Alcalica y Apatlaco, dando un total de 51 muestras.

Se sumó el radio mayor y el radio menor para obtener el diámetro del tronco (Fig. 3.22), y con este dato se hizo el análisis de correlación con la cantidad mayor de anillos en cada muestra o su edad probable en años.

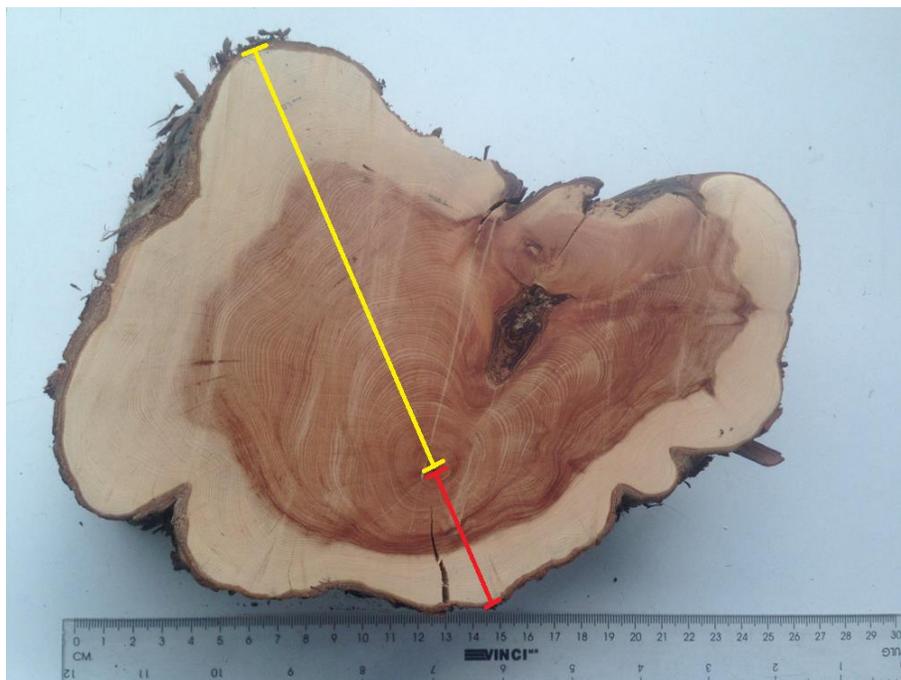


Figura 4.2. Corte transversal de un individuo centenario de *Juniperus monticola* del valle de Alcalica (clave IZJ-78B). La línea amarilla es el radio mayor y la línea roja el radio menor, siendo la sumatoria el diámetro.

El coeficiente de correlación de Pearson o correlación lineal es un número sin dimensión que determina el grado de ajuste entre una nube de puntos y la recta de regresión. Es el cociente entre la covarianza y el producto de las desviaciones típicas, expresado matemáticamente como:

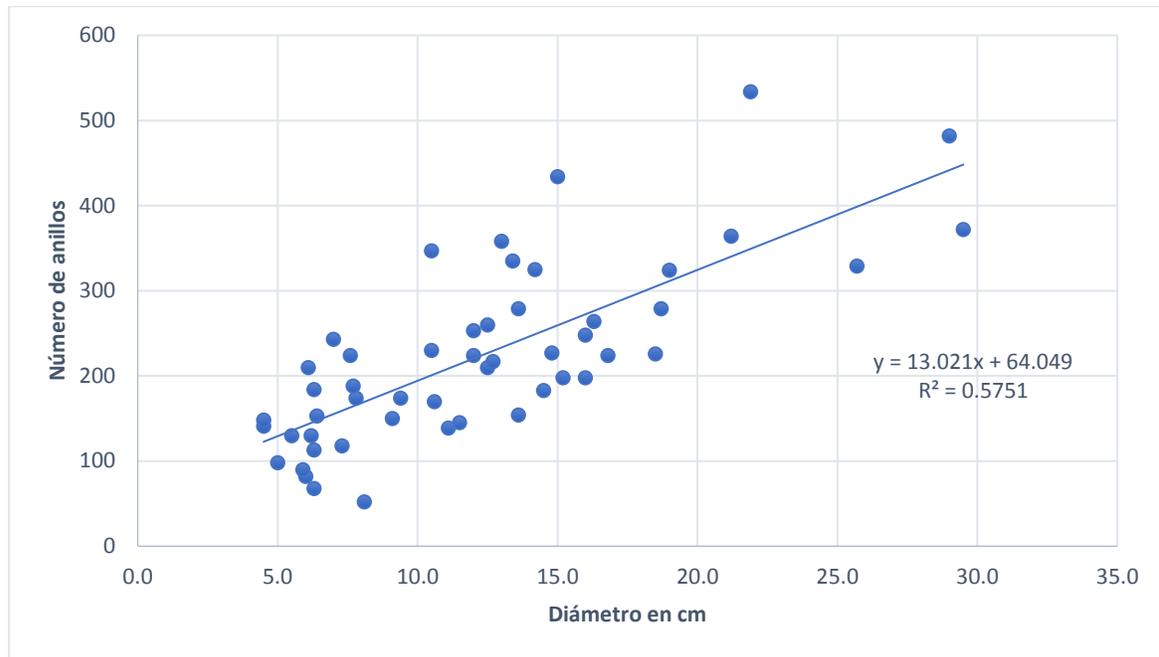
$$r = \frac{S_{xy}}{S_x S_y}$$

Si el sentido de la dependencia es positivo indica que al aumentar la variable independiente también aumenta la dependiente, correlación positiva o directa. Y si el coeficiente de correlación lineal es negativo, al aumentar la variable independiente disminuye la dependiente, correlación negativa o inversa (Manteiga y de Vargas Luque, 2012).

Valor de r	Correlación
$0 \leq r < 0.20$	Pequeña
$0.20 \leq r < 0.40$	Baja
$0.40 \leq r < 0.60$	Regular
$0.60 \leq r < 0.80$	Alta
$0.80 \leq r < 1$	Muy alta

Tabla 3. Tabla de clasificación de Guilford. Tomado de Manteiga y de Vargas Luque (2012).

Con las 51 muestras del INIFAP se realizó el coeficiente de correlación entre el diámetro (la suma de los radios) y la cantidad de anillos máxima de cada muestra, dando como resultado un coeficiente de 0.76, que según la clasificación de Guilford (Tabla 3) corresponde a una correlación alta.



Gráfica 9. Relación entre diámetro de las muestras y número de anillos de crecimiento de 51 muestras de *Juniperus monticola* de los valles de Alcalica y Apatlaco en el Iztaccíhuatl. Se muestra la línea de tendencia lineal, su ecuación y R cuadrada.

La línea de tendencia es una recta de regresión ($y=ax+b$), la cual nos permite determinar el grado de dependencia de las variables, prediciendo el valor y (anillos) estimado que se obtendría para un valor x (diámetro) diferente. Y con la muestra anterior se obtuvo una y de $13.021 x + 64.049$, la cual se aplicó para 35 de las últimas muestras tomadas en los valles de Alcalica y Apatlaco.

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	310949.71	310949.71	66.33	1.14937E-10
Residuos	49	229692.79	4687.60		
Total	50	540642.51			

Tabla 4. Resumen de la regresión.

Enseguida se puso a prueba el modelo de regresión arriba descrito, aplicándolo a otras 35 muestras colectadas en los valles de Alcalica y Apatlaco (diferentes a las 51 con las que se hizo la regresión). Dichas muestras se pulieron con una lijadora de banda y disco en el Centro de Ciencias de la Atmósfera (Fig. 3.23 A) y posteriormente con un microscopio binocular se realizó el conteo de los anillos en el radio mayor y radio menor (Fig. 3.23 B).



Figura 4.3. Preparación de las muestras de *Juniperus monticola*. A. Pulimiento con lijadora B. Conteo de anillos.

Posteriormente se compararon los resultados del valor estimado de número de anillos obtenido con la ecuación de regresión, contra el valor real o número de anillos efectivamente contado en cada muestra (Tabla 5).

Clave	Diámetro en cm	No. de anillos medido	No. de anillos estimado con base en modelo de regresión
IZJ350	19.0	288	311
IZJ351A	12.9	188	232
IZJ351B	7.4	123	160
IZJ351C	3.2	88	106
IZJ351D	7.4	122	160
IZJ352	17.5	151	292
IZJ353	8.5	131	175
IZJ354B	24.6	302	384
IZJ362	10.2	123	197
IZJ365A	13.1	150	235
IZJ365B	11.8	143	218
IZJ367A	11.0	202	207
IZJ367B	11.6	212	215
IZJ367B	11.6	212	215
IZJ370A	12.2	196	223
IZJ370B	12.0	192	220
IZJ401B	21.0	257	337
IZJ402B	13.0	131	233
IZJ403B	16.0	139	272
IZJ404A	5.5	109	136
IZJ406A	8.1	96	170
IZJ406B	8.2	102	171
IZJ410	16.7	270	281
IZJ411B	19.5	170	318
IZJ413A	15.7	174	268
IZJ416A	16.6	146	280
IZJ416B	10.0	110	194
IZJ420	12.3	144	224
IZJ421A	9.0	136	181
IZJ421B	8.6	136	176
IZJ423A	15.0	126	259
IZJ423B	9.5	140	188
IZJ423C	9.7	153	190
IZJ427A	11.6	164	215
IZJ427B	11.6	164	215

Tabla 5. Número de anillos de crecimiento contados en 35 muestras de *Juniperus monticola* de los valles de Alcalica y Apatlaco, comparado con el número de anillos estimado usando el modelo de regresión. Este modelo se basa en 51 muestras independientes obtenidas en los mismos valles.

Los datos anteriores sirvieron para estimar el Error Cuadrático Medio (ECM), el cual es el resultado de la raíz cuadrada de la sumatoria de las diferencias al cuadrado entre el valor real y el estimado, dividida entre 35, como se ejemplifica en la ecuación:

$$ECM = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \hat{x}_i)^2}{n}}$$

El resultado es de un error de +/- 73.10 anillos en el valor estimado por la regresión. Con este dato y el de la fórmula de regresión, se estimó la cantidad de anillos probables en los individuos identificados en campo con la clave IJU.

Cabe recordar que IJU son individuos vivos medidos en campo, pero de los que no se tomaron muestras dendrocronológicas, es decir que no se conoce su edad. De ellos se midió el diámetro del tronco más grande a la vista (de algunos individuos se tomó más de una medida). Con base en las relaciones estadísticas entre diámetro y edad arriba descritas (derivadas de conteos de anillos en muestras dendrocronológicas IZJ), se hicieron estimaciones de edad para los individuos IJU.

Con el total de las estimaciones para los 107 datos de 104 individuos IJU (en ANEXO 3. Dendrocronología), se tuvieron los siguientes resultados:

Número de anillos	Estimación	ECM +	ECM -
Máximo	364	437	290
Mínimo	71	144	-3
Promedio	93	166	20

Tabla 6. Valores máximo, mínimo y promedio de las estimaciones de anillos en los individuos con clave IJU.

Es importante mencionar que el modelo de regresión obtenido potencialmente puede ser aplicado para determinar la edad de individuos vivos o muertos de *Juniperus monticola* en el Iztaccíhuatl y otras montañas similares, a partir de mediciones del diámetro mayor, es decir sin necesidad de muestreos dendrocronológicos que requieren más tiempo y esfuerzo y que, en el caso de especímenes vivos, podrían producir daños serios o incluso la muerte.

4.2. Relaciones entre la edad de *Juniperus monticola* y la geomorfología

Con los datos correctos de cantidad de anillos de 47 individuos IZJ que sirvieron anteriormente para el análisis de la correlación anillos-diámetro y para el ECM; se analizó la relación de la variable número de anillos o edad probable contra la morfometría y la morfología de la ubicación de cada individuo.

Primeramente con la morfología, los puntos se distribuyen de la siguiente manera en la zona de los valles:

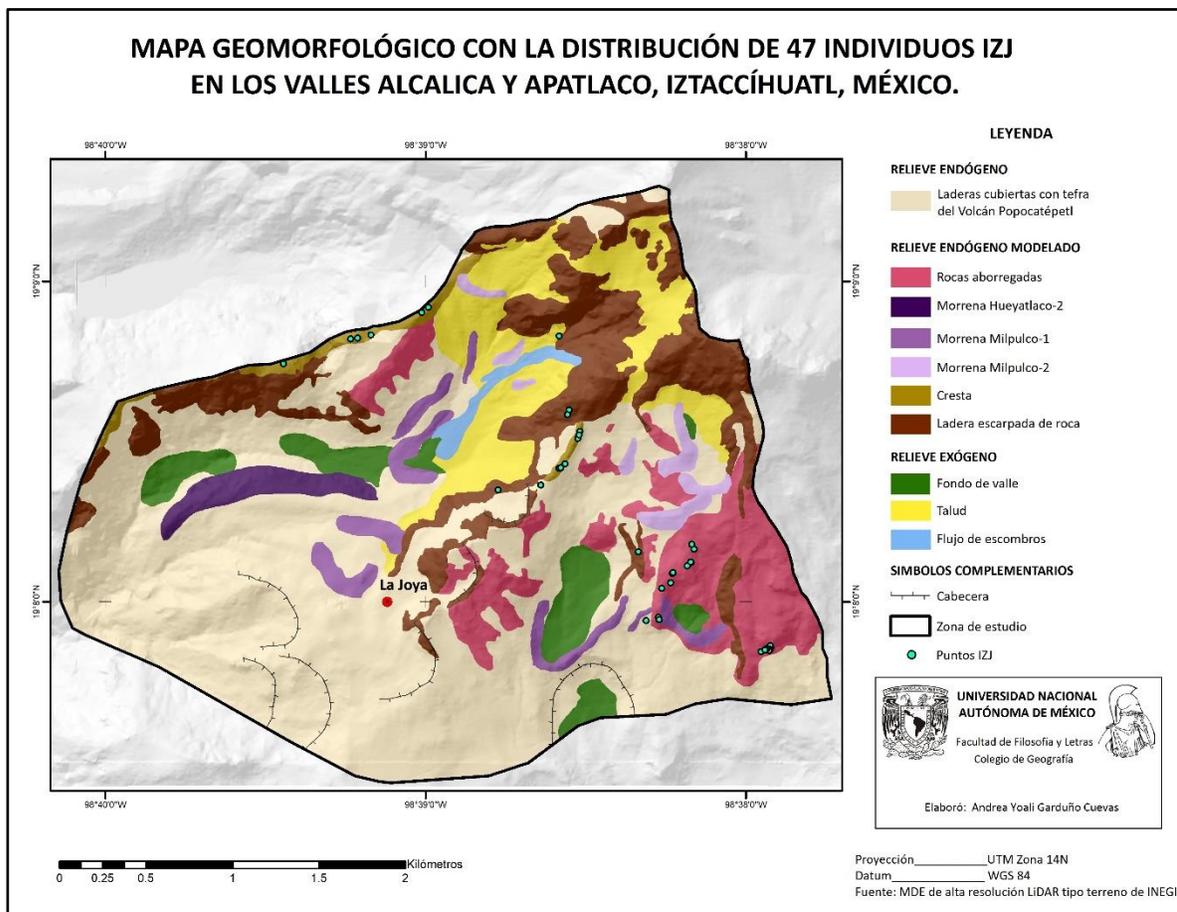
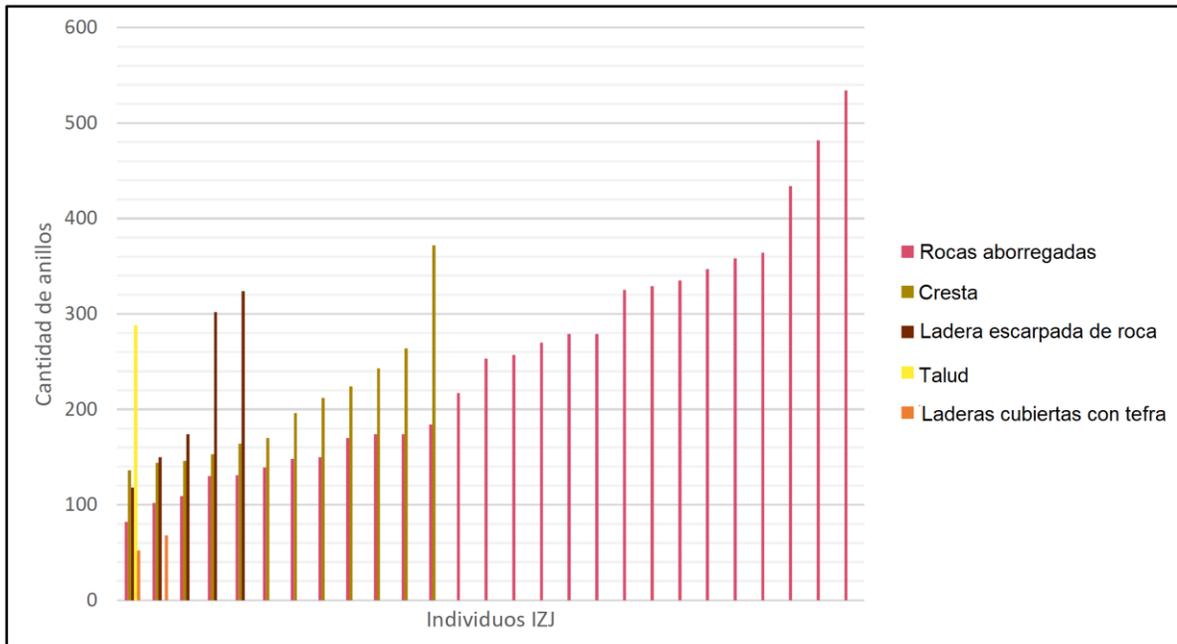


Figura 4.4. Distribución de los 47 puntos IZJ en el mapa geomorfológico

GEOFORMAS	Puntos IZJ
Rocas aborregadas	27
Cresta	12
Ladera escarpadas de roca	5
Laderas cubiertas con tefra	2
Talud	1
Morrena	0
Fondo de valle	0

Tabla 7. Distribución por morfología de los 47 puntos IZJ.

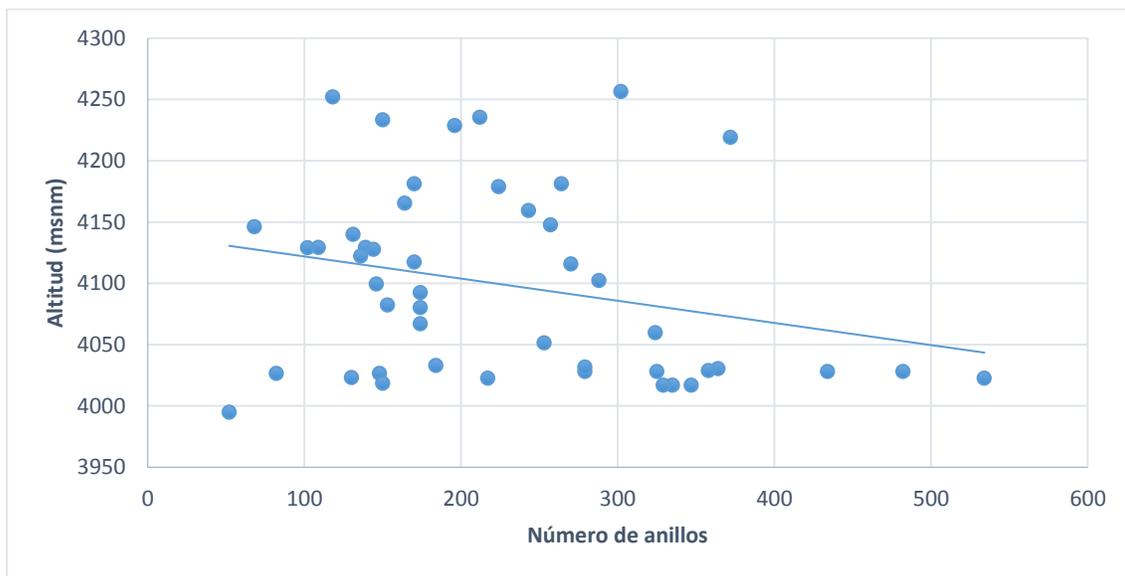


Gráfica 10. Distribución de la cantidad de muestras por morfología y la edad de cada individuo.

