



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

ANATOMÍA FOLIAR DE ALGUNAS ESPECIES DE *YUCCA*
(ASPARAGACEAE: AGAVOIDEAE) CON DISTRIBUCIÓN
SEPTENTRIONAL Y MERIDIONAL

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGO

PRESENTAN:

ITZEL ARIAS JUÁREZ

KEVIN OSVALDO LARA GALICIA

DIRECTORA DE TESIS:

M. en C. MARÍA MAGDALENA AYALA HERNÁNDEZ

ASESORES

Dr. GILBERTO ALEMÁN SANCHESCHÚLZ

M. en C. HÉCTOR SERRANO CASAS



CIUDAD DE MÉXICO, ABRIL DE 2023.



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.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Máxima Casa de Estudios, la **Universidad Nacional Autónoma de México** y a la **Facultad de Estudios Superiores Zaragoza** por darnos las herramientas para formarnos como personas y profesionales dentro de sus aulas, para aprender de sus profesores e investigadores a lo largo de todos estos años. Así como darnos la oportunidad de conocer a personas increíbles que hasta la fecha han dejado huella en nuestra vida. Nos sentimos agradecidos por las experiencias y el conocimiento que nos ha brindado la UNAM, son parte de nosotros y lo atesoraremos siempre.

A la **DGAPA-PAPIIT** convenio **IN214318** por apoyar este proyecto.

De Itzel al Dr. Eloy Solano por acercarme en primera instancia a la botánica, tenía una visión muy limitada de lo que es esta área de la biología y lo increíble que son las plantas, fue gracias a sus clases que creció mi interés y curiosidad. Por aceptarme en la unidad de investigación donde no solo compartió su conocimiento, sino que también me aconsejó y me enseñó a no conformarme, ni ser mediocre, a no quedarme con dudas y siempre ser mejor, no solo como profesional sino también como persona, haciendo que perdiera el miedo y tomara valor para lograrlo. Por su invaluable tiempo, paciencia y confianza, ya que a pesar de los numerosos alumnos y compromisos que tenía, creyó en mis capacidades para trabajar por mi cuenta cuando era necesario y aun así siempre estuvo disponible y al pendiente de mis avances y problemas. Las experiencias en las clases, laboratorio y en campo fueron únicas, cada una con una enseñanza, son y serán de los recuerdos más bonitos, Soy afortunada de poder ser parte de los profesionales que formó, a los que nos transmitió con su característico sentido del humor su pasión por las plantas, la sistemática y la investigación. Estoy profundamente agradecida por haber sido alumna de uno de los investigadores más admirables del país y haber conocido a una gran persona.

De Kevin al **Dr. Eloy Solano Camacho†** por enardecer mi amor por la botánica, por haberme aceptado en la Unidad de Investigación en Sistemática Vegetal y Suelo, por ser mi mentor y consejero de vida. Me aflige profundamente que no pueda estar en mi examen profesional para felicitarlo o regañarlo, pero en lo profundo de mi corazón me reconforta saber que confiaba en que sin importar las circunstancias podríamos lograrlo. Lidar con su pérdida no fue fácil, pero estoy eternamente agradecido porque me permitió trabajar con usted, por la confianza que depositó

en mí, por ser un ejemplo que seguir de integridad profesional, por esos días trabajando hasta las 2 de la mañana, por cada una de las salidas al campo donde me enseñó todo lo que sé, así como transmitirme su pasión y libertad que sentía en cada una. Desde el momento en que lo conocí me puso a prueba, fueron años donde nunca estuve en mi zona de confort, donde abundaron los regaños y fueron contadas las veces en las que llegó a felicitarme, pero incluso eso lo aprecié con el tiempo porque comprendí que confiaba firmemente en que podría superarme y su único deseo era que nunca fuera una persona conformista. Al final considero que no existen palabras para agradecer todo lo que me dio, pero su manera de transmitir el infinito afecto que tenía por la botánica, su inigualable y peculiar sentido del humor, así como su trayectoria y pensamientos prevalecerán por siempre en la comunidad Botánica, en sus alumnos, en sus conocidos y sin lugar a duda en mí. ¡Póngase chango «Doc»! que yo lo haré por mi parte, es hora de continuar adelante y despedirme. Si existe un lugar al que vamos a parar después de la muerte espero se encuentre rebosante de felicidad, en un eterno campo de *Polianthes* y ¿Por qué no? un buen y sabroso mezcal.

A la **Dra. María Magdalena Ayala Hernández** por ser una gran fuente de inspiración en la botánica, le estamos profundamente agradecidos por acogernos en un momento difícil, por todo el apoyo que nos ha brindado a lo largo del trayecto, dedicándonos parte crucial de su tiempo, por su infinita paciencia respondiendo a cada una de nuestras dudas, recordándonos nuestros aciertos y ayudándonos a comprender como aprender de nuestros errores, así como alentándonos a incursionar en nuevos retos como el XXII Congreso de Botánica y en la vida misma. A lo largo de este último año nos ha dejado como herencia ser grandes investigadores y excelentes personas, ha logrado transmitirnos su pasión y alegría por la botánica. Esperamos seguir colaborando con usted en algún futuro.

Al **Dr. Gilberto Alemán Sancheschúlz** por toda su ayuda en la elaboración de este trabajo porque sin conocernos nos ofreció su apoyo, arrojando luz sobre este trabajo con sus observaciones y experiencia, dándonos otra perspectiva en el área de la anatomía para tratar de siempre obtener los mejores resultados. Por enseñarnos que siempre hay más de una solución a los problemas que se presentan en el camino, además de alentarnos en la ruta de la ciencia y la investigación. Sin su ayuda y conocimiento nada de esto hubiera sido posible.

Al **M. en C. Héctor Serrano Casas** quien siempre confió en nosotros para trabajar por nuestra propia cuenta, pero sin abandonarnos, permaneciendo atento ante nuestras dudas, problemas y

estando siempre en la disposición de ayudarnos, así como darnos las bases para incursionar en el vasto mundo de la anatomía. Por enseñarnos que para resolver problemas se debe tener creatividad e ingenio, ya que no todas las respuestas se encuentran dentro de un manual, a veces hay que improvisar. Pero sobre todo por transmitirnos su positividad y buena actitud ante la vida.

A la **Dra. Ana María Soriano Martínez** y al **Dr. Jorge Reyes Rivera** por dedicar su tiempo en la revisión de esta tesis y brindarnos los aprendizajes que enriquecieron el presente estudio, además de compartir sus conocimientos, consejos y experiencias que lograron abrir nuestras perspectivas respecto a esta investigación.

Al **M. en C. Ramiro Ríos Gómez** por su infinito apoyo durante las salidas al campo, gracias a su experiencia fue posible recolectar la mayoría de los ejemplares de esta investigación, por compartir sus conocimientos en las aulas y en el laboratorio, además de siempre mantenerse atento de nosotros, por transmitirnos su vivacidad en el campo, así como las anécdotas y experiencias únicas que jamás olvidaremos.

Al **M. en C. Faustino López Barrera** por apoyarme, por su confianza y por siempre estar al pendiente de mi trabajo, sin su ayuda no hubiera sido posible seguir avanzando. Así como por las agradables charlas y experiencias compartidas con usted durante las salidas al campo, que lograron hacer mejorar tras cada salida un poco más.

A la **Q. F. I. María de la Luz López Martínez** por su enorme apoyo durante nuestra estancia en el herbario, por facilitarnos los herramientas de trabajo durante las salidas al campo y del laboratorio, así como mantener en buen estado el equipo, por preocuparse por el avance de nuestro trabajo y animarnos en los momentos de mayor dificultad, muchísimas gracias, maestra.

Agradecemos especialmente a **Karen Clary** por su enorme ayuda durante las salidas al campo, al equipo del herbario "*Desert Botanical Garden*" en Phoenix, Arizona, al curador del herbario **Andrew Salywon**, al curador de colecciones vivientes **Raúl Puente**, a la curadora emérita del herbario **Wendy Hodgson**, así como a la directora de horticultura y conservación del desierto **Kimberlie McCue** quienes colaboraron con la secuenciación del genoma de cada especie, la recolección de ejemplares botánicos de la colección viva y en las salidas al campo, además de enviar las muestras desde Estados Unidos a México que nos permitieron realizar este trabajo.

Al Biólogo José Luis Guzmán Santiago por aconsejarme y orientarme desde que entre a la universidad, enseñándome a ser más analítica no solo en mis estudios sino también en mi día a día. Las experiencias que me brindó en el laboratorio y mi primera salida a campo fueron lo que me motivó durante la carrera.

A los profesores que me guiaron en el camino de la botánica, Rojas Chávez Sonia, Castillejos Cruz Carlos, Romero Arredondo Juan, cada uno me enseñó que las plantas son increíbles y complejas, por lo tanto, la importancia de estudiarlas tanto en su composición y funcionamiento, así como la dinámica que tienen con su entorno. Estoy muy agradecida por los hermosos paisajes que viví en campo y los que no podía ver a simple vista, pero fue posible apreciarlos en el laboratorio.

A la **Maestra Martha Millán Toledo** por acercarme al vasto mundo de la música, por tener la paciencia y dedicación para formarme desde cero, fue gracias a sus clases que mi interés y amor por la música floreció, desde aquel entonces la música se convirtió en mi refugio en los días más oscuros, no existen palabras para explicar lo que hoy en día significa cantar para mí, lo que implica escuchar de verdad cada sonido y dejarte envolver por el ritmo, la intensidad y los silencios que cada canción implica, gracias por legarme una de mis más grandes pasiones.

Mi profundo agradecimiento a Kevin, por su compañía, paciencia, dedicación y su amistad, sé que tuvimos muchos altibajos, sin embargo, permaneciste firme por los dos a lo largo de este proyecto, me enseñaste muchas cosas como ser humano y como profesional, y te admiro muchísimo por eso. Vivimos muchas experiencias a lo largo de este tiempo, hubo muchas risas, y emociones, ambos pasamos por momentos complicados pero el tener con quién compartirlos lo hizo más fácil, por ello llevaré esos días con cariño en mi memoria.

A **Itzel** por haberme acompañado a lo largo de este trabajo, por el apoyo que me brindaste durante estos años, por las experiencias que compartimos durante las salidas al campo, por ofrecerme tu amistad tanto en la carrera como en el laboratorio, por aquellos momentos que vivimos con el Doc, aprendiendo anatomía desde cero o identificando plantas. Gracias por aguantarme durante estos años, por todas las mañanas de trabajo arduo e igual por todos los días que llegaste tarde (También cuentan). Han sido años difíciles en muchos sentidos, pero al final de todo el viaje ha dado frutos. Aunque no lo parezca sabes que te aprecio, así que nunca dejes de creer en tus sueños, después de casi cuatro años en el labo por fin puedo decirte ¡Lo logramos!

DEDICATORIAS

De Itzel:

Le dedico con todo mi corazón este trabajo a mi madre quien siempre me apoyo de todas las maneras posibles, sin ella y su gran esfuerzo no sería la persona que soy, siempre has velado por mí y mis sueños, tu amor, tus consejos y enseñanzas me dieron la luz que necesitaba en mis días más grises. Gracias por todo, las palabras no hacen justicia para decirte lo mucho que te quiero y lo importante que es para mí leer este trabajo.

A mi increíble hermana que se desvelaba conmigo los finales de semestre y me mantenía despierta, que me ayudaba con mis deberes para que yo pudiera terminar mi tarea. Mi persona favorita quien me escuchaba y me soportaba en mis días buenos y malos, mi incondicional, que me recordaba que también debía descansar y divertirme, que no todo es perfecto y está bien que no lo sea.

También le quiero dedicar este trabajo a mi familia principalmente a mi tía Tere sé que querría estar aquí y verme culminar este proyecto, donde quiera que estés espero te sientas orgullosa de mí. A mi abuela quién siempre ha estado pendiente de este trabajo y no ha dejado de desear los mejores resultados posibles. A mis tíos Félix y Carlos, mis tías Estela, Laura, Maribel y Beatriz; soy afortunada por tener el apoyo de gente tan maravillosa que siempre me ha motivado a crecer y me ha auxiliado cuando más lo he necesitado. A mi papá por estar pendiente a pesar de la distancia y el tiempo y darme palabras de aliento.

A mis amigos, Andrea quién fue compañera y cómplice durante casi toda la carrera, una buena influencia y una persona increíble; a Karina, Natalia, Roxana, Ariadna, y Miguel, coincidir con ustedes marco una diferencia en mi vida, a pesar de lo diferentes que somos me han ayudado a ser mejor persona y su amistad me ha aportado muchas enseñanzas y momentos que jamás olvidare; a Chayan, Eduardo, Erick, Saraí, Rafael, Luis, y Ernesto por su paciencia y enseñanzas en el laboratorio, por los días de pizza y las desveladas en campo, por hacer mejor la experiencia de este trabajo. Finalmente, a mis mejores amigos Yaneth, Brandon, Arturo y Fanny, quienes han estado conmigo gran parte de mi vida, dándome ánimos en cada paso que doy.

Gracias a la carrera conocí muchas personas increíbles y este trabajo también es para quienes no menciono, pero llevo en mi corazón.

De Kevin:

A mi madre **Maria Emelia Galicia Hernández** y a mi padre **Oswaldo Lara Miranda** quiénes me dieron la vida, además de transmitirme su material genético, ustedes contribuyeron con mi formación personal, porque a pesar de las adversidades nunca dejaron de apoyarme y me dieron su amor absoluto e incondicional, puede que a veces no compartamos los mismos puntos de vista, sin embargo, agradezco ese impulso que me han proporcionado durante toda mi vida, alentándome a superarme cada día, enseñándome indirectamente el valor de la independencia, la madurez y la fortaleza. Se que no soy una persona fácil con ustedes, pero a pesar de eso jamás duden de que los amo con todo mi corazón y siempre estaré para apoyarlos. Gracias por todo lo que han hecho por mí hermana y por mí, gracias por legarme parte de mis más grandes pasiones como lo son los libros y los videojuegos, gracias por impulsarme a conocer el mundo por mí mismo y por todas las vivencias hasta la fecha. Aun así, no creó que alcancen las palabras para agradecerles por todos sus sacrificios. Este trabajo también de ustedes. ¡Gracias por todo a los dos!

A mi hermana **Michelle Lara Galicia** por toda la paciencia y el amor que me tienes, siempre he creído que no he podido enseñarte muchas cosas, pero ten por seguro que nunca te faltará mi apoyo, amor, comprensión, y consejos. Sigamos compartiendo momentos juntos y nunca dejes que nada o nadie apague esa luz con la que ves el mundo de una manera tan singular.

A mi abuelita **Alicia Miranda Rivera†** por ser una segunda madre para mí, por las anécdotas que me compartió en aquellos días mientras yo estudiaba, por todas las películas que vimos juntos, además de legarme su amor, conocimiento, así como su admiración por las plantas y animales. Nunca olvidaré aquellas ocasiones donde me diste mis comidas favoritas, tus abrazos siempre alegraron cada uno de mis días, desearía haber podido verte una vez más, pero aun así agradezco cada uno de los años y momentos que la vida nos permitió compartir. A mi abuelito **Marin Lara Aguilar†** por siempre creer que podía lograr lo que me propusiera y por aquellos regaños que formaron mi carácter, a pesar de la distancia que tuvimos durante muchos años, espero que sepas que tu ausencia nunca provocó que te olvidaré ni dejaré de quererte. Gracias a los dos por acompañarme durante la mayor parte del trayecto y darme muchos recuerdos que atesoraré toda mi vida. A pesar de que ya no estén físicamente conmigo, quiero que sepan que los llevaré en cada fibra de mi ser toda la vida.

A mi abuelita **María Candelaria Hernández Siles** por ser una tercera madre para mí, por amarme tanto y siempre estar pendiente de mí, por alegrar mi vida, por transmitirme su admiración por las aves y nunca dejar de consentirme a pesar del transcurso del tiempo. Jamás olvidaré esos años de mi infancia jugando en tú jardín ni de todos los buenos recuerdos que me has dejado hasta este momento de mi vida.

A mi segunda familia que son mis tíos **Lupita Román Guzmán** y **Enrique Lara Miranda** por creer en mí, por apoyarme a lo largo de toda mi formación, por ser un modelo que seguir como profesionistas, por todos los consejos y apoyo que me han dado, manteniéndose atentos a mis avances, por las reuniones familiares o fiestas que lograron despejar mi mente de la presión académica, así como de mis momentos de incertidumbre y tristeza. Me demostraron que tus sueños se pueden alcanzar sino dejas de perseguirlos y te mantienes trabajando arduamente en ellos. Gracias por eso y más. Así como a mis primos **Liz, Brandon** y **Caro** por todos los momentos, viajes y risas que hemos compartido. Sería difícil imaginar mi vida sin todos esos momentos que se volvieron un gran soporte emocional para mí. Agradecimientos especiales para **Brandon** por compartir esa locura por los videojuegos y aquellas tonterías de las que siempre nos reímos. ¡Los quiero muchísimo a los cinco, nunca lo olviden!

A mis tíos **Anselmo, Miguel, Abel, Rene, Sinuhé** y **Lomelí** quiénes me han enseñado a seguir adelante pese a las circunstancias, me han dejado valiosas enseñanzas de vida y con quiénes he disfrutado cada momento a su lado, incluso aunque con algunos este separado por miles de kilómetros los aprecio como no tienen una idea. Gracias por toda la confianza que depositaron en mi desde que tengo memoria y hasta la actualidad, pero sobre todo gracias por legarme el coraje de afrontar la vida sin miedo ni arrepentimientos.

A mi tío Carlos, a mi tía Raquel y Judith, al igual que mis primos Nalle, Mayra y Joel por formar parte del camino y apoyarme.

A mi **pequeña Lu** por haberme acompañado a lo largo del trayecto, gracias a ti creó que las casualidades existen, la mejor prueba de ello es que te conocí el día que cumplí 15 años y desde entonces ha transcurrido una década. Sin embargo, nunca esperé que te convertirías en una de las personas que mejor me conoce en la vida, abriéndote mi corazón para que pudieras conocerme cada día un poco más. Juntos hemos experimentado la felicidad y la tristeza, transitando por momentos buenos al igual que instantes malos, no obstante, podría jurar que la mayoría han valido

la pena. Por enseñarme a valorar los pequeños momentos de la vida, dejar de concentrarme en el futuro y permitirme gozar el presente viviendo un día a la vez, porque la vida es tan efímera como cualquier mal rato que pases. Gracias a ti logré crecer en diferentes aspectos de mi vida, por alentarme con tu peculiar manera para eliminar la pena de mi ser (*Biology Things* es la prueba), ofrecerme otras perspectivas de la vida y permitirme sacar todo lo que me hacía daño en la vida. Me has transmitido la amabilidad, la empatía, la valentía, la seguridad, la paciencia e incluso hacerme apreciar la belleza de la soledad. ¿Habrá algo en esta vida que no hayamos compartido? A decir verdad, no conozco la respuesta, pero si Dios o alguna especie de poder superior existe solo deseo que nos permita compartir un libro más, una canción más que escuchar juntos, una película más que ver, una aventura más a tu lado, solo un día más... La culminación del amor es el dolor. Y aun así amamos, a pesar de lo inevitable, abrimos nuestros corazones. Siempre caminaremos juntos Lu. Siempre serás parte de mí. Siempre seré parte de ti. Un pequeño Kevin te mira sinceramente a los ojos para agradecerte por todo aquello para lo que no existen suficientes palabras para poder expresarlo. *Call it magic, Call it true, I call it magic, When I'm with you... 🎵*

A mi **pequeña Adamari** porque contigo aprendí que los amigos son la familia que tú eliges, por ser mi confidente y una de mis mejores amigas. Por todas aquellas cosas que hemos compartido desde finales del primer semestre y después de la carrera, por hacer algo tan simple como invitarme un café (obvio sin azúcar) que inició nuestra primera plática. Por tu firmeza frente a las cosas, una cosa que nunca te he dicho fue que me ayudaste a madurar. Estoy seguro de que te tocaron mis peores y mejores momentos, pero gracias por quedarte en uno de los momentos más bajos de mi vida, por escucharme, por darme un abrazo, por cada uno de tus detalles, por hacer algo tan sencillo como escribir una nota para calmarme y decirme que no era el fin del mundo. Tu sentido del humor y tu forma de ver la vida se encargaron de iluminar mi vida en los momentos más oscuros, y con ello te volviste un soporte fundamental para mí vida. Hemos pasado por tantas cosas, hemos tenido nuestros problemas y pese a todo aquí seguimos después de 7 largos años. Y espero que así continuemos durante muchos años más. Te amo tres millones y mucho más. *Cuando brilla el sol a 15 metros del núcleo terrestre contigo, todo es más chido. 27-08-2018*

A **Yered** porque a pesar del “poco” tiempo que llevo conociéndote he logrado encontrar una amistad sincera, por esas pequeñas charlas que lograron despejar mi mente del estrés de la tesis y por ese meme que logró sacarme una buena carcajada. Agradecimientos especiales porque su

pobre carro soportó a Kevin el desorientad, aunque eso sí puedo prometer que no sucederá de nuevo.

A **Víctor** por ser ese amigo que no sabía que necesitaba durante la carrera, porque la vida da muchas vueltas y aunque me eliminaste de tus amigos pensando que nuestra amistad sería algo efímero, resultó ser todo lo contrario. Desde entonces ha sido agradable contar contigo y conversar sobre libros, videojuegos o cualquier tragedia que atormenta nuestra vida como si fuera la cosa más natural del mundo. Te lo he dicho miles de veces, pero sabes que te aprecio demasiado en mi vida.

A **Roberto** por todos los momentos que compartimos a lo largo de la carrera y por permitirte trabajar con nosotros en los inicios de *Biology Things*, por todas tus charlas y anécdotas que siempre llegaron a sacarme una sonrisa de felicidad. Te quiero Rob.

De hecho, un agradecimiento enorme para **ustedes 6** quienes apoyaron la página desde sus inicios, por creer en ella, por trabajar con nosotros y por darle aquel impulso que necesitaba.

A ti **Andy** por ser mi amiga desde los inicios de la carrera, por apoyarme en un momento de mi vida donde ni siquiera me sentía bien conmigo mismo, por tranquilizarme en los momentos que fue necesario y ayudarme a que mis problemas no me superarán. ¡Te quiero mucho!. A ti **Aline** por demostrarme que el tiempo y la distancia no importan, que podemos seguir hablando igual que cuando nos conocimos, por ayudarme a lidiar con mi pesimismo y siempre transmitirme esa positividad ante las adversidades. ¡Te quiero mucho!

A **Braulio** por toda la serie de eventos desafortunados que ocasionaste, fue gracias a ti que aprendí el significado del perdón y reconocer tus errores para permitirme seguir avanzando. Por tenderme una mano, aunque ni siquiera fuera tu responsabilidad, por dedicar tu tiempo a escucharme, por ayudarme en mi crecimiento personal y encontrar la paz que había perdido. Te quiero hermano.

Al resto de mis amigos que me acompañaron a lo largo de la carrera, aunque no les escriba lo que significan para mí, saben que son una parte fundamental y sin ustedes la carrera no habría sido lo mismo: **Bryan, Eduardo Cuasi, Jesús, Eduardo Bernabé, Viri, César, Vickys, Abi, Karina, Rox, Jess, Monserrat, Sergio y Neft** ¡gracias por todo!.

A **Luis** y **Ernesto** por ser los maestros que me guiaron en la botánica desde que llegué al laboratorio, por transmitirme su conocimiento y siempre tener paciencia al enseñarme. Pero sobre todo por ofrecerme su amistad, por todas las anécdotas que vivimos en campo tratando de recolectar plantas, por siempre demostrar su interés por cómo iba con la tesis, por su inigualable humor que en más de una ocasión llegó para arrancarme una risa y por convertirse en mis modelos a seguir en este campo, gracias a eso me inspiraron a seguir adelante y no rendirme, por último, gracias por permitirme conocer su peculiar forma de ver la vida. Agradecimientos especiales para **Yulet** por formar parte del club de los mustios, aunque nunca platicamos demasiado estoy agradecido por todo lo que me enseñaste. Para ti **Luis** por permitirme trabajar contigo en Puebla, esa salida me permitió recobrar las fuerzas para terminar este trabajo y al final por esas divertidas partidas en Fortnite donde defendimos nuestro honor y al final obtuvimos la victoria.

A ti **Adriana** por tu amistad y apoyo desde que llegué al laboratorio, por todos los libros que hemos compartido, por todas aquellas charlas motivadoras que me ayudaron a no abandonar la tesis, por escuchar mis problemas, aconsejarme y estar presente en varios momentos difíciles, por ayudarme a ser una mejor persona y no sobre pensar demasiado cualquier problema, nunca permitiste que mi ánimo decayera y eso lo agradezco infinitamente. Eres la favorita.

A mis “alumnos” del laboratorio, el doctor Eloy solía decir que sus alumnos eran su principal motivo de superación profesional, me costó años comprender verdaderamente a que se refería: **Rafa, Chayan, Lalo Kai, Cristián, Sergio, Erik, Lizbeth, Monse, Ángel, Sebastián “Cholo”, Viri, Brenda, Kenia, Mariana y Clau** muchas gracias por permitirme enseñarles, fue un gran reto que me dio la posibilidad de seguir aprendiendo y llevarme algo positivo de cada uno de ustedes. Sin ustedes el laboratorio no hubiera sido lo mismo.

A **Erick “Uro”** por mostrarme tu increíble pasión por la botánica, por tus conocimientos y aquellas charlas que alegraron mis días o me ponían a pensar seriamente, por todos los momentos que compartimos durante la pandemia ya sea tomando una clase, determinando plantas, siendo regañados por el Doc o disfrutando una pizza, por depositar tu confianza en mí para pedir mi opinión respecto a los problemas que te afligían y por sobre todas las cosas también por encontrar una verdadera amistad en la recta final de la carrera.

A **Erik Arjona** y a **Bryan “Yamaoka”** por cada uno de los juegos que pasamos en dificultad máxima durante el trayecto de la tesis, fueron tiempos donde pasar un nivel siempre fue más difícil

que todos los problemas que surgieron día a día con mi trabajo y eso me dio el impulso necesario para nunca rendirme, llevo en el corazón cada una de nuestras pláticas, realmente fueron momentos de diversión pura donde olvidé todos los fiascos que sucedieron en mi vida. Desde la prepa y hasta hoy los quiero enormemente.

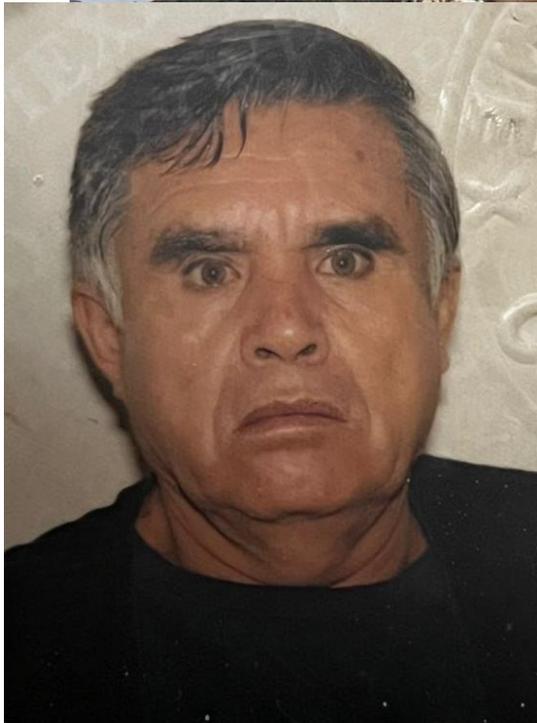
A **Javier “Gigio”, Isaac “Chacha” y Javier “Bau”** a quiénes considero como mis hermanos, gracias por su sincera amistad durante estos diez años, gracias por todos los momentos que compartimos durante la preparatoria y gracias por ser esas personas con las que puedo hablar de cualquier tema durante horas sin aburrirnos. Ustedes son con quiénes comparto muchos de los momentos más gratos de mi vida, desde risas incontenibles por el chiste más terrible que se nos pudo ocurrir, hasta debates sobre música, videojuegos, películas o sobre la vida misma. No hace falta decirlo, pero ¡los quiero un chingo!

A mis amigos del **“Coro de La Viga”**: **Rubí, Fernanda “Ferch”, Alan “Topo”, Esteban, Luis, Mario, José y Mary**, personas increíbles con las que me sentí parte de una familia y con las que compartí conciertos hermosos, al igual que la enorme pasión por la música y su magia.

A mis amigas de la prepa: **Lore, Glo, Daff, Isa y Celeste**, gracias por todos los bonitos recuerdos durante esos años y seguir aquí hasta hoy.

Y finalmente a las increíbles personas de **SIINAN**: **Juan, César, Dianita, Andy y Lulú** por indirectamente alentarme y darme las fuerzas para terminar este trabajo. Esa salida a Puebla fue mágica.

*A la memoria del Dr. Eloy Solano Camacho, mi abuelito
Marin Lara Aguilar y mi abuelita Alicia Miranda Rivera*



De mi cuerpo descompuesto crecerán flores, y yo estaré en ellas; eso es eternidad.

-Edward Munch-

"Sic parvis magna."

-Sir Francis Drake-

"El universo presenta una paradoja demasiado vasta para que una mente finita pueda abarcarla. El mayor misterio que presenta el universo no es la vida, sino el tamaño. Todo en el universo desmiente la nada, sugerir una conclusión a las cosas es una imposibilidad."

-Stephen King-

"El amor por todas las criaturas vivientes es el más noble atributo del hombre."

-Charles Darwin-

CONTENIDO

Páginas

RESUMEN	1
I INTRODUCCIÓN.....	2
II ANTECEDENTES.....	3
2.1 Historia taxonómica de <i>Yucca</i> L.	3
2.2 Estudios anatómicos en <i>Yucca</i> y géneros cercanamente relacionados.....	5
2.3 Distribución e importancia económica del género <i>Yucca</i>	9
2.4 Descripción taxonómica del género <i>Yucca</i>	10
III JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	11
IV OBJETIVO	11
5.1 Objetivo general.....	11
5.2 Objetivos particulares	11
V HIPÓTESIS.....	11
VI MATERIALES Y MÉTODOS.....	12
VII RESULTADOS	14
7.1 <i>Yucca aloifolia</i> L.....	14
7.2 <i>Yucca baccata</i> Torr.	16
7.3 <i>Yucca baileyi</i> Wooton & Standl.....	18
7.4 <i>Yucca brevifolia</i> Engelm.....	20
7.5 <i>Yucca campestris</i> McKelvey.....	22
7.6 <i>Yucca capensis</i> L. W. Lenz.....	24
7.7. <i>Yucca coahuilensis</i> Matuda & I. Piña	26
7.8 <i>Yucca constricta</i> Buckley	28
7.9 <i>Yucca decipiens</i> Trel.	30
7.10 <i>Yucca declinata</i> Laferr.	32
7.11 <i>Yucca elata</i> (Engelm.) Engelm.	34
7.12 <i>Yucca filamentosa</i> L.....	36
7.13 <i>Yucca gloriosa</i> L.....	38
7.14 <i>Yucca grandiflora</i> Gentry	40
7.15 <i>Yucca guatemalensis</i> Baker	42
7.16 <i>Yucca harrimaniae</i> Trel.	44

7.17 <i>Yucca jaliscensis</i> Trel.	46
7.18 <i>Yucca kanabensis</i> McKelvey	48
7.19 <i>Yucca muscipula</i> Ayala-Hern., Ríos-Gómez, E. Solano y García-Mend.....	50
7.20 <i>Yucca nana</i> Hochstätter	52
7.21 <i>Yucca necopina</i> Shinnery	54
7.22 <i>Yucca pallida</i> McKelvey.....	56
7.23 <i>Yucca reverchonii</i> Trel.....	58
7.24 <i>Yucca rupicola</i> Scheele.....	60
7.25 <i>Yucca schottii</i> Engelm.....	62
7.26 <i>Yucca thompsoniana</i> Trel.	64
7.27 <i>Yucca valida</i> Brandegees.....	66
7.28 <i>Yucca verdiensis</i> McKelvey.....	68
VIII DISCUSIÓN	76
IX CONCLUSIONES	84
X REFERENCIAS.....	86
XI APÉNDICES	102
Apéndice 1. Condiciones y localidades en las que crecen las especies analizadas del género <i>Yucca</i>	102
Apéndice 2. Caracteres mensurables analizados en las especies del género <i>Yucca</i>	107

CONTENIDO DE FIGURAS

	Páginas
Figura 1. <i>Yucca aloifolia</i>	15
Figura 2. <i>Yucca baccata</i>	17
Figura 3. <i>Yucca baileyi</i>	19
Figura 4. <i>Yucca brevifolia</i>	21
Figura 5. <i>Yucca campestris</i>	23
Figura 6. <i>Yucca capensis</i>	25
Figura 7. <i>Yucca coahuilensis</i>	27
Figura 8. <i>Yucca constricta</i>	29
Figura 9. <i>Yucca decipiens</i>	31
Figura 10. <i>Yucca declinata</i>	33
Figura 11. <i>Yucca elata</i>	35
Figura 12. <i>Yucca filamentosa</i>	37
Figura 13. <i>Yucca gloriosa</i>	39
Figura 14. <i>Yucca grandiflora</i>	41
Figura 15. <i>Yucca guatemalensis</i>	43
Figura 16. <i>Yucca harrimaniae</i>	45
Figura 17. <i>Yucca jaliscensis</i>	47
Figura 18. <i>Yucca kanabensis</i>	49
Figura 19. <i>Yucca muscipula</i>	51
Figura 20. <i>Yucca nana</i>	53
Figura 21. <i>Yucca necopina</i>	55
Figura 22. <i>Yucca pallida</i>	57
Figura 23. <i>Yucca reverchonii</i>	59
Figura 24. <i>Yucca rupicola</i>	61
Figura 25. <i>Yucca schottii</i>	63
Figura 26. <i>Yucca thompsoniana</i>	65
Figura 27. <i>Yucca valida</i>	67
Figura 28. <i>Yucca verdiensis</i>	69

CONTENIDO DE CUADROS

	Páginas
Cuadro 1. Caracteres anatómicos distintivos entre las especies de <i>Yucca</i> estudiadas.	72

RESUMEN

Las especies del género *Yucca* son elementos florísticos dominantes y representativos de los matorrales xerófilos. Se distribuyen principalmente en el norte de la República Mexicana y el sureste de Estados Unidos de América. En la actualidad no hay un consenso sobre el número de especies que conforman el género, algunos autores consideran entre 35 y 52 especies, mismas que han sido delimitadas principalmente con base en caracteres morfológicos y moleculares. Algunos caracteres que han sido utilizados para discernir incertidumbres taxonómicas son los relacionados con la anatomía. Por lo anterior, en este estudio se analizaron los caracteres anatómicos foliares de 28 especies de *Yucca* distribuidas tanto en México, como en Estados Unidos, para explorar su utilidad en la delimitación de las especies. El material biológico se colectó *in situ* y a partir de especímenes ubicados en colecciones vivas. Para cada muestra se realizaron las técnicas histológicas convencionales, posteriormente se describieron y analizaron los caracteres que presenta cada especie con ayuda de softwares computacionales. De las 28 especies analizadas los caracteres que presentaron mayor variación fueron el perfil de la lámina, la ornamentación de la cutícula, la presencia y número de papilas, la forma de las células epidérmicas y las inclusiones minerales. Asimismo, algunos caracteres que presentó cada especie se asociaron con adaptaciones a los hábitats áridos y semiáridos. Se concluyó que las características anatómicas registradas en combinación con otras evidencias contribuyen al conocimiento sistemático del género. También se describen por primera vez la presencia de canales secretores y rafidios epidérmicos en *Yucca*.

I INTRODUCCIÓN

México forma parte de los 17 países megadiversos del mundo, los cuales en conjunto reúnen entre el 65 y 70% de la riqueza mundial de especies (Mittermeier *et al.*, 1997; Martínez-Meyer *et al.*, 2014); se estima que contiene entre el 10 y el 12% de la diversidad biológica de la Tierra (Sarukhán *et al.*, 2009). En un contexto florístico, Rzedowski (1991) registró que 350 géneros de la flora vascular mexicana son propios de este territorio y representan el 10% de la flora nacional, también señaló que el 52% de las especies son endémicas. Otros autores han calculado que el porcentaje de endemismos oscila entre el 50 y 60% (Sarukhán *et al.*, 2009; Villaseñor, 2016). Los géneros endémicos se distribuyen predominantemente en zonas áridas, mientras que en el nivel de especies se localizan en las zonas templado-semihúmedas (Meiners y Hernández-López, 2007).

En la diversidad florística de México destaca el género *Yucca* (Asparagaceae, Agavoideae), donde se reconoce como uno de los elementos dominantes de muchos matorrales xerófilos, principalmente aquellos distribuidos en el centro y norte del territorio (Clary, 1997; Flores-Hernández *et al.*, 2011). Asimismo, este género tiene importancia biológica y económica, en el primer caso, de las aproximadamente 51 especies reconocidas (POWO, 2022), 30 son endémicas del país (García-Mendoza, 2011), trece especies se comparten entre Estados Unidos de América y México (Hess y Robbins, 1996; Singh, 2019; POWO, 2022). En el aspecto económico estas plantas tienen varios usos; ornamental, artesanal, las flores se consumen como alimento, se usan como cercas vivas, cortinas rompevientos en zonas agrícolas y también se ha reportado su uso medicinal (Matuda y Piña, 1980; Sheldon, 1980; Cheeke *et al.*, 2006; Mora-Olivo *et al.*, 2009; Flores-Hernández *et al.*, 2011).

En la actualidad existe controversia acerca del número de especies que conforman el género, se estima que son entre 35 y 51 (Rocha *et al.*, 2006; Pellmyr *et al.*, 2007; Thiede, 2020, POWO, 2022). Además, las relaciones taxonómicas entre géneros cercanos como *Hesperoyucca* y *Hesperaloë* continúan en revisión y diferentes autores han reconocido la utilidad de los estudios anatómicos en el conocimiento de la variación infraespecífica en plantas y su relación con el ambiente (McDonald *et al.*, 2003; Ackerly *et al.*, 2012; Martínez-Quezada *et al.*, 2016; Jiménez-Noriega *et al.*, 2017; Martínez-Valverde, 2019; Sandoval-Zapotitla *et al.*, 2019). En Asparagales se ha demostrado que las características anatómicas son útiles para la sistemática en el nivel de familia (Zimmermann y Tomlinson, 1965; Prychid *et al.*, 2003; Patil y Pai, 2011) o género

(Blunden y Jewers, 1973; Lynch *et al.*, 2006; Raycheva y Stojanov, 2013). En Agavoideae los caracteres anatómicos foliares como los epidérmicos o la presencia de inclusiones minerales han permitido delimitar *Agave*, *Beschorneria* y *Furcraea* (Blunden y Jewers, 1973). Bell y King (1944) señalaron que la disposición de las fibras del haz vascular permite la delimitación entre *Agave* y *Yucca*. En la presente investigación se realizó un estudio anatómico de las hojas de 28 especies de *Yucca* debido al limitado estudio anatómico de sus hojas que se ha realizado, con el objetivo de responder las siguientes preguntas ¿Los caracteres foliares permiten establecer grupos de especies? ¿Existen evidencias anatómicas en la hoja que contribuyan a sustentar la delimitación entre las especies? ¿Existen caracteres anatómicos que apoyen la distinción de *Yucca* de otros géneros de Agavoideae?

II ANTECEDENTES

2.1 Historia taxonómica de *Yucca* L.

El género *Yucca* fue propuesto por Linnæus (1753) en *Species Plantarum*, donde reconoció cuatro especies: *Yucca aloifolia*, *Y. draconis*, *Y. filamentosa* y *Y. gloriosa*, ubicándolo en el orden Monogynia (una unidad del gineceo), clase Hexandria (seis estambres). A partir de esta propuesta, *Yucca* ha sido circunscrito en diferentes familias, entre ellas Amaryllidaceae (Baker, 1881; Bentham y Hooker, 1883; Trelease, 1920; Pax y Hoffman, 1930), Liliaceae (Trelease, 1902; Bailey, 1924), Agavaceae (Dumortier, 1829; Hutchinson, 1934; Wettstein, 1944; Cronquist, 1981; Dahlgren *et al.*, 1985; Reveal y Hodgson, 2002; Reveal, 2012; Judd *et al.*, 2016) y recientemente en Asparagaceae (Agavoideae), constituida por 25 géneros y 637 especies (APG II, 2003, APG III, 2009; APG IV, 2016).

En la actualidad, existe controversia respecto al reconocimiento de la categoría de la familia Agavaceae o subfamilia Agavoideae, debido a que la familia Asparagaceae presenta una morfología heterogénea y desde un punto de vista molecular aún no está bien caracterizada (APG III, 2009; Chase *et al.*, 2009; Reveal, 2012). Judd *et al.* (2016) consideran que los límites infrafamiliares en Asparagaceae *sensu* APG III no están bien definidos, sin embargo, la descripción de nuevas especies en *Yucca* ha sido constante a lo largo del tiempo (POWO, 2022).

A las cuatro especies descritas por Linneaus, se agregaron *Yucca angustifolia* (Pursh, 1814) y *Y. baccata* (Torr, 1859). Más adelante, Engelmann (1871) describió cinco especies nuevas y

propuso dos subgéneros, *Euyucca* y *Hesperoyucca*, así como tres secciones *Sarcocarpa*, *Chaenocarpa* y *Clistocarpa*. Engelmann (1873) con base en los caracteres del fruto y el hábito, dividió *Euyucca* en las secciones: *Sarcoyucca*, *Clistoyucca* y *Chaenoyucca*. Baker (1881) apoyó la clasificación de Engelmann, pero fue el primero en señalar que *Hesperoyucca* debía considerarse un género diferente de *Yucca*. Trelease (1902, 1907, 1911) revisó la tribu *Yuceae*, segregó a *Y. whipplei* y *Y. brevifolia* de *Yucca* en los géneros *Hesperoyucca* y *Clistoyucca* respectivamente, además propuso *Samuela*, un género separado de *Yucca*, donde incluyó dos especies *S. faxoniana* y *S. carnerosana*. Además, reconoció las secciones de Engelmann y postuló la sección *Heteroyucca*.

Sargent (1905) no reconoció *Samuela* y transfirió las especies de este género a *Yucca*, sin embargo, Standley (1920) consideró que *Samuela* es un género válido y apoyó la clasificación de Trelease (1902). McKelvey (1938, 1947) describió 17 especies nuevas y reconoció las secciones propuestas por Engelmann (1871) e incluyó *Hesperoyucca*, *Clistoyucca* y *Samuela* en *Yucca*, con base en características florales, fruto dehiscente o indehiscente y su distribución geográfica, subdividió las secciones de Engelmann en nueve series.

Webber (1953) conservó las secciones de McKelvey y con base en la hibridación observada redujo el número de especies reconocidas de 32 a 21, mientras que Reveal (1977) organizó las especies descritas por McKelvey como variedades. Matuda y Piña (1980) realizaron en México un estudio monográfico de *Yucca*, donde apoyaron las divisiones jerárquicas de McKelvey. Clary (1997) analizó las relaciones filogenéticas de *Yucca* y determinó si las agrupaciones infragenéricas tradicionales eran naturales y renombró la sección *Sarcocarpa* como *Yucca*. Clary (2001) consideró que *Hesperoyucca* es un género distinto de *Yucca*. Hochstätter (2003) con base en los tipos de márgenes de las hojas dividió la serie *Treculeanae sensu* McKelvey en dos: *Treculianae* y *Yucca*.

Entre 1950 y 2022 se describieron 17 especies nuevas: *Yucca potosina*, *Y. grandiflora*, *Y. necopina*, *Y. lacandonica*, *Y. madrensis*, *Y. coahuilensis*, *Y. queretaroensis*, *Y. linearifolia*, *Y. declinata*, *Y. mixteca*, *Y. capensis*, *Y. nana*, *Y. cernua*, *Y. feeanoukiae*, *Y. pinicola*, *Y. carrii* y *Y. muscipula* (Rzedowski, 1955; Gentry, 1957; Shinnars, 1958; Gómez-Pompa y Váldez, 1962; Gentry, 1972; Matuda y Piña 1980; Piña, 1989; Clary, 1995; Laferrrière, 1995; García-Mendoza,

1998; Lenz, 1998; Keith, 2003; Hochstätter, 2013; Zamudio y Aguilar-Gutiérrez, 2020; Clary y Adams, 2021; Ayala-Hernández *et al.*, 2022).

En la actualidad se reconocen dos géneros: *Hesperoyucca* (*Yucca whipplei* y *H. newberry*) y *Yucca*, con aproximadamente 35 a 51 especies (Espejo y López-Ferrari, 1993; García-Mendoza y Galván, 1995; Clary, 1997; Rocha *et al.*, 2006; Guillot y Van der Meer, 2009; Pellmyr *et al.*, 2007; Thiede, 2020, POWO, 2022).

2.2 Estudios anatómicos en *Yucca* y géneros cercanamente relacionados

Diggle y DeMason (1983) estudiaron la anatomía del tallo de *Yucca whipplei* subsp. *percursa*, observaron algunas características distintivas como un tallo primario compuesto de corteza y cilindro central con una médula central, haces vasculares individuales con una disposición colateral de xilema y floema, haces vasculares primarios y secundarios longitudinalmente continuos, carácter considerado como un patrón general en las monocotiledóneas con crecimiento secundario, también registraron haces vasculares secundarios con disposición anfibasal; concluyeron que el meristemo de engrosamiento primario y secundario son ontogenéticamente idénticos en esta especie.

Prychid y Rudall (1999) señalaron que en casi todos los órganos vegetativos y reproductivos de las monocotiledóneas pueden estar presentes rafidios, estiloides y drusas, siendo caracteres taxonómicos útiles para delimitar grupos o especies de plantas, afirmaron que en algunas familias como Asparagaceae o Agavaceae puede haber rafidios, estiloides y formas intermedias.

Patil y Pai (2006) estudiaron la anatomía floral de *Yucca gloriosa*; señalaron que sus características anatómicas como anteras dorsifijas e intrusas, presencia de nectarios septales, numerosos óvulos por lóculos y tendencia al desarrollo de un ovario ínfero apoyan la relación del género con la tribu *Agaveae*.

Solano *et al.* (2013) analizaron la anatomía del tallo, cormo, hoja e inflorescencia de 13 especies de *Polianthes*; determinaron que las características foliares útiles en la definición de algunas especies se encuentran en la cutícula, entre ellas, el grosor y la ornamentación, mientras que en la epidermis destacaron el tipo de estomas y la presencia o ausencia de tricomas. Solano *et*

al. (2017) también estudiaron la anatomía de las hojas de *Manfreda*; algunos caracteres observados como la presencia o ausencia de rafidios y estiloides en el parénquima, tricomas y una peridermis abaxial continua, les permitieron distinguir algunas especies.

Bell y King (1944) estudiaron las fibras presentes en las hojas de cuatro géneros de Agavaceae, con base en ellas distinguieron los géneros *Agave*, *Dasyilirion*, *Nolina* y *Yucca*, pero no les fue posible distinguir entre especies de los tres primeros géneros, en cambio entre las especies de *Yucca* registraron diferencias, por ejemplo, el grosor de la pared y el diámetro del lumen de las fibras permitieron diferenciar las especies de hojas gruesas y carnosas de las especies con hojas delgadas.

Eagan (1969) analizó en cuatro localidades de las llanuras altas en Lubbock, Texas la anatomía foliar de *Yucca campestris* y describió características anatómicas en común como la presencia de una cutícula gruesa en ambos lados de la hoja, células epidérmicas esclerificadas, estomas hundidos en la epidermis con cámaras subestomáticas profundas, estomas pareados en la superficie de las hojas, parénquima en empalizada isobilateral provisto de rafidios y haces vasculares colaterales rodeados por casquetes de fibras.

Blunden y Binns (1970) estudiaron la anatomía de la hoja de *Yucca glauca* e indicaron que las características taxonómicas útiles son las células epidérmicas papilosas con cristales grandes y aciculares de oxalato de calcio, fibras parcialmente lignificadas en los haces vasculares y células de los márgenes de las hojas modificadas, también reportaron la presencia de proyecciones anteriores y posteriores en la cámara supraestomática.

Álvarez (1990) señaló que la epidermis foliar de *Yucca* no es homogénea, exhibe diferentes tipos de complejos estomáticos, está conformada por células epidérmicas isodiamétricas, con papilas, grupos de células alargadas y también registraron el desarrollo de abundantes capas cuticulares que se proyectan hacia las paredes anticlinales. Sin embargo, características de los estomas y de las células epidérmicas le permitieron distinguir especies en *Agave*, *Furcraea* y *Yucca*. Estos mismos caracteres ya habían sido utilizados para delimitar las especies, subespecies y secciones de *Agave* del Golfo de California (Gentry y Sauck, 1978; Webb y Starr, 2015).

Kanwal *et al.* (2012) analizaron las adaptaciones estructurales de algunas especies de agaváceas, entre ellas cuatro del género *Yucca*. Determinaron que la anatomía de la hoja posee un

patrón variable en todas ellas, sin embargo, registraron que, *Agave americana*, *A. decipiens*, *A. vera-cruz*, *Yucca aloifolia* y *Y. elephantipes* presentan una epidermis y cutícula de grosor mayor que las separan de las otras especies analizadas, sugirieron que estas características se relacionan con una resistencia mayor a la sequía, también notaron que la densidad estomática es mayor en *Yucca*, pero el área estomática es mayor en las especies de *Agave*.

Heyduk *et al.* (2016), y Heyduk *et al.* (2021), estudiaron la anatomía foliar de tres especies de *Yucca*, registraron diferencias entre *Y. aloifolia* y *Y. filamentosa*, en la primer especie el tamaño de las células epidérmicas en ambas superficies es mayor y la densidad estomática menor; *Y. gloriosa* exhibe características intermedias como la densidad estomática y el tamaño de las células en ambas superficies foliares. Dentro de *Y. gloriosa* los únicos rasgos anatómicos diferentes entre las especies fueron los espacios aéreos intercelulares y la densidad estomática media.

Sánchez-Manzo (2020) analizó con microscopía confocal láser de barrido la cutícula y epidermis foliar de algunas especies de *Yucca*, con el objetivo de registrar caracteres útiles en su delimitación y observó que el tipo de estomas, el relieve y la ornamentación de la cutícula, la presencia de papilas y tricomas son caracteres que permiten reconocer *Y. jaliscensis*, *Y. queretaroensis*, *Y. schottii* y *Y. torreyi*.

Jolly *et al.* (2021) investigaron la variación en la fisiología, morfología y anatomía de las hojas de dos especies de monocotiledóneas del desierto de Mojave, *Yucca brevifolia* (árbol de Joshua) y *Hesperoyucca whipplei*. Registraron variaciones en la conductancia estomática (g_s), no obstante, éstas no se relacionan con las diferencias en el contenido de agua de las hojas, sino con la variación en el número de nervaduras por mm^2 en *H. whipplei* y el ancho de las hojas en *Y. brevifolia*.

En géneros filogenéticamente relacionados con *Yucca* también se han realizado numerosos estudios con el objetivo de describir caracteres anatómicos que permitan reconocer especies. Por ejemplo, Blunden y Jewers (1973) registraron diferencias en los atributos anatómicos de las hojas para identificar especies de *Agave*, *Beschorneria*, *Doryanthes* y *Furcraea*; entre los caracteres diagnósticos mencionaron los epidérmicos, haces de las fibras, la disposición de los haces vasculares, las papilas, los estomas paracíticos, ausencia de cámara subestomática, cristales aciculares de oxalato de calcio, parénquima lignificado, espacios intercelulares en el mesófilo,

haces vasculares rodeados por una vaina de fibras y elementos traqueales con espacios intercelulares ovados en el xilema.

Gutiérrez *et al.* (2015) examinaron la anatomía foliar de los géneros *Behria*, *Bessera*, *Jaimehintonia*, *Milla* y *Petronymphe*. Describieron que *Bessera* es el único género con paredes de la epidermis colenquimatosas y haces vasculares con metaxilema en forma de “t”. Los otros géneros carecen de caracteres exclusivos, sin embargo, hay especies que pueden reconocerse por los atributos foliares que presentan, como el perfil de la lámina, número de haces vasculares y grosor de las paredes de las fibras. También observaron que el número de haces vasculares varía entre los géneros que analizaron.