La gráfica (10) demuestra la preferencia de la especie por las rocas aborregadas, pues son las zonas donde se ubica el mayor número de individuos (27), que además les permiten una longevidad de hasta 534 años, contrario a los que se encuentran en las laderas cubiertas de tefra, con una edad máxima de 68 años, y apenas 2 individuos. De siguiente preferencia por la especie son las crestas, donde se encuentran 12 de las 47 muestras y la más vieja tiene 372 años. Las muestras en los escarpes totalizan 5 y su edad va de 100 a 300 años, lo que sugiere que también es una geoforma que permite mayor persistencia, presumiblemente porque no hay pastos que pueden transmitir incendios. La zona de talud es un caso particular con solo un individuo, pero

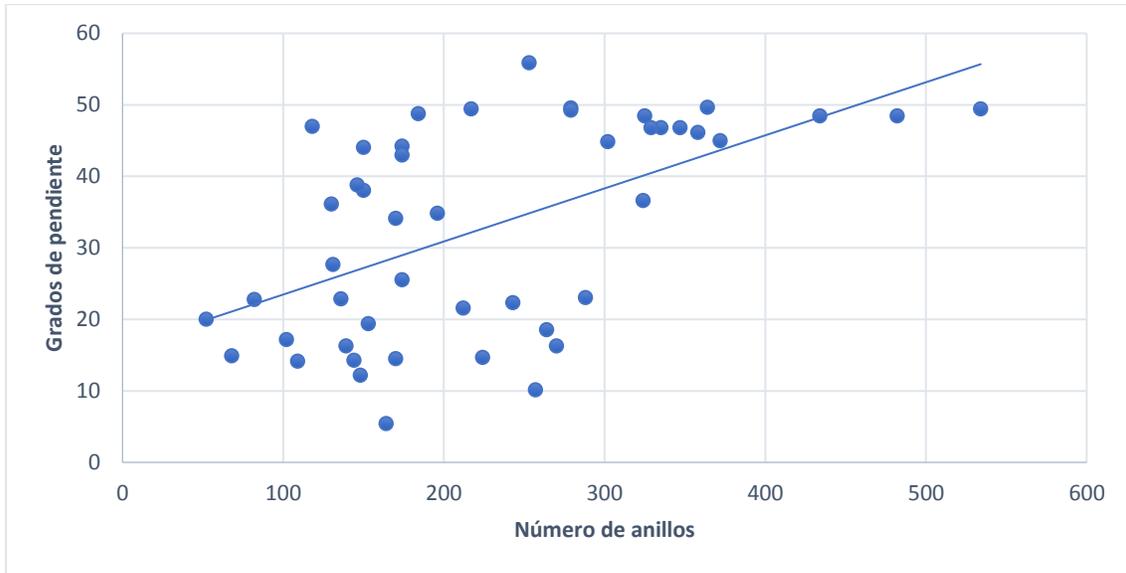
con una cantidad de 288 anillos, lo que podría significar que al ser una zona estable de procesos de remoción, permite a JM alcanzar más edad.

Para la morfometría, solo 1 de las 7 variables mostro una correlación negativa con la edad, y fue la altimetría con -0.26 , clasificándola como baja. Es interesante notar que, si bien la correlación es baja, indica una tendencia a que la edad de JM disminuya con la altitud. Algo similar fue observado por Torres Beltrán (2013) para *Pinus hartwegii* en el sur del Iztaccíhuatl, y puede interpretarse como una tendencia a la colonización hacia altitudes mayores, producto del calentamiento climático reciente.



Gráfica 11. Dispersión de la cantidad de anillos contra la altimetría, con la línea de tendencia lineal.

La edad presenta valores de correlación muy bajos con las variables radiación solar (0.002), orientación (0.016), acumulación de flujo (0.021), y geometría del relieve en planta (0.13). Y valores un poco mayores con la geometría del relieve en perfil (0.30), que ya es una correlación baja. La pendiente es la variable con una mayor correlación positiva (0.55) (Gráfica 12), lo que sugiere que en sitios con mayor pendiente JM puede alcanzar edades mayores al estar más protegido del fuego y sujeto a mínima competencia de otras especies.



Gráfica 12. Dispersión de anillos contra la pendiente, con la línea de tendencia.

CONCLUSIONES

- A) El arbusto leñoso alpino *Juniperus monticola* muestra una preferencia notoria por los afloramientos rocosos, ya sean modelados por la erosión glacial como las rocas aborregadas y las crestas; o no, como las laderas escarpadas.
- B) El rango altitudinal de la especie va de un mínimo los 3,700 a 4,200 msnm (Giménez de Azcarate y Escamilla, 1999) pero según lo observado en los valles de Alcala y Apatlaco el rango fue de 3,900 a 4,400 msnm. Lo que indica un posible ascenso de la especie.
- C) La pendiente favorable para la especie está en el rango de los 20° a los 40°. Puede ubicarse en pendientes desde los 0 hasta los 90°, pero solo sobreviven los que están menos sujetos al calor o al fuego directo de algún incendio, comunes en la zona del pastizal alpino.
- D) La orientación juega un papel importante para las horas de luz solar que obtiene la especie, es por eso que se observa una marcada preferencia por laderas orientadas al sur y suroeste. Es posible que también tenga afinidad por laderas orientadas al E (muy soleadas en las mañanas), pero que la orientación general de los valles estudiados no haya permitido identificar.
- E) *Juniperus monticola* parece tener preferencias apenas marcadas por los relieves convexos en perfil y convexos en planta.
- F) Las zonas acumulativas son evitadas por la especie, y es muy marcado en el mapa morfológico así como en la capa de acumulación del flujo de agua de escorrentía.
- G) El modelo para la distribución de la especie basado en morfometría en el volcán Iztaccíhuatl tiene bastante certeza, ya que la mayor parte de los individuos de una muestra independiente cae dentro de áreas que el modelo predice como “muy aptas”.
- H) El modelo mencionado podría utilizarse para conocer su potencial espacial en las altas montañas de México.

- I) Los datos del Iztaccíhuatl corroboran que *Juniperus monticola* es una especie de longevidad centenaria, con individuos que pueden alcanzar poco más de 500 años. Además de su valor ecológico, la gran longevidad le da a esta especie un gran valor como archivo natural de la historia del paisaje.
- J) La supresión artificial de los incendios como parte de las políticas de manejo de las áreas naturales protegidas puede contribuir a la acumulación de combustibles, problemas de plagas y un mayor riesgo de incendios de gran magnitud o catastróficos, lo que limitaría así la posible extensión de la especie en las "zonas potenciales". Por ejemplo, la frecuencia natural de los incendios en el área del límite superior del bosque en el Cofre de Perote es de 5 años (Cerano-Paredes, 2017), pero esta frecuencia se ha ampliado sustancialmente en décadas recientes.
- K) Hay una correlación alta entre el diámetro y la cantidad de anillos de la especie, lo que permite estimar la edad con base en el diámetro de muestras aún vivas con un error de +/- 73.10 anillos en muestras de varios siglos de edad.
- L) Entre las variables altitud y edad probable hay una correlación negativa baja, lo que sugiere una gradual expansión reciente de la especie hacia cotas más altas. Entre la variable pendiente y la edad hay una correlación positiva regular, lo que sugiere que la especie alcanza su mayor longevidad en sitios escarpados con pocas probabilidades de fuego y con mínima competencia de otras especies.

BIBLIOGRAFÍA

- Adams, R. P., von Rudloff, E., Hogge, L., y Zanoni, T. A. (1980). The volatile terpenoids of *Juniperus monticola* f. *monticola*, f. *compacta*, and f. *orizabensis*. *Journal of Natural Products*, 43(3): 417-419.
- Adams, R. P., Schwarzbach, A. E., Morris, J. A., y Elizondo, M. S. G. (2007). *Juniperus compacta* (Cupressaceae) A new species from Mexico. *Phytologia*, 89(3): 361-370.
- Adams, R. P. (2014). *Junipers of the world: The genus Juniperus*. 4th Edition. Trafford Publishing. Lexington KY, USA, 415 p.
- Allaby, M. (2010). *A dictionary of ecology*. Oxford University Press. 480 p.
- Almeida-Leñero, L., Giménez de Azcarate, J., Cleef, A. M., y González-Trápaga, A. (2004). Las comunidades vegetales del zacatonal alpino de los volcanes Popocatepetl y Nevado de Toluca, Región Central de México. *Phytocoenologia*, 34(1): 91-132.
- Almeida-Leñero, L., Escamilla, M., Giménez de Azcarate, J., y González-Trápaga, A., Cleef, A. M. (2007). Vegetación alpina de los volcanes Popocatepetl, Iztaccíhuatl y Nevado de Toluca. *Biodiversidad de la Faja Volcánica Transmexicana*, UNAM-CONABIO, México: 179-198.
- Andrés, N., Palacios, D., Zamorano, J.J., y Vázquez-Selem, L. (2010). Distribución del permafrost e intensidad de los procesos periglaciares en el estratovolcán Iztaccíhuatl (México). *Ería*, 83: 291-310.
- Andrés, N., Palacios, D., Zamorano, J. J., Mendoza-Margáin, C. E., y Vázquez-Selem, L. (2012). Ten years monitoring ground temperature at Iztaccíhuatl Volcano (México). *EGU General Assembly Conference Abstracts* Vol. 14, 3707 p.
- ArcGIS. (2017). *Función de curvatura*. ArcGIS for Desktop, ArcMap, Administrar datos, tipos de datos, ráster e imágenes, procesar y analizar los datos ráster, trabajar con funciones, funciones de ráster. Recuperado de <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/manage-data/raster-and-images/curvature-function.htm>
- Arriaga, L., Sierra, V. A., y Durand, J. A. (2000). *Aguas continentales y diversidad biológica en México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, DF. 327 p.
- Bannister, P., y Neuner, G. (2001). Frost resistance and the distribution of conifers. *Conifer cold hardiness*. Springer Netherlands. pp. 3-21.
- Beaman, J. (1962). The timberline of Iztaccíhuatl and Popocatepetl, México. *Ecology*, 43(3): 377-385.
- Blanquet, B. J. 1979. *Fitosociología. Bases para el estudio de las comunidades vegetales*. Blume. Madrid.

- Caballero, M., Lozano-García, S., Vázquez-Selem, L., y Ortega, B. (2010). Evidencias de cambio climático y ambiental en registros glaciales y en cuencas lacustres del centro de México durante el último máximo glacial. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 62(3): 359-377.
- Cadoux, A., Missenard, Y., Martínez-Serrano, R. G., y Guillou, H. (2011). Trenchward Plio-Quaternary volcanism migration in the Trans-Mexican Volcanic Belt: the case of the Sierra Nevada range. *Geological Magazine*, 148(3): 492-506.
- Case, B. S., y Hale, R. J. (2015). Using novel metrics to assess biogeographic patterns of abrupt treelines in relation to abiotic influences. *Progress in Physical Geography*, 39(3): 310-336.
- Cerano Paredes, J. (2017). *Relación clima-incendios en el norte y centro de México: un enfoque dendrocronológico*. Tesis de Doctorado en Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, 208 p.
- Chesworth, W. (2008). *Encyclopedia of soil science*. Encyclopedia of earth sciences series. Springer, Dordrecht, Netherlands. XXVI, 902 p.
- CONANP. (2017). *Biodiversidad: Listado de especies*. Amecameca de Juárez, Estado de México, México: Parque Nacional Izta-Popo. Recuperado de http://iztapopo.conanp.gob.mx/listado_de_especies.php
- Constante-García, V., Villanueva-Díaz, J., Cerano-Paredes, J., y Estrada-Ávalos, J. (2010). *Parámetros para definir el potencial dendrocronológico*. INIFAP-CENID-RASPA. Gómez Palacio, Dgo. 44 p.
- Cook, E. R. (1987). The decomposition of tree-ring series for environmental studies. *Tree-Ring Bulletin*, 47: 37-59.
- Ferrari, L. (2000). Avances en el conocimiento de la Faja Volcánica Transmexicana durante la última década. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 53: 84-92.
- Franco-Ramos, O., Vázquez-Selem, L., Zamorano-Orozco, J. J., y Villanueva-Díaz, J. (2017). Edad, dinámica geomorfológica y tipología de barrancas en el sector norte del volcán Popocatepetl, México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 69(1): 1-19.
- Fritts, H.C. (2001). *Tree Rings and Climate*. Ed. The Blackburn Press. New Jersey, USA. 567p.
- García, E. (1988). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana)*. Instituto de Geografía. UNAM. México, D.F., 246 p.
- García-Romero, A. (2004). Dinámica del paisaje post-fuego en el pastizal tropical de alta montaña. Volcán Iztaccíhuatl, México. *Interciencia*, 29(11): 604-613.
- García-Tenorio, F. (2002). *Estratigrafía y petrografía del complejo volcánico Iztaccíhuatl*. Tesis doctoral, Instituto Politécnico Nacional, 149 p.
- Gardi, C., Angelini, M., Barceló, S., Comerma, J., Cruz Gaistardo, C., Encina Rojas, A., Jones, A., Krasilnikov, P., Mendonça Santos Brefin, M.L., Montanarella, L.,

- Muñiz Ugarte, O., Schad, P., Vara Rodríguez, M.I., y Vargas, R. (2014). *Atlas de suelos de América Latina y el Caribe, Comisión Europea, Oficina de Publicaciones de la Unión Europea, L-2995 Luxembourg, 176 p.*
- Giménez de Azcarate, J., y Escamilla, M. E. (1999). Las comunidades edafoxerófilas (enebrales y zacatonales) en las montañas del centro de México. *Phytocoenologia*, 29(4): 449-468.
- Giménez de Azcarate, J., y Escamilla, M. E. (2001). Los enebrales azonales de *Juniperus Monticola* Mart: En las montañas del centro de México. *Vegetación y cambios climáticos*: 335-348.
- Giménez de Azcarate, J., Weinmann, M. E. E., y Leñero, L. A. (2009). Datos sobre la vegetación higrófila altimontana del Volcán Iztaccíhuatl (México). *Lazaroa*, 30: 109-118.
- Heine, K. (1973). Variaciones más importantes del clima durante los últimos 40.000 años en México. *Proyecto Puebla-Tlaxcala: Comunicaciones*, 7: 51-58.
- Hoersch, B., Braun, G., y Schmidt, U. (2002). Relation between landform and vegetation in alpine regions of Wallis, Switzerland. A multiscale remote sensing and GIS approach. *Computers, Environment and Urban Systems*, 26(2): 113-139.
- Holtmeier, F. K. (1981). What does the term "Krummholz" really mean? Observations with special reference to the Alps and the Colorado Front Range. *Mountain Research and Development*, 1(3/4): 253-260.
- Ives, J. D. (2012). El origen de la geocología de las áreas de montaña. *Pirineos*, 167: 15-27.
- Klaus, D. y Lauer, W. (1981): Zur thermischen asymmetrie der west-und osthänge der Sierra Nevada. *Ibero-Amerikanisches Archiv*, 7(1/2): 55-66.
- Kneib, W. Miehlich G. y Zoettl H. (1973). Clasificación regional de los suelos de la Sierra Nevada de México. *Proyecto Puebla-Tlaxcala: Comunicaciones*, 7: 11-14.
- Köppen, W. (1936): Das geographische System der Klimate. *Handbuch der Klimatologie*, band I, teil C. Edited by Köppen, W. and Geiger. Berlin.
- Körner, C. (1998). A re-assessment of high elevation treeline positions and their explanation. *Oecologia*, 115(4): 445-459.
- Körner, C. (2012). *Alpine treelines: functional ecology of the global high elevation tree limits*. Springer Science y Business Media.
- Lauer, W. (1968). *Problemas de la división fitogeográfica en América Central*.
- Lauer, W. (1973). The altitudinal belts of the vegetation in the central Mexican highlands and their climatic conditions. *Arctic and Alpine Research*: A99-A113.
- Lauer, W. (1978). Timberline studies in central Mexico. *Arctic and Alpine Research*: 383-396.

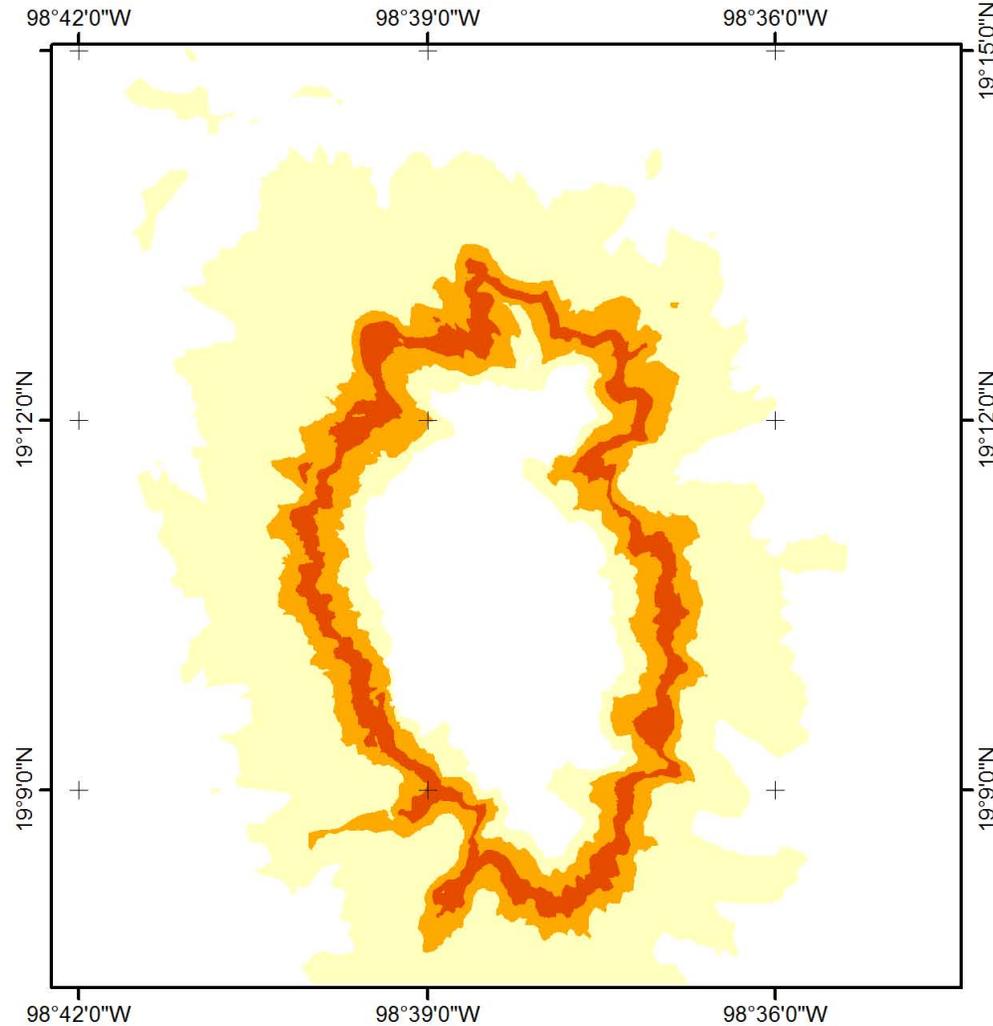
- Lauer, W. y Stiehl, E. (1973). La clasificación del clima en la región Puebla-Tlaxcala. *Comunicaciones*, 7: 31-35.
- Lauer, W., y Klaus, D. (1975). Geocological investigations on the timberline of Pico de Orizaba, Mexico. *Arctic and Alpine Research*: 315-330.
- Lorenzo, J.L. (1969). *Condiciones periglaciares de las altas montañas de México* (Vol. 4). Departamento de Prehistoria, Instituto Nacional de Antropología e Historia. México.
- Lugo Hubp, J. (2011). *Diccionario geomorfológico*. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía. México. 337 p.
- Macías, J. L., Arce, J. L., García-Tenorio, F., Layer, P. W., Rueda, H., Reyes-Agustin, G., López-Pizaña, F., y Avellán, D. (2012). Geology and geochronology of Tlaloc, Telapón, Iztaccíhuatl, and Popocatepetl volcanoes, Sierra Nevada, central Mexico. *Field Guides*, 25: 163-193.
- Martínez, M. (1963). *Las Pináceas Mexicanas*. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. 3ª Edición. México, D. F. 362 p.
- Manteiga, M.T.G., y de Vargas Luque, A.P. (2012). *Estadística aplicada: Una visión instrumental*. Ediciones Díaz de Santos. Madrid, España. 476 p.
- Neyra, J.A. (2012). *Guía de las altas montañas de México y una de Guatemala*. CONABIO. D.F., México. 413 p.
- Nixon, G.T. (1989). The geology of Iztaccíhuatl volcano and adjacent areas of the Sierra Nevada and Valley of Mexico. *Geological Society of America Special Papers*, 219: 1-59.
- Parker, K. C., y Bendix, J. (1996). Landscape-scale geomorphic influences on vegetation patterns in four environments. *Physical Geography*, 17(2): 113-141.
- Phillips, J. D. (1995). Biogeomorphology and landscape evolution: the problem of scale. *Geomorphology*, 13(1/4): 337-347.
- Resler, L. M. (2006). Geomorphic Controls of Spatial Pattern and Process at Alpine Treeline. *The Professional Geographer*, 58(2): 124-138.
- Robles Ramos, R. (1944). Algunas ideas sobre la glaciología y morfología del Iztaccíhuatl. *Revista Geográfica*, 4(10/11/12): 65-98.
- Smith, M. J., Paron, P., y Griffiths, J. S. (2011). *Geomorphological mapping: methods and applications* (Vol. 15). Elsevier.
- Stallins, J. A. (2006). Geomorphology and ecology: unifying themes for complex systems in biogeomorphology. *Geomorphology*, 77(3): 207-216.
- Thomas, D. S., & Goudie, A. S. (2009). *The dictionary of physical geography*. John Wiley & Sons.
- Torres Beltrán, C. (2013). *Análisis de los cambios del límite superior del bosque en el volcán Iztaccíhuatl*. Tesis de Licenciatura en Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F., 83 p.