Francisco-Francisco *et al.* (2016) analizaron la morfo-anatomía foliar de *Dasyilirion cedrosanum*, señalaron que el arreglo de los tejidos del mesófilo es isolateral, donde el parénquima en empalizada está constituido por células con forma prismática, multiestratificado, desarrollados hacia ambas superficies y el parénquima esponjoso tiene células isodiamétricas. El mesófilo presenta tejido fibroso de entre 71-103 μm , estas fibras se asocian con las bandas vasculares, tomando la forma de “Y” o “Y” invertida en la cara abaxial y adaxial, respectivamente. Además, presenta estiloides prismáticos cuboidales, solitarios en las células parenquimáticas y esclerenquimáticas cercanas a los haces vasculares.

Murillo-Serna *et al.* (2018) observaron que en las hojas de tres especies de *Furcraea* (*F. cabuya*, *F. gigantea* y *F. macrophylla*) las características anatómicas son homogéneas, presentan epidermis monoestratificada, cutícula gruesa, mesófilo no diferenciado, estomas encriptados, fibras esclerenquimáticas septadas, asociados a los haces vasculares; cristales de oxalato de calcio o braquiesclereidas próximas a la epidermis; éstas varían entre las especies en su forma y diámetro del lumen, también hay diferencias en las punteaduras, el grado de lignificación de las células epidérmicas y la morfología de las braquiesclereidas. Es posible que los caracteres que estudiaron los autores puedan ser útiles para delimitar especies del género.

De acuerdo con las filogenias de Eguiarte (2000), Hernández-Sandoval (1995) y Clary (1997), los géneros cercanos a *Yucca* son *Agave* y *Hesperaloë*, éstos comparten características anatómicas como una cutícula gruesa, células epidérmicas isodiamétricas y papilosas dispuestas sobre las venas y un complejo estomático hundido con proyecciones en las células subsidiarias

(Blunden y Jewers, 1973; Gentry y Sauck, 1978; Verhoek-Williams, 1998). Por el contrario, Roux-López (1964), Wattendorf (1976), McLaughlin y Schuck (1991), y Verhoek-Williams (1998) señalaron algunas diferencias entre estos géneros, por ejemplo, *Yucca* presenta rafidios con cuatro lados, mientras que en *Agave* son de seis lados, una cámara subestomática protegida por seis labios en *Yucca* y 4-15 labios en *Agave* y *Beschorneria*, vaina de parénquima rodeando los haces vasculares en *Agave* y *Yucca* pero ausente en *Beschorneria*, y las células individuales de las fibras de las hojas de *Hesperaloë* y *Yucca* son más largas (> 2 mm) y más estrechas (< 20 μ m) que las de *Agave*.

Los estudios anatómicos son importantes para comprender los procesos y adaptaciones que las plantas desarrollan como respuesta a las condiciones ambientales en las que habitan, además permite delimitar series, géneros y especies como han mostrado otros investigadores con varios taxones. No obstante, el conocimiento anatómico de *Yucca* no ha sido explorado en la mayoría de sus especies y se desconoce el grado de variabilidad en sus caracteres anatómicos debido a su amplio rango de distribución.

2.3 Distribución e importancia económica del género *Yucca*

El género *Yucca* habita principalmente las regiones áridas y semiáridas de América. Se distribuye desde el sur de Canadá hasta Centroamérica (Singh, 2019). En México se localizan 33 especies, de éstas 30 son endémicas (García-Mendoza, 2011; Villaseñor, 2016), además se ha señalado que el centro de dispersión de este género se localiza en el Altiplano Mexicano (Rzedowski, 1962).

Yucca es el segundo género más diverso de la familia Agavaceae *sensu stricto*, y tiene importancia ecológica y económica. Estas plantas evitan la erosión del suelo, favorecen la retención del agua y aumentan el contenido de materia orgánica en el mismo (Matuda y Piña, 1980), son el refugio de la fauna silvestre, la protegen del viento, le proporcionan sombra y alimento (Baker, 1986). Las flores y los frutos son consumidas por los humanos y el ganado (Mora *et al.*, 2009). Con las fibras extraídas de las hojas y el tronco se confeccionan prendas útiles, entre ellas, artículos de jarciería y cordelería (Trelease, 1907; Matuda y Piña, 1980). Los tallos y las hojas se usan en la construcción de viviendas, con las plantas completas se establecen cortinas rompevientos y se cultivan en parques y jardines como plantas ornamentales (Matuda y Piña, 1980; Sheldon, 1980).

Las hojas y raíces de *Yucca* contienen saponinas y son empleadas como sustituto del jabón y en la fabricación de corticoides (Fenzi, 1889; Wall y Fenske, 1961; Woodbury *et al.*, 1961; Cheeke *et al.*, 2006). Debido a la presencia de estas sustancias en sus raíces, en la industria farmacéutica se elaboran laxantes y purgantes. De las flores se extrae ácido ascórbico y aceites esenciales para la fabricación de perfumes (García-Villanueva, 1986).

2.4 Descripción taxonómica del género *Yucca*

Las yucas son plantas perennes, acaules, semiacuales o caulescentes, cespitosas o arborescentes, a veces subescaposas, con tallos simples o ramificados, terrestres rara vez epífitas, hojas flexibles o rígidas, sésiles, dispuestas en roseta en la base del tallo o en el ápice, lineares a linear-lanceoladas, base ensanchada, rígidas o flexibles, planas o convexas, generalmente coriáceas, raramente carnosas o cartilaginosas, margen entero, denticulado, o separándose en fibras, ápice usualmente endurecido o córneo. Escapo, cuando está presente, por lo general de menos de 2.5 cm de diámetro. Inflorescencias racemosas, paniculadas, una o dos veces ramificadas, erectas o péndulas, bracteadas, ramas glabras o pubescentes, brácteas ascendentes o reflexas, blanquecinas, ocasionalmente pubescentes; flores bisexuales, campanuladas, globosas, o tubulares cortas, blanquecinas a crema o ligeramente teñidas de verde o púrpura, rara vez púrpura, bractéola en la base del pedicelo; tépalos 6, carnosos, libres o escasamente connados en la base (en *Yucca carnerosana* y *Y. faxoniana* forma un tubo), planos o ligeramente cóncavos; estambres 6, insertos en la base de los tépalos, filamentos claviformes, aplanados, teretes u oblongo-cilíndricos, carnosos, pubescentes, papilosos o lisos, anteras basifijas; Pistilo obovoide u oblongo-cilíndrico, ovario súpero, 3-locular o 6-locular con septos falsos, verde o blanquecino, estilo corto, ligeramente alargado o ausente, estigma trilobado o capitado. Frutos capsulares o abayados, erectos o péndulos, dehiscentes o indehiscentes; semillas prismáticas, aplanadas, orbiculares o globulares, negras, opacas, endospermo ruminado en especies con frutos carnosos (Hess y Robbins, 1996; Kubitzki, 1998; García-Mendoza, 2011).

La gran mayoría de las especies del género *Yucca* se distribuyen en un rango altitudinal de 0 a 2500 m, se localizan en las zonas áridas y semiáridas con climas BS y BW de los Estados Unidos y de México, caracterizan el matorral desértico rosetófilo, aunque también se pueden presentar en otros tipos de vegetación como bosque de *Juniperus-Pinus-Quercus* y pastizal (Matuda y Piña, 1980). *Y. aloifolia*, *Y. elephantipes*, *Y. guatemalensis* y *Y. lacandonica* se

desarrollan en regiones húmedas del centro-sur de México, en selvas altas y mediana perennifolias o selvas bajas caducifolias. *Y. aloifolia*, *Y. baccata*, *Y. elata*, *Y. filamentosa*, *Y. gloriosa*, *Y. jaliscensis*, *Y. kanabensis*, *Y. schottii*, *Y. thompsoniana* y *Y. verdiensis* se desarrollan en bosques de pino-encino, mientras que *Y. capensis*, *Y. decipiens*, *Y. grandiflora*, *Y. pallida* y *Y. rupicola* en bosques de encino, finalmente, *Y. baileyi*, *Y. brevifolia*, *Y. harrimaniae* y *Y. nana* en bosques de pino. El género habita en estribaciones, llanuras, laderas y mesetas secas, suelos de bosques secos a pastizales, suelos arenosos, suelos de roca caliza, volcánica o afloramientos de arenisca (Shreve y Wiggins, 1964, Cronquist *et al.*, 1977; Matuda y Piña, 1980; Davidse, G. *et al.*, 1994).

III JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

El género *Yucca* ha sido estudiado en su morfología, sus relaciones filogenéticas y las que establece con su polinizador, no obstante, hay pocos estudios anatómicos de las hojas y no han sido incluidas la mayoría de las especies. Esta investigación pretende contribuir al conocimiento anatómico foliar de 28 especies del género *Yucca* y reconocer aquellos caracteres que podrían ser útiles en la taxonomía de estas plantas.

IV OBJETIVOS

5.1 Objetivo general

Analizar los caracteres anatómicos foliares de 28 especies de *Yucca*.

5.2 Objetivos particulares

Describir las células y los tejidos que constituyen las hojas de 28 especies de *Yucca*.

Comparar las características cualitativas de las células y los tejidos entre las especies.

V HIPÓTESIS

En investigaciones previas se ha demostrado que en la subfamilia Agavoideae los caracteres anatómicos han resultado útiles para delimitar especies. Por lo tanto, en las hojas de *Yucca* existirán caracteres anatómicos que compartirán todas las especies analizadas, otros estarán presentes en algunos grupos de ellas, y unos más serán diagnósticos taxonómicamente. Los atributos más informativos estarán en la cutícula, la epidermis y los haces vasculares.

VI MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron salidas al campo en México y Estados Unidos de América donde se recolectaron especímenes botánicos de *Yucca*, mismos que fueron herborizados. Posteriormente, se identificaron mediante claves taxonómicas en el herbario FEZA. Algunos otros fueron obtenidos de la colección viva del Desert Botanical Garden en Phoenix, Arizona (Apéndice 1). Además de los especímenes mencionados, también fueron tomadas muestras de hojas en individuos adultos, las cuales se fijaron con FAA (50% de alcohol etílico al 96%, 5% de ácido acético glacial, 10% de formol comercial al 40% y 35% de agua destilada) por 2 días, enseguida se lavaron con agua hasta eliminar el olor del fijador. Después de quince minutos, se almacenaron en GAA (45% alcohol etílico, 30% glicerina y 25% agua) para evitar el endurecimiento del tejido y con la finalidad de facilitar su corte.

De las muestras de hojas que fueron fijadas, se realizaron secciones transversales de aproximadamente 0.5 cm de largo en uno o dos individuos por especie, después se lavaron tres veces con agua corriente durante 30 minutos y se deshidrataron mediante cambios de alcohol etílico en concentraciones ascendentes de 50, 70, 85, 96 y 100%, cada una por siete días. Las muestras deshidratadas fueron infiltradas con PARAPLAST marca LEICA, aplicando vacío con una aguja hipodérmica en mezclas consecutivas de xileno-parafina 2:1, 1:1 y 1:2, después se realizaron dos cambios con parafina pura, todos con duración de siete días, en este tiempo se colocaron en una estufa (marca Felisa, modelo FE-131AD, México) a 58 °C; para reducir la viscosidad del PARAPLAST en los dos últimos cambios se aumentó la temperatura a 60 °C.

Las muestras infiltradas se incluyeron en parafina, luego se montaron en bloques de madera de 2.5-3 cm³ y se realizaron secciones transversales y paradermales de 12 µm de grosor con un micrótopo de rotación (marca Leica, modelo RM2125RT, Wetzlar, Alemania). Las secciones fueron adheridas a los portaobjetos con adhesivo de Haupt (1% grenetina, 2% formol y 30% glicerol) (Johansen, 1940) y se extendieron con una gota de formalina (formaldehído al 10%) (Ruzin, 1999).

Se desparafinaron las preparaciones con xileno y se hidrataron con alcohol etílico al 100, 96, 85, 70 y 50%, durante 10 minutos cada cambio. Se realizó la tinción con safranina a 58 °C durante 90 minutos y se aclararon los tejidos con alcohol etílico al 50, 70, 85, 96 y 100%; enseguida se tiñó con verde rápido, se deshidrató con alcohol etílico al 100% por tres minutos y tres cambios

de xileno durante diez minutos; se montaron con resina sintética de la marca Hycel (Solano *et al.*, 2013). Por último, se observaron, describieron y fotografiaron las células y los tejidos con un microscopio óptico (marca Nikon, modelo ECLIPSE E200, Tokio, Japón) y una cámara digital Sony IMX682.

A partir de las imágenes obtenidas de las preparaciones histológicas, y para fundamentar los aspectos comparativos de las descripciones anatómicas, se registraron caracteres mensurables, como el grosor de la cutícula, alto y ancho de las células de la epidermis, el grosor de la pared de las células del metaxilema y el protoxilema (Apéndice 2), por medio del procesador de imágenes ImageJ versión 1.53t (Schneider *et al.*, 2012); para cada uno de estos caracteres o sus variaciones se consideró una $n=30$ (García-García, 2013), posteriormente se estimaron los estadísticos descriptivos de éstos en Microsoft Excel Versión 2202 (2020). Otros caracteres registrados fueron los diferentes tipos de complejo estomático, presencia o ausencia de proyecciones de cutina, formas de las células en los diferentes tejidos, presencia, ausencia y ubicación de inclusiones minerales, así como la disposición de los haces vasculares.

VII RESULTADOS

7.1 *Yucca aloifolia* L.

En sección transversal la hoja tiene forma de “V” abierta. La cutícula es lisa en ambas superficies, mide $15.05 \mu\text{m}$ (± 6.33) de grosor en la superficial adaxial y $17.79 \mu\text{m}$ (± 2.46) en la abaxial. La epidermis está formada por una capa de células triangulares en ambas superficies, además presenta papilas solitarias únicamente en la superficie adaxial (Fig. 1A y 1B). Las células adaxiales tienen una altura de $25.23 \mu\text{m}$ (± 6.50) y las abaxiales $20.52 \mu\text{m}$ (± 3.62). En sección paradermal las células de la epidermis son irregulares. Las hojas son anfiestomáticas, los estomas son paracíticos (Fig. 1D), están hundidos y presentan cámaras subestomáticas delimitadas por células rectangulares en sentido periclinal, se observaron pocos rafidios en las cámaras subestomáticas, las células subsidiarias son reniformes, paralelas a las oclusivas, éstas últimas presentan proyecciones de cutina posteriores. En el mesófilo el tejido fotosintético está conformado por parénquima en empalizada distribuido en tres a cuatro capas de células oblongas, las células tienen $66.87 \mu\text{m}$ (± 3.91) de alto y el estrato de parénquima en empalizada $203.69 \mu\text{m}$ (± 4.97) (Fig. 1B). Debajo de este tejido se localizan canales secretores a lo largo de todo el ancho de la hoja. El parénquima esponjoso registra $555.31 \mu\text{m}$ (± 8.38) de ancho, está constituido por células irregulares, sus células miden $53.72 \mu\text{m}$ (± 6.50) de alto. Esta región de la hoja exhibió abundantes estiloides y algunos rafidios, por el contrario, en la región del parénquima en empalizada hay escasos estiloides y abundantes rafidios. Los haces vasculares son colaterales, libres, ovados, se agrupan en dos filas en la región media del mesófilo, están rodeados por una vaina parenquimática compuesta por una capa de células ovadas con $28.74 \mu\text{m}$ (± 7.38) de alto, hacia el interior de la vaina parenquimática se observan casquetes de 85.2 fibras (± 4.57), localizados del lado del xilema y el floema (Fig. 1C). El xilema está diferenciado en proto y metaxilema, el protoxilema se orienta hacia la superficie abaxial, está compuesto por seis (± 0.74) células poligonales, el diámetro del lumen mide $19.26 \mu\text{m}$ (± 4.29) y el grosor de las paredes $1.92 \mu\text{m}$ (± 0.68), el metaxilema se localiza hacia la región media del haz vascular conformado por 15.23 (± 1.13) células ovadas, con un diámetro de lumen de $14.29 \mu\text{m}$ (± 3.57) y un grosor de $0.67 \mu\text{m}$ (± 0.24). El floema se encuentra hacia la superficie adaxial, está constituido por células poligonales y de una a cuatro células acompañantes por elemento de tubo criboso.

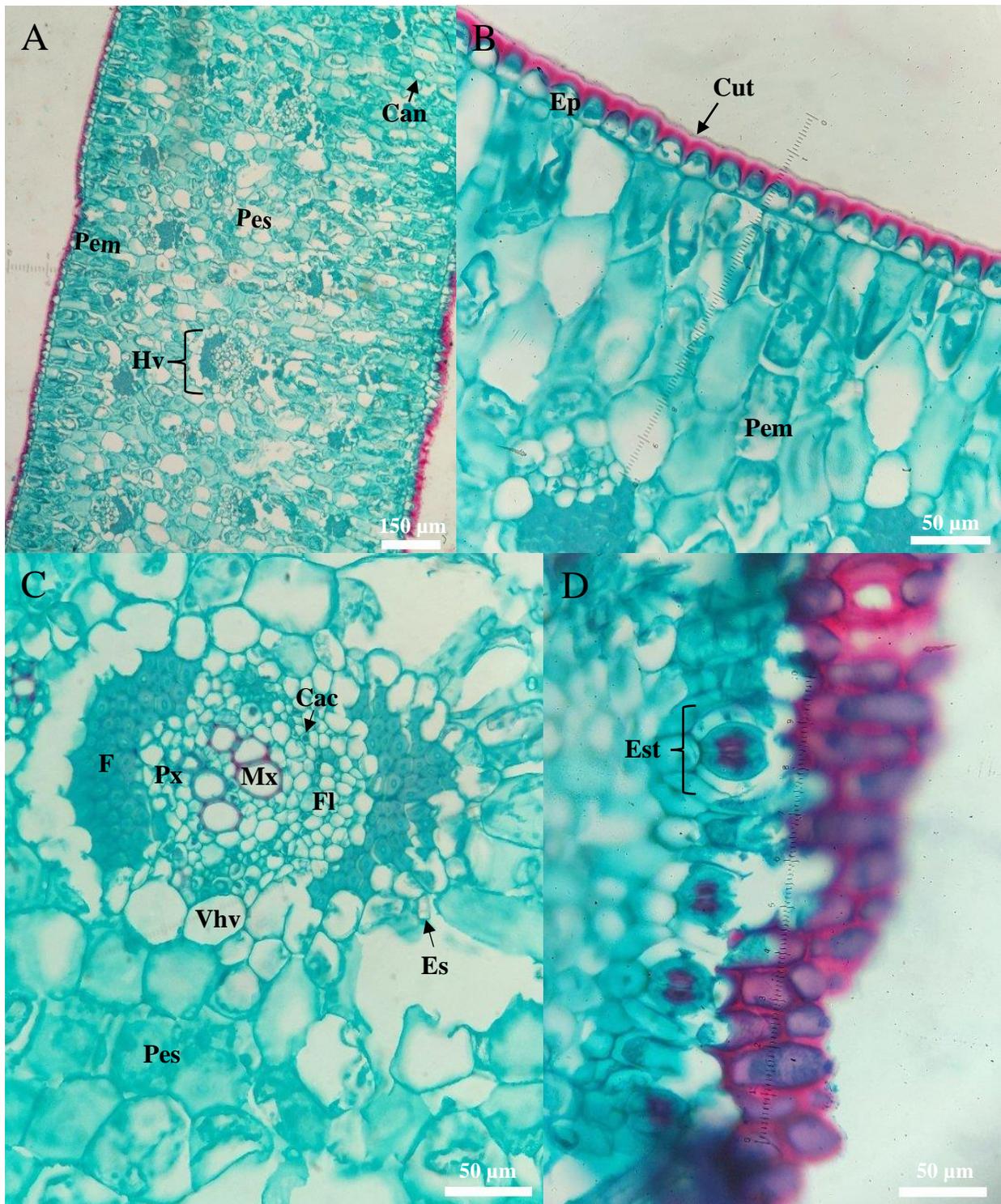


Figura 1. *Yucca aloifolia*. Hoja. (A, B, C) Sección transversal, (D) paradermal. **A)** Mesófilo. **B)** Cutícula lisa, epidermis adaxial y parénquima en empalizada. **C)** **ST.** Haz vascular. **D)** **SP.** Estoma paracítico. Cac = Células acompañantes, Can = Canal secretor, Cut = Cutícula, Ep = Epidermis, Es = Estiloide, Est = Estoma, F = Fibras, Fl = Floema, Hv = Haz vascular, Mx = Metaxilema, Pem = Parénquima en empalizada, Pes = Parénquima Esponjoso, Px = Protoxilema, Vhv = Vaina del haz vascular.

7.2 *Yucca baccata* Torr.

En sección transversal la hoja tiene forma de “V” abierta. La cutícula es estriada en ambas superficies, mide $20.56 \mu\text{m}$ (± 2.07) de grosor en la superficie adaxial y $19.19 \mu\text{m}$ (± 5.57) en la abaxial. La epidermis está compuesta por una capa de células triangulares, presenta papilas solitarias o agrupadas en número de dos en ambas superficies (Fig. 2A y 2B). Este tejido exhibió escasos rafidios. Las células adaxiales tienen $28.95 \mu\text{m}$ (± 2.89) de alto y las abaxiales $23.55 \mu\text{m}$ (± 3.98). En sección paradermal las células de la epidermis son poligonales. Las hojas son anfiestomáticas, los estomas son paracíticos (Fig. 2D), están hundidos y presentan cámaras subestomáticas delimitadas por células rectangulares en sentido periclinal, las células subsidiarias son reniformes, paralelas a las oclusivas, éstas últimas presentan proyecciones de cutina posteriores. En el mesófilo el tejido fotosintético está constituido por parénquima en empalizada distribuido en cinco a seis capas de células irregulares y alargadas, las células tienen $39.80 \mu\text{m}$ (± 5.20) de alto y el estrato de parénquima en empalizada $30.42 \mu\text{m}$ (± 2.22) (Fig. 2B). Debajo de este tejido se localizan canales secretores a lo largo de todo el ancho de la hoja. El parénquima esponjoso registra $2744.08 \mu\text{m}$ (± 157.17) de ancho, está constituido por células irregulares, sus células miden $26.69 \mu\text{m}$ (± 4.21) de alto. Esta región de la hoja exhibió algunos rafidios, no presentó estiloides, por el contrario, en la región del parénquima en empalizada hay estiloides escasos y los rafidios son abundantes. Asimismo, la zona del parénquima esponjoso presenta abundantes espacios intercelulares con una constitución homogénea que originan un mesófilo laxo en la parte central de la lámina. Los haces vasculares son colaterales, libres, ovados, se agrupan en tres filas en la región media del mesófilo, la fila central de los haces vasculares es de mayor tamaño, están rodeados por una vaina parenquimática compuesta por una capa de células ovadas con $17.29 \mu\text{m}$ (± 3.07) de alto, hacia el interior de la vaina parenquimática se observan casquetes de 125.26 fibras (± 21.99), localizados del lado del xilema y el floema (Fig. 2C). El xilema está diferenciado en proto y metaxilema, el protoxilema se orienta hacia la superficie abaxial, está constituido por 14.2 (± 3.27) células poligonales, el diámetro del lumen mide $13.58 \mu\text{m}$ (± 1.96) y el grosor de las paredes $2.12 \mu\text{m}$ (± 0.39), el metaxilema se localiza hacia la región media del haz vascular compuesto por 20.46 (± 3.17) células ovadas, con un diámetro del lumen de $7.64 \mu\text{m}$ (± 1.22) y un grosor de $1.78 \mu\text{m}$ (± 0.37). El floema se encuentra hacia la superficie adaxial, está constituido por células poligonales y de una a tres células acompañantes por elemento de tubo criboso.

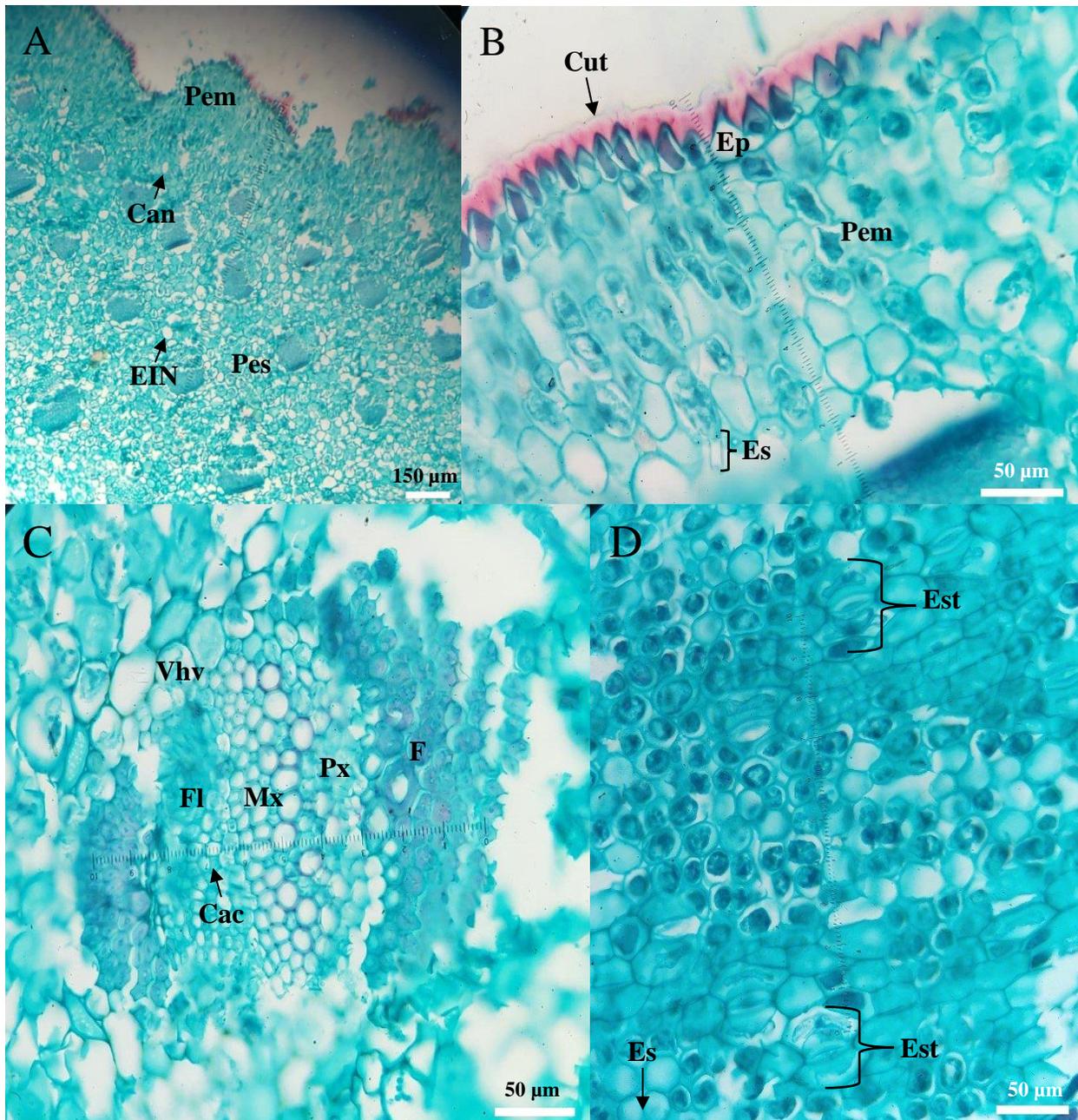


Figura 2. *Yucca baccata*. Hoja. (A, B, C) Sección transversal, (D) paradermal. **A)** Mesófilo. **B)** Cutícula estriada, epidermis abaxial y parénquima en empalizada. **C)** Haz vascular. **D)** Estoma paracítico. Cac = Células acompañantes, Can = Canal secretor, Cut = Cutícula, EIN = Espacios intercelulares, Ep = Epidermis, Es = Estiloide, Est = Estoma, F = Fibras, Fl = Floema, Mx = Metaxilema, Pem = Parénquima en empalizada, Pes = Parénquima Esponjoso, Px = Protóxilema, Vhv = Vaina del haz vascular.