- Tranquillini, W. (1979). General Features of the Upper Timberline. *Physiological ecology of the alpine timberline*. Springer Berlin Heidelberg.
- Tricart, J., & Kilian, J. (1982). La eco—geografía. *La ordenación del medio natural*. Barcelona: Anagrama.
- Troll, C. (1968). Landschaftsökologie. In *Pflanzensoziologie und Landschaftsökologie*. Springer Netherlands: 1-21.
- Troll, C. (1971). Landscape ecology (geocology) and biogeocenology—A terminological study. *Geoforum*, 2(4): 43-46.
- Vázquez Conde, R. (2004). *Ecología y medio ambiente*. Cuarta Reimpresión, Publicaciones Cultural, México, DF.
- Vázquez-Selem, L. (2000). *Late Quaternary glacial chronology of Iztaccíhuatl volcano, central Mexico. A record of environmental change in the border of the tropics*. Ph.D. Dissertation Thesis, Arizona State University, Tempe, 210 p.
- Vázquez-Selem, L., & Heine, K. (2004). Late quaternary glaciation of Mexico. *Developments in Quaternary Sciences*, 2: 233-242.
- Villanueva Díaz, J., Cerano Paredes, J., Stahle, D. W., Constante García, V., Vázquez Salem, L., Estrada Ávalos, J., & de Dios, J. (2010). Árboles longevos de México. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 1(2): 7-30.
- Villanueva-Díaz, J., Vázquez-Selem, L., Gómez-Guerrero, A., Cerano-Paredes, J., Aguirre-González, N. A., & Franco-Ramos, O. (2016). Potencial dendrocronológico de *Juniperus monticola* Martínez en el monte Tláloc, México. *Revista fitotecnia mexicana*, 39(2): 175-185.
- White, S. E. (1962). Late Pleistocene glacial sequence for the west side of Iztaccíhuatl, Mexico. *Geological Society of America Bulletin*, 73(8): 935-958.
- Yarza, De la Torre, E. (2003). Los Volcanes del Sistema Volcánico Transversal. *Boletín Investigaciones Geográficas*, UNAM, 50: 220-234.

APÉNDICE 1.

MAPAS

Mapa reclasificado de altimetría en el Volcán Iztaccíhuatl



Proyección _____ UTM Zona 14N
Datum _____ WGS 84

Fuente: MDE de alta resolución LiDAR tipo terreno de INEGI



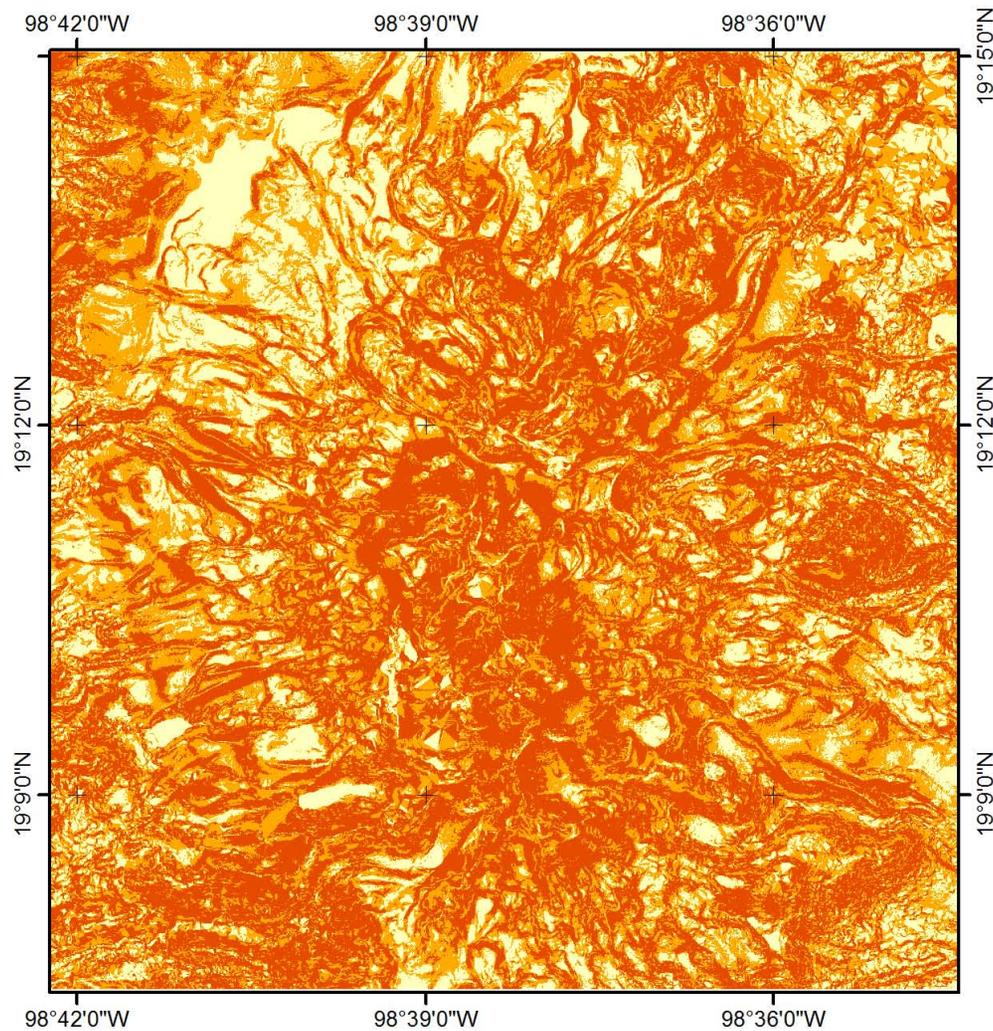
**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO**

Facultad de Filosofía y Letras
Colegio de Geografía



Elaboró: Andrea Yoali Garduño Cuevas





Mapa reclasificado de pendiente en el Volcán Iztaccíhuatl

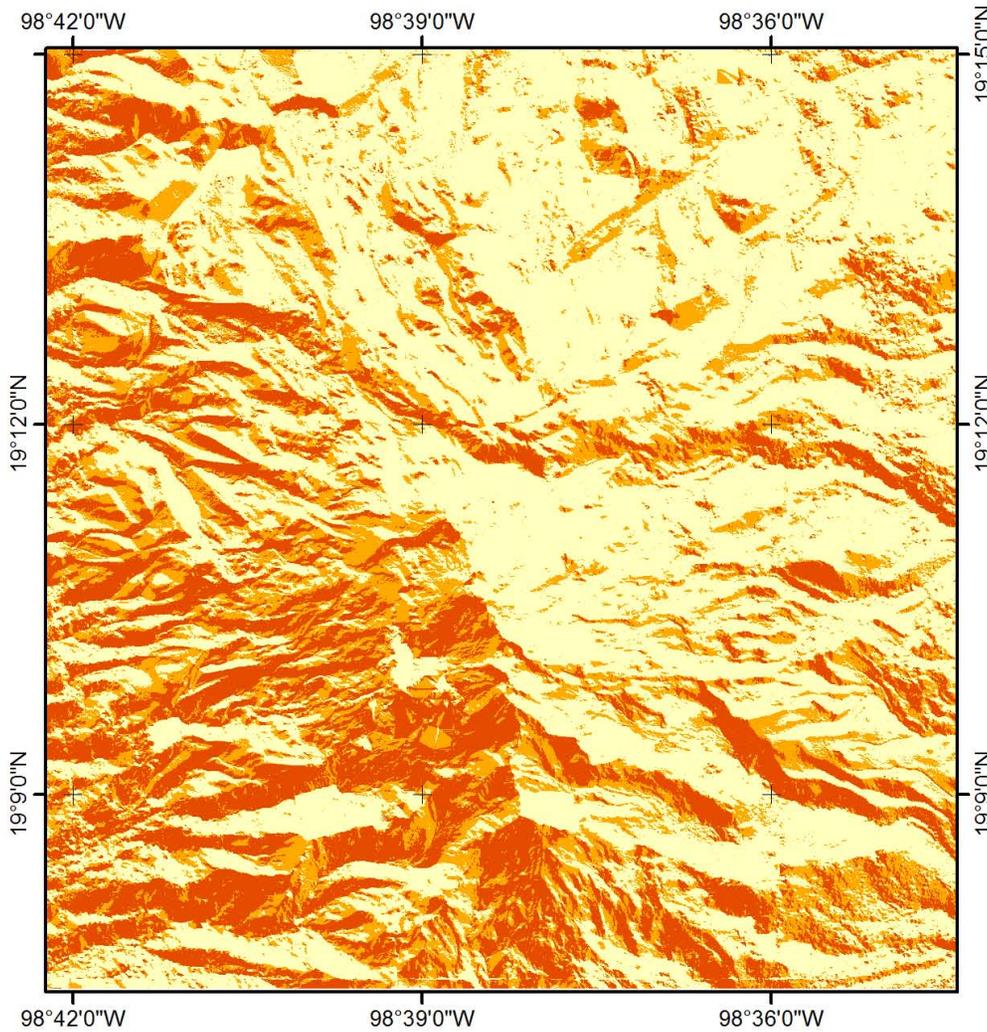


Proyección _____ UTM Zona 14N
 Datum _____ WGS 84

Fuente: MDE de alta resolución LiDAR tipo terreno de INEGI

	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO	
	Facultad de Filosofía y Letras	
	Colegio de Geografía	
Elaboró: Andrea Yoali Garduño Cuevas		





Mapa reclasificado de orientación en el Volcán Iztaccíhuatl

-  No apto
-  Poco apto
-  Apto
-  Muy apto

Proyección _____ UTM Zona 14N
 Datum _____ WGS 84

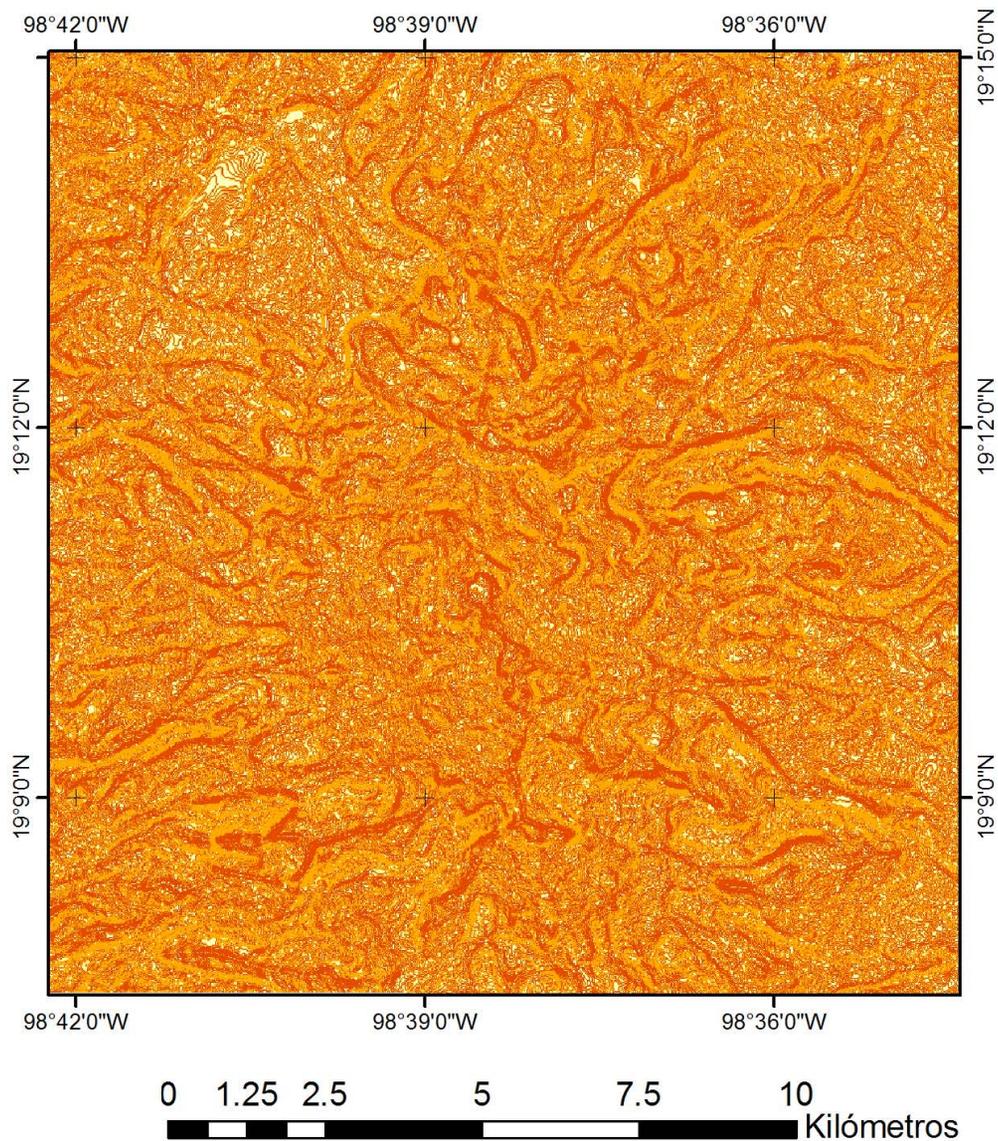
Fuente: MDE de alta resolución LiDAR tipo terreno de INEGI



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
 Facultad de Filosofía y Letras
 Colegio de Geografía



Elaboró: Andrea Yoali Garduño Cuevas



Mapa reclasificado de geometría del relieve en perfil en el Volcán Iztaccíhuatl



Proyección _____ UTM Zona 14N
 Datum _____ WGS 84

Fuente: MDE de alta resolución LiDAR tipo terreno de INEGI

	<p>UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO Facultad de Filosofía y Letras Colegio de Geografía</p>	
<p>Elaboró: Andrea Yoali Garduño Cuevas</p>		

Mapa reclasificado de geometría del relieve en plano en el Volcán Iztaccíhuatl



Proyección _____ UTM Zona 14N
Datum _____ WGS 84

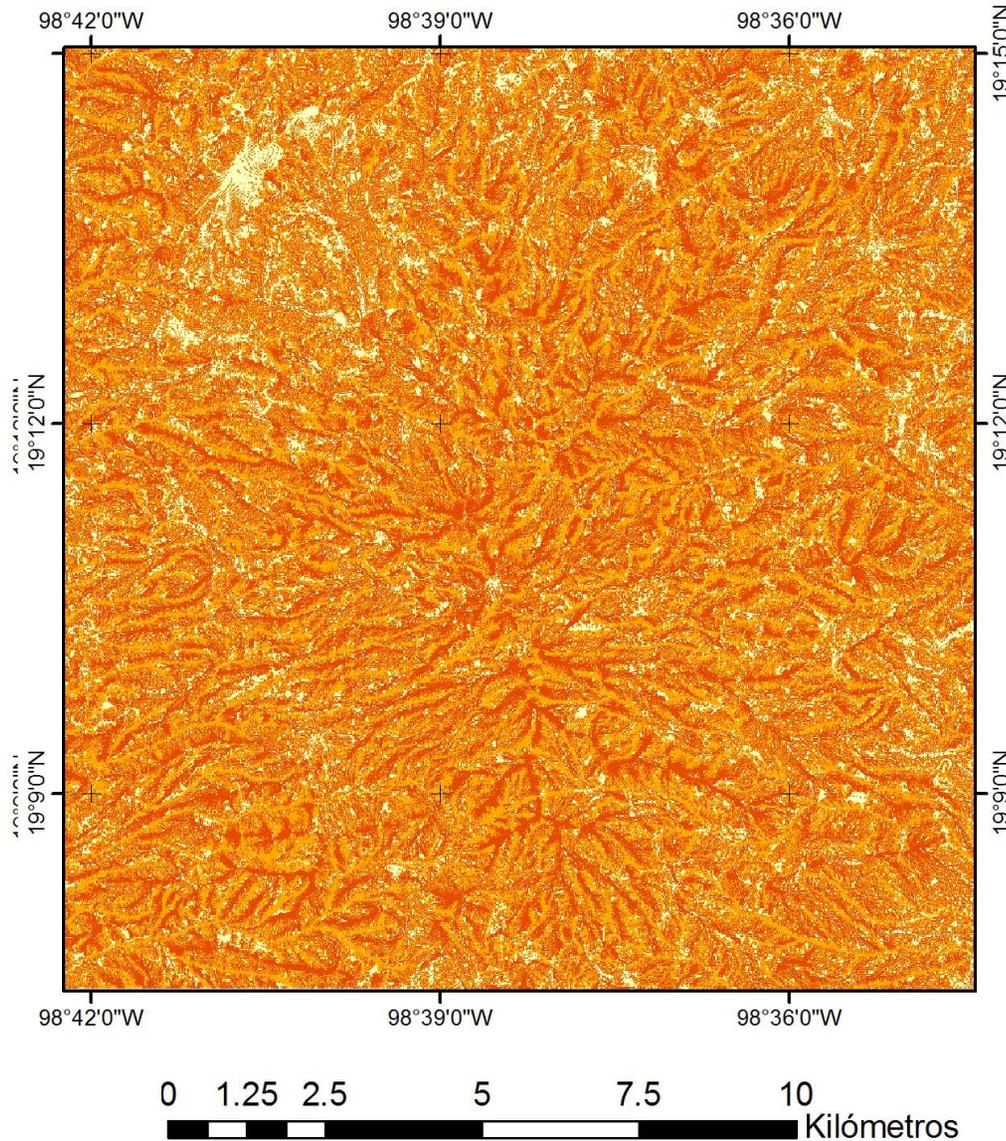
Fuente: MDE de alta resolución LiDAR tipo terreno de INEGI



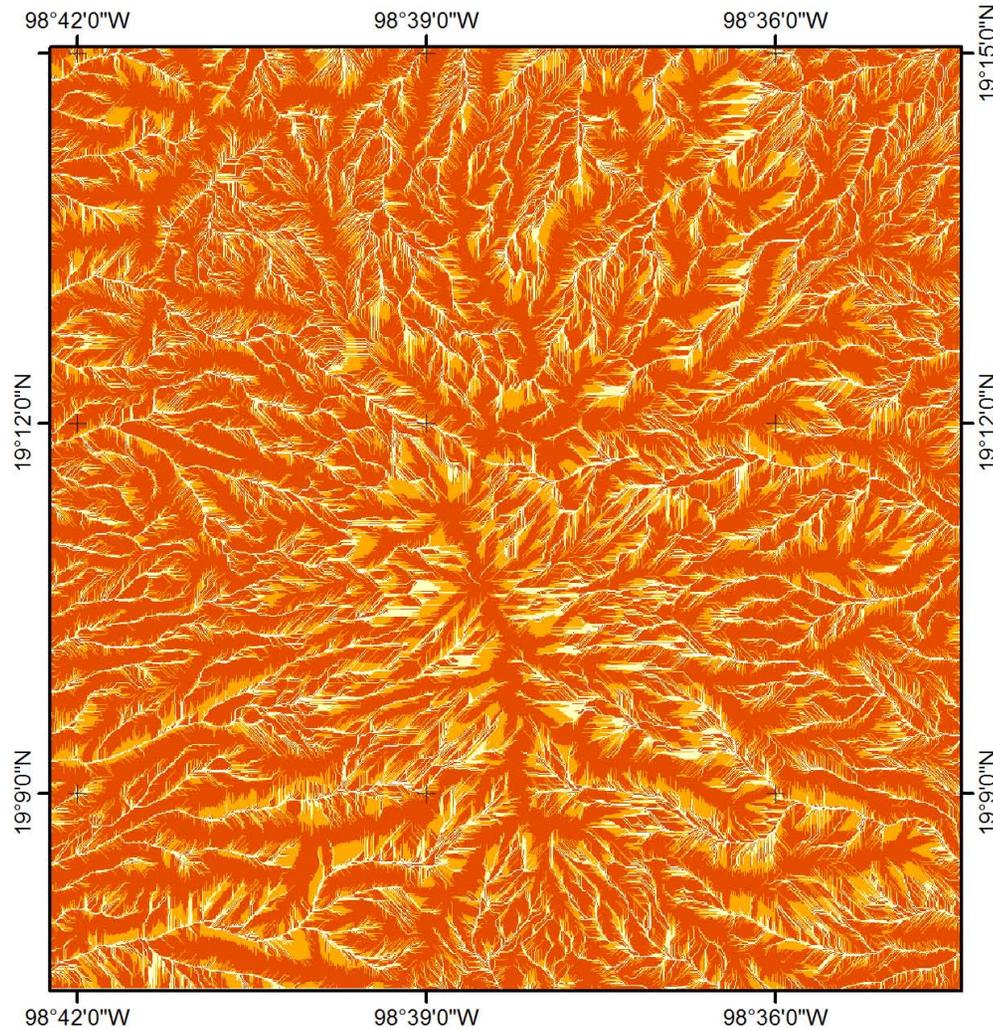
**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO**
Facultad de Filosofía y Letras
Colegio de Geografía



Elaboró: Andrea Yoali Garduño Cuevas



Mapa reclasificado de acumulación de flujo en el Volcán Iztaccíhuatl



Proyección _____ UTM Zona 14N
Datum _____ WGS 84

Fuente: MDE de alta resolución LiDAR tipo terreno de INEGI



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO**

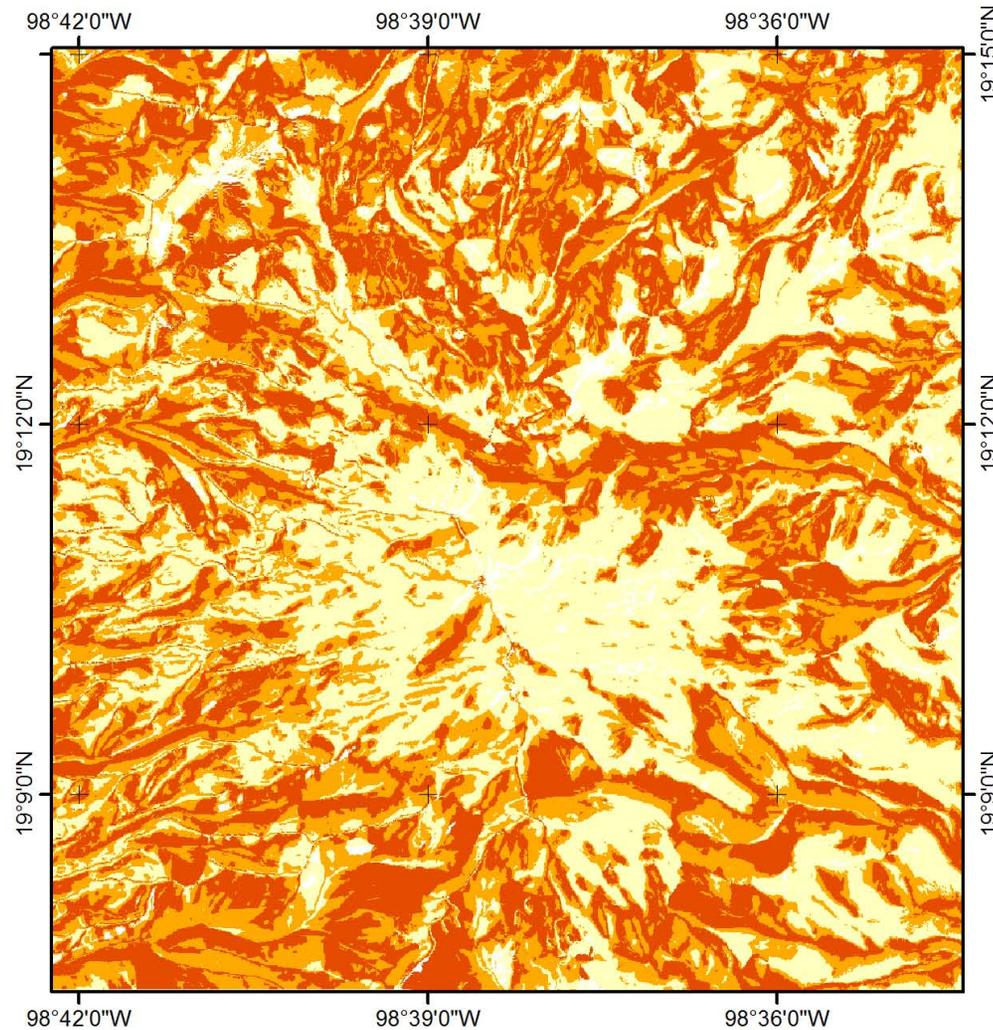
Facultad de Filosofía y Letras
Colegio de Geografía



Elaboró: Andrea Yoali Garduño Cuevas



Mapa reclasificado de radiación solar en el Volcán Iztaccíhuatl



Proyección _____ UTM Zona 14N
Datum _____ WGS 84

Fuente: MDE de alta resolución LiDAR tipo terreno de INEGI



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO**

Facultad de Filosofía y Letras
Colegio de Geografía



Elaboró: Andrea Yoali Garduño Cuevas



APÉNDICE 2.

TABLAS DE DATOS

Datos de medición de individuos vivos de *Juniperus monticola* (muestras IJU)

Visible en Google Earth	IJU	Coordenadas (UTM)	Altitud (msnm)	Eje mayor (m)	Eje menor (m)	tronco (diámetro en cm)	orientación	pendiente (grados)	Altura (cm)	NOTAS
	IJU-01	N19° 07.775' W98° 39.154'	3979 m	2.4	1.4	4.6				Alcalica ↓
SI	IJU-02	N19° 07.779' W98° 39.157'	3979 m	4.6	2.3	7.2				
	IJU-03	N19° 07.780' W98° 39.153'	3977 m	2.3	2	4.9				
	IJU-04	N19° 07.780' W98° 39.155'	3981 m	0.9	0.8	2.3				
	IJU-05A	N19° 07.780' W98° 39.157'	3982 m	0.8	0.6	1.7				
	IJU-05B	N19° 07.780' W98° 39.157'	3982 m	1.1	0.9	2.2				
	IJU-06	N19° 08.126' W98° 39.081'	3982 m	2.6	1.3	2.5		22		
	IJU-07	N19° 08.122' W98° 39.081'	3988 m	1.1	0.9	2.2				
	IJU-08	N19° 08.120' W98° 39.085'	3984 m	1.3	0.65	3.7				
	IJU-09	N19° 08.120' W98° 39.085'	3985 m	1.55	0.9	1.7				
	IJU-10	N19° 08.110' W98° 39.077'	3982 m	2.85	1.5	7.1				
	IJU-11	N19° 08.109' W98° 39.078'	3985 m	2.7	1.4	6				
	IJU-12A	N19° 08.107' W98° 39.078'	3980 m	1.8	1.5	2.5	SE			
	IJU-12B	N19° 08.107' W98° 39.078'	3980 m	2.4	1.6	3.5	S			
	IJU-12C	N19° 08.107' W98° 39.078'	3980 m	3	1.6	3.3	SE			
SI	IJU-13	N19° 08.103' W98° 39.084'	3975 m	6.1	5	8				7.3 metros de raíz
	IJU-14	N19° 08.078' W98° 39.106'	3965 m	2.1	2	7.3				
	IJU-15	N19° 8'43.53" W98°38'41.66"		1.3	0.7	2.9	SE	10		
	IJU-16	N19° 08' 49.8" W98° 38' 35.4"	4108 m	3.2	2.6	4.2	SSW - 210	30		Muestra IZI-350 - individuo vivo/muerto, parte muerta s/pendiente, parte viva c/pendiente
SI	IJU-17	N19° 08.836' W98° 38.585'	4143 m	5.9	5.5	5.4	S - 177	60		
	IJU-18	N19° 08.836' W98° 38.586'	4148 m	0.75	0.5	1.7	SSE - 165	30		En roca fracturada,

										s/distancia al zacatonal
	IJU-19	N19° 08.847' W98° 38.584'	4154 m	5.3	3.1	3.5	SW - 235	60	40	
	IJU-20	19° 8'36.39"N 98°38'33.03"O		2.8	1.7	9.5	SW	20	70	Muestra en cresta filosa
	IJU-21	19° 8'36.39"N 98°38'33.03"O		1	0.4	1.1	NW	40	15	
	IJU-22	19° 8'37.22"N 98°38'33.02"O		3.4	2.5	4	SW	25	65	
	IJU-23	19° 8'37.06"N 98°38'33.26"O		5.2	4	10.5	SW	25	110	
	IJU-24	19° 8'36.04"N 98°38'32.65"O		1.55	1.25	5.5	SW	30	55	
	IJU-25	19° 8'35.04"N 98°38'32.54"O		2.6	1.6	5.2	SE	25	50	Sobre ladera formada por bloques y piroclastos con heces de teporingo
	IJU-26	19° 8'35.04"N 98°38'32.54"O		1.4	0.9	5.2	SE	25	50	
	IJU-27	19° 8'34.90"N 98°38'32.60"O		3.95	1.95	12.2	ESE	40	210	
SI	IJU-28	19° 8'35.01"N 98°38'33.21"O		4.1	2.6	5.8	S	20	75	Sobre cresta
SI	IJU-29	19° 8'35.01"N 98°38'33.21"O		4.2	3.1	5.1	SSE	40	100	En creta y con heces de teporingo
	IJU-30	19° 8'34.36"N 98°38'32.81"O		2.2	1.6	5.7	SSE	45	170	Más arborescente, menos rastrero.
	IJU-31	19° 8'34.49"N 98°38'31.05"O		3.4	1.8	5.1	SW	27	80	
	IJU-32	19° 8'33.13"N 98°38'30.97"O		2.6	1.4	9	S	20	62	En cresta
SI	IJU-33	19° 8'32.68"N 98°38'31.10"O		2.7	1.9	7.7	S	35	75	
SI	IJU-34	19° 8'32.59"N 98°38'31.11"O		3.6	1.7	5.7	S	20	40	
	IJU-35	19° 8'32.52"N 98°38'31.12"O		3.2	2.5	13	SSE	35	180	
	IJU-36	19° 8'32.52"N 98°38'31.12"O		3.4	2	23	SSE	35	Más de 180	Muestra IZJ vivo
SI	IJU-37	19° 8'31.72"N 98°38'31.25"O		3	2	14	S	25	55	
SI	IJU-38	19° 8'31.63"N 98°38'31.28"O		6	4	13	SSE	45	160	Comunidad de varios JM
	IJU-39	N19° 07.946' W98° 38.448'	3812 m	2.35	1.6	5.1	S - 180	27	35	Apatlaco ↓
	IJU-40	N19° 07.946' W98° 38.448'	3812 m	4.9	2.7	3.4	S - 180	43	35	
	IJU-41	N19° 08.005' W98° 38.407'	3946 m	3	2.8	3.2	SE - 122	40	49	
	IJU-42	N19° 08.009' W98° 38.408'	3976 m	1.3	0.9	2.2	S - 190	19	34	
	IJU-43	N19° 08.009' W98° 38.408'	3976 m	1.2	0.9	1.2	PLANO	10	25	
	IJU-44	N19° 08.013' W98° 38.405'	4010 m	2.05	1.8	1.4	W - 260	37	28	
	IJU-45	N19° 08.017' W98° 38.403'	4010 m	0.8	0.8	2.4	W - 262	43	31	Rama seca

	IJU-46	N19° 08.042' W98° 38.391'	4014 m	2.9	1.3	2.6	PLANO – N-346	25	38	
	IJU-47	N19° 08.074' W98° 38.344'	4038 m	4.1	3.28	2.2	SW - 215	40	37	
	IJU-48	N19° 08.099' W98° 38.331'	4098 m	1.7	1.7	11.5	S - 200	52	145	Misma comunidad
	IJU-49	N19° 08.099' W98° 38.331'	4098 m	1.4	1.2	0.7	S - 200	52	150	Misma comunidad
	IJU-50	N19° 08.099' W98° 38.331'	4098 m	1.8	1.1	12.5	S - 200	52	180	Misma comunidad
	IJU-51	N19° 08.099' W98° 38.331'	4098 m	1.3	1.25	8.8	S - 200	52	83	Misma comunidad
	IJU-52	N19° 08.099' W98° 38.331'	4098 m	1.2	0.85	2.8	S - 200	52	40	Misma comunidad
	IJU-53	N19° 08.099' W98° 38.331'	4098 m	0.97	0.55	0.9	S - 180	40	23	Misma comunidad
	IJU-54	N19° 08.099' W98° 38.331'	4098 m	1.2	0.95	3	SW - 245	90	53	Pared vertical
	IJU-55	N19° 08.187' W98° 38.369'	4080 m	1.5	1.2	2.2	S - 208	32	52	
	IJU-56	N19° 08.190' W98° 38.370'	4082 m	1.7	1.58	2.3	SW - 225	27	28	
	IJU-57	N19° 08.197' W98° 38.365'	4090 m	0.9	0.77	0.8	SW - 210	29	35	
SI	IJU-58	N19° 08.214' W98° 38.384'	4095 m	3.9	3.4	2.3	S - 190	46	57	
	IJU-59	N19° 08.207' W98° 38.335'	4111 m	2.2	1.9	3.6	W - 260	30	45	
	IJU-60	N19° 08.206' W98° 38.335'	4114 m	1.95	1.6	4.9	NW - 320	10	45	
	IJU-61	N19° 08.205' W98° 38.334'	4112 m	2.2	1.8	3.6	SW - 203	22	43	
	IJU-62	N19° 08.204' W98° 38.334'	4113 m	2.85	2.15	4.7	PLANO - S	15	39	Junto a pino ca.30 años
SI	IJU-63	N19° 08.198' W98° 38.335'	4113 m	3.95	3.25	104	200	25	55	
	IJU-64	N19° 08.197' W98° 38.333'	4115 m	1.8	1.5	5	140	28	35	
	IJU-65	N19° 08.192' W98° 38.336'	4110 m	2.77	1.5	6	220	20	34	
SI	IJU-66	N19° 08.192' W98° 38.334'	4110 m	5.34	2.55	6.9	SE - 111	33	59	Con heces de teporingo
SI	IJU-67	N19° 08.186' W98° 38.331'	4106 m	3.4	3.1	4.2	202	25	90	Con heces de teporingo
	IJU-68	N19° 08.186' W98° 38.331'	4106 m	2.6	1.7	4.3	205	18	67	
	IJU-69	N19° 08.182' W98° 38.331'	4107 m	2.4	1.3	2.8	S - 177	15	46	
	IJU-70	N19° 08.182' W98° 38.331'	4107 m	4.15	1.6	3	SE - 145	15	70	
	IJU-71	N19° 08.175' W98° 38.328'	4104 m	3.8	1.75	3.8	SW - 205	25	86	
	IJU-72	N19° 08.154' W98° 38.322'	4106 m	1.77	0.95	1.9	260	35	44	
	IJU-73	N19° 08.156' W98° 38.316'	4112 m	1.4	1.32	0.5	215	24	28	
SI	IJU-74	N19° 08.152' W98° 38.256'	4126 m	7.12	4.4	7	240	30	75	Con heces de teporingo

SI	IJU-75	N19° 08.165' W98° 38.255'	4134 m	4.45	4.1	min 2.1	S - 193	30	48	
	IJU-76	N19° 08.201' W98° 38.282'	4132 m	1.07	0.83	1.1	225	30	25	
	IJU-77	N19° 08.217' W98° 38.326'	4122 m	2.95	2.4	1.4	225	19	40	
	IJU-78	N19° 08.223' W98° 38.327'	4122 m	2.59	1.95	4.2	240	25	25	
	IJU-79	N19° 08.224' W98° 38.331'	4121 m	2.18	1.25	5.4	220	30	47	
	IJU-80	N19° 08.218' W98° 38.328'	4123 m	1.25	0.95	0.9	247	39	43	
SI	IJU-81	N19° 09.039' W98° 38.903'	4200 m	4.95	3.95	4.9	S - 202	22	88	Alicata ↓
	IJU-82	N19° 08.835' W98° 39.157'	4171 m	2.9	1.9	6	166	33	60	
	IJU-83	N19° 08.834' W98° 39.161'	4167 m	3	2.7	14.3	126	30	91	
	IJU-84	N19° 08.833' W98° 39.156'	4168 m	4.1	3.5	3	180	30	83	
SI	IJU-85	N19° 08.836' W98° 39.175'	4161 m	3.7	3.05	4	185	30	40 - 77	
	IJU-86	N19° 08.836' W98° 39.175'	4161 m	2.5	1.4	1.9	180	15	47	
	IJU-87	N19° 08.836' W98° 39.175'	4161 m	2.7	1.6	2.2	201	36	47	1.80m de raíz
	IJU-88	N19° 08.835' W98° 39.177'	4160 m	4.7	2.75	2.9	226	35	85	
SI	IJU-89	N19° 08.835' W98° 39.177'	4160 m	5.3	3.85	4.4	195	25	59	1.00m de raíz
	IJU-90	N19° 08.833' W98° 39.180'	4159 m	2.2	2.1	2.5	173	32	97	
	IJU-91	N19° 08.833' W98° 39.180'	4159 m	2.6	2.4	5.6	145	15	95	
	IJU-92	N19° 08.826' W98° 39.183'	4153 m	3.4	2.5	3.1	152	30	74	
	IJU-93	N19° 08.829' W98° 39.177'	4154 m	3.4	1.3	2.6	134	30	47	
SI	IJU-94	N19° 08.827' W98° 39.236'	4141 m	3.8	3.1	7.5	162	20	90	
SI	IJU-95	N19° 08.827' W98° 39.236'	4141 m	3.5	1.5	5.7	248	38	49	
SI	IJU-96	N19° 08.823' W98° 39.236'	4142 m	3.75	2.9	9.7	160	15	97	
SI	IJU-97	N19° 08.823' W98° 39.236'	4142 m	3.95	3.15	4	150	25	89	
SI	IJU-98	N19° 08.819' W98° 39.235'	4139 m	5.7	4.85	9.4	210	18	170	5.55m de raíz
SI	IJU-99	N19° 08.828' W98° 39.228'	3924 m	2.7	2.03	8.3	185	30	84	
SI	IJU-100	N19° 08.828' W98° 39.228'	3924 m	1.95	1.6	3.5	185	30	87	
SI	IJU-101	N19° 08.821' W98° 39.231'	3966 m	4.3	3.5	4.9	173	22	71	
SI	IJU-102	N19° 08.824' W98° 39.229'	4004 m	2.2	1.05	13.5	185	30	57	
SI	IJU-103	N19° 08.828' W98° 39.224'	4095 m	4.6	3.8	5.2	200	30	70	
SI	IJU-104	N19° 08.831' W98° 39.225'	4114 m	2.3	2	3.3	195	35	64	