7.3 *Yucca baileyi* Wooton & Standl.

En sección transversal la hoja tiene forma de “V” recta. La cutícula es lisa en ambas superficies, mide $8.09 \mu\text{m}$ (± 1.97) de grosor en la superficie adaxial y $7.98 \mu\text{m}$ (± 2.79) en la abaxial. La epidermis está formada por una capa de células oblongas, además presenta papilas solitarias o agrupadas en número de dos en ambas superficies (Fig. 3A y 3B). Las células adaxiales miden $29.91 \mu\text{m}$ (± 2.29) de alto y las abaxiales $23.70 \mu\text{m}$ (± 4.01). En sección paradermal las células de la epidermis son oblongas. Las hojas son anfiestomáticas, los estomas son paracíticos (Fig. 3D), están hundidos y presentan cámaras subestomáticas delimitadas por células rectangulares en sentido periclinal, las células subsidiarias son reniformes, paralelas a las oclusivas, estas últimas presentan proyecciones de cutina posteriores. En el mesófilo el tejido fotosintético está compuesto por parénquima en empalizada distribuido en tres capas de células oblongas y alargadas las células tienen $40.58 \mu\text{m}$ (± 7.37) de alto y el estrato de parénquima en empalizada $96.51 \mu\text{m}$ (± 9.29) (Fig. 3B). El parénquima esponjoso registra $1285.27 \mu\text{m}$ (± 8.20) de ancho, está compuesto por células irregulares, sus células miden $43.69 \mu\text{m}$ (± 5.02) de alto. No se observaron rafidios y estiloides en los individuos analizados. Los haces vasculares son colaterales, libres, ovados, se agrupan en tres filas, los de mayor tamaño se localizan en la región media del mesófilo, están rodeados por una vaina parenquimática compuesta por una capa de células ovadas con $18.87 \mu\text{m}$ (± 3.33) de alto, hacia el interior de la vaina parenquimática se observan casquetes de 38.3 fibras (± 5.63), localizados del lado del xilema y el floema (Fig. 3C). El xilema está diferenciado en proto y metaxilema, el protoxilema se orienta hacia la superficie abaxial, está compuesto por 23.76 (± 0.67) células poligonales, el diámetro del lumen mide $11.01 \mu\text{m}$ (± 1.74) y el grosor de las paredes $1.36 \mu\text{m}$ (± 0.36), el metaxilema se localiza hacia la región media del haz vascular conformado por 12.06 (± 0.69) células ovadas, con un diámetro del lumen de $7.42 \mu\text{m}$ (± 1.19) y un grosor de $0.50 \mu\text{m}$ (± 0.14). El floema se encuentra hacia la superficie adaxial, está constituido por células poligonales y de una a tres células acompañantes por elemento de tubo criboso.

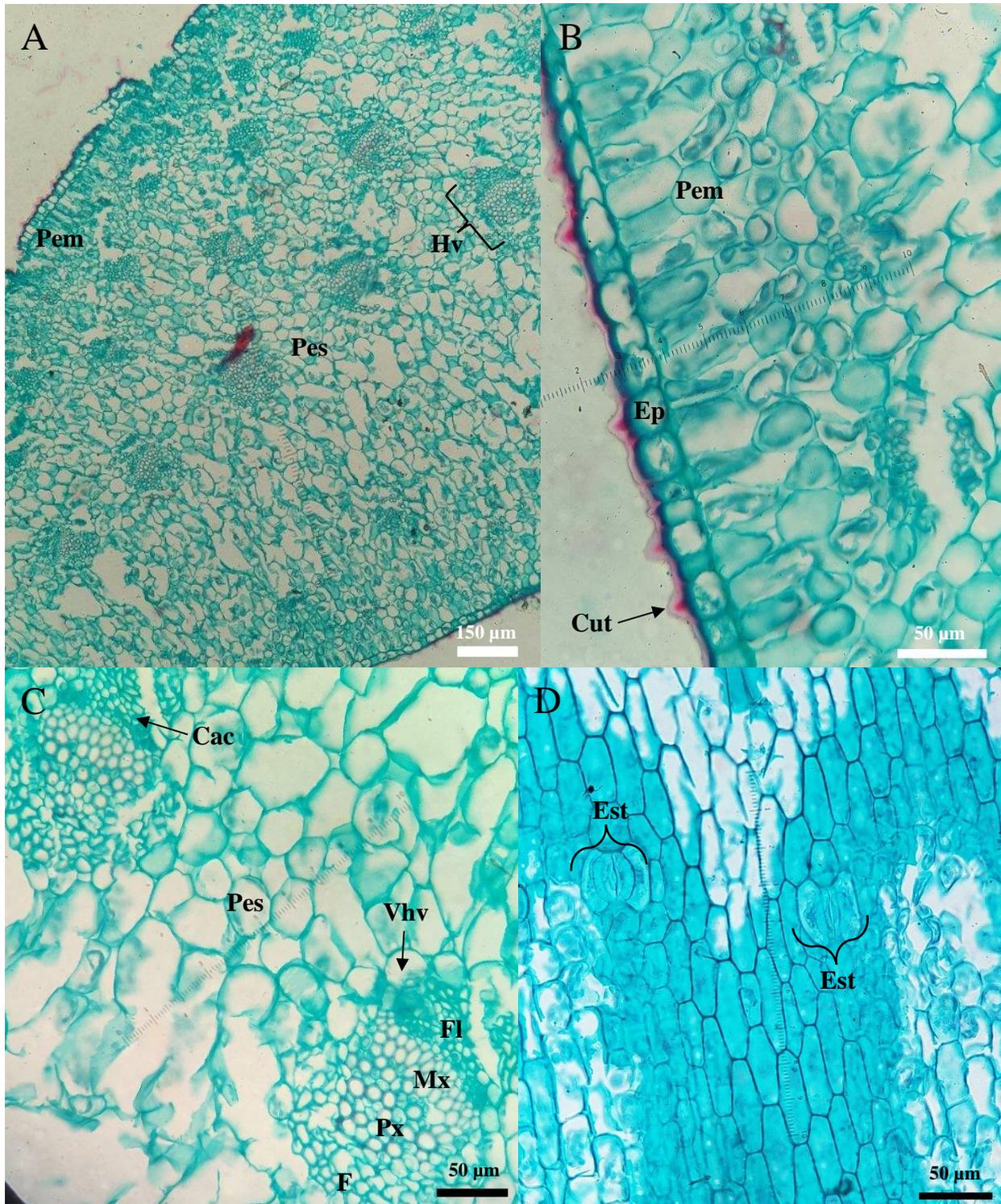


Figura 3. *Yucca baileyi*. Hoja. (A, B, C) Sección transversal, (D) paradermal. A) Mesófilo. B) Cutícula lisa, epidermis adaxial y parénquima en empalizada. C) Haz vascular. D) Estoma paracítico. Cac = Células acompañantes, Cut = Cutícula, Ep = Epidermis, Est = Estoma, F = Fibras, Fl = Floema, Hv = Haz vascular, Mx = Metaxilema, Pem = Parénquima en empalizada, Pes = Parénquima Esponjoso, Px = Protoxilema, Vhv = Vaina del haz vascular.

7.4 *Yucca brevifolia* Engelm.

En sección transversal la hoja tiene forma de “V” recta. La cutícula es lisa en ambas superficies, mide $39.66 \mu\text{m}$ (± 12.28) de grosor en la superficie adaxial y $35.25 \mu\text{m}$ (± 10.12) en la abaxial. La epidermis está formada por una capa de células epidérmicas oblongas, además presenta papilas solitarias en ambas superficies (Fig. 4A y 4B). Las células adaxiales exhiben una altura de $65.16 \mu\text{m}$ (± 7.43) y las abaxiales $62.51 \mu\text{m}$ (± 5.54). Se observaron canales secretores en los extremos laterales. En sección paradermal las células de la epidermis son irregulares. Las hojas son anfiestomáticas, los estomas son paracíticos (Fig. 4D), están hundidos y presentan cámaras subestomáticas delimitadas por células rectangulares en sentido periclinal, se observaron abundantes rafidios en las cámaras subestomáticas, las células subsidiarias son reniformes, paralelas a las oclusivas, éstas últimas presentan proyecciones de cutina posteriores. En el mesófilo el tejido fotosintético está conformado por parénquima en empalizada distribuido en cuatro a cinco capas de células oblongas alargadas, las células tienen $54.09 \mu\text{m}$ (± 7.63) de alto y el estrato de parénquima en empalizada $273.08 \mu\text{m}$ (± 19.10) (Fig. 4B). El parénquima esponjoso registra $2976.26 \mu\text{m}$ (± 172.61) de ancho, está constituido por células irregulares, sus células miden $30.62 \mu\text{m}$ (± 3.79) de alto. El mesófilo exhibió abundantes rafidios, por el contrario, en la región del parénquima en empalizada los estiloides son abundantes y son escasos en el esponjoso. Asimismo, la zona del parénquima esponjoso presenta abundantes espacios intercelulares con una constitución homogénea que originan un mesófilo laxo en la parte central de la lámina. Los haces vasculares son colaterales, libres, ovados, se agrupan en cuatro filas en la región media del mesófilo, están rodeados por una vaina parenquimática compuesta por una capa de células ovadas con $21.63 \mu\text{m}$ (± 3.48) de alto, hacia el interior de la vaina parenquimática se observan casquetes de 102.9 fibras (± 22.67), localizados del lado del xilema y el floema (Fig. 4C). El xilema está diferenciado en proto y metaxilema, el protoxilema se orienta hacia la superficie abaxial, está constituido por 9.13 (± 1.81) células poligonales, el diámetro del lumen mide $9.73 \mu\text{m}$ (± 1.30) y el grosor de las paredes $2.08 \mu\text{m}$ (± 0.32), el metaxilema se localiza hacia la región media del haz vascular conformado por 20.16 (± 3.18) células ovaladas, con un diámetro del lumen de $7.01 \mu\text{m}$ (± 1.03) y un grosor de $1.16 \mu\text{m}$ (± 0.19). El floema se encuentra hacia la superficie adaxial, está constituido por células poligonales y de dos a cuatro células acompañantes por elemento de tubo criboso.

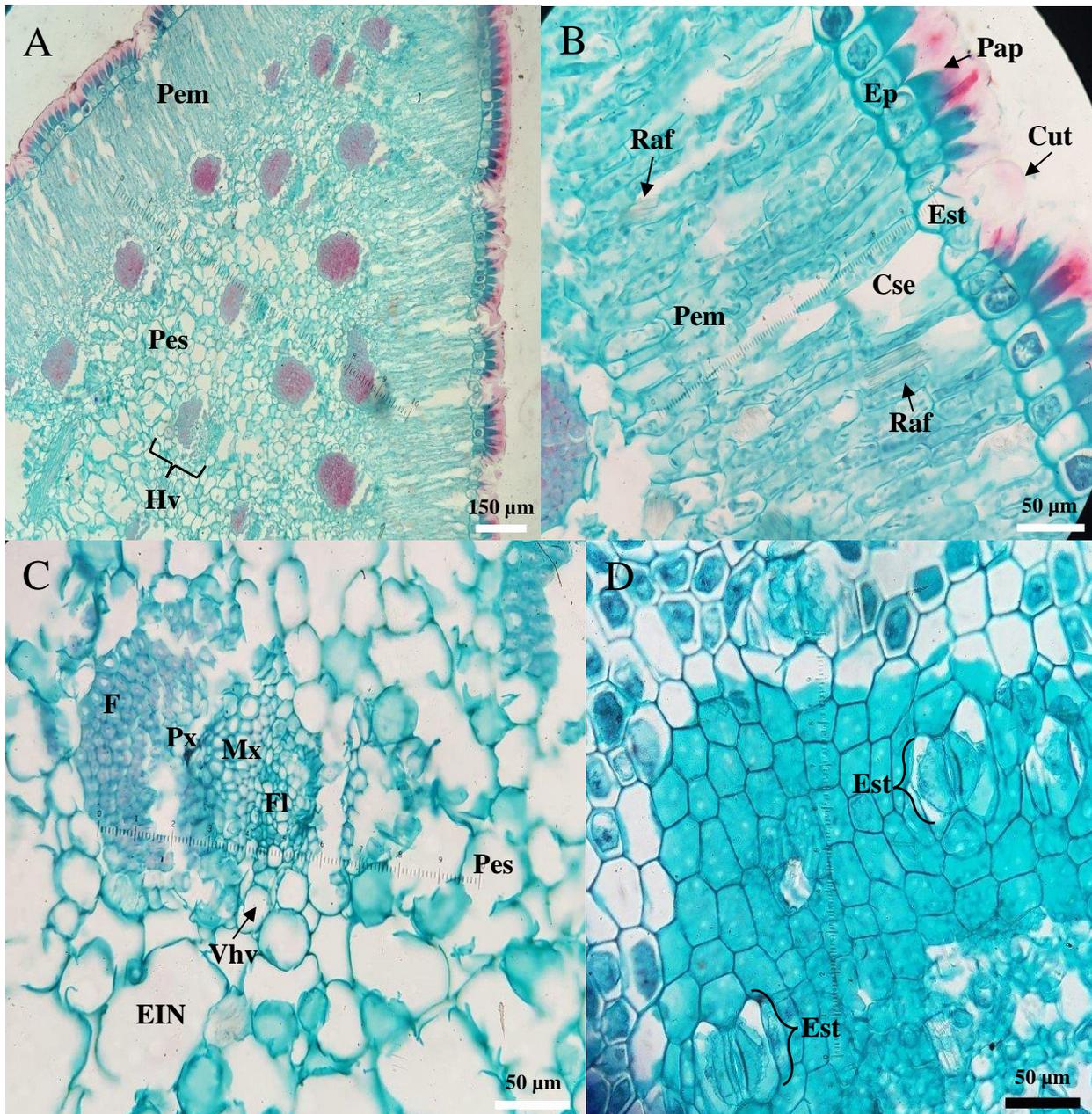


Figura 4. *Yucca brevifolia*. Hoja. (A, B, C) Sección transversal, (D) paradermal. A) Mesófilo. B) Cutícula lisa, epidermis abaxial y parénquima en empalizada. C) Haz vascular. D) Estoma paracítico. Cut = Cutícula, EIN = Espacios intercelulares, Ep = Epidermis, Est = Estoma, F = Fibras, Fl = Floema, Hv = Haz vascular, Mx = Metaxilema, Pap = Papilas, Pem = Parénquima en empalizada, Pes = Parénquima Esponjoso, Px = Protoxilema, Raf = Rafidio, Vhv = Vaina del haz vascular.

7.5 *Yucca campestris* McKelvey

En sección transversal la hoja tiene forma de “V” abierta. La cutícula es lisa en ambas superficies, mide $9.72 \mu\text{m}$ (± 2.31) de grosor en la superficie adaxial y $8.29 \mu\text{m}$ (± 2.75) en la abaxial. La epidermis está formada por una capa de células ovaladas, además presenta papilas solitarias en ambas superficies (Fig. 5A y 5B). Las células adaxiales con una altura de $25.42 \mu\text{m}$ (± 3.20) y las abaxiales $21.39 \mu\text{m}$ (± 5.97). En sección paradermal las células de la epidermis son oblongas. Las hojas son anfiestomáticas, los estomas son paracíticos (Fig. 5D), están hundidos y presentan cámaras subestomáticas delimitadas por células rectangulares en sentido periclinal, las células subsidiarias son reniformes, paralelas a las oclusivas, éstas últimas presentan proyecciones de cutina posteriores. En el mesófilo el tejido fotosintético está compuesto por parénquima en empalizada, distribuido en tres capas de células oblongas, las células tienen $44.22 \mu\text{m}$ (± 3.28) de alto y el estrato de parénquima en empalizada $158.63 \mu\text{m}$ (± 15.70) (Fig. 5B). El parénquima esponjoso registra $1103.84 \mu\text{m}$ (± 32.62) de ancho, está constituido por células irregulares, sus células miden $44.97 \mu\text{m}$ (± 9.87) de alto. Esta región de la hoja exhibió escasos estiloides y rafidios, por el contrario, en la región del parénquima en empalizada hay abundantes estiloides y rafidios. Los haces vasculares son colaterales, libres, ovados, se agrupan en dos filas en la región media del mesófilo, están rodeados por una vaina parenquimática conformada por una capa de células ovadas con $21.33 \mu\text{m}$ (± 4.35) de alto, hacia el interior de la vaina parenquimática se observan casquetes de 41.2 fibras (± 1.34), localizados del lado del xilema y el floema (Fig. 5C). El xilema está diferenciado en proto y metaxilema, el protoxilema se orienta hacia la superficie abaxial, está compuesto por 52.7 (± 1.48) células poligonales, el diámetro del lumen mide $13.39 \mu\text{m}$ (± 2.29) y el grosor de las paredes $1.58 \mu\text{m}$ (± 0.38), el metaxilema se localiza hacia la región media del haz vascular constituido por 18.23 (± 1.38) células poligonales, con un diámetro del lumen de $6.57 \mu\text{m}$ (± 1.41) y un grosor de $0.54 \mu\text{m}$ (± 0.18). El floema se encuentra hacia la superficie adaxial, está constituido por células poligonales y de una a tres células acompañantes por elemento de tubo criboso.

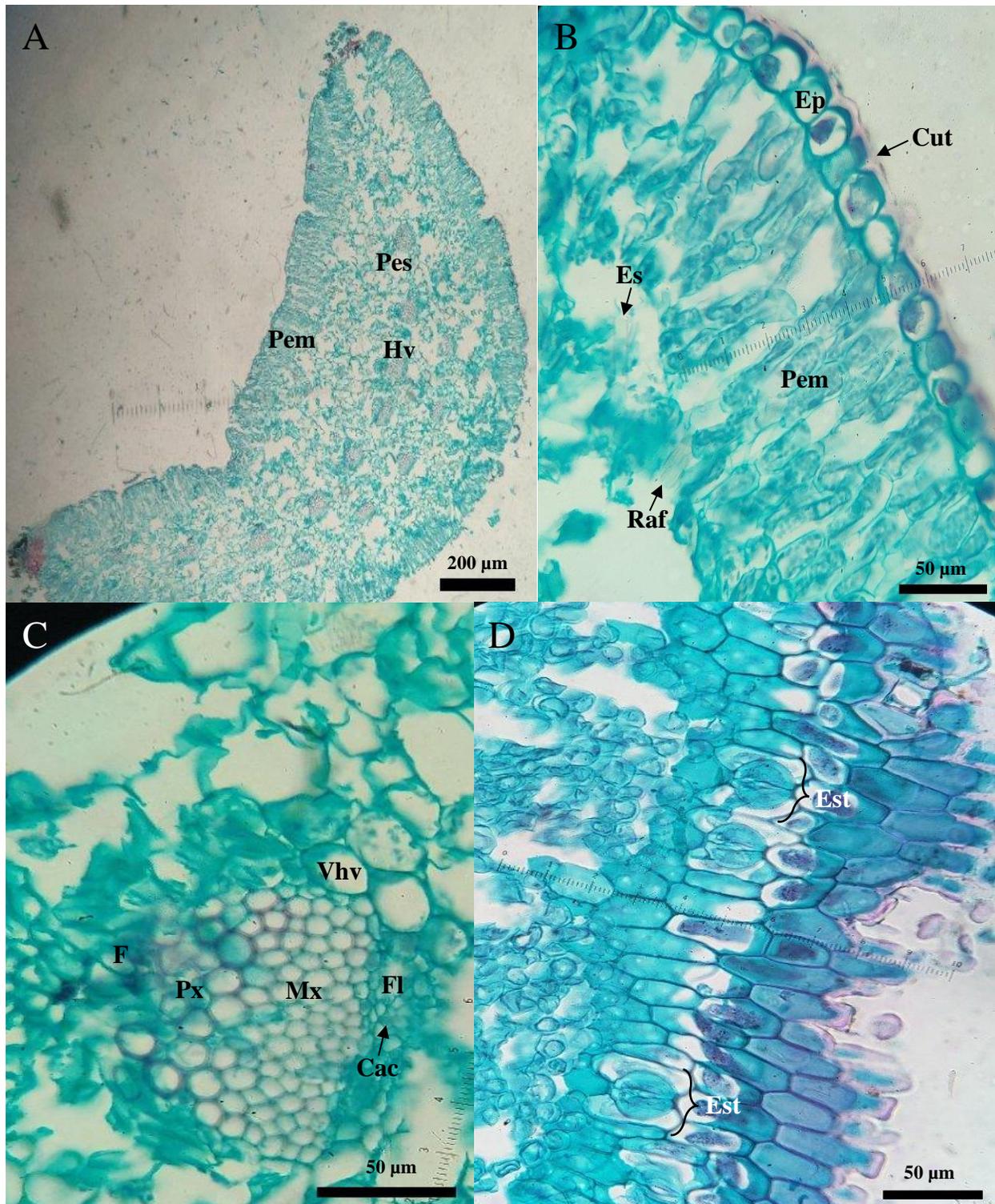


Figura 5. *Yucca campestris*. Hoja. (A, B, C) Sección transversal, (D) paradermal. **A)** Perfil de la lámina. **B)** Cutícula lisa, epidermis abaxial y parénquima en empalizada. **C)** Haz vascular. **D)** Estoma paracítico. Cut = Cutícula, Ep = Epidermis, Es = Estiloide, Est = Estoma, F = Fibras, Fl = Floema, Hv = Haz vascular, Mx = Metaxilema, Pem = Parénquima en empalizada, Pes = Parénquima Esponjoso, Px = Protoxilema, Raf = Rafidio, Vhv = Vaina del haz vascular.

7.6 *Yucca capensis* L. W. Lenz

En sección transversal, la hoja tiene forma de “V” abierta. La cutícula es lisa en ambas superficies, mide $19.74 \mu\text{m}$ (± 6.96) de grosor en la superficie adaxial y $18.95 \mu\text{m}$ (± 8.13) en la abaxial. La epidermis está formada por una capa de células cónicas, además presenta papilas agrupadas en número de dos en ambas superficies (Fig. 6A y 6B). Las células adaxiales tienen una altura de $34.83 \mu\text{m}$ (± 3.06) y las abaxiales $36.83 \mu\text{m}$ (± 3.47). En sección paradermal las células de la epidermis son poligonales. Las hojas son anfiestomáticas, los estomas son paracíticos (Fig. 6D), están hundidos y presentan cámaras subestomáticas delimitadas por células irregulares en sentido periclinal, se observaron escasos rafidios en las cámaras subestomáticas, las células subsidiarias son reniformes, paralelas a las oclusivas, éstas últimas presentan proyecciones de cutina anteriores y posteriores. En el mesófilo el tejido fotosintético está constituido por parénquima en empalizada, distribuido en tres a cuatro capas de células oblongas, las células tienen $51.07 \mu\text{m}$ (± 7.17) de alto y el estrato de parénquima en empalizada $98.36 \mu\text{m}$ (± 9.59) (Fig. 6B). El parénquima esponjoso registra $995.86 \mu\text{m}$ (± 57.25) de ancho, está conformado por células poligonales, sus células miden $32.00 \mu\text{m}$ (± 5.01) de alto. Esta región de la hoja exhibió escasos estiloides y rafidios, por el contrario, en la región del parénquima en empalizada hay escasos estiloides y rafidios. Asimismo, la zona del parénquima esponjoso presenta abundantes espacios intercelulares con una constitución homogénea que originan un mesófilo laxo en la parte central de la lámina. Los haces vasculares son colaterales, libres, ovados, se agrupan en tres filas en la región media del mesófilo, la fila central tiene los haces vasculares de mayor tamaño, están rodeados por una vaina parenquimática compuesta por una capa de células ovadas con $19.84 \mu\text{m}$ (± 2.74) de alto, hacia el interior de la vaina parenquimática se observan casquetes de 285.96 fibras (± 58.99), localizados del lado del xilema y el floema (Fig. 6C). El xilema está diferenciado en proto y metaxilema, el protoxilema se orienta hacia la superficie abaxial, está compuesto por 5.96 (± 1.47) células poligonales, el diámetro del lumen mide $14.05 \mu\text{m}$ (± 2.04) y un grosor de $2.40 \mu\text{m}$ (± 0.32), el metaxilema se localiza hacia la región media del haz vascular conformado por 14.63 (± 3.03) células ovadas, con un diámetro del lumen de $8.41 \mu\text{m}$ (± 1.12) y un grosor de $1.42 \mu\text{m}$ (± 0.19). El floema se encuentra hacia la superficie adaxial, está constituido por células poligonales y de una a cuatro células acompañantes por elemento de tubo criboso.