Datos de localización de muestras dendrocronológicas de *Juniperus monticola* (muestras IZJ)

Muestra no.	Muestra clave	Fecha colecta	Coordenadas UTM (WGS84)	Altitud	Notas
1	IZJ-01	30-OCT-12 2:20:49PM	14 Q 537845 2115641	4022 m	
2	IZJ-02	30-OCT-12 2:52:34PM	14 Q 538016 2115511	4014 m	
3	IZJ-03	30-OCT-12 2:58:40PM	14 Q 538019 2115512	4013 m	
4	IZJ-04	30-OCT-12 3:56:33PM	14 Q 538084 2115530	4046 m	
5	IZJ-05	30-OCT-12 3:57:26PM	14 Q 538083 2115532	4047 m	
6	IZJ-06	30-OCT-12 4:30:06PM	14 Q 538089 2115521	4040 m	
7	IZJ-07	30-OCT-12 4:28:58PM	14 Q 538085 2115518	4038 m	
8	IZJ-08	30-OCT-12 4:27:46PM	14 Q 538088 2115517	4035 m	
9	IZJ-09	30-OCT-12 5:10:20PM	14 Q 538102 2115697	4091 m	
10	IZJ-10	30-OCT-12 5:19:02PM	14 Q 538105 2115701	4093 m	
11	IZJ-11	14-NOV-12 11:10:01AM	14 Q 539230 2115696	3983 m	
12	IZJ-12	18-JAN-13 4:01:44PM	14 Q 538154 2115727	4126 m	
13	IZJ-13	18-JAN-13 4:00:35PM	14 Q 538150 2115729	4128 m	
14	IZJ-14	18-JAN-13 3:57:40PM	14 Q 538136 2115736	4128 m	
15	IZJ-15 A y B	19-JAN-13 3:59:02PM	14 Q 538257 2115378	3989 m	Rama viva
16	IZJ-16	19-JAN-13	14 Q 538257 2115379	3989 m	Rama viva;
17	IZJ-17	19-JAN-13 4:49:25PM	14 Q 538270 2115377	3989 m	
18	IZJ-18 A, B, C y D	19-JAN-13 5:50:37PM	14 Q 538241 2115382	3984 m	
19	IZJ-19	19-JAN-13 6:01:05PM	14 Q 538238 2115390	3987 m	
20	IZJ-20	19-JAN-13 6:15:31PM	14 Q 538250 2115382	3985 m	Muestra perdida
21	IZJ-21 A, B, y C	20-JAN-13 4:40:59PM	14 Q 536174 2118050	4128 m	
22	IZJ-30	05-OCT-13 7:14:02PM	14 Q 538142 2116068	4176 m	
23	IZJ-35	13-MAY-14 3:21:08PM	14 Q 537639 2116562	4245 m	
24	IZJ-36 A y B	13-MAY-14 3:36:01PM	14 Q 537640 2116559	4247 m	

25	IZJ-40	25-NOV-14 4:12:02PM	14 Q 537536 2116387	4191 m	
26	IZJ-41	25-NOV-14 4:19:46PM	14 Q 537547 2116391	4193 m	
27	IZJ-42 C, D y E	25-NOV-14 4:30:24PM	14 Q 537542 2116394	4195 m	
28	IZJ-43	25-NOV-14 4:39:09PM	14 Q 537560 2116420	4198 m	
29	IZJ-44	25/11/2014 17:00	14 Q 537584 2116458	4198 m	
30	IZJ-45	25-NOV-14 5:06:17PM	14 Q 537570 2116413	4188 m	
31	IZJ-46	25-NOV-14 5:22:49PM	14 Q 537546 2116387	4184 m	
32	IZJ-47	25/11/2014 17:37	14 Q 537508 2116339	4166 m	
33	IZJ-48	25-NOV-14 5:40:39PM	14 Q 537537 2116345	4166 m	
34	IZJ-49	25-NOV-14 5:45:05PM	14 Q 537536 2116346	4168 m	
35	IZJ-50	25-NOV-14 5:54:44PM	14 Q 537457 2116297	4154 m	
36	IZJ-51	25-NOV-14 6:03:41PM	14 Q 537438 2116290	4148 m	
37	IZJ-52	26/11/2014 12:29	14 Q 536505 2118053	4200 m	
38	IZJ-53	26/11/2014 12:45	14 Q 536515 2118088	4218 m	
39	IZJ-54	26/11/2014 12:55	14 Q 536481 2118133	4195 m	
40	IZJ-55	26/11/2014 13:05	14 Q 536370 2118126	4220 m	
41	IZJ-56	26-NOV-14 1:41:37PM	14 Q 536435 2118351	4280 m	
42	IZJ-57	26-NOV-14 1:42:21PM	14 Q 536441 2118351	4281 m	
43	IZJ-58	26-NOV-14 2:16:36PM	14 Q 536417 2118334	4274 m	
44	IZJ-59	26-NOV-14 2:41:54PM	14 Q 536297 2118373	4242 m	
45	IZJ-60	26-NOV-14 2:57:40PM	14 Q 536254 2118367	4225 m	
46	IZJ-61	26/11/2014 13:22	14 Q 536383 2118206	4229 m	
47	IZJ-62	26/11/2014 13:34	14 Q 536339 2118229	4217 m	
48	IZJ-63 A	26/11/2014 14:02	14 Q 536310 2118319	4205 m	
49	IZJ-64	26/11/2014 15:12	14 Q 536557 2117953	4203 m	
50	IZJ-65	26/11/2014 15:20	14 Q 536541 2117959	4200 m	
51	IZJ-66	26/11/2014 15:29	14 Q 536610 2117928	4199 m	
52	IZJ-67 C	26/11/2014 15:33	14 Q 536617 2117923	4195 m	
53	IZJ-68	26/11/2014 15:46	14 Q 536629 2117912	4186 m	
54	IZJ-69	26/11/2014 15:47	14 Q 536634 2117909	4185 m	

55	IZJ-70	26-NOV-14 3:10:09PM	14 Q 536214 2118410	4205 m	
56	IZJ-71	26/11/2014 15:53	14 Q 536630 2117903	4183 m	
57	IZJ-72	26/11/2014 15:53	14 Q 536638 2117901	4185 m	
58	IZJ-73	26/11/2014 16:43	14 Q 536807 2117292	4171 m	
59	IZJ-74	26/11/2014 16:43	14 Q 536810 2117296	4170 m	
60	IZJ-75	26/11/2014 16:54	14 Q 536816 2117297	4164 m	
61	IZJ-76	26/11/2014 17:01	14 Q 536820 2117315	4157 m	
62	IZJ-77	26/11/2014 17:02	14 Q 536819 2117313	4156 m	
63	IZJ-78 D	27-NOV-14 10:11:19AM	14 Q 537204 2116263	4049 m	Antes nombrada JM-40 (15oct2013), ramas vivas y muertas
64	IZJ-79	27-NOV-14 11:02:58AM	14 Q 537204 2116274	4044 m	
65	IZJ-80	27-NOV-14 11:04:56AM	14 Q 537212 2116272	4042 m	
66	IZJ-90	15-ENE-15 2:06:29PM	14 Q 537592 2116721	4269 m	
67	IZJ-100	23-ENE-15 10:58:51AM	14 Q 538646 2115335	4024 m	
68	IZJ-101	23-ENE-15 11:38:08AM	14 Q 538700 2115357	4049 m	
69	IZJ-102	23-ENE-15 11:47:51AM	14 Q 538702 2115358	4048 m	
70	IZJ-103	23-ENE-15 11:56:03AM	14 Q 538697 2115368	4049 m	
71	IZJ-104	23-ENE-15 12:02:56PM	14 Q 538697 2115368	4052 m	
72	IZJ-105	23-ENE-15 12:21:14PM	14 Q 538692 2115348	4042 m	
73	IZJ-106	23-ENE-15 12:30:16PM	14 Q 538693 2115345	4042 m	
74	IZJ-107	23-ENE-15 12:35:45PM	14 Q 538692 2115340	4038 m	
75	IZJ-108	23-ENE-15 12:39:04PM	14 Q 538691 2115341	4041 m	
76	IZJ-109	23-ENE-15 12:45:09PM	14 Q 538689 2115344	4041 m	
77	IZJ-110	23-ENE-15 12:51:55PM	14 Q 538689 2115340	4041 m	
78	IZJ-111	23-ENE-15 1:12:54PM	14 Q 538679 2115352	4048 m	
79	IZJ-112 A y B	23-ENE-15 1:20:12PM	14 Q 538678 2115352	4050 m	Rama viva
80	IZJ-113	23-ENE-15 1:46:43PM	14 Q 538671 2115343	4048 m	
81	IZJ-114	23-ENE-15 1:48:47PM	14 Q 538671 2115343	4050 m	
82	IZJ-115 A, B y C	23-ENE-15 1:51:58PM	14 Q 538670 2115343	4049 m	
83	IZJ-116	23-ENE-15 2:08:17PM	14 Q 538669 2115342	4050 m	

84	IZJ-117	23-ENE-15 2:18:24PM	14 Q 538668 2115344	4053 m	
85	IZJ-118	23-ENE-15 2:22:32PM	14 Q 538668 2115345	4051 m	
86	IZJ-119	23-ENE-15 3:25:04PM	14 Q 538542 2115292	4051 m	Contadas por INIFAP ↑
87	IZJ-300 A y B	14-NOV-15 --:--:--	14 Q 534600 2120933	4009 m	
88	IZJ-301 A y B	14-NOV-15 --:--:--	14 Q 534594 2120937	4012 m	
89	IZJ-302 A y B	14-NOV-15 --:--:--	14 Q 534681 2121254	4069 m	
90	IZJ-303 A y B	14-NOV-15 --:--:--	14 Q 534747 2121241	4080 m	
91	IZJ-304 A y B	14-NOV-15 --:--:--	14 Q 534750 2121237	4077 m	
92	IZJ-305 A y B	14-NOV-15 --:--:--	14 Q 534768 2121281	4095 m	
93	IZJ-306	14-NOV-15 --:--:--	14 Q 534780 2121295	4098 m	
94	IZJ-307	14-NOV-15 --:--:--	14 Q 534778 2121292	4101 m	
95	IZJ-308 A	14-NOV-15 --:--:--	14 Q 534593 2121370	4041 m	
96	IZJ-309 A y B	15-NOV-15 --:--:--	14 Q 534666 2121451	4078 m	
97	IZJ-310 A, B y C	15-NOV-15 --:--:--	14 Q 534666 2121451	4078 m	
98	IZJ-311 A y B	15-NOV-15 --:--:--	14 Q 534679 2121453	4071 m	
99	IZJ-312 A y B	15-NOV-15 --:--:--	14 Q 534735 2121495	4096 m	
100	IZJ-313 B	15-NOV-15 --:--:--	14 Q 534754 2121585	4102 m	
101	IZJ-314 A y B	15-NOV-15 --:--:--	14 Q 534763 2121589	4106 m	Rama viva
102	IZJ-315 A y B	15-NOV-15 --:--:--	14 Q 534768 2121417	4112 m	
103	IZJ-316 A y B	15-NOV-15 --:--:--	14 Q 534768 2121417	4112 m	
104	IZJ-317	15-NOV-15 --:--:--	14 Q 534758 2121416	4111 m	
105	IZJ-318	15-NOV-15 --:--:--	14 Q 534751 2121411	4102 m	
106	IZJ-319 A y B	15-NOV-15 --:--:--	14 Q 534731 2121389	4088 m	
107	IZJ-350	12-OCT-16 --:--:--	14 Q 537536 2117150	4115 m	
108	IZJ-351	12-OCT-16 --:--:--	14 Q 537535 2117149	4115 m	
109	IZJ-352	12-OCT-16 --:--:--	14 Q 537533 2117152	4120 m	
110	IZJ-353	12-OCT-16 --:--:--	14 Q 537537 2117149	4115 m	
111	IZJ-354	17-NOV-16 --:--:--	14 Q 537592 2116724	4252 m	
112	IZJ-355	17-NOV-16 --:--:--	14 Q 537606 2116694	4252 m	
113	IZJ-356	17-NOV-16 --:--:--	14 Q 537591 2116719	4271 m	

114	IZJ-357	17-NOV-16 --:--:--	14 Q 537591 2116719	4271 m	
115	IZJ-358	17-NOV-16 --:--:--	14 Q 537591 2116719	4271 m	
116	IZJ-359	17-NOV-16 --:--:--	14 Q 537591 2116719	4271 m	
117	IZJ-360	17-NOV-16 --:--:--	14 Q 537591 2116719	4271 m	
118	IZJ-361	17-NOV-16 --:--:--	14 Q 537591 2116719	4271 m	
119	IZJ-362	17-NOV-16 --:--:--	14 Q 537591 2116719	4271 m	
120	IZJ-363	17-NOV-16 --:--:--			
121	IZJ-364	17-NOV-16 --:--:--	14 Q 537606 2116694	4241 m	
122	IZJ-365	17-NOV-16 --:--:--	14 Q 537583 2116696	4234 m	
123	IZJ-366	17-NOV-16 --:--:--			
124	IZJ-367	17-NOV-16 --:--:--	14 Q 537652 2116599	4240 m	
125	IZJ-368	17-NOV-16 --:--:--	14 Q 537651 2116609	4239 m	
126	IZJ-369	17-NOV-16 --:--:--	14 Q 537653 2116608	4243 m	
127	IZJ-370	17-NOV-16 --:--:--	14 Q 537647 2116580	4230 m	
128	IZJ-400	01-MAR-17 --:--:--	14 Q 538215 2115932	4136 m	
129	IZJ-401	01-MAR-17 --:--:--	14 Q 538264 2115951	4150 m	
130	IZJ-402	01-MAR-17 --:--:--	14 Q 538278 2115924	4146 m	
131	IZJ-403	01-MAR-17 --:--:--	14 Q 538262 2115847	4135 m	
132	IZJ-404	01-MAR-17 --:--:--	14 Q 538259 2115849	4132 m	
133	IZJ-405	01-MAR-17 --:--:--	14 Q 538260 2115851	4134 m	
134	IZJ-406	01-MAR-17 --:--:--	14 Q 538240 2115826	4136 m	
135	IZJ-407	01-MAR-17 --:--:--	14 Q 538245 2115814	4135 m	
136	IZJ-408	01-MAR-17 --:--:--	14 Q 538256 2115794	4128 m	
137	IZJ-409	01-MAR-17 --:--:--	14 Q 538269 2115749	4113 m	
138	IZJ-410	01-MAR-17 --:--:--	14 Q 538159 2115784	4119 m	
139	IZJ-411	01-MAR-17 --:--:--	14 Q 538162 2115788	4116 m	
140	IZJ-412	01-MAR-17 --:--:--	14 Q 538135 2115776	4128 m	
141	IZJ-413	01-MAR-17 --:--:--	14 Q 537973 2115907	4077 m	
142	IZJ-414	01-MAR-17 --:--:--	14 Q 537992 2115825	4069 m	
143	IZJ-416	02-MAR-17 --:--:--	14 Q 536506 2117153	4144 m	

144	IZJ-417	02-MAR-17 --:--:--	14 Q 536507 2117144	4147 m	
145	IZJ-418	02-MAR-17 --:--:--	14 Q 536506 2117145	4146 m	
146	IZJ-419	02-MAR-17 --:--:--	14 Q 536503 2117152	4146 m	
147	IZJ-420	02-MAR-17 --:--:--	14 Q 536433 2117135	4131 m	
148	IZJ-421	02-MAR-17 --:--:--	14 Q 536395 2117130	4121 m	
149	IZJ-422	02-MAR-17 --:--:--	14 Q 536361 2117134	4115 m	
150	IZJ-423	02-MAR-17 --:--:--	14 Q 536027 2116986	4093 m	
151	IZJ-424	02-MAR-17 --:--:--	14 Q 536782 2117280	4174 m	
152	IZJ-425	02-MAR-17 --:--:--	14 Q 536797 2117288	4179 m	
153	IZJ-426	02-MAR-17 --:--:--	14 Q 536788 2117284	4184 m	
154	IZJ-427	02-MAR-17 --:--:--	14 Q 536785 2117283	4187 m	

Datos de los valores de las capas morfométricas de los individuos *Juniperus monticola* identificados en imágenes de Google Earth y en campo (IJU), en los valles de Alcala y Apatlaco.