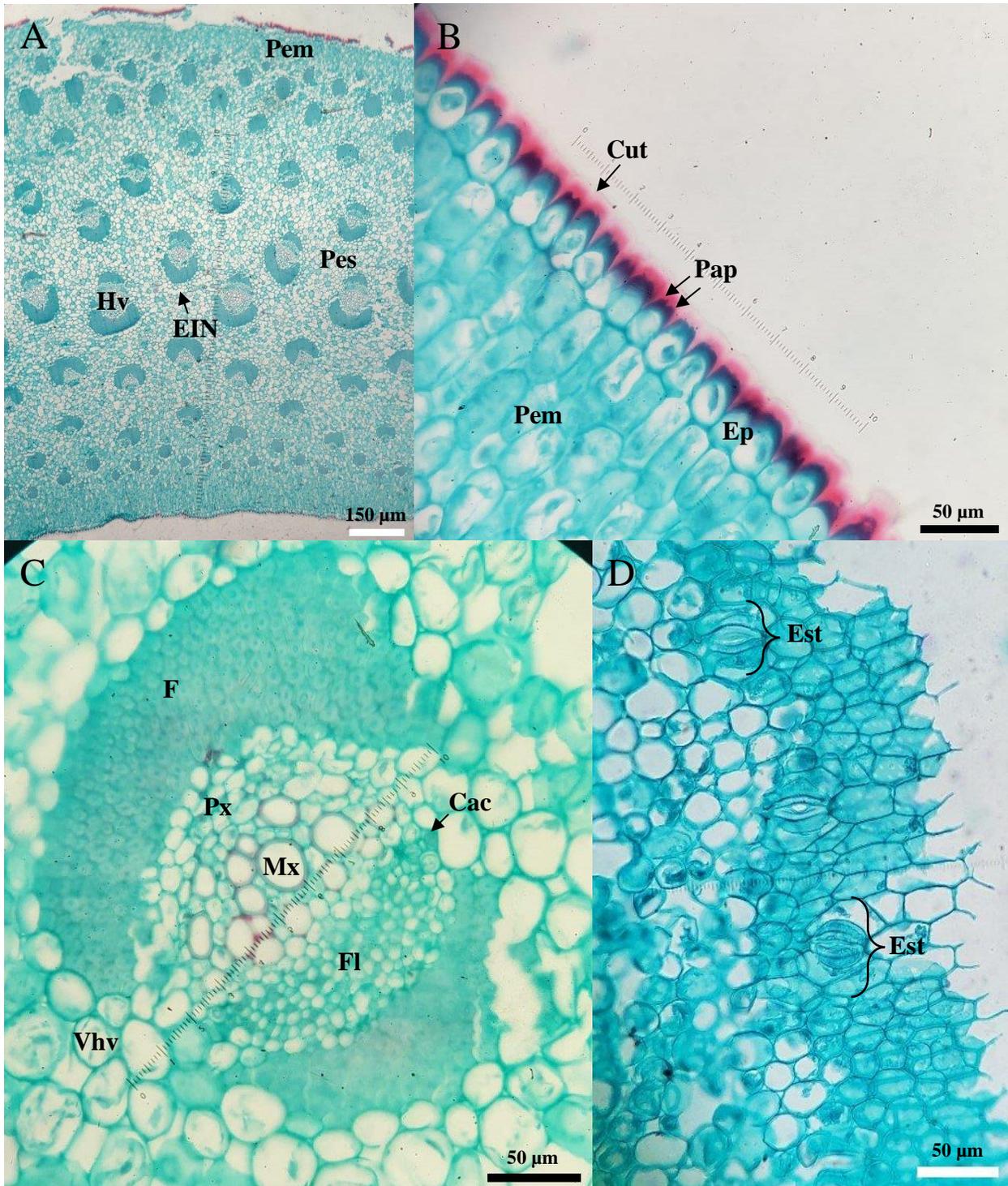


Figura 6. *Yucca capensis*. Hoja. (A, B, C) Sección transversal, (D) paradermal. A) Mesófilo. B) Cutícula lisa, epidermis abaxial y parénquima en empalizada. C) Haz vascular. D) Estoma paracítico. Cut = Cutícula, EIN = Espacios intercelulares, Ep = Epidermis, Est = Estoma, F = Fibras, Fl = Floema, Hv = Haz vascular, Mx = Metaxilema, Pap = Papilas, Pem = Parénquima en empalizada, Pes = Parénquima Esponjoso, Px = Protoxilema, Vhv = Vaina del haz vascular.

7.7. *Yucca coahuilensis* Matuda & I. Piña

En sección transversal la hoja tiene forma de “V” abierta. La cutícula es lisa en ambas superficies, mide $18.94 \mu\text{m}$ (± 6.71) de grosor en la superficie adaxial y $16.86 \mu\text{m}$ (± 5.73) en la abaxial. La epidermis está formada por una capa de células oblongas, además presenta papilas solitarias o en grupos de dos en ambas superficies (Fig. 7A y 7B). Las células adaxiales tienen $41.10 \mu\text{m}$ (± 3.95) de alto y las abaxiales $35.04 \mu\text{m}$ (± 4.71). En sección paradermal las células de la epidermis son oblongas. Las hojas son anfiestomáticas, los estomas son paracíticos (Fig. 7D), están hundidos y presentan cámaras subestomáticas delimitadas por células rectangulares en sentido periclinal, se observaron escasos rafidios en las cámaras subestomáticas, las células subsidiarias son reniformes, paralelas a las oclusivas, éstas últimas presentan proyecciones de cutina anteriores y posteriores. En el mesófilo el tejido fotosintético está conformado por parénquima en empalizada, distribuido en tres capas de células oblongas, las células tienen $33.45 \mu\text{m}$ (± 6.22) de alto y el estrato de parénquima en empalizada $123.26 \mu\text{m}$ (± 12.64) (Fig. 7B). El parénquima esponjoso registra $1237.54 \mu\text{m}$ (± 37.14) de ancho, está constituido por células irregulares, sus células miden $40.50 \mu\text{m}$ (± 6.83) de alto. Esta región de la hoja exhibió escasos estiloides y rafidios, por el contrario, en la región del parénquima en empalizada hay abundantes estiloides y rafidios. Asimismo, la zona del parénquima esponjoso presenta abundantes espacios intercelulares con una constitución homogénea que originan un mesófilo laxo en la parte central de la lámina. Los haces vasculares son colaterales, libres, ovados, se agrupan en cuatro filas en la región media del mesófilo, la fila central es de mayor tamaño, están rodeados por una vaina parenquimática compuesta por una capa de células ovadas con $19.64 \mu\text{m}$ (± 4.14) de alto, hacia el interior de la vaina parenquimática se observan casquetes de 290 fibras (± 1.11), localizados del lado del xilema y el floema (Fig. 7C). El xilema está diferenciado en proto y metaxilema, el protoxilema se orienta hacia la superficie abaxial, está compuesto por 31.73 (± 0.44) células poligonales, el diámetro del lumen mide $18.58 \mu\text{m}$ (± 4.53) y el grosor de las paredes $1.63 \mu\text{m}$ (± 0.48), el metaxilema se localiza hacia la región media del haz vascular conformado por 38.56 (± 1.19) células irregulares, con un diámetro del lumen de $9.62 \mu\text{m}$ (± 2.69) y un grosor de $0.52 \mu\text{m}$ (± 0.19). El floema se encuentra hacia la superficie adaxial, está constituido por células poligonales y de una a tres células acompañantes por elemento de tubo criboso.

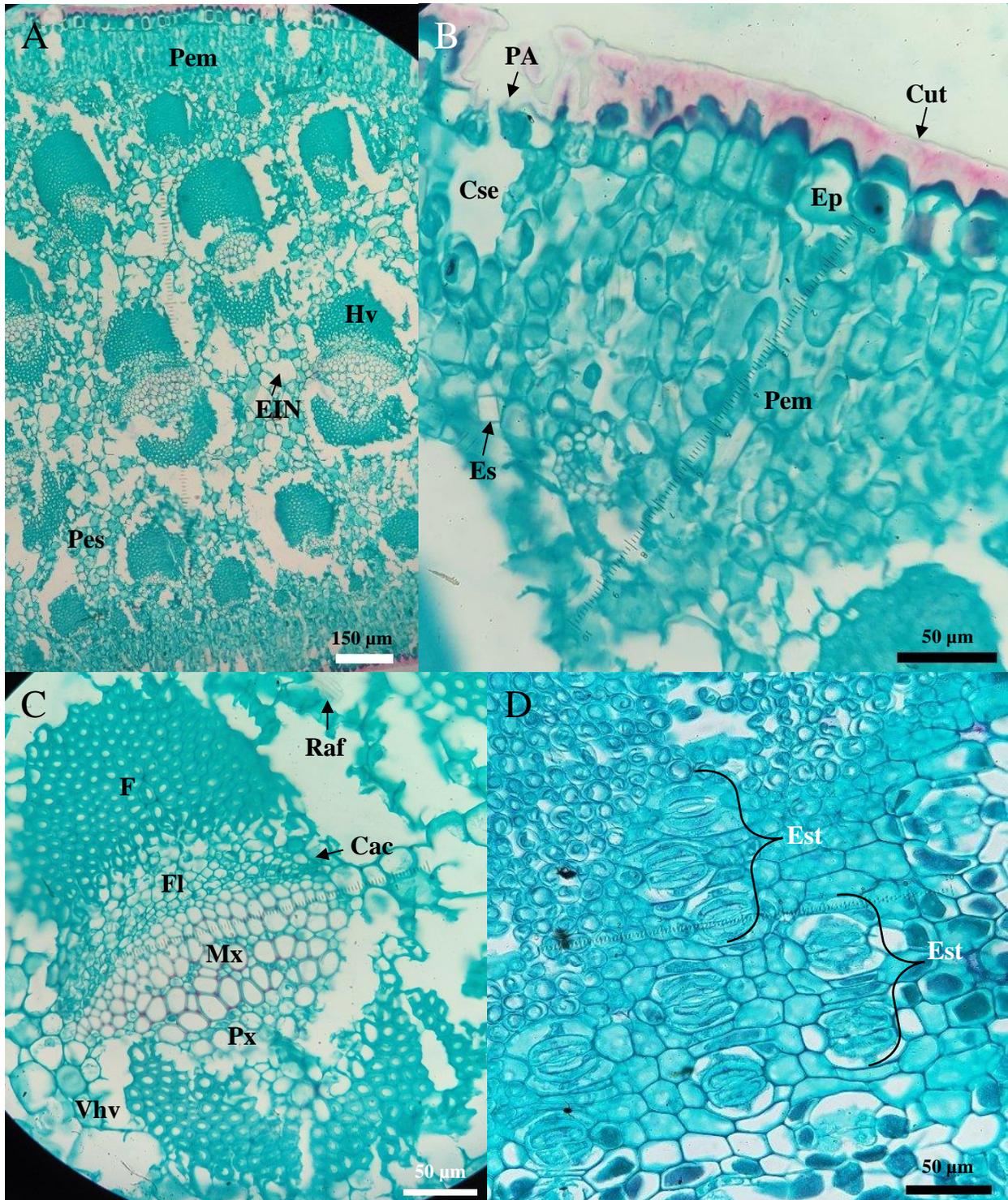


Figura 7. *Yucca coahuilensis*. Hoja. (A, B, C) Sección transversal, (D) paradermal. **A)** Mesófilo. **B)** Cutícula lisa, epidermis abaxial y parénquima en empalizada. **C)** Haz vascular. **D)** Estomas paracíticos. Cse = Cámara subestomática, Cut = Cutícula, EIN = Espacios intercelulares, Ep = Epidermis, Es = Estiloide, Est = Estoma, F = Fibras, Fl = Floema, Hv = Haz vascular, Mx = Metaxilema, PA = Estoma con proyecciones anteriores; Pem = Parénquima en empalizada, Pes = Parénquima Esponjoso, Px = Protoxilema, Vhv = Vaina del haz vascular.

7.8 *Yucca constricta* Buckley

En sección transversal la hoja tiene forma de “V” recta. La cutícula es lisa en ambas superficies, mide $7.17 \mu\text{m}$ (± 2.40) de grosor en la superficie adaxial y $6.52 \mu\text{m}$ (± 1.50) en la abaxial. La epidermis está formada por una capa de células oblongas, además presenta papilas en grupos de dos o tres en ambas superficies de la hoja (Fig. 8A y 8B). Las células adaxiales miden $22.07 \mu\text{m}$ (± 1.43) de alto y las abaxiales $19.78 \mu\text{m}$ (± 2.06). En sección paradermal las células de la epidermis son irregulares. Las hojas son anfiestomáticas, los estomas son paracíticos (Fig. 8D), están hundidos y presentan cámaras subestomáticas delimitadas por células irregulares en sentido periclinal, las células subsidiarias son reniformes, paralelas a las oclusivas, éstas últimas presentan proyecciones de cutina anteriores y posteriores. En el mesófilo el tejido fotosintético está constituido por parénquima en empalizada, distribuido en tres capas de células oblongas, las células tienen $48.73 \mu\text{m}$ (± 7.30) de alto y el estrato de parénquima en empalizada $170.08 \mu\text{m}$ (± 15.10) (Fig. 8B). El parénquima esponjoso registra $644.82 \mu\text{m}$ (± 77.30) de ancho, está conformado por células esféricas, sus células miden $23.01 \mu\text{m}$ (± 2.74) de alto. El mesófilo exhibió escasos estiloides y no presentó rafidios. Asimismo, la zona del parénquima esponjoso presenta abundantes espacios intercelulares con una constitución homogénea que originan un mesófilo laxo en la parte central de la lámina. Los haces vasculares son colaterales, libres, ovados, se agrupan en dos filas en la región media del mesófilo, están rodeados por una vaina parenquimática compuesta por una capa de células ovadas con $13.84 \mu\text{m}$ (± 2.21) de alto, hacia el interior de la vaina parenquimática se observan casquetes de 124.56 fibras (± 11.78), localizados del lado del xilema y el floema (Fig. 8C). El xilema está diferenciado en proto y metaxilema, el protoxilema se orienta hacia la superficie abaxial, está constituido por 9.06 (± 1.36) células poligonales, el diámetro del lumen mide $9.33 \mu\text{m}$ (± 1.21) y el grosor de las paredes $1.92 \mu\text{m}$ (± 0.37), el metaxilema se localiza hacia la región media del haz vascular conformado por 18.06 (± 0.03) células poligonales, con un diámetro del lumen de $6.10 \mu\text{m}$ (± 1.04) y un grosor de $1.40 \mu\text{m}$ (± 0.28). El floema se encuentra hacia la superficie adaxial, está constituido por células poligonales y de una a cuatro células acompañantes por elemento de tubo criboso.

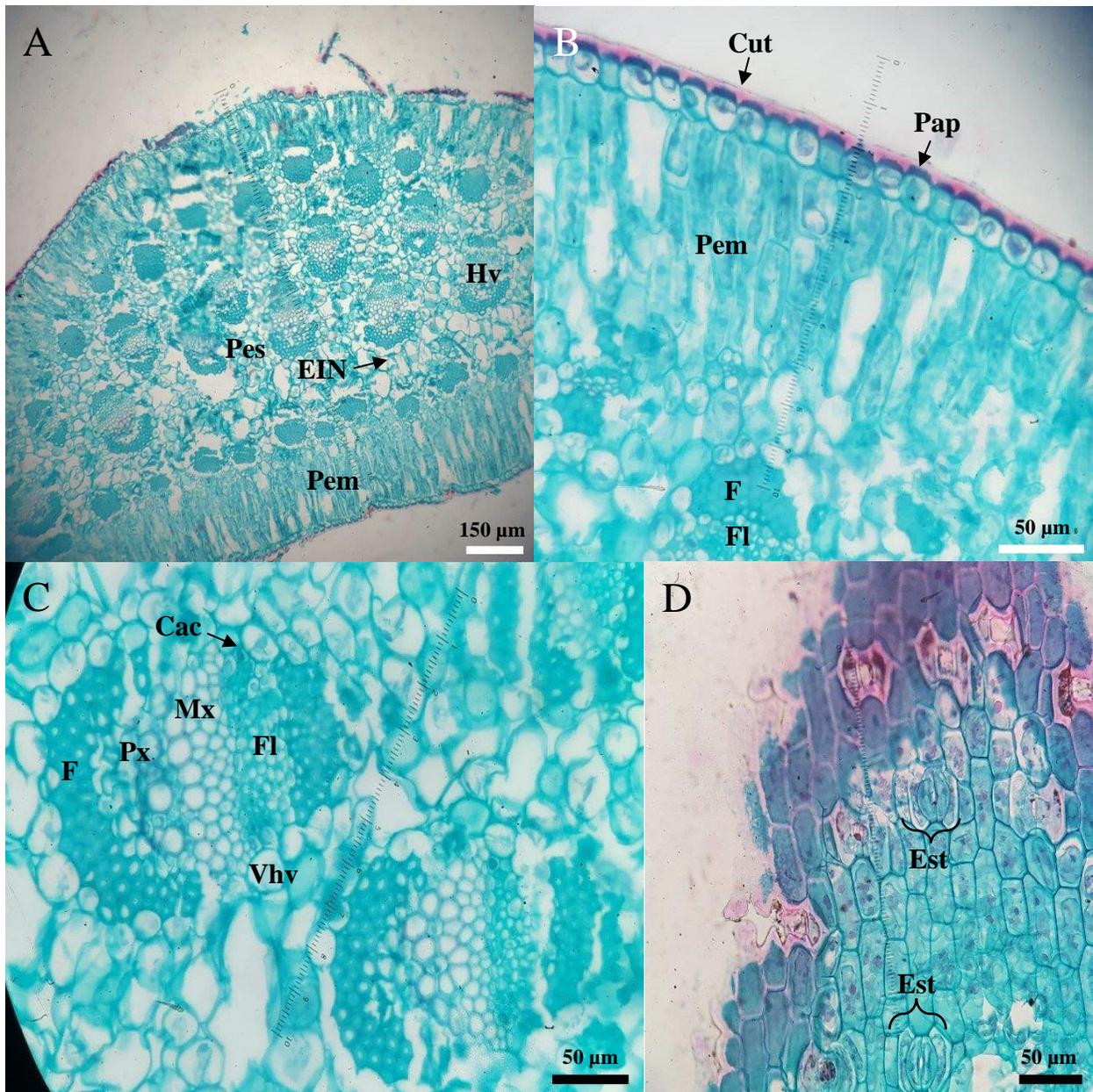


Figura 8. *Yucca constricta*. Hoja. (A, B, C) Sección transversal, (D) paradermal. **A)** Mesófilo. **B)** Cutícula lisa, epidermis abaxial y parénquima en empalizada. **C)** Haz vascular. **D)** Estomas paracíticos. Cut = Cutícula, EIN = Espacios intercelulares, Ep = Epidermis, Est = Estoma, F = Fibras, Fl = Floema, Hv = Haz vascular, Mx = Metaxilema, PA = Estoma con proyecciones anteriores; Pem = Parénquima en empalizada, Pes = Parénquima Esponjoso, Px = Protoxilema, Vhv = Vaina del haz vascular.

7.9 *Yucca decipiens* Trel.

En sección transversal la hoja tiene forma de “V” recta. La cutícula es lisa en ambas superficies, mide $36.41 \mu\text{m}$ (± 9.33) de grosor en la superficie adaxial y $35.62 \mu\text{m}$ (± 10.16) en la abaxial. La epidermis está conformada por una capa de células triangulares, además presenta papilas solitarias en ambas superficies (Fig. 9A y 9B). Este tejido exhibió abundantes rafidios y escasos estiloides. Las células adaxiales exhiben una altura de $46.05 \mu\text{m}$ (± 3.91) y las abaxiales $46.72 \mu\text{m}$ (± 4.87). En sección paradermal las células de la epidermis son irregulares. Las hojas son anfiestomáticas, los estomas son paracíticos (Fig. 9D), están hundidos y presentan cámaras subestomáticas delimitadas por células rectangulares en sentido periclinal, se observaron escasos rafidios en las cámaras subestomáticas, las células subsidiarias son reniformes, paralelas a las oclusivas, éstas últimas presentan proyecciones de cutina anteriores y posteriores. En el mesófilo el tejido fotosintético está compuesto por parénquima en empalizada distribuido en cinco a siete capas de células oblongas, las células tienen $97.65 \mu\text{m}$ (± 9.52) de alto y el estrato de parénquima en empalizada $603.92 \mu\text{m}$ (± 29.03) (Fig. 9B). El parénquima esponjoso registra $1474.26 \mu\text{m}$ (± 15.48) de ancho, está constituido por células ovoides, sus células miden $43.53 \mu\text{m}$ (± 9.65) de alto. El mesófilo exhibió abundantes rafidios, por el contrario, hay escasos estiloides en el parénquima esponjoso y son abundantes en el parénquima en empalizada. Asimismo, la zona del parénquima esponjoso presenta abundantes espacios intercelulares con una constitución homogénea que originan un mesófilo laxo en la parte central de la lámina. Los haces vasculares son colaterales, libres, ovados, se agrupan en dos filas en la región media del mesófilo, están rodeados por una vaina parenquimática compuesta por una capa de células ovadas con $22.90 \mu\text{m}$ (± 6.85) de alto, hacia el interior de la vaina parenquimática se observan casquetes de 96 fibras (± 0.98), localizados del lado del xilema y el floema (Fig. 9C). El xilema está diferenciado en proto y metaxilema, el protoxilema se orienta hacia la superficie abaxial, está conformado por 13.03 (± 0.88) células poligonales, el diámetro del lumen mide $11.36 \mu\text{m}$ (± 3.42) y el grosor de las paredes $1.38 \mu\text{m}$ (± 0.46), el metaxilema se localiza hacia la región media del haz vascular constituido por 13.7 (± 0.46) células poligonales, con un diámetro del lumen de $6.55 \mu\text{m}$ (± 1.95) y un grosor de $0.46 \mu\text{m}$ (± 0.13). El floema se encuentra hacia la superficie adaxial, está constituido por células poligonales y de una a tres células acompañantes por elemento de tubo criboso.

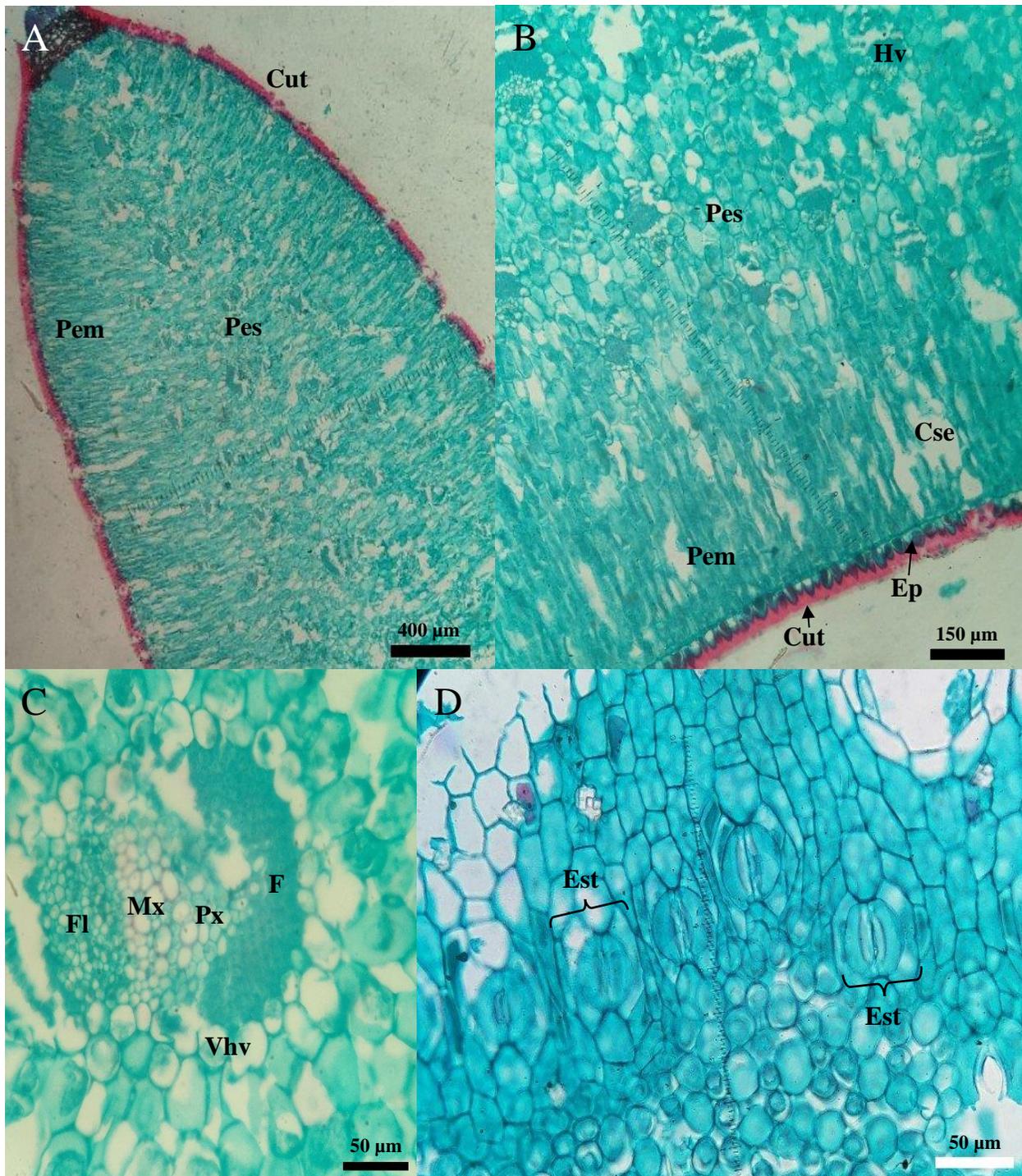


Figura 9. *Yucca decipiens*. Hoja. (A, B, C) Sección transversal, (D) paradermal. **A)** Mesófilo. **B)** Cutícula lisa, epidermis adaxial y parénquima en empalizada. **C)** Haz vascular. **D)** Estomas paracíticos. Cse = Cámara subestomática, Cut = Cutícula, Ep = Epidermis, Est = Estoma, F = Fibras, Fl = Floema, Hv = Haz vascular, Mx = Metaxilema, Pem = Parénquima en empalizada, Pes = Parénquima Esponjoso, Px = Protoxilema, Vhv = Vaina del haz vascular.

7.10 *Yucca declinata* Laferr.

En sección transversal la hoja tiene forma de “V” abierta. La cutícula es lisa en ambas superficies, mide $8.74 \mu\text{m}$ (± 2.94) de grosor en la superficie adaxial y $3.24 \mu\text{m}$ (± 0.30) en la abaxial. La epidermis está formada por una capa de células epidérmicas ovadas, además no presenta papilas en ninguna de las superficies (Fig. 10A y 10B). Las células adaxiales con una altura de $22.62 \mu\text{m}$ (± 2.40) y las abaxiales $18.60 \mu\text{m}$ (± 2.48). En sección paradermal las células de la epidermis son oblongas. Las hojas son anfiestomáticas, los estomas son paracíticos (Fig. 10D), están hundidos y presentan cámaras subestomáticas delimitadas por células irregulares en sentido periclinal, las células subsidiarias son reniformes, paralelas a las oclusivas, estas últimas presentan proyecciones de cutina anteriores y posteriores. En el mesófilo el tejido fotosintético está constituido por parénquima en empalizada, distribuido en dos capas de células oblongas, las células tienen $54.49 \mu\text{m}$ (± 6.68) de alto y el estrato de parénquima en empalizada $102.28 \mu\text{m}$ (± 11.78) (Fig. 10B). El parénquima esponjoso registra $483.33 \mu\text{m}$ (± 33.76) de ancho, está compuesto por células irregulares, sus células miden $35.06 \mu\text{m}$ (± 5.63) de alto. El mesófilo exhibió escasos rafidios, por el contrario, en la región del parénquima esponjoso hay escasos estiloides. Asimismo, la zona del parénquima esponjoso presenta abundantes espacios intercelulares con una constitución homogénea que originan un mesófilo laxo en la parte central de la lámina. Los haces vasculares son colaterales, libres, ovados, se agrupan en una sola fila en la región media del mesófilo, están rodeados por una vaina parenquimática compuesta por una capa de células ovadas con $22.24 \mu\text{m}$ (± 4.81) de alto, hacia el interior de la vaina parenquimática se observan casquetes de 123.43 fibras (± 10.17), localizados del lado del xilema y el floema (Fig. 10C). El xilema está diferenciado en proto y metaxilema, el protoxilema se orienta hacia la superficie abaxial, está compuesto por 9.83 (± 1.85) células poligonales, el diámetro del lumen mide $12.10 \mu\text{m}$ (± 2.31) y el grosor de las paredes $2.29 \mu\text{m}$ (± 0.38), el metaxilema se localiza hacia la región media del haz vascular conformado por 18.66 (± 3.08) células poligonales, con un diámetro del lumen de $7.36 \mu\text{m}$ (± 1.26) y un grosor de $1.34 \mu\text{m}$ (± 0.26). El floema se encuentra hacia la superficie adaxial, está constituido por células poligonales y de una a tres células acompañantes por elemento de tubo criboso.

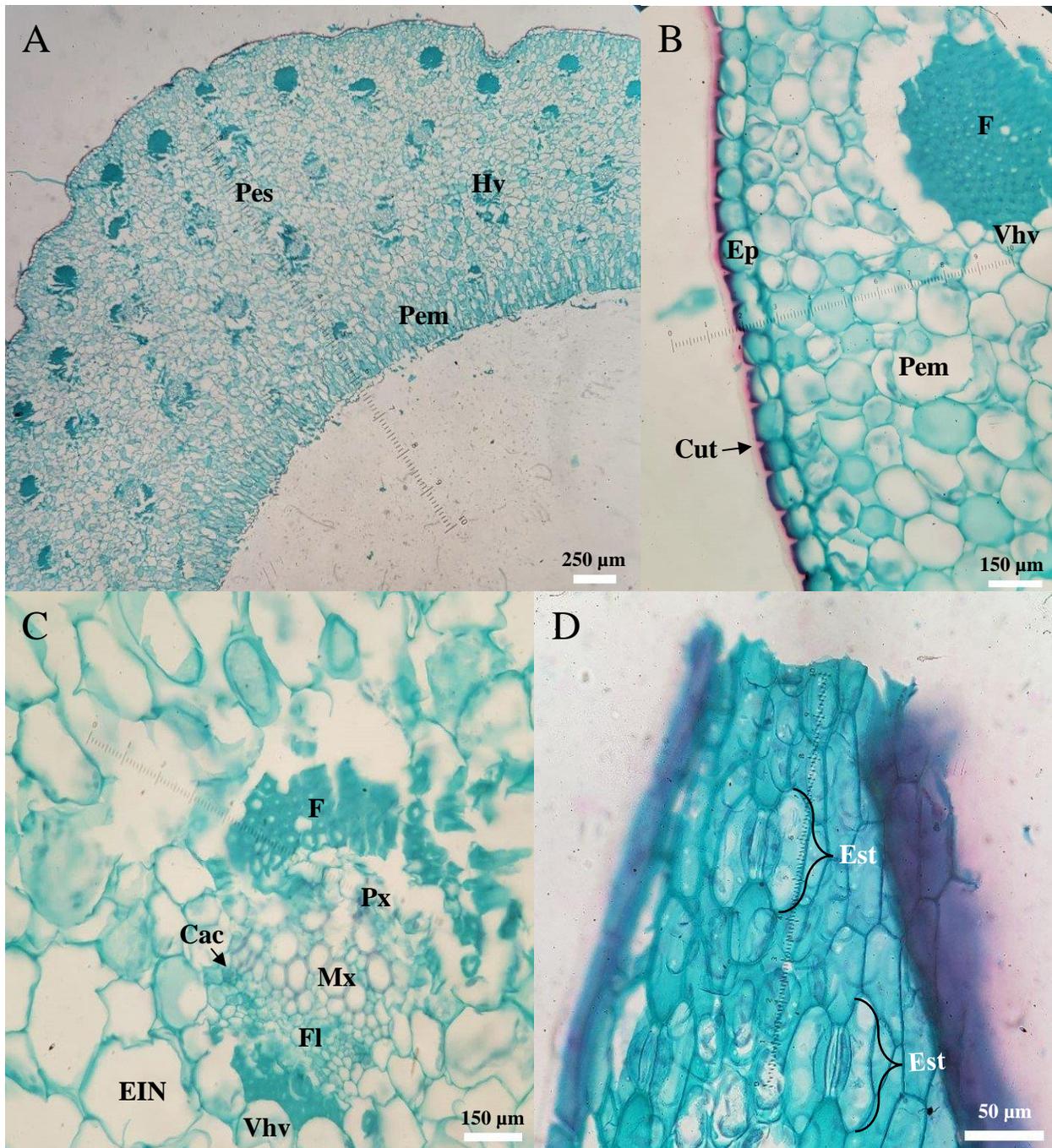


Figura 10. *Yucca declinata*. Hoja. (A, B, C) Sección transversal, (D) paradermal. **A)** Mesófilo. **B)** Cutícula lisa, epidermis abaxial y parénquima en empalizada. **C)** Haz vascular. **D)** Estomas paracíticos. Cac = Célula acompañante, Cut = Cutícula, EIN = Espacios intercelulares, Ep = Epidermis, Est = Estoma, F = Fibras, Fl = Floema, Hv = Haz vascular, Mx = Metaxilema, Pem = Parénquima en empalizada, Pes = Parénquima Esponjoso, Px = Protoxilema, Vhv = Vaina del haz vascular.

7.11 *Yucca elata* (Engelm.) Engelm.

En sección transversal la hoja tiene forma de “V” recta. La cutícula es lisa en ambas superficies, mide $17.37 \mu\text{m}$ (± 8.33) de grosor en la superficie adaxial y $18.21 \mu\text{m}$ (± 8.60) en la abaxial. La epidermis está formada por una capa de células piriformes, además presenta papilas en grupos de tres o cuatro en ambas superficies (Fig. 11A y 11B). Este tejido exhibió abundantes rafidios. Las células adaxiales tienen una altura de $40.83 \mu\text{m}$ (± 4.69) y las abaxiales $36.16 \mu\text{m}$ (± 2.74). En sección paradermal las células de la epidermis son esféricas. Las hojas son anfiestomáticas, los estomas son paracíticos (Fig. 11D), están hundidos y presentan cámaras subestomáticas delimitadas por células irregulares en sentido periclinal, las células subsidiarias son reniformes, paralelas a las oclusivas, estas últimas presentan proyecciones de cutina anteriores y posteriores. En el mesófilo el tejido fotosintético está conformado por parénquima en empalizada distribuido en tres capas de células oblongas, las células tienen $36.83 \mu\text{m}$ (± 5.59) de alto y el estrato de parénquima en empalizada $98.74 \mu\text{m}$ (± 12.16) (Fig. 11B). El parénquima esponjoso registra $1716.86 \mu\text{m}$ (± 19.77) de ancho, está constituido por células esféricas de paredes delgadas, sus células miden $30.15 \mu\text{m}$ (± 4.65) de alto. El mesófilo exhibió abundantes rafidios, por el contrario, en la región del parénquima esponjoso hay abundantes estiloides y son escasos en el parénquima en empalizada. Los haces vasculares son colaterales, libres, ovados, se agrupan en cuatro filas en la región media del mesófilo, están rodeados por una vaina parenquimática compuesta por una capa de células ovadas con $20.18 \mu\text{m}$ (± 4.19) de alto, hacia el interior de la vaina parenquimática se observan casquetes de 46.2 fibras (± 0.71), localizados del lado del xilema y el floema (Fig. 11C). El xilema está diferenciado en proto y metaxilema, el protoxilema se orienta hacia la superficie abaxial, está conformado por 38.1 (± 1.34) células poligonales, el diámetro del lumen mide $16.73 \mu\text{m}$ (± 2.09) y el grosor de las paredes $1.95 \mu\text{m}$ (± 0.52), el metaxilema se localiza hacia la región media del haz vascular compuesto por 30.4 (± 0.81) células poligonales, con un diámetro del lumen de $8.27 \mu\text{m}$ (± 1.78) y un grosor de $0.55 \mu\text{m}$ (± 0.24). El floema se encuentra hacia la superficie adaxial, está constituido por células poligonales y de una a cuatro células acompañantes por elemento de tubo criboso.

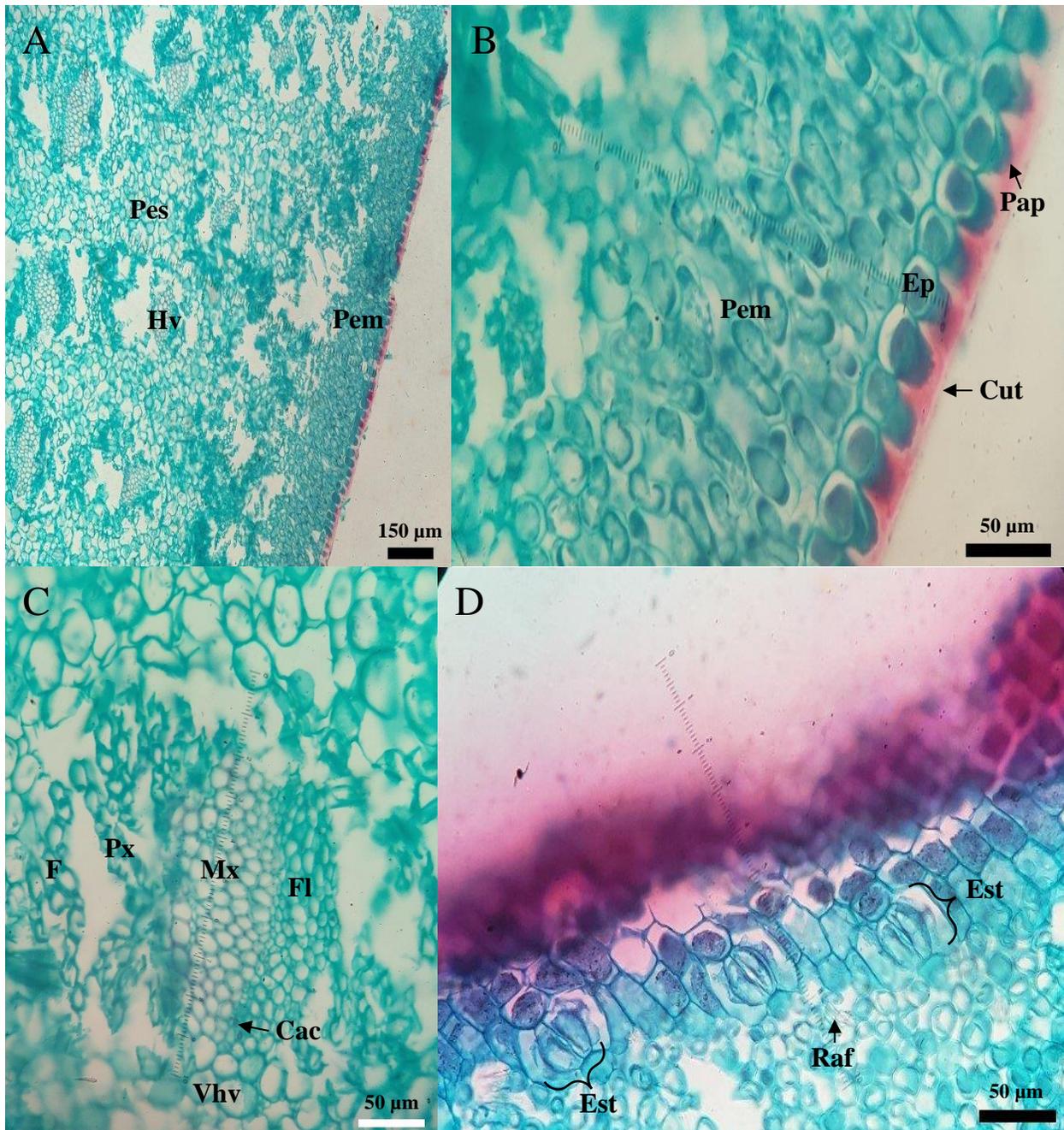


Figura 11. *Yucca elata*. Hoja. (A, B, C) Sección transversal, (D) paradermal. **A)** Mesófilo. **B)** Cutícula lisa, epidermis adaxial y parénquima en empalizada. **C)** Haz vascular. **D)** Estomas paracíticos. Cac = Célula acompañante, Cut = Cutícula, Ep = Epidermis, Est = Estoma, F = Fibras, Fl = Floema, Hv = Haz vascular, Mx = Metaxilema, Pem = Parénquima en empalizada, Pes = Parénquima Esponjoso, Px = Protoxilema, Raf = Rafidio, Vhv = Vaina del haz vascular.

7.12 *Yucca filamentosa* L.

En sección transversal la hoja tiene forma recta. La cutícula es lisa en ambas superficies, mide $5.50\ \mu\text{m}$ (± 2.16) de grosor en la superficie adaxial y $1.88\ \mu\text{m}$ (± 0.40) en la superficie abaxial. La epidermis está formada por una capa de células ovadas, además no presenta papilas en ninguna de las superficies (Fig. 12A y 12B). Las células adaxiales tienen $17.31\ \mu\text{m}$ (± 2.66) de alto y las abaxiales $18.30\ \mu\text{m}$ (± 2.74). En sección paradermal las células de la epidermis son oblongas. Las hojas son anfiestomáticas, los estomas son paracíticos (Fig. 12C), no están hundidos y presentan cámaras subestomáticas delimitadas por células rectangulares en sentido periclinal, las células subsidiarias son reniformes, paralelas a las oclusivas, estas últimas presentan proyecciones de cutina anteriores y posteriores. En el mesófilo el tejido fotosintético está conformado por parénquima en empalizada distribuido en dos capas de células irregulares, las células tienen $38.60\ \mu\text{m}$ (± 450) de alto y el estrato de parénquima en empalizada $62.40\ \mu\text{m}$ (± 9.33) (Fig. 12B). El parénquima esponjoso registra $147.32\ \mu\text{m}$ (± 17.10) de ancho, está constituido por células irregulares, sus células miden $24.78\ \mu\text{m}$ (± 2.96) de alto. Esta región de la hoja exhibió escasos rafidios, por el contrario, el mesófilo no presentó estiloides. Asimismo, la zona del parénquima esponjoso presenta abundantes espacios intercelulares con una constitución homogénea que originan un mesófilo laxo en la parte central de la lámina. Los haces vasculares son colaterales, libres, ovados, se agrupan en dos filas en la región media del mesófilo, están rodeados por una vaina parenquimática compuesta por una capa de células ovadas con $14.00\ \mu\text{m}$ (± 2.06) de alto, hacia el interior de la vaina parenquimática se observan casquetes de 58.86 fibras (± 8.24), localizados del lado del xilema y el floema (Fig. 12B). El xilema está diferenciado en proto y metaxilema, el protoxilema se orienta hacia la superficie abaxial, está conformado por 11.7 (± 2.98) células poligonales, el diámetro del lumen mide $8.38\ \mu\text{m}$ (± 1.45) y el grosor de las paredes $1.72\ \mu\text{m}$ (± 0.36), el metaxilema se localiza hacia la región media del haz vascular constituido por 30.86 (± 6.17) células poligonales, con un diámetro del lumen de $5.38\ \mu\text{m}$ (± 0.78) y un grosor de $1.04\ \mu\text{m}$ (± 0.17). El floema se encuentra hacia la superficie adaxial, está constituido por células poligonales y de una a tres células acompañantes por elemento de tubo criboso.

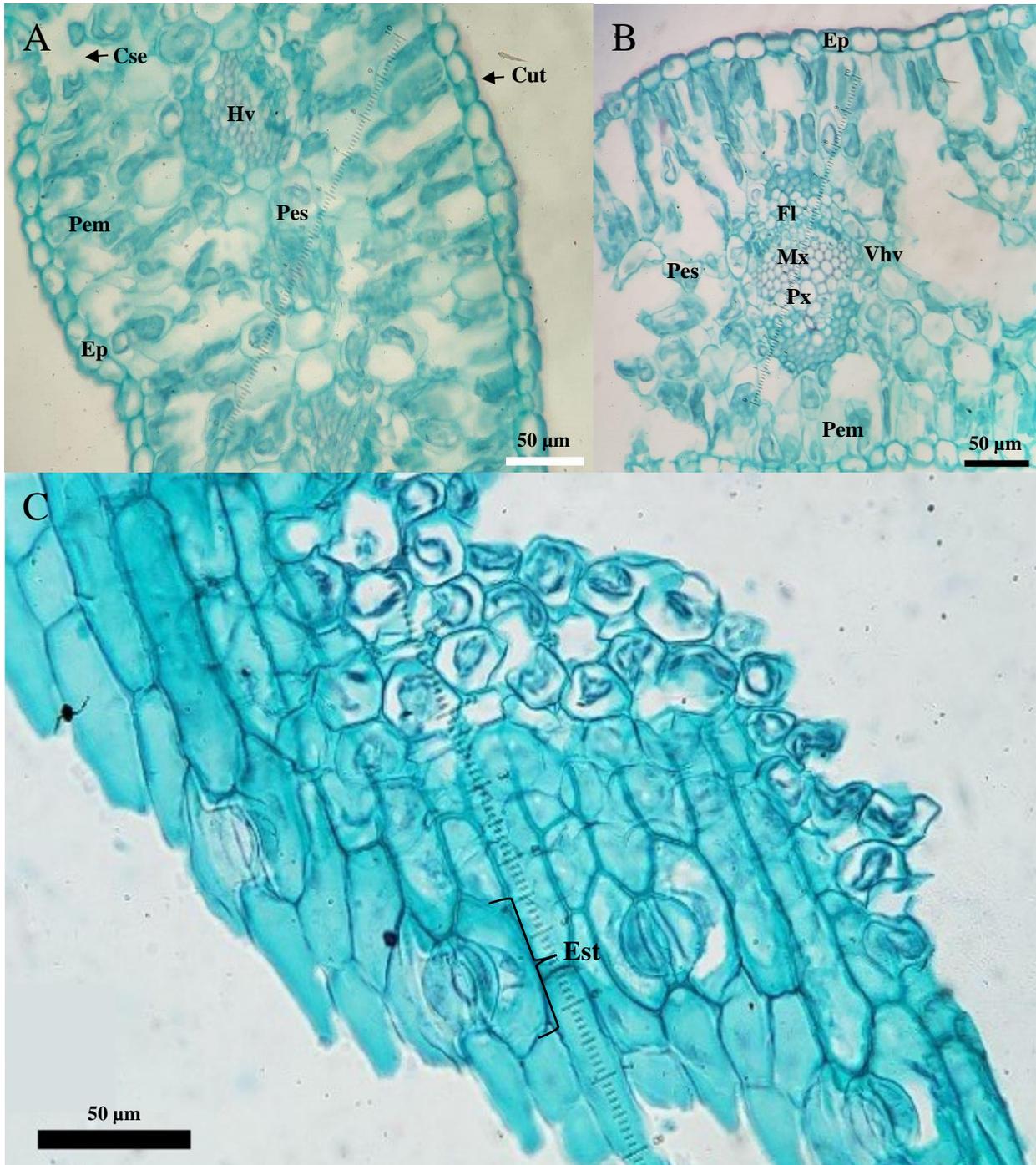


Figura 12. *Yucca filamentosa*. Hoja. (A, B) Sección transversal, (C) paradermal. A) Mesófilo. B) Cutícula lisa, epidermis adaxial y haz vascular. C) Estomas paracíticos. Cse = Cámara subestomática, Cut = Cutícula, Ep = Epidermis, Est = Estoma, F = Fibras, Fl = Floema, Hv = Haz vascular, Mx = Metaxilema, Pem = Parénquima en empalizada, Pes = Parénquima Esponjoso, Px = Protoxilema, Vhv = Vaina del haz vascular.

7.13 *Yucca gloriosa* L.

En sección transversal la hoja tiene forma de “V” abierta. La cutícula es lisa en ambas superficies, mide $7.64 \mu\text{m}$ (± 2.20) de grosor en la superficie adaxial y $10.08 \mu\text{m}$ (± 2.54) en la abaxial. La epidermis está formada por una capa de células oblongas, además no presenta papilas en ninguna de las superficies (Fig. 13A y 13B). Las células adaxiales miden $24.27 \mu\text{m}$ (± 3.64) de alto y las abaxiales $24.59 \mu\text{m}$ (± 4.45). En sección paradermal las células de la epidermis son oblongas. Las hojas son anfiestomáticas, los estomas son paracíticos (Fig. 13D), están hundidos y presentan cámaras subestomáticas delimitadas por células rectangulares en sentido periclinal, las células subsidiarias son reniformes, paralelas a las oclusivas, éstas últimas presentan proyecciones de cutina anteriores y posteriores. En el mesófilo el tejido fotosintético está compuesto por parénquima en empalizada distribuido en dos a tres capas de células oblongas, las células tienen $31.49 \mu\text{m}$ (± 6.34) de alto y el estrato de parénquima en empalizada $72.58 \mu\text{m}$ (± 11.20) (Fig. 13B). El parénquima esponjoso registra $308.76 \mu\text{m}$ (± 11.72) de ancho, está conformado por células poligonales, sus células miden $40.31 \mu\text{m}$ (± 8.50) de alto. El mesófilo exhibió abundantes rafidios y escasos estiloides. Los haces vasculares son colaterales, libres, ovados, se agrupan en una fila en la región media del mesófilo, están rodeados por una vaina parenquimática constituida por una capa de células ovadas con $24.08 \mu\text{m}$ (± 4.65) de alto, hacia el interior de la vaina parenquimática se observan casquetes de 113.1 fibras (± 1.02), localizados del lado del xilema y el floema (Fig. 13C). El xilema está diferenciado en proto y metaxilema, el protoxilema se orienta hacia la superficie abaxial, está conformado por 27.23 (± 1.45) células poligonales, el diámetro del lumen mide $15.12 \mu\text{m}$ (± 2.60) y el grosor de las paredes $1.44 \mu\text{m}$ (± 0.32), el metaxilema se localiza hacia la región media del haz vascular conformado por 17.2 (± 1.82) células poligonales, con un diámetro del lumen de $8.38 \mu\text{m}$ (± 1.37) y un grosor de $0.58 \mu\text{m}$ (± 0.12). El floema se encuentra hacia la superficie adaxial, está constituido por células poligonales y de una a cinco células acompañantes por elemento de tubo criboso.

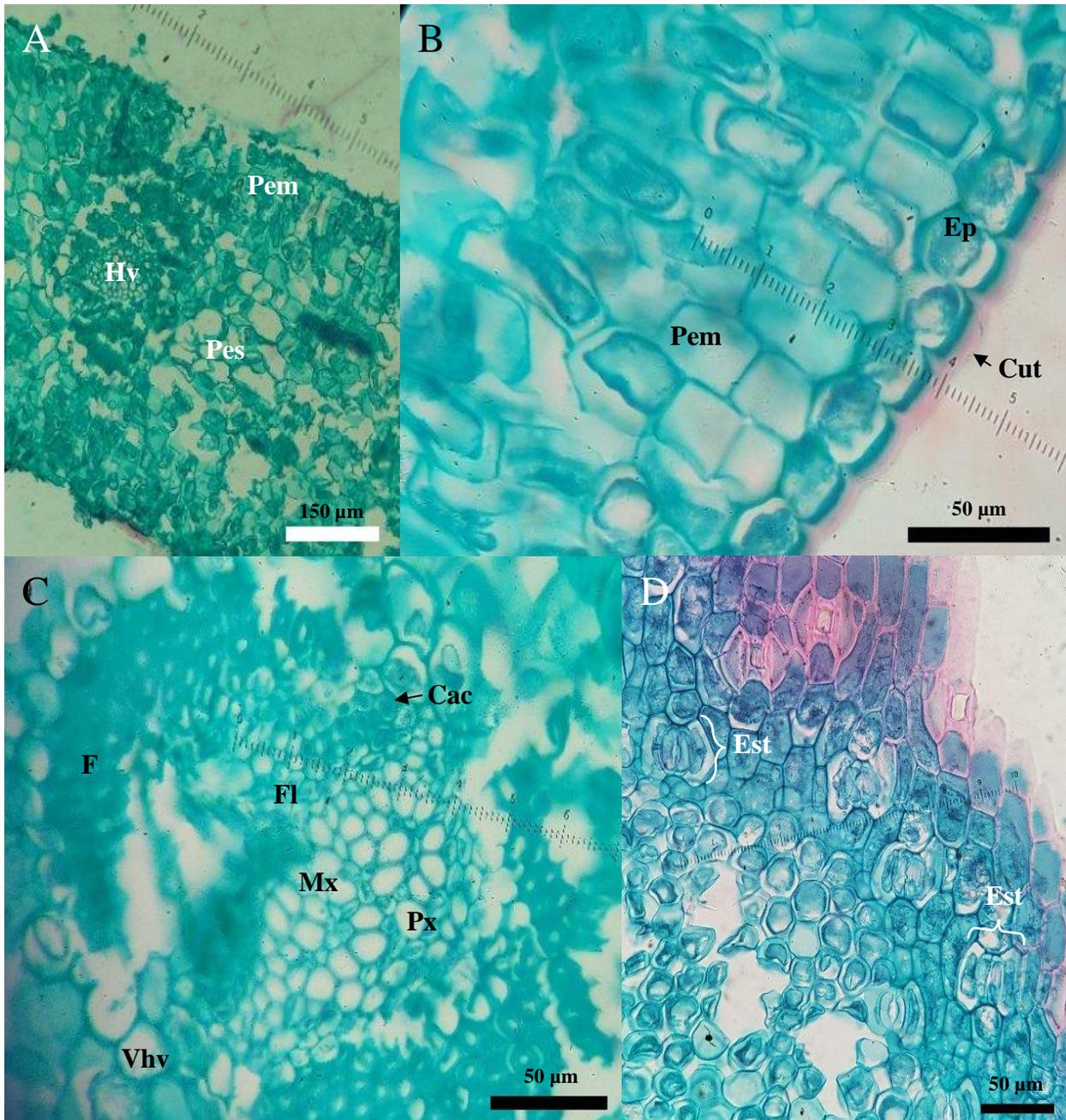


Figura 13. *Yucca gloriosa*. Hoja. (A, B, C) Sección transversal, (D) paradermal. **A)** Mesófilo. **B)** Cutícula lisa, epidermis abaxial y parénquima en empalizada. **C)** Haz vascular. **D)** Estomas paracíticos. Cac = Célula acompañante, Cut = Cutícula, Ep = Epidermis, Est = Estoma, F = Fibras, Fl = Floema, Hv = Haz vascular, Mx = Metaxilema, Pem = Parénquima en empalizada, Pes = Parénquima Esponjoso, Px = Protoxilema, Vhv = Vaina del haz vascular.