CLAVE	ORIGEN	ALTIMETRÍA	PENDIENTE	ORIENTACIÓN	GEOMETRÍA PERFIL	GEOMETRÍA PLANO	RADIACIÓN SOLAR	ACUMULACIÓN
1	Google Earth 19/Nov/12	3961.91	21.49	288.894	-7484140000	-12669800000	876147	38
2	Google Earth 19/Nov/12	3963.42	23.15	274.394	-822550000	-6008190000	879359	16
3	Google Earth 19/Nov/12	4033.64	52.98	335.57	-7820510000	-2634870000	1128170	11
4	Google Earth 19/Nov/12	4090.05	56.26	264.193	-286104000	10085200000	2347130	7
5	Google Earth 19/Nov/12	4104.14	55.53	268.987	98859700	5284500000	2403170	4
6	Google Earth 19/Nov/12	4240.77	36.08	203.538	2081220000	7266860000	2380010	2
7	Google Earth 19/Nov/12	4225.07	48.97	229.465	2179950000	2179950000	2381400	3
8	Google Earth 19/Nov/12	4213.95	43.77	223.541	2179950000	2179950000	429902	3
9	Google Earth 19/Nov/12	4245.97	25.70	176.397	-8919310000	17008900000	1597850	1
10	Google Earth 19/Nov/12	4235.85	11.58	221.148	-124313000	20618300000	1697250	0
11	Google Earth 19/Nov/12	4187.83	17.63	228.508	2056380000	2056380000	1677740	3
12	Google Earth 19/Nov/12	4156.37	23.75	5.0554	-14727200000	829703000	577245	1
13	Google Earth 19/Nov/12	4156.88	53.58	2.11411	-6431960000	9124970000	506166	4
14	Google Earth 19/Nov/12	4165.33	51.71	4.19923	-7093510000	-1907870000	566896	10
15	Google Earth 19/Nov/12	4167.59	44.96	6.00571	-18409000000	2333540000	567304	0
16	Google Earth 19/Nov/12	4183.67	47.52	275.477	-2907930000	-2907930000	734522	6
17	Google Earth 19/Nov/12	4158.79	53.81	255.964	495258000	10866500000	728904	5
18	Google Earth 19/Nov/12	4281.60	58.48	186.284	5385880000	5385880000	411696	2
19	Google Earth 19/Nov/12	4202.08	58.17	147.508	12903200000	-2653720000	602527	3
20	Google Earth 19/Nov/12	4192.55	57.39	152.524	1387920000	1387920000	671872	4
21	Google Earth 19/Nov/12	4176.22	45.41	170.208	14134900000	-1421980000	1011000	12

22	Google Earth 19/Nov/12	4144.37	28.90	230.881	5119620000	-20808600000	1029850	24
23	Google Earth 19/Nov/12	4161.66	24.97	226.175	2054690000	-8316600000	1212630	12
24	Google Earth 19/Nov/12	4151.80	38.37	271.448	5119620000	-20808600000	1029850	24
25	Google Earth 19/Nov/12	4143.97	36.42	269.672	5119620000	-20808600000	1121640	24
26	Google Earth 19/Nov/12	4136.79	30.32	229.509	13604700000	-22694800000	946662	10
27	Google Earth 19/Nov/12	4251.57	59.28	154.193	-4951860000	5419420000	661486	6
28	Google Earth 19/Nov/12	4291.87	27.48	180.549	-1407910000	3777740000	1316790	4
29	Google Earth 19/Nov/12	4165.06	69.89	176.83	-10643200000	4913750000	646940	18
30	Google Earth 19/Nov/12	4237.04	59.15	180.745	-16026200000	4716350000	878281	16
31	Google Earth 19/Nov/12	4264.81	45.61	177.209	-8493730000	12248800000	1543570	0
32	Google Earth 19/Nov/12	4237.77	68.49	166.619	-15556900000	15556900000	1713540	0
33	Google Earth 19/Nov/12	4251.01	60.09	174.455	-15556900000	15556900000	1713540	0
34	Google Earth 19/Nov/12	4209.71	69.54	176.128	-19250800000	17048700000	1506640	0
35	Google Earth 19/Nov/12	4200.18	60.42	187.369	-13003400000	12924800000	1506640	1
36	Google Earth 19/Nov/12	4245.30	58.20	178.304	-16026200000	4716350000	878281	16
37	Google Earth 19/Nov/12	4158.28	67.85	188.871	-9080250000	11662300000	1224780	1
38	Google Earth 19/Nov/12	4128.85	68.63	188.654	-2460340000	13096600000	1224780	0
39	Google Earth 19/Nov/12	4115.84	58.45	179.112	-2460340000	13096600000	1212430	0
40	Google Earth 19/Nov/12	4106.95	48.51	181.761	-2173760000	13383200000	1211500	0
41	Google Earth 19/Nov/12	4104.73	49.20	196.886	2472520000	7658170000	1121320	21
42	Google Earth 19/Nov/12	4118.92	42.17	156.738	1945690000	12317000000	1282150	3
43	Google Earth 19/Nov/12	4128.76	49.49	177.895	-6833070000	13909500000	1593680	2
44	Google Earth 19/Nov/12	4155.28	70.79	186.341	-13621300000	17492600000	1475660	0
45	Google Earth 19/Nov/12	4193.94	68.23	199.046	-14283800000	16830000000	1805930	3
46	Google Earth 19/Nov/12	4100.41	23.53	204.312	1488300000	1488300000	893111	16
47	Google Earth 19/Nov/12	4101.34	23.09	207.032	1488300000	1488300000	893111	16
48	Google Earth 19/Nov/12	4092.61	24.70	217.667	11794200000	-8948400000	1010370	28
49	Google Earth 19/Nov/12	4143.61	33.34	217.466	6873280000	-8683650000	1190000	5
50	Google Earth 19/Nov/12	4139.64	35.52	220.483	6343900000	-9213030000	1134840	8
51	Google Earth 19/Nov/12	4144.56	27.74	146.007	-367255000	-5552900000	773489	91

52	Google Earth 19/Nov/12	4137.77	25.21	168.857	-367255000	-5552900000	727656	91
53	Google Earth 19/Nov/12	4103.16	37.18	169.595	-8537460000	-13723100000	688200	94
54	Google Earth 19/Nov/12	4092.23	40.25	175.884	16113300000	-25371800000	706003	409
55	Google Earth 19/Nov/12	4078.90	39.62	170.353	1188690000	-24739500000	720346	429
56	Google Earth 19/Nov/12	4061.65	36.50	175.679	5780470000	-4590820000	727708	131
57	Google Earth 19/Nov/12	4286.44	28.34	182.178	-5062450000	5308830000	1016370	5
58	Google Earth 19/Nov/12	4286.57	27.94	179.217	-5185640000	0	966904	6
60	Google Earth 19/Nov/12	4301.00	37.58	164.05	-10358400000	5198570000	921686	5
61	Google Earth 19/Nov/12	4294.29	33.45	159.672	-5911630000	4459650000	661891	7
62	Google Earth 19/Nov/12	4297.63	38.14	155.73	-5911630000	4459650000	639576	7
63	Google Earth 19/Nov/12	4342.10	42.82	152.931	-114109000	5071530000	592290	4
64	Google Earth 19/Nov/12	4142.46	23.16	171.802	560610000	10931900000	1200850	2
65	Google Earth 19/Nov/12	4168.69	21.37	197.324	3111390000	-2074260000	468317	1
66	Google Earth 19/Nov/12	4168.16	21.88	177.003	-7259900000	8297030000	445111	12
67	Google Earth 19/Nov/12	4128.80	37.06	177.326	-3889230000	6482050000	1012950	4
68	Google Earth 19/Nov/12	4136.49	30.36	201.45	-3936810000	-3936810000	1707690	14
69	Google Earth 19/Nov/12	4229.75	23.47	188.643	5185640000	0	922139	14
70	Google Earth 19/Nov/12	4119.96	33.34	149.155	-1548650000	3636990000	1000870	5
71	Google Earth 19/Nov/12	4125.19	37.47	174.948	-3889230000	6482050000	959664	4
72	Google Earth 19/Nov/12	4118.72	31.52	191.786	-5185640000	5185640000	959664	7
73	Google Earth 19/Nov/12	4118.27	33.64	186.798	-5185640000	5185640000	959664	7
74	Google Earth 19/Nov/12	4111.42	29.71	197.546	-2004860000	3180780000	941160	8
75	Google Earth 19/Nov/12	4137.52	17.66	178.512	10371300000	0	957370	7
76	Google Earth 19/Nov/12	4105.26	36.05	206.186	-4286400000	899244000	642542	11
77	Google Earth 19/Nov/12	3963.30	9.78	214.241	5185640000	-5185640000	2028160	3
78	Google Earth 19/Nov/12	4199.69	33.07	226.682	0	0	1977260	14
79	Google Earth 19/Nov/12	4200.75	21.76	209.749	-1037130000	-1037130000	1769400	1
80	Google Earth 19/Nov/12	4194.05	23.68	216.517	1662460000	-8708830000	1890950	4
81	Google Earth 19/Nov/12	4180.90	25.62	221.026	3138090000	-12418800000	1839490	5
82	Google Earth 19/Nov/12	4202.64	21.74	197.438	0	0	1829460	6

83	Google Earth 19/Nov/12	4204.24	21.47	165.579	-1037130000	4148510000	1421070	0
84	Google Earth 19/Nov/12	4198.40	28.21	148.222	-4281720000	4757470000	1378370	1
85	Google Earth 19/Nov/12	4191.80	26.25	158.495	-5185640000	5185640000	1378370	2
86	Google Earth 19/Nov/12	4185.04	28.38	172.876	7778460000	7778460000	1516390	1
87	Google Earth 19/Nov/12	4174.45	22.86	180.204	7778460000	7778460000	1018880	2
88	Google Earth 19/Nov/12	4182.90	29.87	163.822	3050380000	5490680000	1294990	3
89	Google Earth 19/Nov/12	4164.03	37.08	190.908	-5529820000	4841460000	919149	6
90	Google Earth 19/Nov/12	4150.76	45.66	190.826	-5653420000	15089200000	1335440	0
91	Google Earth 19/Nov/12	4134.44	37.24	206.591	-5866110000	4599030000	1320610	0
92	Google Earth 19/Nov/12	4144.62	46.69	193.63	-5653420000	15089200000	1335440	0
93	Google Earth 19/Nov/12	4199.33	30.59	151.788	-4281720000	4757470000	1421070	1
94	Google Earth 19/Nov/12	4203.54	28.01	155.181	0	0	1215170	1
95	Google Earth 19/Nov/12	4195.35	24.21	230.545	-9972390000	3988960000	1294510	6
96	Google Earth 19/Nov/12	4193.29	24.18	236.815	-4926360000	-4926360000	1294510	7
97	Google Earth 19/Nov/12	4157.67	32.03	234.302	-9039840000	-9039840000	1420000	163
98	Google Earth 19/Nov/12	4164.17	17.22	234.385	-3889230000	-3889230000	1373270	162
99	Google Earth 19/Nov/12	4141.13	23.14	265.874	-1684870000	-15725400000	1433920	4
100	Google Earth 19/Nov/12	4127.92	31.52	250.798	-6420680000	-6420680000	1359800	221
101	Google Earth 19/Nov/12	4131.00	40.30	235.06	2550320000	2550320000	1434880	3
102	Google Earth 19/Nov/12	4127.78	29.19	147.575	-5185640000	5185640000	1419640	3
103	Google Earth 19/Nov/12	4060.87	55.72	258.161	4625030000	-560610000	1447300	1
104	Google Earth 19/Nov/12	4088.10	30.46	222.037	-3573530000	1612120000	1402430	2
105	Google Earth 19/Nov/12	4092.40	26.90	225.159	-1116910000	-1116910000	1317170	5
106	Google Earth 19/Nov/12	4070.23	34.85	216.121	4355940000	-8297030000	1310390	4
107	Google Earth 19/Nov/12	4068.04	34.04	237.85	-1373430000	8997860000	1397110	7
108	Google Earth 19/Nov/12	4100.76	10.61	206.974	-4148510000	1037130000	1300020	3
109	Google Earth 19/Nov/12	4105.86	25.00	241.014	-9229490000	6327440000	1442370	0
110	Google Earth 19/Nov/12	4108.52	11.72	219.328	-5695710000	9861220000	1446460	1
111	Google Earth 19/Nov/12	4112.39	10.79	186.169	-8027090000	7529840000	1419770	0
112	Google Earth 19/Nov/12	4117.03	12.99	174.277	-3590060000	6781220000	1445180	32

113	Google Earth 19/Nov/12	4118.71	11.53	174.234	-5944520000	9612410000	1378480	31
114	Google Earth 19/Nov/12	4089.28	14.81	182.329	5185640000	-5185640000	1422770	1
115	Google Earth 19/Nov/12	4046.85	31.76	245.629	-7473430000	2897860000	1444760	14
116	Google Earth 19/Nov/12	4047.59	26.12	218.206	-8854910000	6702020000	1447130	8
117	Google Earth 19/Nov/12	4031.12	41.47	247.861	-4041750000	6329530000	1438760	5
118	Google Earth 19/Nov/12	4023.99	32.81	290.613	-1548650000	3636990000	1431000	3
119	Google Earth 19/Nov/12	4103.69	13.88	212.692	-4901500000	284145000	1214940	0
120	Google Earth 19/Nov/12	4104.62	10.68	167.434	5185640000	-5185640000	1732060	53
121	Google Earth 19/Nov/12	4060.31	50.74	237.129	12369400000	-23930100000	1354290	35
122	Google Earth 19/Nov/12	4066.24	37.41	209.338	2478990000	-2706650000	1292560	9
123	Google Earth 19/Nov/12	4052.63	50.12	213.378	-807453000	4378190000	1222010	3
124	Google Earth 19/Nov/12	4075.66	30.03	188.607	-4041750000	6329530000	1478600	2
125	Google Earth 19/Nov/12	4086.79	27.14	235.45	-6456380000	3914900000	1595500	2
126	Google Earth 19/Nov/12	4093.81	6.94	180.589	-6832850000	-1647200000	1585050	1
127	Google Earth 19/Nov/12	4014.94	42.93	141.547	-4890620000	10666300000	498475	4
128	Google Earth 19/Nov/12	4011.38	20.28	124.583	-565916000	4619730000	398825	2
129	Google Earth 19/Nov/12	4056.25	63.20	158.305	-9690060000	5866870000	376263	0
130	Google Earth 19/Nov/12	4056.57	55.02	166.598	-6781220000	8775700000	273079	1
131	Google Earth 19/Nov/12	4079.65	30.50	130.661	-5185640000	5185640000	177689	2
132	Google Earth 19/Nov/12	4065.15	46.56	143.201	1478090000	-3707550000	496526	6
133	Google Earth 19/Nov/12	4069.98	37.55	213.27	0	0	801896	5
134	Google Earth 19/Nov/12	4069.72	60.29	248.706	234644000	5420290000	1067530	0
135	Google Earth 19/Nov/12	4009.78	47.73	167.388	6204480000	1018840000	421763	1
136	Google Earth 19/Nov/12	4006.95	35.15	191.613	-5185640000	10371300000	1142230	4
137	Google Earth 19/Nov/12	4047.96	50.93	246.749	-2158350000	3027290000	1143410	1
138	Google Earth 19/Nov/12	3999.29	36.11	197.267	-5185640000	10371300000	1156200	4
139	Google Earth 19/Nov/12	4047.76	43.89	200.621	3550340000	-1635310000	710233	12
140	Google Earth 19/Nov/12	4046.98	19.28	186.486	-8289460000	7267470000	929887	0
141	Google Earth 19/Nov/12	4046.76	15.66	210.316	-498619000	-498619000	929887	10
142	Google Earth 19/Nov/12	4039.81	24.25	177.932	-5476040000	-290396000	932643	7

143	Google Earth 19/Nov/12	4002.96	10.89	208.565	-5695710000	9861220000	1638590	10
144	Google Earth 19/Nov/12	4003.93	10.66	209.084	-2792270000	2393370000	1518890	12
145	Google Earth 19/Nov/12	4143.14	20.85	206.041	3391690000	-1793950000	1241100	3
146	Google Earth 19/Nov/12	3980.96	47.24	191.185	9409000000	-11333600000	2091920	22
147	Google Earth 19/Nov/12	3979.65	51.43	181.462	777846000	777846000	2027660	27
148	Google Earth 19/Nov/12	4081.57	59.25	257.818	-5000790000	10556100000	2394090	4
149	Google Earth 19/Nov/12	4081.40	58.18	258.428	-4109200000	6262080000	2389180	3
150	Google Earth 19/Nov/12	4211.99	44.47	247.288	2770410000	7956050000	417374	0
151	Google Earth 19/Nov/12	4142.69	30.26	190.145	0	0	740061	7
152	Google Earth 19/Nov/12	4065.08	35.02	178.569	5114850000	-70793800	1486850	4
153	Google Earth 19/Nov/12	4075.42	34.25	179.769	5629380000	-4741900000	1491750	12
154	Google Earth 19/Nov/12	4166.62	35.28	175.745	207426000	-10163900000	787663	140
155	Google Earth 19/Nov/12	4148.50	44.29	135.976	-2883720000	2301920000	2438690	3
156	Google Earth 19/Nov/12	4165.57	21.02	147.054	-4016750000	6354540000	2332280	1
157	Google Earth 19/Nov/12	4165.69	17.71	343.867	-7259900000	8297030000	1704890	0
158	Google Earth 19/Nov/12	4153.28	8.10	79.6771	-6482050000	-6482050000	2443390	0
159	Google Earth 19/Nov/12	4123.94	30.62	159.193	-4951860000	5419420000	746532	7
160	Google Earth 19/Nov/12	3994.83	45.68	216.922	-1050990000	-6236630000	1097960	18
161	Google Earth 19/Nov/12	3921.31	39.66	193.906	-5769860000	4601420000	541768	8
162	Google Earth 19/Nov/12	3912.96	36.73	191.34	4148510000	4148510000	49771	9
163	Google Earth 19/Nov/12	4169.51	21.52	186.843	3590060000	3590060000	107375	4
164	Google Earth 19/Nov/12	4167.25	22.52	173.559	3590060000	3590060000	1440870	2
165	Google Earth 19/Nov/12	4163.76	20.81	176.83	3889230000	3889230000	1440870	7
166	Google Earth 19/Nov/12	4225.25	26.72	202.846	6469410000	6469410000	1411620	1
167	Google Earth 19/Nov/12	4280.73	63.03	181.903	2529580000	2529580000	2011320	4
168	Google Earth 19/Nov/12	4273.62	46.36	201.615	-2158030000	8213260000	1528030	5
169	Google Earth 19/Nov/12	4256.37	46.30	220.64	8046690000	2861040000	1396750	7
170	Google Earth 19/Nov/12	4274.84	66.46	166.94	-10371300000	10371300000	1045920	6
171	Google Earth 19/Nov/12	4373.47	8.06	229.729	-6945910000	-1760260000	1375420	4
172	Google Earth 19/Nov/12	4373.50	8.75	289.556	-8221140000	7335790000	1375420	1

173	Google Earth 19/Nov/12	4371.85	15.01	9.54635	-5584540000	9972390000	2020220	0
174	Google Earth 19/Nov/12	4184.17	30.88	215.678	-1456240000	-1456240000	2141370	14
175	Google Earth 19/Nov/12	4186.04	65.56	226.188	-14283800000	16830000000	1625120	3
176	Google Earth 19/Nov/12	4226.84	61.66	178.068	-16026200000	4716350000	644977	16
177	Google Earth 19/Nov/12	4225.87	59.33	172.375	-11801800000	-1430520000	647233	28
177	Google Earth 19/Nov/12	4110.17	20.25	196.372	9750850000	4565200000	727583	15
178	Google Earth 19/Nov/12	4154.43	62.26	284.974	6572040000	-3799250000	733234	7
179	Google Earth 19/Nov/12	4076.84	34.58	290.197	-4547510000	5823770000	2129470	1
180	Google Earth 19/Nov/12	4078.96	35.80	283.921	-4547510000	5823770000	2069230	1
181	Google Earth 19/Nov/12	4102.25	55.67	261.784	-6056450000	9500470000	2131140	9
182	Google Earth 19/Nov/12	4108.98	45.60	272.174	-733410000	4452230000	2131140	8
183	Google Earth 19/Nov/12	4090.19	55.84	283.171	4822060000	4822060000	2002820	1
184	Google Earth 19/Nov/12	4102.35	49.90	286.245	0	10371300000	1988700	0
185	Google Earth 19/Nov/12	4107.25	56.19	261.42	-71526100	10299800000	2331370	6
186	Google Earth 19/Nov/12	4142.45	43.31	186.746	-4967660000	-4967660000	752269	142
187	Google Earth 19/Nov/12	4169.42	29.44	172.924	207426000	-10163900000	853079	140
188	Google Earth 19/Nov/12	4165.46	34.52	190.494	0	0	711515	146
189	Google Earth 19/Nov/12	4151.17	39.16	182.076	570421000	-9800860000	777807	141
190	Google Earth 19/Nov/12	4258.03	29.44	248.207	-18341500000	17958000000	2170050	16
191	Google Earth 19/Nov/12	4137.53	29.58	219.067	6482050000	6482050000	2022170	19
192	Google Earth 19/Nov/12	4107.77	48.07	202.025	2472520000	7658170000	1135160	21
193	Google Earth 19/Nov/12	4272.86	7.47	160.381	3111390000	3111390000	1451730	1
194	Google Earth 19/Nov/12	4266.09	24.92	278.6	0	0	2266630	6
195	Google Earth 19/Nov/12	4075.39	8.38	252.428	5479170000	293527000	2140140	1
196	Google Earth 19/Nov/12	4244.60	26.36	206.188	3747290000	-1438350000	1478190	7
197	Google Earth 19/Nov/12	4208.96	23.93	188.812	-2233820000	-2233820000	1685970	4
198	Google Earth 19/Nov/12	4186.89	37.72	220.306	3257890000	-1927750000	1404440	3
199	Google Earth 19/Nov/12	4155.11	18.24	149.097	-1316560000	3869080000	1411610	1
200	Google Earth 19/Nov/12	4063.99	39.45	173.756	-5337640000	5033650000	530761	5