7.14 *Yucca grandiflora* Gentry

En sección transversal la hoja tiene forma de “V” recta. La cutícula es lisa en ambas superficies, mide $32.03 \mu\text{m}$ (± 9.59) de grosor en la superficie adaxial y $33.24 \mu\text{m}$ (± 10.52) en la abaxial. La epidermis está conformada por una capa de células piriformes en ambas superficies, además presenta papilas en grupos de dos en ambas superficies (Fig. 14A y 14B). Las células adaxiales exhiben una altura de $44.88 \mu\text{m}$ (± 2.55) y las abaxiales $44.39 \mu\text{m}$ (± 3.26). En sección paradermal las células de la epidermis son esféricas. Las hojas son anfiestomáticas, los estomas son paracíticos (Fig. 14D), están hundidos y presentan cámaras subestomáticas delimitadas por células rectangulares en sentido periclinal, las células subsidiarias son reniformes, paralelas a las oclusivas, estas últimas presentan proyecciones de cutina anteriores y posteriores. En el mesófilo el tejido fotosintético está conformado por parénquima en empalizada distribuido en cuatro a seis capas de células oblongas, las células tienen $52.50 \mu\text{m}$ (± 6.05) de alto y el estrato de parénquima en empalizada $412.22 \mu\text{m}$ (± 48.64) (Fig. 14B). El parénquima esponjoso registra $3725.59 \mu\text{m}$ (± 238.54) de ancho, está constituido por células irregulares, sus células miden $27.58 \mu\text{m}$ (± 3.89) de alto. El mesófilo exhibió abundantes rafidios, por el contrario, en la región del parénquima en empalizada hay abundantes estiloides y son escasos en el parénquima esponjoso. Asimismo, la zona del parénquima esponjoso presenta abundantes espacios intercelulares con una constitución homogénea que originan un mesófilo laxo en la parte central de la lámina. Los haces vasculares son colaterales, libres, ovados, se agrupan en seis filas en el mesófilo, están rodeados por una vaina parenquimática compuesta por una capa de células ovadas con $18.65 \mu\text{m}$ (± 3.60) de alto, hacia el interior de la vaina parenquimática se observan casquetes de 393.23 fibras (± 55.18), localizados del lado del xilema y el floema (Fig. 14C). El xilema está diferenciado en proto y metaxilema, el protoxilema se orienta hacia la superficie abaxial, está conformado por 17.73 (± 4.05) células poligonales, el diámetro del lumen mide $12.92 \mu\text{m}$ (± 2.00) y el grosor de las paredes $2.05 \mu\text{m}$ (± 0.35), el metaxilema se localiza hacia la región media del haz vascular constituido por 41.06 (± 7.93) células poligonales, con un diámetro del lumen de $6.47 \mu\text{m}$ (± 1.14) y un grosor de $1.15 \mu\text{m}$ (± 0.19). El floema se encuentra hacia la superficie adaxial, está constituido por células poligonales y de una a tres células acompañantes por elemento de tubo criboso.

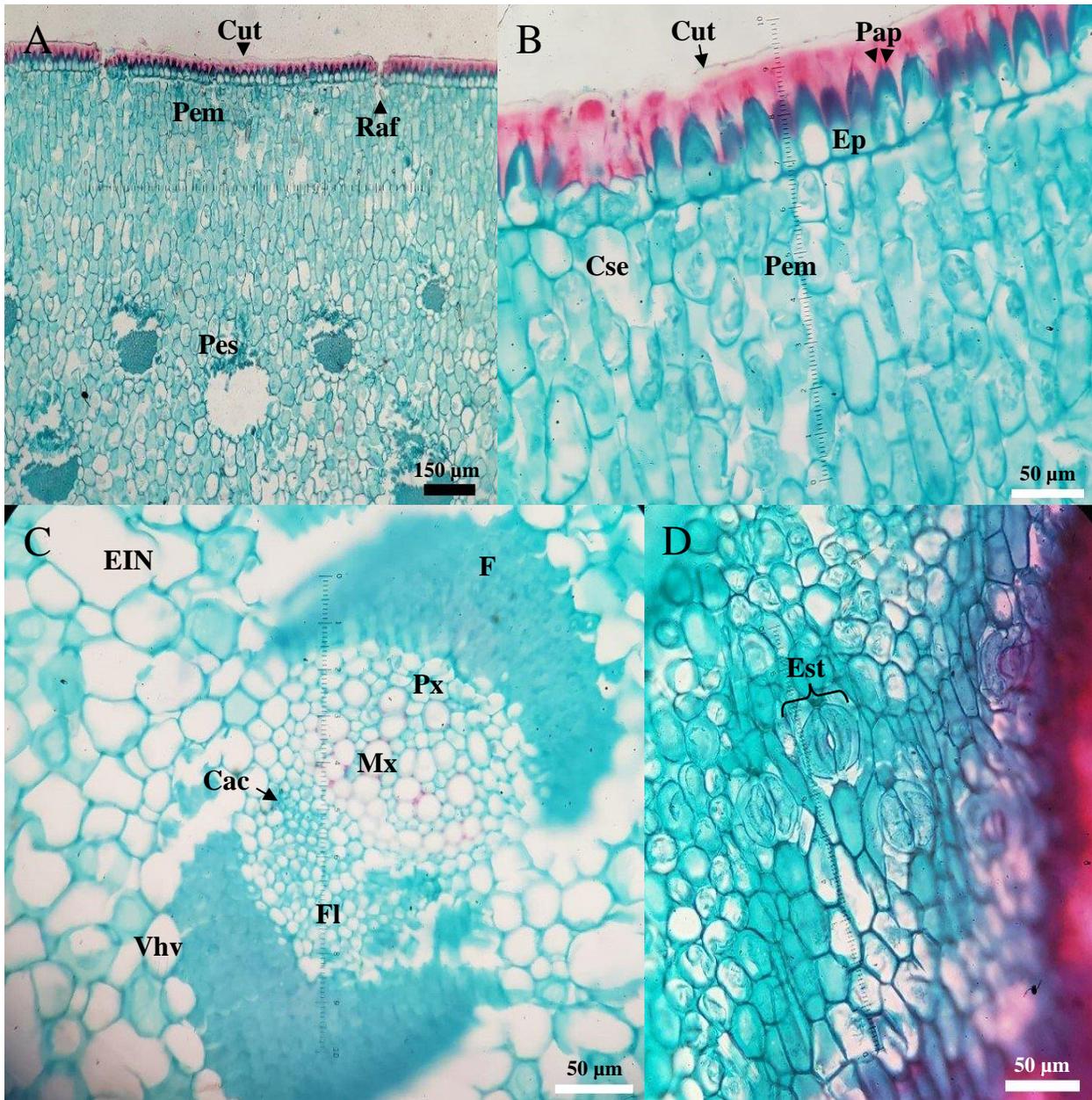


Figura 14. *Yucca grandiflora*. Hoja. (A, B, C) Sección transversal, (D) paradermal. A) Mesófilo. B) Cutícula lisa, epidermis adaxial y parénquima en empalizada. C) Haz vascular. D) Estomas paracíticos. Cac = Célula acompañante, Cse = Cámara subestomática, Cut = Cutícula, EIN = Espacios intercelulares, Ep = Epidermis, Est = Estoma, F = Fibras, Fl = Floema, Hv = Haz vascular, Mx = Metaxilema, Pap = Papilas, Pem = Parénquima en empalizada, Pes = Parénquima Esponjoso, Px = Protoxilema, Raf = Rafidio, Vhv = Vaina del haz vascular.

7.15 *Yucca guatemalensis* Baker

En sección transversal la hoja tiene forma de “V” abierta. La cutícula es lisa en ambas superficies, mide $18.67 \mu\text{m}$ (± 7.43) de grosor en la superficie adaxial y $15.18 \mu\text{m}$ (± 6.12) en la abaxial. La epidermis está formada por una capa de células piriformes en ambas superficies, además no presenta papilas en ninguna de las superficies (Fig. 15A y 15B). Las células adaxiales con una altura de $30.86 \mu\text{m}$ (± 2.43) y las abaxiales $24.85 \mu\text{m}$ (± 2.53). En sección paradermal las células de la epidermis son oblongas. Las hojas son anfiestomáticas, los estomas son paracíticos (Fig. 15D), están ligeramente hundidos y presentan cámaras subestomáticas delimitadas por células rectangulares en sentido periclinal, las células subsidiarias son reniformes, paralelas a las oclusivas, éstas últimas presentan proyecciones de cutina anteriores. En el mesófilo el tejido fotosintético está conformado por parénquima en empalizada distribuido en tres a cuatro capas de células oblongas, las células tienen $50.03 \mu\text{m}$ (± 7.95) de alto y el estrato de parénquima en empalizada $106.09 \mu\text{m}$ (± 10.55) (Fig. 15B). El parénquima esponjoso registra $1186.95 \mu\text{m}$ (± 2.58) de ancho, está compuesto por células ovadas, sus células miden $48.64 \mu\text{m}$ (± 6.31) de alto. El mesófilo exhibió abundantes estiloides, por el contrario, en la región del parénquima en empalizada hay abundantes rafidios. Asimismo, la zona del parénquima esponjoso presenta abundantes espacios intercelulares con una constitución homogénea que originan un mesófilo laxo en la parte central de la lámina. Los haces vasculares son colaterales, libres, ovados, se agrupan en tres filas en la región media del mesófilo, están rodeados por una vaina parenquimática compuesta por una capa de células ovadas con $29.12 \mu\text{m}$ (± 5.33) de alto, hacia el interior de la vaina parenquimática se observan casquetes de 159.76 fibras (± 1.81), localizados del lado del xilema y el floema (Fig. 15C). El xilema está diferenciado en proto y metaxilema, el protoxilema se orienta hacia la superficie abaxial, está constituido por 18.2 (± 0.92) células poligonales, el diámetro del lumen mide $24.39 \mu\text{m}$ (± 4.12) y el grosor de las paredes $2.41 \mu\text{m}$ (± 0.58), el metaxilema se localiza hacia la región media del haz vascular conformado por 16.6 (± 0.96) células poligonales, con un diámetro del lumen de $10.34 \mu\text{m}$ (± 2.55) y un grosor de $0.51 \mu\text{m}$ (± 0.15). El floema se encuentra hacia la superficie adaxial, está constituido por células poligonales y de una a tres células acompañantes por elemento de tubo criboso.

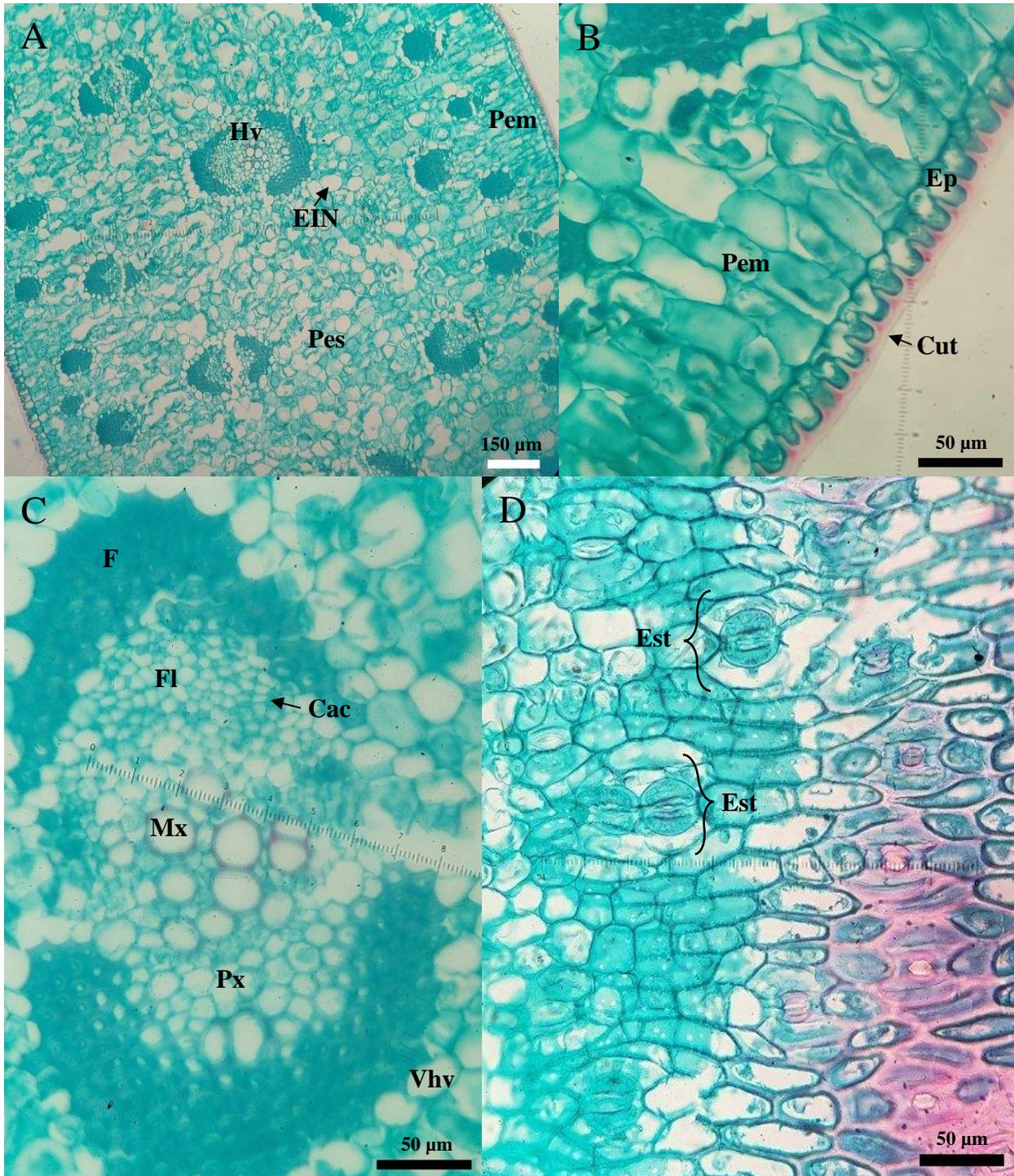


Figura 15. *Yucca guatemalensis*. Hoja. (A, B, C) Sección transversal, (D) paradermal. A) Mesófilo. B) Cutícula lisa, epidermis adaxial y parénquima en empalizada. C) Haz vascular. D) Estomas paracíticos. Cac = Célula acompañante, Cut = Cutícula, EIN = Espacios intercelulares, Ep = Epidermis, Est = Estoma, F = Fibras, Fl = Floema, Hv = Haz vascular, Mx = Metaxilema, Pem = Parénquima en empalizada, Pes = Parénquima Esponjoso, Px = Protoxilema, Vhv = Vaina del haz vascular.

7.16 *Yucca harrimaniae* Trel.

En sección transversal la hoja tiene forma de “V” recta. La cutícula es lisa en ambas superficies, mide $17.53 \mu\text{m}$ (± 6.53) de grosor en la superficie adaxial y $18.04 \mu\text{m}$ (± 4.48) en la abaxial. La epidermis está formada por una capa de células piriformes en ambas superficies, además presenta papilas en grupos de dos o tres en ambas superficies (Fig. 16A y 16B). Las células adaxiales tienen una altura de $35.56 \mu\text{m}$ (± 4.03) de alto y las abaxiales $31.68 \mu\text{m}$ (± 4.13). En sección paradermal las células de la epidermis son esféricas. Las hojas son anfiestomáticas, los estomas son paracíticos (Fig. 16D), están hundidos y presentan cámaras subestomáticas delimitadas por células rectangulares en sentido periclinal, las células subsidiarias son reniformes, paralelas a las oclusivas, éstas últimas presentan proyecciones de cutina anteriores y posteriores. En el mesófilo el tejido fotosintético está conformado por parénquima en empalizada distribuido en siete capas de células oblongas, las células tienen $24.13 \mu\text{m}$ (± 2.77) de alto y el estrato de parénquima en empalizada $152.78 \mu\text{m}$ (± 25.85) (Fig. 16B). El parénquima esponjoso registra $1209.72 \mu\text{m}$ (± 94.54) de ancho, está constituido por células irregulares, sus células miden $26.27 \mu\text{m}$ (± 3.16) de alto. El parénquima en empalizada exhibió abundantes estiloides y rafidios, por el contrario, en la región del parénquima esponjoso hay escasos rafidios y los estiloides están ausentes. Los haces vasculares son colaterales, libres, ovados, se agrupan en cuatro filas en el mesófilo, están rodeados por una vaina parenquimática constituida por una capa de células ovadas con $17.81 \mu\text{m}$ (± 1.72) de alto, hacia el interior de la vaina parenquimática se observan casquetes de 241.36 fibras (± 40.14), localizados del lado del xilema y el floema (Fig. 16C). El xilema está diferenciado en proto y metaxilema, el protoxilema se orienta hacia la superficie abaxial, está compuesto por 24.36 (± 5.85) células poligonales, el diámetro del lumen mide $10.21 \mu\text{m}$ (± 1.80) y el grosor de las paredes $1.79 \mu\text{m}$ (± 0.23), el metaxilema se localiza hacia la región media del haz vascular conformado por 101.76 (± 13.19) células poligonales, con un diámetro del lumen de $6.54 \mu\text{m}$ (± 1.08) y un grosor de $0.99 \mu\text{m}$ (± 0.16). El floema se encuentra hacia la superficie adaxial, está constituido por células poligonales y de una a cuatro células acompañantes por elemento de tubo criboso.

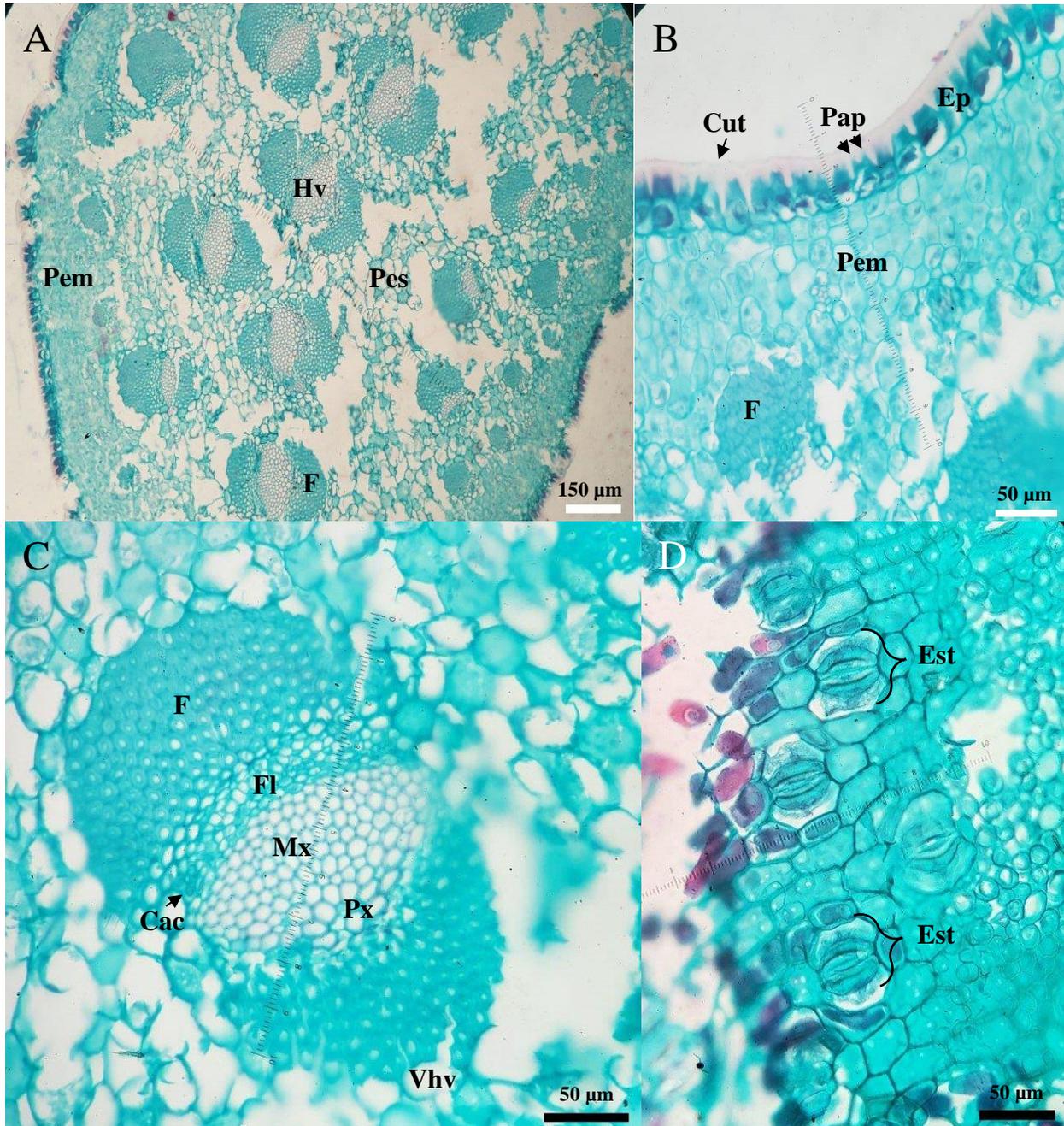


Figura 16. *Yucca harrimaniae*. Hoja. (A, B, C) Sección transversal, (D) paradermal. A) Mesófilo. B) Cutícula lisa, epidermis abaxial y parénquima en empalizada. C) Haz vascular. D) Estomas paracíticos. Cac = Célula acompañante, Cut = Cutícula, Ep = Epidermis, Est = Estoma, F = Fibras, Fl = Floema, Hv = Haz vascular, Mx = Metaxilema, Pap = Papilas, Pem = Parénquima en empalizada, Pes = Parénquima Esponjoso, Px = Protoxilema, Vhv = Vaina del haz vascular.

7.17 *Yucca jaliscensis* Trel.

En sección transversal la hoja tiene forma de “V” abierta. La cutícula es estriada en ambas superficies, mide $22.68 \mu\text{m}$ (± 6.98) de grosor en la superficie adaxial y $14.21 \mu\text{m}$ (± 4.37) en la abaxial. La epidermis está formada por una capa de células piriformes en ambas superficies, además presenta de papilas en grupos de dos en ambas superficies (Fig. 17A y 17B). Este tejido exhibió escasos rafidios. Las células adaxiales tienen $30.21 \mu\text{m}$ (± 5.47) de alto y las abaxiales $24.00 \mu\text{m}$ (± 2.57). En sección paradermal las células de la epidermis son esféricas. Las hojas son anfiestomáticas, los estomas son paracíticos (Fig. 17D), están hundidos y presentan cámaras subestomáticas delimitadas por células rectangulares en sentido periclinal, se observaron abundantes rafidios en las cámaras subestomáticas, las células subsidiarias son reniformes, paralelas a las oclusivas, éstas últimas presentan proyecciones de cutina anteriores y posteriores. En el mesófilo el tejido fotosintético está conformado por parénquima en empalizada distribuido en seis capas de células oblongas, las células tienen $64.39 \mu\text{m}$ (± 8.44) de alto y el estrato de parénquima en empalizada $264.41 \mu\text{m}$ (± 12.36) (Fig. 17B). El parénquima esponjoso registra $1200.64 \mu\text{m}$ (± 12.02) de ancho, está constituido por células poligonales, sus células miden $46.39 \mu\text{m}$ (± 7.68) de alto. Esta región de la hoja exhibió escasos rafidios, por el contrario, en la región del parénquima en empalizada hay abundantes rafidios y estiloides. Estos últimos son escasos en el parénquima esponjoso. Asimismo, la zona del parénquima esponjoso presenta abundantes espacios intercelulares con una constitución homogénea que originan un mesófilo laxo en la parte central de la lámina. Los haces vasculares son colaterales, libres, ovados, se agrupan en tres filas en el mesófilo, están rodeados por una vaina parenquimática compuesta por una capa de células ovadas con $24.92 \mu\text{m}$ (± 4.56) de alto, hacia el interior de la vaina parenquimática se observan casquetes de 186.1 fibras (± 0.75), localizados del lado del xilema y el floema (Fig. 17C). El xilema está diferenciado en proto y metaxilema, el protoxilema se orienta hacia la superficie abaxial, está compuesto por 18.03 (± 0.85) células poligonales, el diámetro del lumen mide $21.31 \mu\text{m}$ (± 4.84) y el grosor de las paredes $2.07 \mu\text{m}$ (± 0.48), el metaxilema se localiza hacia la región media del haz vascular conformado por 19 (± 0.74) células poligonales, con un diámetro del lumen de $9.05 \mu\text{m}$ (± 1.93) de alto y un grosor de $0.39 \mu\text{m}$ (± 0.14). El floema se encuentra hacia la superficie adaxial, está constituido por células poligonales y de una a tres células acompañantes por elemento de tubo criboso.