IJU-48a53	Tomado en campo	4061.10	40.08	266.202	5185640000	-5185640000	1076290	259
IJU101	Tomado en campo	4124.51	23.49	186.574	-9891790000	10850800000	1968770	0
IJU102	Tomado en campo	4126.56	7.22	158.341	-8394870000	7162060000	1968770	1
IJU103	Tomado en campo	4124.67	33.16	335.297	-8394870000	7162060000	1486280	1
IJU104	Tomado en campo	4121.81	34.03	330.361	-8394870000	7162060000	1486280	1
IJU16	Tomado en campo	4099.43	23.25	205.878	13809500000	-12118700000	873576	19
IJU39,40	Tomado en campo	3988.11	9.14	191.657	-2074260000	3111390000	2137360	0
IJU41	Tomado en campo	4000.26	13.60	242.614	-1788150000	-1788150000	2057570	7
IJU42,43	Tomado en campo	4000.46	17.95	273.672	0	0	2057570	4
IJU44	Tomado en campo	4002.08	14.71	271.528	-7217130000	-2031490000	2071770	3
IJU45	Tomado en campo	4001.46	20.64	277.549	3869290000	-6502000000	2071770	6
IJU46	Tomado en campo	4003.90	21.94	285.958	679498000	-4506140000	2146150	8
IJU47	Tomado en campo	4033.97	31.91	244.506	153421000	5339060000	737052	0
IJU55	Tomado en campo	4061.55	40.81	249.477	3889230000	-6482050000	802611	9
IJU56	Tomado en campo	4061.55	40.81	249.477	3889230000	-6482050000	802611	9
IJU57	Tomado en campo	4070.65	27.72	246.559	-6759220000	-1573570000	798942	10
IJU58	Tomado en campo	4066.89	38.05	215.72	-7698680000	2672600000	801896	6
IJU59	Tomado en campo	4098.38	18.65	261.141	4184280000	-1001370000	801383	7
IJU60	Tomado en campo	4098.14	17.22	261.883	0	0	801383	8
IJU61	Tomado en campo	4098.14	17.22	261.883	0	0	801383	8
IJU62	Tomado en campo	4099.51	12.77	250.01	0	0	787709	8
IJU63	Tomado en campo	4097.34	15.05	245.796	2248640000	-2937000000	784962	170
IJU64	Tomado en campo	4097.59	12.47	208.854	2248640000	-2937000000	778473	170
IJU65	Tomado en campo	4094.69	22.53	222.215	2248640000	-2937000000	784962	170
IJU66	Tomado en campo	4095.07	15.65	195.685	2248640000	-2937000000	752719	170

IJU67, 68	Tomado en campo	4092.65	19.26	203.887	4084920000	-6286370000	752719	87
IJU69, 70	Tomado en campo	4087.17	32.43	226.977	-894076000	-894076000	723770	15
IJU71	Tomado en campo	4086.72	35.09	242.997	-894076000	-894076000	730791	15
IJU72	Tomado en campo	4090.56	35.62	239.694	-777846000	-777846000	1067970	4
IJU73	Tomado en campo	4096.37	19.46	256.081	-777846000	-777846000	1062970	4
IJU74	Tomado en campo	4110.05	10.49	230.918	-4728090000	-4728090000	1138550	76
IJU75	Tomado en campo	4113.47	18.06	239.701	-1296410000	-1296410000	1138500	157
IJU76	Tomado en campo	4116.51	14.60	224.613	-3391690000	1793950000	1151730	6
IJU77	Tomado en campo	4107.14	16.72	217.358	4899140000	-286500000	803542	6
IJU78	Tomado en campo	4109.16	17.33	218.495	4899140000	-286500000	803542	6
IJU79	Tomado en campo	4108.12	18.94	231.034	2592820000	2592820000	803542	4
IJU80	Tomado en campo	4107.14	16.72	217.358	4899140000	-286500000	803542	6
IJU81	Tomado en campo	4177.71	33.96	282.655	4148510000	4148510000	2378320	13
IJU82	Tomado en campo	4098.53	42.01	349.333	-12365800000	13562400000	1758850	0
IJU83	Tomado en campo	4097.46	42.11	346.715	-12365800000	13562400000	1726620	0
IJU84	Tomado en campo	4103.57	42.09	352.444	-5535240000	10021700000	2446770	0
IJU85, 86,87	Tomado en campo	4097.03	40.47	9.12318	-13840300000	1716630000	1562580	1
IJU88- 89	Tomado en campo	4097.03	40.47	9.12318	-13840300000	1716630000	1316610	1
IJU90, 91	Tomado en campo	4102.34	37.08	22.7307	-13840300000	1716630000	1987180	1
IJU92	Tomado en campo	4109.54	37.04	20.2111	-11169100000	9573490000	1987180	0
IJU93	Tomado en campo	4105.06	36.28	11.4927	-6222770000	9334160000	1987180	0
IJU94, 95	Tomado en campo	4126.84	21.99	320.878	-8394870000	7162060000	272918	1
IJU96, 97	Tomado en campo	4124.44	19.63	183.295	-1651480000	3534160000	1818340	0
IJU98	Tomado en campo	4122.53	22.04	177.451	-1651480000	3534160000	1818340	0
IJU99, 100	Tomado en campo	4126.31	30.49	25.0205	-8394870000	7162060000	1480940	1

IJU28 Y29	Tomado en campo	4239.09	36.41	226.18	2081220000	7266860000	2362790	2
IJU-1	Tomado en campo	3962.76	8.84	211.053	5185640000	-5185640000	885842	3
IJU-2	Tomado en campo	3963.01	9.64	214.931	-5185640000	5185640000	2028160	23
IJU-3	Tomado en campo	3964.84	11.30	218.704	5185640000	-5185640000	2028160	3
IJU-4	Tomado en campo	3964.20	11.20	217.926	5185640000	-5185640000	2028160	3
IJU-5	Tomado en campo	3963.48	9.41	217.027	-5185640000	5185640000	2028160	23
IJU-6	Tomado en campo	3956.51	36.80	271.858	-5095060000	90578900	878925	19
IJU-7	Tomado en campo	3956.16	35.87	275.018	-5774410000	-588763000	878779	18
IJU-8	Tomado en campo	3950.11	37.32	282.267	4687020000	-5684260000	874290	19
IJU-9	Tomado en campo	3950.11	37.32	282.267	4687020000	-5684260000	874290	19
IJU-10	Tomado en campo	3963.72	38.11	283.173	-5780470000	4590820000	882120	17
IJU-11	Tomado en campo	3965.00	32.84	286.89	-5780470000	4590820000	879359	17
IJU-12	Tomado en campo	3965.67	23.36	274.648	-5780470000	4590820000	879359	17
IJU-13	Tomado en campo	3961.24	25.98	285.348	-7484140000	-12669800000	857284	38
IJU-14	Tomado en campo	3959.70	18.72	323.157	-5185640000	5185640000	739478	25
IJU-15	Tomado en campo	4010.65	17.36	241.896	5843820000	-4527460000	927414	37
IJU-16	Tomado en campo	4099.43	23.25	205.878	13809500000	-12118700000	873576	19
IJU-17	Tomado en campo	4108.40	25.39	197.156	9750850000	4565200000	727583	15
IJU-18	Tomado en campo	4108.40	25.39	197.156	9750850000	4565200000	727583	15
IJU-19	Tomado en campo	4115.21	18.16	199.046	363325000	5548970000	577488	14
IJU-20	Tomado en campo	4261.90	46.99	246.573	2200740000	12572000000	2427980	1
IJU-22	Tomado en campo	4280.02	38.12	222.186	-13654800000	12273400000	2237250	6
IJU-23	Tomado en campo	4272.85	51.52	229.482	-13654800000	12273400000	2137430	6
IJU-24	Tomado en campo	4263.84	38.07	204.634	-9081880000	22032000000	2436640	0
IJU- 25y26	Tomado en campo	4242.58	36.64	188.817	-4284410000	11272500000	2360750	2
IJU-27	Tomado en campo	4239.24	36.09	185.371	7739120000	-7817800000	2350720	3
IJU-28 y 29	Tomado en campo	4239.09	36.41	226.18	2081220000	7266860000	2362790	2
IJU-30	Tomado en campo	4229.05	30.11	210.745	2074260000	-3111390000	2391920	9

IJU-31	Tomado en campo	4254.85	28.54	216.476	-6462110000	3909180000	2270960	4
IJU-32	Tomado en campo	4250.99	16.46	232.907	1541680000	1541680000	1866350	2
IJU-33	Tomado en campo	4245.97	25.70	176.397	-8919310000	17008900000	2262180	1
IJU-34	Tomado en campo	4245.97	25.70	176.397	-8919310000	17008900000	2262180	1
IJU-35	Tomado en campo	4242.15	31.52	204.979	-8919310000	17008900000	2082050	1
IJU-37	Tomado en campo	4234.62	12.52	194.684	-124313000	20618300000	1697250	0
IJU-38	Tomado en campo	4234.62	12.52	194.684	-124313000	20618300000	1697250	0

APÉNDICE 3. DENDROCRONOLOGÍA

Conteo de muestras IZJ realizado en INIFAP-CENID-RASPA (Dr. José Villanueva Díaz)

Clave	Radio Mayor (cm)	No. Anillos	Radio Menor (cm)	No. Anillos	Edad probable	Observaciones	Diámetro (cm)
IZJ02A	6.00	52.00	2.10	43.00	52.00	Muestra completa	8.10
IZJ05A	3.00	141.00	1.50	110.00	141.00	Muestra completa	4.50
IZJ05B	3.00	148.00	1.50	118.00	148.00	Muestra completa	4.50
IZJ07	4.00	82.00	2.00	62.00	82.00	Muestra completa	6.00
IZJ08A	3.50	130.00	2.00	98.00	130.00	Muestra completa	5.50
IZJ08E	3.00	98.00	2.00	70.00	98.00	Muestra completa	5.00
IZJ09B	4.80	174.00	3.00	138.00	174.00	Muestra completa	7.80
IZJ13	6.10	174.00	3.30	134.00	174.00	Muestra completa	9.40
IZJ36	17.50	372.00	12.00	125.00	372.00	Muestra completa	29.50
IZJ40C	9.70	198.00	5.50	134.00	198.00	Muestra completa	15.20
IZJ40D	9.50	210.00	3.00	90.00	210.00	Muestra completa	12.50
IZJ40E	10.00	224.00	2.00	120.00	224.00	Muestra completa	12.00
IZJ40F	10.00	154.00	3.60	73.00	154.00	Muestra completa	13.60
IZJ40G	10.50	198.00	5.50	122.00	198.00	Muestra completa	16.00
IZJ40H	11.00	183.00	3.50	103.00	183.00	Muestra completa	14.50
IZJ41A	11.00	248.00	5.00	123.00	248.00	Muestra completa	16.00
IZJ41B	11.30	264.00	5.00	150.00	264.00	Muestra completa	16.30
IZJ41C	11.00	224.00	5.80	135.00	224.00	Muestra completa	16.80
IZJ45A	6.70	170.00	3.90	100.00	170.00	Muestra completa	10.60
IZJ45B	7.60	145.00	3.90	100.00	145.00	Muestra completa	11.50
IZJ45C	7.00	139.00	4.10	88.00	139.00	Muestra completa	11.10
IZJ51D	3.60	68.00	2.70	44.00	68.00	Muestra completa	6.30
IZJ77A	5.00	243.00	2.00	90.00	243.00	Muestra completa	7.00
IZJ77B	5.00	224.00	2.60	125.00	224.00	Muestra completa	7.60
IZJ78A	11.50	226.00	7.00	174.00	226.00	Muestra completa	18.50
IZJ78B	17.50	324.00	1.50	54.00	324.00	Muestra completa	19.00

IZJ78C	10.80	227.00	4.00	140.00	227.00	Muestra completa	14.80
IZJ78E	3.90	153.00	2.50	130.00	153.00	Muestra completa	6.40
IZJ78F	5.70	188.00	2.00	93.00	188.00	Muestra completa	7.70
IZJ78G	3.50	90.00	2.40	70.00	90.00	Muestra completa	5.90
IZJ78H	4.50	210.00	1.60	100.00	210.00	Muestra completa	6.10
IZJ78I	3.30	113.00	3.00	83.00	113.00	Muestra completa	6.30
IZJ78J	4.20	130.00	2.00	105.00	130.00	Muestra completa	6.20
IZJ90	4.60	118.00	2.70	111.00	118.00	Muestra completa	7.30
1ZJ100	6.40	150.00	2.70	57.00	150.00	Muestra completa	9.10
IZJ101	14.00	364.00	7.20	219.00	364.00	Muestra completa	21.20
IZJ103	7.50	253.00	4.50	183.00	253.00	Muestra completa	12.00
IZJ105	13.70	279.00	5.00	225.00	279.00	Muestra completa	18.70
IZJ106	11.20	534.00	10.70	283.00	534.00	Muestra completa	21.90
IZJ107	6.50	347.00	4.00	150.00	347.00	Muestra completa	10.50
IZJ108	10.50	335.00	2.90	180.00	335.00	Muestra completa	13.40
IZJ109	8.20	217.00	4.50	165.00	217.00	Muestra completa	12.70
IZJ110	19.60	329.00	6.10	193.00	329.00	Muestra completa	25.70
IZJ111	8.10	279.00	5.50	246.00	279.00	Muestra completa	13.60
IZJ112	3.50	184.00	2.80	164.00	184.00	Muestra completa	6.30
IZJ113	9.70	325.00	4.50	275.00	325.00	Muestra completa	14.20
IZJ114	9.50	434.00	5.50	165.00	434.00	Muestra completa	15.00
IZJ115A	3.50	230.00	7.00	416.00	230.00	Muestra completa	10.50
IZJ115B	4.10	260.00	8.40	308.00	260.00	Muestra completa	12.50
IZJ115C	17.50	482.00	11.50	337.00	482.00	Muestra completa	29.00
IZJ117	9.50	358.00	3.50	102.00	358.00	Muestra completa	13.00

Resumen de la regresión diámetro – número de anillos

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0.758385434
Coefficiente de determinación R ²	0.575148467
R ² ajustado	0.566478028
Error típico	68.46610945
Observaciones	51

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	310949.711	310949.7108	66.33440794	1.14937E-10
Residuos	49	229692.799	4687.608143		
Total	50	540642.51			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>	<i>Inferior 95.0%</i>	<i>Superior 95.0%</i>
Intercepción	64.0485413	21.8065501	2.937123979	0.005035772	20.22663814	107.870444	20.2266381	107.870444
Variable X 1	13.02100575	1.59872992	8.144593786	1.14937E-10	9.808237699	16.2337738	9.8082377	16.2337738

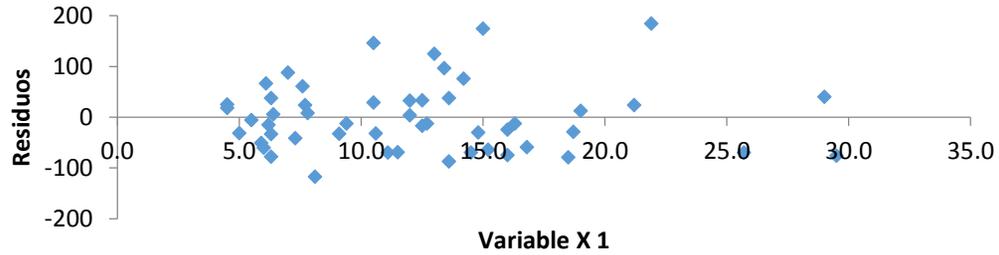
Análisis de los residuales

Resultados de datos de probabilidad

<i>Observación</i>	<i>Pronóstico para Y</i>	<i>Residuos</i>	<i>Residuos estándares</i>	<i>Percentil</i>	<i>Y</i>
1	169.5186879	-117.518688	-1.733876842	0.980392157	52
2	122.6430672	18.3569328	0.270839143	2.941176471	68
3	122.6430672	25.3569328	0.374117507	4.901960784	82
4	142.1745758	-60.1745758	-0.887818825	6.862745098	90
5	135.6640729	-5.66407293	-0.083568027	8.823529412	98
6	129.1535701	-31.1535701	-0.459641395	10.78431373	113
7	165.6123862	8.38761384	0.123751291	12.74509804	118
8	186.4459954	-12.4459954	-0.183628864	14.70588235	130
9	448.168211	-76.168211	-1.123789752	16.66666667	130
10	261.9678287	-63.9678287	-0.943784677	18.62745098	139
11	226.8111132	-16.8111132	-0.24803204	20.58823529	141
12	220.3006103	3.69938968	0.054580988	22.54901961	145
13	241.1342195	-87.1342195	-1.285582813	24.50980392	148
14	272.3846333	-74.3846333	-1.097474754	26.47058824	150
15	252.8531247	-69.8531247	-1.03061664	28.43137255	153
16	272.3846333	-24.3846333	-0.35977215	30.39215686	154
17	276.2909351	-12.2909351	-0.181341096	32.35294118	170
18	282.8014379	-58.8014379	-0.867559478	34.31372549	174
19	202.0712023	-32.0712023	-0.473180189	36.2745098	174
20	213.7901074	-68.7901074	-1.014932828	38.23529412	183
21	208.5817051	-69.5817051	-1.026612102	40.19607843	184
22	146.0808775	-78.0808775	-1.152009334	42.15686275	188
23	155.1955816	87.8044184	1.295470963	44.11764706	198
24	163.008185	60.991815	0.899876415	46.07843137	198
25	304.9371477	-78.9371477	-1.164642788	48.03921569	210
26	311.4476506	12.5523494	0.185198017	50	210
27	256.7594264	-29.7594264	-0.439072127	51.96078431	217
28	147.3829781	5.61702189	0.082873834	53.92156863	224

29	164.3102856	23.6897144	0.34951928	55.88235294	224
30	140.8724752	-50.8724752	-0.750575149	57.84313725	224
31	143.4766764	66.5233236	0.981488581	59.80392157	226
32	146.0808775	-33.0808775	-0.48807699	61.76470588	227
33	144.778777	-14.778777	-0.218046845	63.7254902	230
34	159.1018833	-41.1018833	-0.606419327	65.68627451	243
35	182.5396936	-32.5396936	-0.480092335	67.64705882	248
36	340.0938632	23.9061368	0.352712387	69.60784314	253
37	220.3006103	32.6993897	0.482448498	71.56862745	260
38	307.5413489	-28.5413489	-0.421100548	73.52941176	264
39	349.2085673	184.791433	2.726422423	75.49019608	279
40	200.7691017	146.230898	2.157498289	77.45098039	279
41	238.5300184	96.4699816	1.423323133	79.41176471	324
42	229.4153143	-12.4153143	-0.183176194	81.37254902	325
43	398.6883891	-69.6883891	-1.028186123	83.33333333	329
44	241.1342195	37.8657805	0.558673697	85.29411765	335
45	146.0808775	37.9191225	0.559460708	87.25490196	347
46	248.946823	76.053177	1.122092535	89.21568627	358
47	259.3636276	174.636372	2.576594134	91.17647059	364
48	200.7691017	29.2308983	0.431274196	93.1372549	372
49	226.8111132	33.1888868	0.489670564	95.09803922	434
50	441.6577081	40.3422919	0.595212276	97.05882353	482
51	233.3216161	124.678384	1.83951137	99.01960784	534

Variable X 1 Gráfico de los residuales



Variable X 1 Curva de regresión ajustada

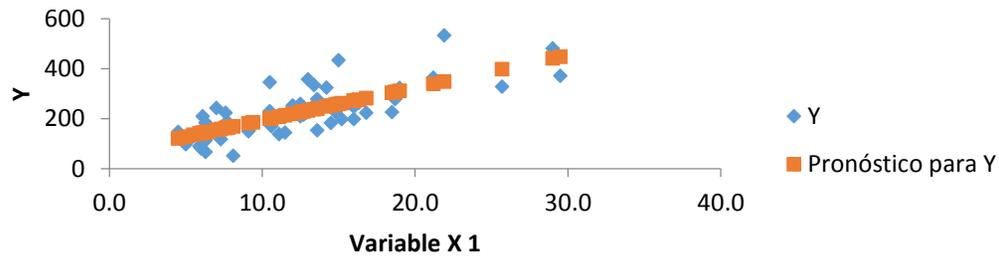
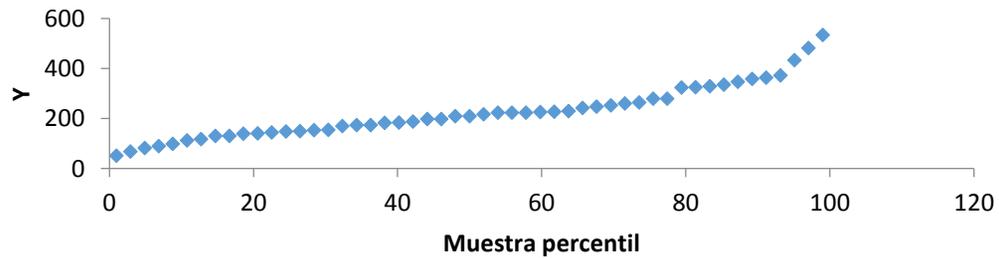


Gráfico de probabilidad normal



Muestras dendrocronológicas independientes para verificar modelo de regresión

Clave	Radio Mayor (cm)	No. Anillos contados en radio mayor	Radio Menor (cm)	No. Anillos contados en radio menor	Edad probable (años)	Observaciones	Diámetro (cm)
IZJ350	9.2	288	3.1	166	288	Muestra completa	19.0
IZJ351A	8.5	188	3.6	134	188	Muestra completa	12.9
IZJ351B	4.5	123	2.3	106	123	Muestra completa	7.4
IZJ351C	1.6	88	1.7	77	88	Muestra completa	3.2
IZJ351D	4.2	122	3.0	104	122	Muestra completa	7.4
IZJ352	11.8	151	3.4	73	151	Muestra completa	17.5
IZJ353	5.9	131	2.5	111	131	Muestra completa	8.5
IZJ354B	14.6	302	9.5	223	302	Muestra completa	24.6
IZJ362	5.1	123	3.3	114	123	Muestra completa	10.2
IZJ365A	10.4	150	2.1	56	150	Muestra completa	13.1
IZJ365B	9.1	143	2.2	63	143	Muestra completa	11.8
IZJ367A	7.8	202	2.1	74	202	Muestra completa	11.0
IZJ367B	8.5	212	1.8	25	212	Muestra completa	11.6
IZJ367B	8.5	212	1.8	25	212	Muestra completa	11.6
IZJ370A	8.5	196	3.2	98	196	Muestra completa	12.2
IZJ370B	8.6	192	2.9	88	192	Muestra completa	12.0
IZJ401B	16.20	257	1.70	44	257	Muestra completa	21.0
IZJ402B	10.20	131	2.30	93	131	Muestra completa	13.0
IZJ403B	6.5	139	3.3	117	139	Muestra completa	16.0
IZJ404A	2.4	109	2.0	101	109	Muestra completa	5.5
IZJ406A	5.5	96	2.4	91	96	Muestra completa	8.1
IZJ406B	5.4	102	2.5	99	102	Muestra completa	8.2
IZJ410	14.7	270	2.3	58	270	Muestra completa	16.7
IZJ411B	17.25	170	4.4	94	170	Muestra completa	19.5
IZJ413A	8.6	174	7.3	165	174	Muestra completa	15.7
IZJ416A	10.1	146	6.3	149	146	Muestra completa	16.6

IZJ416B	6.5	110	3.5	96	110	Muestra completa	10.0
IZJ420	8.6	144	3.5	73	144	Muestra completa	12.3
IZJ421A	5.2	136	3.2	130	136	Muestra completa	9.0
IZJ421B	5.5	136	3.3	124	136	Muestra completa	8.6
IZJ423A	5.30	126	2.4	125	126	Muestra completa	15.0
IZJ423B	5.25	140	4.0	147	140	Muestra completa	9.5
IZJ423C	5.8	153	1.9	96	153	Muestra completa	9.7
IZJ427A	9.3	164	1.9	120	164	Muestra completa	11.6
IZJ427B	9.2	164	1.9	125	164	Muestra completa	11.6

Error Cuadrático Medio de la regresión

Real	Estimación	Diferencia	Diferencia al cuadrado		
288	311.448	-23.448	549.808704		
188	232.0199	-44.020	1937.751596		
123	160.4044	-37.404	1399.089139		
88	105.7162	-17.716	313.8637424		
122	160.4044	-38.404	1474.897939		
151	291.9165	-140.917	19857.45997	Error cuadrático medio	73.1081294
131	174.7275	-43.728	1912.094256		
302	384.3656	-82.366	6784.092063		
123	196.8632	-73.863	5455.772314		
150	234.6241	-84.624	7161.238301		
143	217.6968	-74.697	5579.61193		
202	207.28	-5.280	27.8784		
212	215.0926	-3.093	9.56417476		
212	215.0926	-3.093	9.56417476		
196	222.9052	-26.905	723.889787		
192	220.301	-28.301	800.946601		
257	337.49	-80.490	6478.6401		
131	233.322	-102.322	10469.79168		
139	272.385	-133.385	17791.55823		
109	135.6645	-26.665	710.9955603		
96	169.5191	-73.519	5405.058065		
102	170.8212	-68.821	4736.357569		
270	281.4997	-11.500	132.2431001		
170	317.9585	-147.959	21891.71772		
174	268.4787	-94.479	8926.224754		
146	280.1976	-134.198	18008.99585		
110	194.259	-84.259	7099.579081		
144	224.2073	-80.207	6433.210973		
136	181.238	-45.238	2046.476644		
136	176.0296	-40.030	1602.368876		
126	259.364	-133.364	17785.9565		
140	187.7485	-47.749	2279.919252		
153	190.3527	-37.353	1395.224197		
164	215.0926	-51.093	2610.453775		
164	215.0926	-51.093	2610.453775		
			Suma		radio
			192412.7488		5344.798578

Estimación de número de anillos para muestras IJU con base en modelo de regresión de muestras IZJ

CLAVE	Coordenadas (UTM)	Altitud	tronco (diámetro en cm)	Estimación de anillos	ECM+	ECM-
IJU-01	N19° 07.775' W98° 39.154'	3979 m	4.6	124	197	51
IJU-02	N19° 07.779' W98° 39.157'	3979 m	7.2	158	231	85
IJU-03	N19° 07.780' W98° 39.153'	3977 m	4.9	128	201	55
IJU-04	N19° 07.780' W98° 39.155'	3981 m	2.3	94	167	21
IJU-05A	N19° 07.780' W98° 39.157'	3982 m	1.7	86	159	13
IJU-05B	N19° 07.780' W98° 39.157'	3982 m	2.2	93	166	20
IJU-06	N19° 08.126' W98° 39.081'	3982 m	2.5	97	170	24
IJU-07	N19° 08.122' W98° 39.081'	3988 m	2.2	93	166	20
IJU-08	N19° 08.120' W98° 39.085'	3984 m	3.7	112	185	39
IJU-09	N19° 08.120' W98° 39.085'	3985 m	1.7	86	159	13
IJU-10	N19° 08.110' W98° 39.077'	3982 m	7.1	156	230	83
IJU-11	N19° 08.109' W98° 39.078'	3985 m	6	142	215	69
IJU-12A	N19° 08.107' W98° 39.078'	3980 m	2.5	97	170	24
IJU-12B	N19° 08.107' W98° 39.078'	3980 m	3.5	110	183	37
IJU-12C	N19° 08.107' W98° 39.078'	3980 m	3.3	107	180	34
IJU-13	N19° 08.103' W98° 39.084'	3975 m	8	168	241	95
IJU-14	N19° 08.078' W98° 39.106'	3965 m	7.3	159	232	86
IJU-15	N19° 8'43.53" W98°38'41.66"		2.9	102	175	29
IJU-16	N19° 08' 49.8" W98° 38' 35.4"	4108 m	4.2	119	192	46
IJU-17	N19° 08.836' W98° 38.585'	4143 m	5.4	134	207	61
IJU-18	N19° 08.836' W98° 38.586'	4148 m	1.7	86	159	13
IJU-19	N19° 08.847' W98° 38.584'	4154 m	3.5	110	183	37
IJU-20	19° 8'36.39"N 98°38'33.03"O		9.5	188	261	115
IJU-21	19° 8'36.39"N 98°38'33.03"O		1.1	78	151	5
IJU-22	19° 8'37.22"N 98°38'33.02"O		4	116	189	43

IJU-23	19° 8'37.06"N 98°38'33.26"O		10.5	201	274	128
IJU-24	19° 8'36.04"N 98°38'32.65"O		5.5	136	209	63
IJU-25	19° 8'35.04"N 98°38'32.54"O		5.2	132	205	59
IJU-26	19° 8'35.04"N 98°38'32.54"O		5.2	132	205	59
IJU-27	19° 8'34.90"N 98°38'32.60"O		12.2	223	296	150
IJU-28	19° 8'35.01"N 98°38'33.21"O		5.8	140	213	66
IJU-29	19° 8'35.01"N 98°38'33.21"O		5.1	130	204	57
IJU-30	19° 8'34.36"N 98°38'32.81"O		5.7	138	211	65
IJU-31	19° 8'34.49"N 98°38'31.05"O		5.1	130	204	57
IJU-32	19° 8'33.13"N 98°38'30.97"O		9	181	254	108
IJU-33	19° 8'32.68"N 98°38'31.10"O		7.7	164	237	91
IJU-34	19° 8'32.59"N 98°38'31.11"O		5.7	138	211	65
IJU-35	19° 8'32.52"N 98°38'31.12"O		13	233	306	160
IJU-36	19° 8'32.52"N 98°38'31.12"O		23	364	437	290
IJU-37	19° 8'31.72"N 98°38'31.25"O		14	246	319	173
IJU-38	19° 8'31.63"N 98°38'31.28"O		13	233	306	160
IJU-39	N19° 07.946' W98° 38.448'	3812 m	5.1	130	204	57
IJU-40	N19° 07.946' W98° 38.448'	3812 m	3.4	108	181	35
IJU-41	N19° 08.005' W98° 38.407'	3946 m	3.2	106	179	33
IJU-42	N19° 08.009' W98° 38.408'	3976 m	2.2	93	166	20
IJU-43	N19° 08.009' W98° 38.408'	3976 m	1.2	80	153	7
IJU-44	N19° 08.013' W98° 38.405'	4010 m	1.4	82	155	9
IJU-45	N19° 08.017' W98° 38.403'	4010 m	2.4	95	168	22
IJU-46	N19° 08.042' W98° 38.391'	4014 m	2.6	98	171	25
IJU-47	N19° 08.074' W98° 38.344'	4038 m	2.2	93	166	20
IJU-48	N19° 08.099' W98° 38.331'	4098 m	11.5	214	287	141
IJU-49	N19° 08.099' W98° 38.331'	4098 m	0.7	73	146	0
IJU-50	N19° 08.099' W98° 38.331'	4098 m	12.5	227	300	154
IJU-51	N19° 08.099' W98° 38.331'	4098 m	8.8	179	252	106
IJU-52	N19° 08.099' W98° 38.331'	4098 m	2.8	101	174	27
IJU-53	N19° 08.099' W98° 38.331'	4098 m	0.9	76	149	3

IJU-54	N19° 08.099' W98° 38.331'	4098 m	3	103	176	30
IJU-55	N19° 08.187' W98° 38.369'	4080 m	2.2	93	166	20
IJU-56	N19° 08.190' W98° 38.370'	4082 m	2.3	94	167	21
IJU-57	N19° 08.197' W98° 38.365'	4090 m	0.8	74	148	1
IJU-58	N19° 08.214' W98° 38.384'	4095 m	2.3	94	167	21
IJU-59	N19° 08.207' W98° 38.335'	4111 m	3.6	111	184	38
IJU-60	N19° 08.206' W98° 38.335'	4114 m	4.9	128	201	55
IJU-61	N19° 08.205' W98° 38.334'	4112 m	3.6	111	184	38
IJU-62	N19° 08.204' W98° 38.334'	4113 m	4.7	125	198	52
IJU-63	N19° 08.198' W98° 38.335'	4113 m	10.4	199	273	126
IJU-64	N19° 08.197' W98° 38.333'	4115 m	5	129	202	56
IJU-65	N19° 08.192' W98° 38.336'	4110 m	6	142	215	69
IJU-66	N19° 08.192' W98° 38.334'	4110 m	6.9	154	227	81
IJU-67	N19° 08.186' W98° 38.331'	4106 m	4.2	119	192	46
IJU-68	N19° 08.186' W98° 38.331'	4106 m	4.3	120	193	47
IJU-69	N19° 08.182' W98° 38.331'	4107 m	2.8	101	174	27
IJU-70	N19° 08.182' W98° 38.331'	4107 m	3	103	176	30
IJU-71	N19° 08.175' W98° 38.328'	4104 m	3.8	114	187	40
IJU-72	N19° 08.154' W98° 38.322'	4106 m	1.9	89	162	16
IJU-73	N19° 08.156' W98° 38.316'	4112 m	0.5	71	144	-3
IJU-74	N19° 08.152' W98° 38.256'	4126 m	7	155	228	82
IJU-75	N19° 08.165' W98° 38.255'	4134 m	2.1	91	164	18
IJU-76	N19° 08.201' W98° 38.282'	4132 m	1.1	78	151	5
IJU-77	N19° 08.217' W98° 38.326'	4122 m	1.4	82	155	9
IJU-78	N19° 08.223' W98° 38.327'	4122 m	4.2	119	192	46
IJU-79	N19° 08.224' W98° 38.331'	4121 m	5.4	134	207	61
IJU-80	N19° 08.218' W98° 38.328'	4123 m	0.9	76	149	3
IJU-81	N19° 09.039' W98° 38.903'	4200 m	4.9	128	201	55
IJU-82	N19° 08.835' W98° 39.157'	4171 m	6	142	215	69
IJU-83	N19° 08.834' W98° 39.161'	4167 m	14.3	250	323	177
IJU-84	N19° 08.833' W98° 39.156'	4168 m	3	103	176	30

IJU-85	N19° 08.836' W98° 39.175'	4161 m	4	116	189	43
IJU-86	N19° 08.836' W98° 39.175'	4161 m	1.9	89	162	16
IJU-87	N19° 08.836' W98° 39.175'	4161 m	2.2	93	166	20
IJU-88	N19° 08.835' W98° 39.177'	4160 m	2.9	102	175	29
IJU-89	N19° 08.835' W98° 39.177'	4160 m	4.4	121	194	48
IJU-90	N19° 08.833' W98° 39.180'	4159 m	2.5	97	170	24
IJU-91	N19° 08.833' W98° 39.180'	4159 m	5.6	137	210	64
IJU-92	N19° 08.826' W98° 39.183'	4153 m	3.1	104	178	31
IJU-93	N19° 08.829' W98° 39.177'	4154 m	2.6	98	171	25
IJU-94	N19° 08.827' W98° 39.236'	4141 m	7.5	162	235	89
IJU-95	N19° 08.827' W98° 39.236'	4141 m	5.7	138	211	65
IJU-96	N19° 08.823' W98° 39.236'	4142 m	9.7	190	263	117
IJU-97	N19° 08.823' W98° 39.236'	4142 m	4	116	189	43
IJU-98	N19° 08.819' W98° 39.235'	4139 m	9.4	186	260	113
IJU-99	N19° 08.828' W98° 39.228'	3924 m	8.3	172	245	99
IJU-100	N19° 08.828' W98° 39.228'	3924 m	3.5	110	183	37
IJU-101	N19° 08.821' W98° 39.231'	3966 m	4.9	128	201	55
IJU-102	N19° 08.824' W98° 39.229'	4004 m	13.5	240	313	167
IJU-103	N19° 08.828' W98° 39.224'	4095 m	5.2	132	205	59
IJU-104	N19° 08.831' W98° 39.225'	4114 m	3.3	107	180	34

Datos de muestras IZJ con número de anillos y valores morfométricos del sitio

CLAVE	ANILLOS	ALTIMETRÍA	PENDIENTE	ORIENTACIÓN	GEOMETRÍA PLANO	GEOMETRÍA PERFIL	RADIACIÓN SOLAR	ACUMULACIÓN
IZJ-02	52	3995	20	207	6482050000	-3889230000	1139390	5
IZJ-05	148	4027	12	225	11009500000	-9733050000	859520	1
IZJ-07	82	4027	23	173	5313290000	127647000	820054	2
IZJ-08	130	4023	36	172	5313290000	127647000	820054	2
IZJ-09	174	4080	26	238	10432300000	-5124640000	1429420	1
IZJ-100	150	4019	38	174	-8829610000	1541680000	873528	12
IZJ-101	364	4030	50	159	15800500000	-4942120000	874652	3
IZJ-103	253	4051	56	171	10740700000	5555030000	932940	2
IZJ-105	279	4028	50	162	5482810000	297171000	1092080	2
IZJ-106	534	4023	49	162	5482810000	297171000	1092080	2
IZJ-107	347	4017	47	163	12242000000	-3314960000	1021770	3
IZJ-108	335	4017	47	163	12242000000	-3314960000	1021770	3
IZJ-109	217	4023	49	162	5482810000	297171000	1092080	2
IZJ-110	329	4017	47	163	12242000000	-3314960000	1021770	3
IZJ-111	279	4032	49	165	6256140000	1070490000	1180460	0
IZJ-112	184	4033	49	171	6256140000	1070490000	1180460	0
IZJ-113	325	4028	48	174	6256140000	1070490000	1180460	0
IZJ-114	434	4028	48	174	6256140000	1070490000	1180460	0
IZJ-115	482	4028	48	174	6256140000	1070490000	1180460	0
IZJ-117	358	4029	46	183	6256140000	1070490000	1180460	0
IZJ-13	174	4092	44	166	4194270000	-6177020000	716162	2
IZJ350	288	4102	23	205	1488300000	1488300000	873576	16
IZJ-354y355	302	4256	45	230	12572000000	2200740000	2427980	1
IZJ-36	372	4219	45	140	14519800000	4148510000	1754380	0

IZJ-365	150	4233	44	229	8213700000	3028060000	2407630	0
IZJ-367	212	4236	22	115	20618300000	-124313000	1697250	0
IZJ-370	196	4229	35	145	12155100000	6969500000	1280440	1
IZJ-40	224	4179	15	192	6007130000	-9549800000	2002550	1
IZJ-401	257	4148	10	187	8376810000	-1994480000	1364670	0
IZJ-402	131	4140	28	153	11349700000	-4207220000	1098260	0
IZJ-403	139	4129	16	89	5185640000	-5185640000	402535	0
IZJ-404	109	4129	14	94	10371300000	0	682669	0
IZJ-406	102	4129	17	173	6329530000	-4041750000	1275330	1
IZJ-41	264	4181	19	155	20132500000	-10981400000	1745280	0
IZJ-410	270	4116	16	159	11303500000	-4253390000	1294630	7
IZJ-411	170	4117	15	161	4335540000	-850105000	1430730	3
IZJ-413	174	4067	43	255	-1037130000	-1037130000	736844	14
IZJ-416	146	4100	39	3	3969010000	-6402270000	1562580	2
IZJ-420	144	4128	14	136	18448900000	-2293650000	2254390	0
IZJ-421	136	4122	23	177	3534160000	-1651480000	1818340	0
IZJ-423	153	4082	19	242	13482700000	3111390000	2088350	0
IZJ-427	164	4166	5	29	14260500000	-6482050000	1704890	2
IZJ-45	170	4181	34	144	6222770000	-9334160000	67935	0
IZJ-51	68	4146	15	273	0	-15556900000	476805	2
IZJ-77	243	4159	22	57	5185640000	5185640000	1991880	0
IZJ-78	324	4060	37	314	2489110000	2489110000	1104240	11
IZJ-90	118	4252	47	226	13232300000	-2324600000	2427120	0

**COEFICIENTE DE
CORRELACIÓN CON LA
VARIABLE ANILLOS**

ALTIMETRÍA	PENDIENTE	ORIENTACIÓN	GEOMETRÍA PLANO	GEOMETRÍA PERFIL	RADIACIÓN SOLAR	ACUMULACIÓN
-0.26	0.55	0.016	0.13	0.30	0.002	0.021