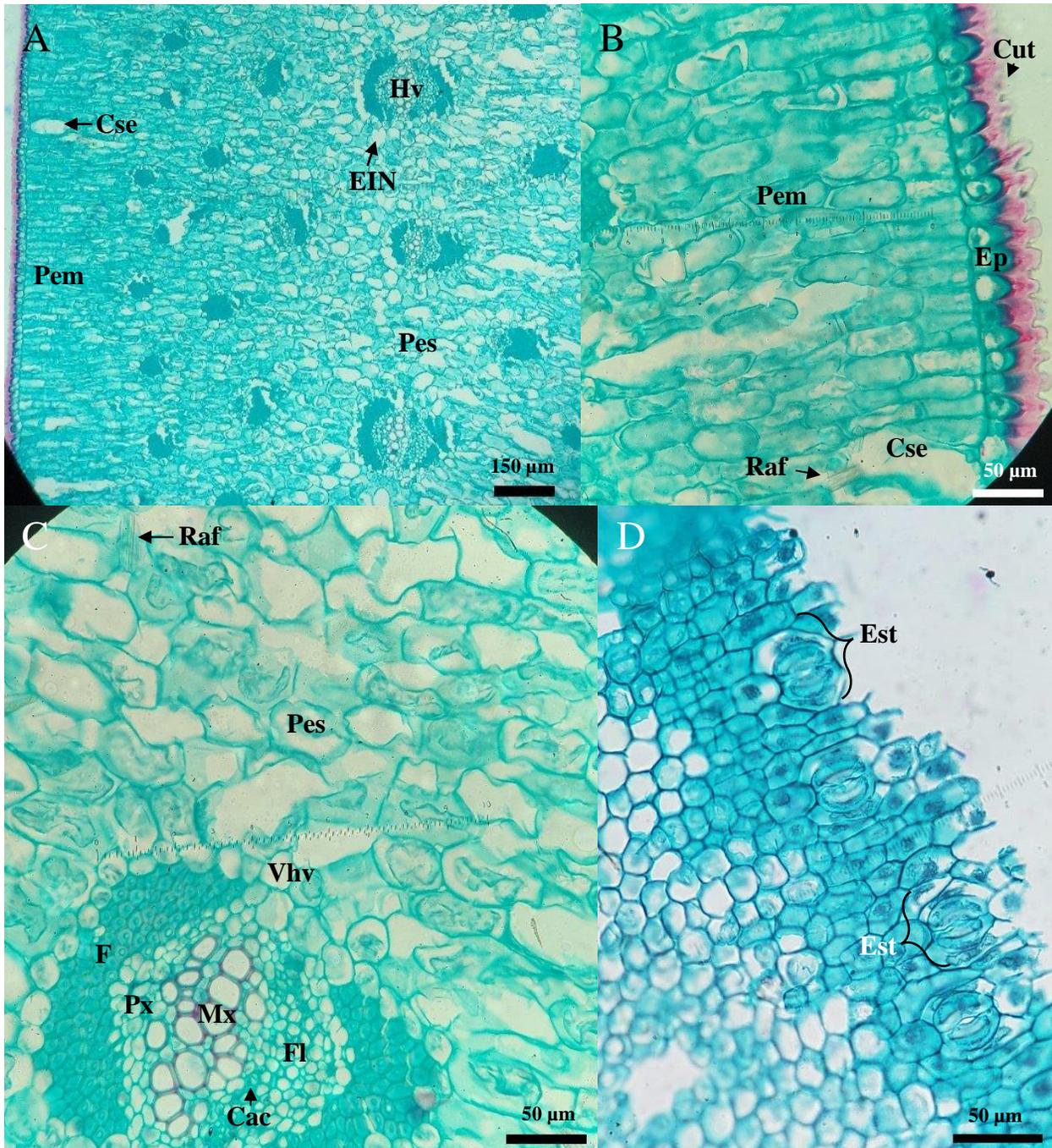


Figura 17. *Yucca jaliscensis*. Hoja. (A, B, C) Sección transversal, (D) paradermal. A) Mesófilo. B) Cutícula estriada, epidermis abaxial y parénquima en empalizada. C) Haz vascular. D) Estomas paracíticos. Cac = Célula acompañante, Cse = Cámara subestomática, Cut = Cutícula, EIN = Espacios intercelulares, Ep = Epidermis, Est = Estoma, F = Fibras, Fl = Floema, Hv = Haz vascular, Mx = Metaxilema, Pcm = Parénquima en empalizada, Pes = Parénquima Esponjoso, Px = Protoxilema, Raf = Rafidio, Vhv = Vaina del haz vascular.

7.18 *Yucca kanabensis* McKelvey

En sección transversal la hoja tiene forma de “V” recta, la cutícula es lisa en ambas superficies, mide $6.70 \mu\text{m}$ (± 1.87) de grosor en la superficie adaxial y $6.27 \mu\text{m}$ (± 1.69) en la superficie abaxial. La epidermis está formada por una capa de células piriformes en ambas superficies, además presenta papilas en grupos de dos en ambas superficies (Fig. 18A y 18B). Las células adaxiales miden $28.01 \mu\text{m}$ (± 4.22) de alto y las abaxiales $22.06 \mu\text{m}$ (± 3.95). En sección paradermal las células de la epidermis son oblongas. Las hojas son anfiestomáticas, los estomas son paracíticos (Fig. 18D), están hundidos y presentan cámaras subestomáticas delimitadas por células rectangulares en sentido periclinal, las células subsidiarias son reniformes, paralelas a las oclusivas, estas últimas presentan proyecciones de cutina anteriores y posteriores. En el mesófilo el tejido fotosintético está conformado por parénquima en empalizada distribuido en tres a cuatro capas de células oblongas, las células tienen $39.05 \mu\text{m}$ (± 4.99) de alto y el estrato de parénquima en empalizada $258.08 \mu\text{m}$ (± 43.37) (Fig. 18B). El parénquima esponjoso registra $872.77 \mu\text{m}$ (± 77.25) de ancho, está constituido por células irregulares, sus células miden $28.57 \mu\text{m}$ (± 2.74) de alto. Esta región de la hoja exhibió escasos estiloides y rafidios, por el contrario, en la región del parénquima en empalizada son abundantes. Los haces vasculares son colaterales, libres, ovados se agrupan en dos filas en la región media del mesófilo, están rodeados por una vaina parenquimática constituida por una capa de células ovadas con $18.56 \mu\text{m}$ (± 2.77) de alto, hacia el interior de la vaina parenquimática se observan casquetes de 161.2 fibras (± 22.86), localizados del lado del xilema y el floema (Fig. 18C). El xilema está diferenciado en proto y metaxilema, el protoxilema se orienta hacia la superficie abaxial, está compuesto por 16.43 (± 3.74) células pentagonales, el diámetro del lumen mide $8.94 \mu\text{m}$ (± 0.97) y el grosor de las paredes $1.96 \mu\text{m}$ (± 0.47), el metaxilema se localiza hacia la región media del haz vascular conformado por 40 (± 6.65) células poligonales, con un diámetro del lumen de $6.00 \mu\text{m}$ (± 0.93) y un grosor de $0.94 \mu\text{m}$ (± 0.16). El floema se encuentra hacia la superficie adaxial, está constituido por células poligonales y de una a tres células acompañantes por elemento de tubo criboso.

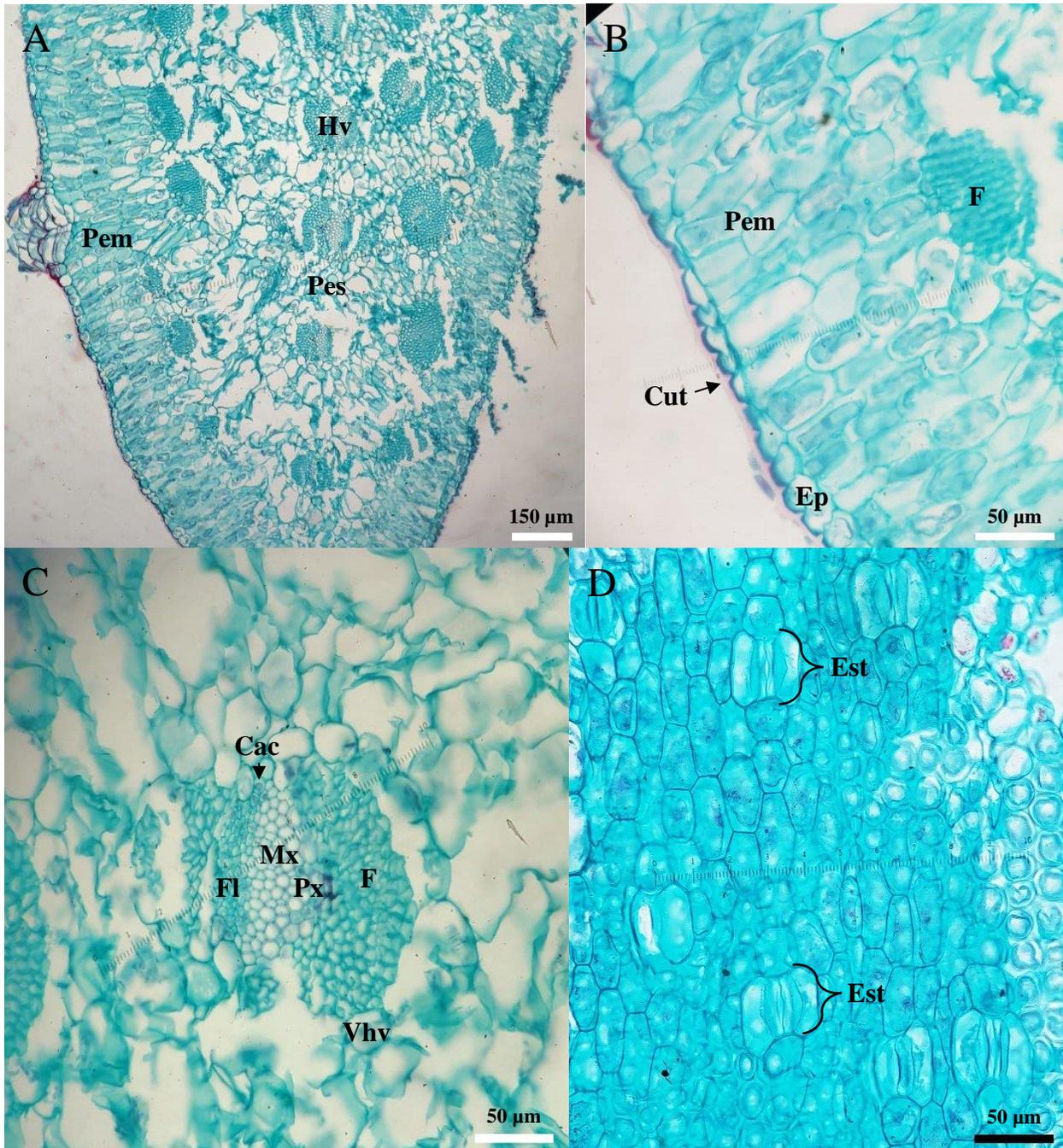


Figura 18. *Yucca kanabensis*. Hoja. (A, B, C) Sección transversal, (D) paradermal. A) Mesófilo. B) Cutícula lisa, epidermis adaxial y parénquima en empalizada. C) Haz vascular. D) Estomas paracíticos. Cac = Célula acompañante, Cut = Cutícula, Ep = Epidermis, Est = Estoma, F = Fibras, Fl = Floema, Hv = Haz vascular, Mx = Metaxilema, Pem = Parénquima en empalizada, Pes = Parénquima Esponjoso, Px = Protoxilema, Vhv = Vaina del haz vascular.

7.19 *Yucca muscipula* Ayala-Hern., Ríos-Gómez, E. Solano y García-Mend.

En sección transversal la hoja tiene forma de “V” abierta. La cutícula es estriada en ambas superficies, mide $58.71 \mu\text{m}$ (± 7.97) de grosor en la superficie adaxial y $53.21 \mu\text{m}$ (± 7.15) en la abaxial. La epidermis está formada por una capa de células triangulares en ambas superficies, además presenta papilas en grupos de dos en ambas superficies (Fig. 19A y 19B). Este tejido exhibió abundantes rafidios. Las células adaxiales exhiben una altura de $38.85 \mu\text{m}$ (± 7.70) y las abaxiales $41.60 \mu\text{m}$ (± 6.69). En sección paradermal las células de la epidermis son poligonales. Las hojas son anfiestomáticas, los estomas son paracíticos (Fig. 19D), no están hundidos y presentan cámaras subestomáticas delimitadas por células rectangulares en sentido periclinal, las células subsidiarias son reniformes, paralelas a las oclusivas, éstas últimas presentan proyecciones de cutina anteriores. En el mesófilo el tejido fotosintético está conformado por parénquima en empalizada distribuido en cinco a seis capas de células oblongas, las células tienen $84.78 \mu\text{m}$ (± 7.23) de alto y el estrato de parénquima en empalizada $441.92 \mu\text{m}$ (± 13.83) (Fig. 19B). Debajo de este tejido se localizan canales secretores a lo largo de todo el ancho de la hoja. El parénquima esponjoso registra $1486.02 \mu\text{m}$ (± 7.39) de ancho, está constituido por células irregulares, sus células miden $47.66 \mu\text{m}$ (± 4.97) de alto. El mesófilo exhibió escasos rafidios, por el contrario, en la región del parénquima en empalizada hay abundantes estiloides. Los haces vasculares son colaterales, libres, ovados, se agrupan en cuatro filas en la región media del mesófilo, están rodeados por una vaina parenquimática compuesta por una capa de células ovadas con $33.14 \mu\text{m}$ (± 5.95), hacia el interior de la vaina parenquimática se observan casquetes de 395.03 fibras (± 0.76), localizados del lado del xilema y el floema (Fig. 19C). El xilema está diferenciado en proto y metaxilema, el protoxilema se orienta hacia la superficie abaxial, está constituido por 43.6 (± 0.72) células poligonales, el diámetro del lumen mide $21.81 \mu\text{m}$ (± 2.82) y el grosor de las paredes $2.07 \mu\text{m}$ (± 0.48), el metaxilema se orienta hacia la región media del haz vascular conformado por 45.03 (± 0.76) células poligonales, con un diámetro del lumen de $11.09 \mu\text{m}$ (± 1.95) y un grosor de $0.49 \mu\text{m}$ (± 0.17). El floema se encuentra hacia la superficie adaxial, está constituido por células poligonales y de una a cuatro células acompañantes por elemento de tubo criboso.

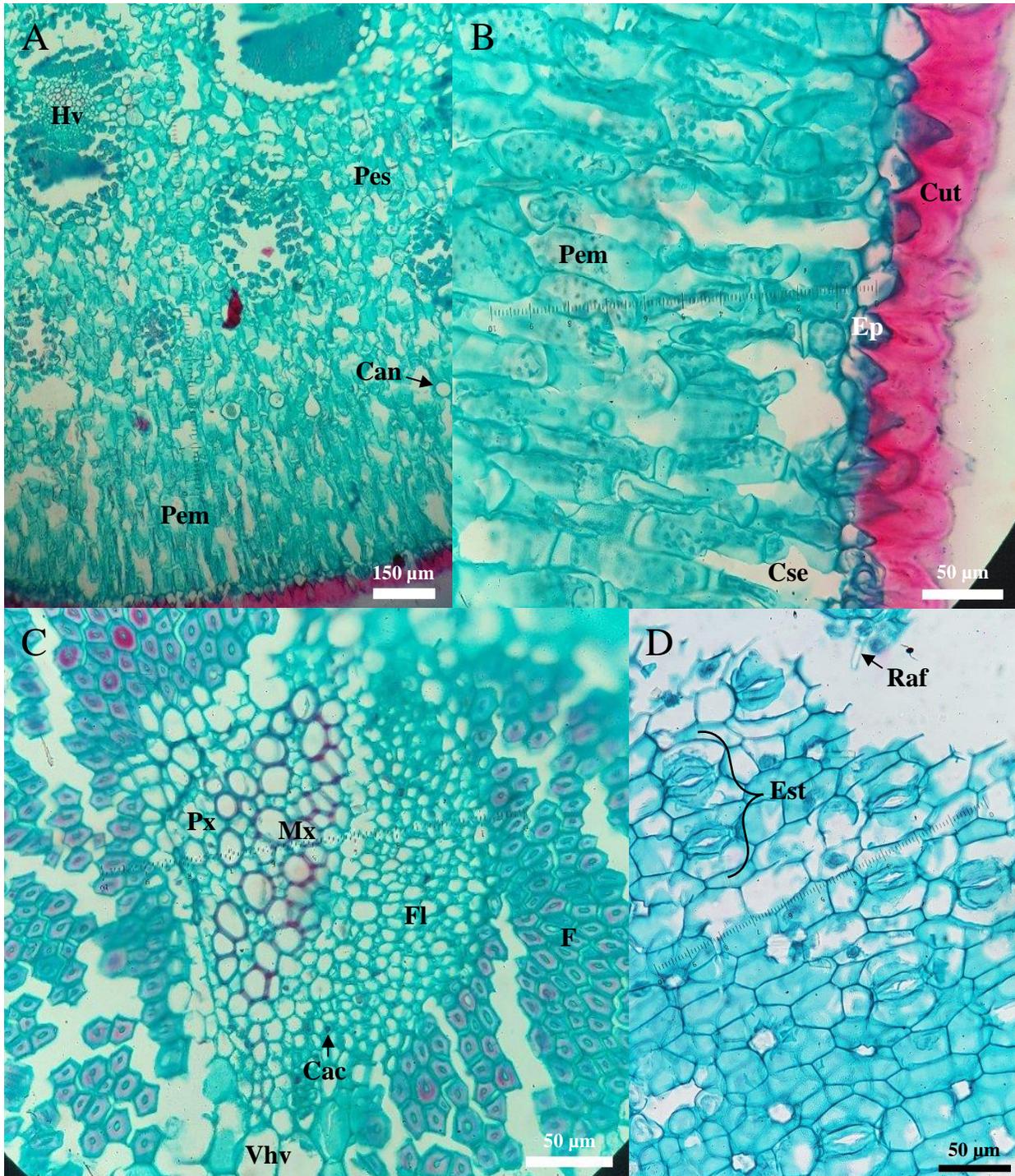


Figura 19. *Yucca muscipula*. Hoja. (A, B, C) Sección transversal, (D) paradermal. A) Mesófilo. B) Cutícula estriada, epidermis abaxial y parénquima en empalizada. C) Haz vascular. D) Estomas paracíticos. Cac = Célula acompañante, Can = Canal secretor, Cse = Cámara subestomática, Cut = Cutícula, Ep = Epidermis, Est = Estoma, F = Fibras, Fl = Floema, Hv = Haz vascular, Mx = Metaxilema, Pem = Parénquima en empalizada, Pes = Parénquima Esponjoso, Px = Protoxilema, Raf = Rafidio, Vhv = Vaina del haz vascular.

7.20 *Yucca nana* Hochstätter

En sección transversal la hoja tiene forma de “V” abierta. La cutícula es lisa en ambas superficies, mide $17.77 \mu\text{m}$ (± 6.34) de grosor en la superficie adaxial y $13.23 \mu\text{m}$ (± 5.11) en la abaxial. La epidermis está formada por una capa de células oblongas, además presenta papilas en grupos de dos en ambas superficies (Fig. 20A y 20B). Las células adaxiales con una altura de $37.76 \mu\text{m}$ (± 3.97) y las abaxiales $31.65 \mu\text{m}$ (± 5.19). En sección paradermal las células de la epidermis son esféricas. Las hojas son anfiestomáticas, los estomas son paracíticos (Fig. 20D), están hundidos y presentan cámaras subestomáticas delimitadas por células rectangulares en sentido periclinal, las células subsidiarias son reniformes, paralelas a las oclusivas, éstas últimas presentan proyecciones de cutina posteriores. En el mesófilo el tejido fotosintético está conformado por parénquima en empalizada distribuido en cuatro capas de células oblongas, las células tienen $25.66 \mu\text{m}$ (± 4.30) de alto y el estrato de parénquima en empalizada $140.35 \mu\text{m}$ (± 16.84) (Fig. 20B). El parénquima esponjoso registra $564.70 \mu\text{m}$ (± 96.10) de ancho, está constituido por células esféricas, sus células miden $25.08 \mu\text{m}$ (± 3.19) de alto. El mesófilo exhibió abundantes rafidios y escasos estiloides. Los haces vasculares son colaterales, libres, ovados se agrupan en tres filas en la región media del mesófilo, están rodeados por una vaina parenquimática compuesta por una capa de células ovadas con $14.77 \mu\text{m}$ (± 2.45) de alto, hacia el interior de la vaina parenquimática se observan casquetes de 239.6 fibras (± 38.56), localizados del lado del xilema y el floema (Fig. 20C). El xilema está diferenciado en proto y metaxilema, el protoxilema se orienta hacia la superficie abaxial, está conformado por 10.5 (± 3.49) células pentagonales, el diámetro del lumen mide $6.13 \mu\text{m}$ (± 1.09) y el grosor de las paredes $1.79 \mu\text{m}$ (± 0.38), el metaxilema se localiza hacia la región media del haz vascular conformado por 37.7 (± 9.60) células poligonales, con un diámetro del lumen de $5.48 \mu\text{m}$ (± 1.26) y un grosor de $0.97 \mu\text{m}$ (± 0.19). El floema se encuentra hacia la superficie adaxial, está constituido por células poligonales y de una a tres células acompañantes por elemento de tubo criboso.

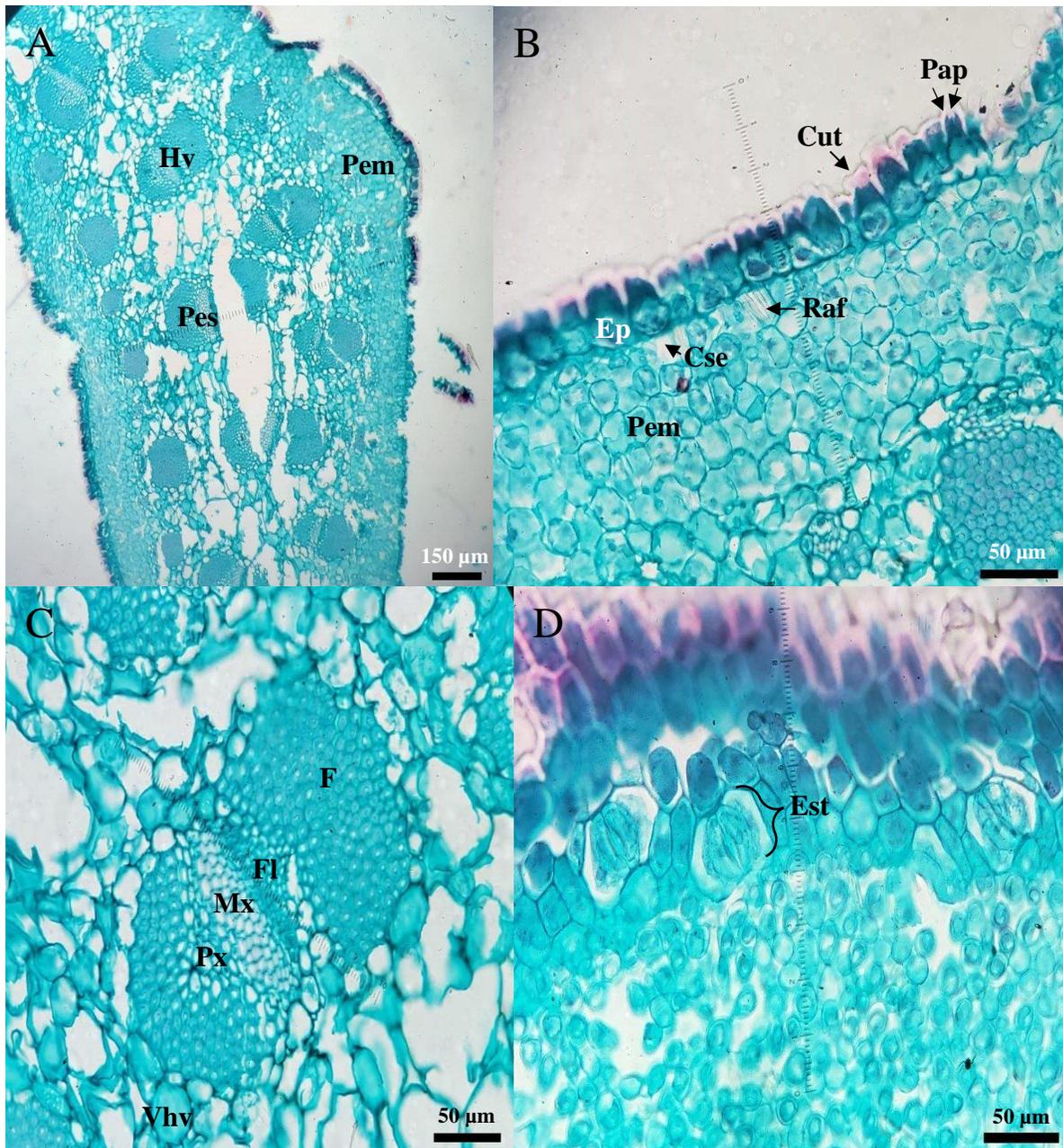


Figura 20. *Yucca nana*. Hoja. (A, B, C) Sección transversal, (D) paradermal. **A)** Mesófilo. **B)** Cutícula lisa, epidermis adaxial y parénquima en empalizada. **C)** Haz vascular. **D)** Estomas paracíticos. Cse = Cámara subestomática, Cut = Cutícula, Ep = Epidermis, Est = Estoma, F = Fibras, Fl = Floema, Hv = Haz vascular, Mx = Metaxilema, Pem = Parénquima en empalizada, Pes = Parénquima Esponjoso, Px = Protoxilema, Raf = Rafidio, Vhv = Vaina del haz vascular.

7.21 *Yucca necopina* Shinnars

En sección transversal la hoja tiene forma de “U”. La cutícula es lisa en ambas superficies, mide $7.28 \mu\text{m}$ (± 1.15) de grosor en la superficie adaxial y $7.08 \mu\text{m}$ (± 1.23) en la abaxial. La epidermis está formada por una capa de células oblongas, además no presenta papilas en ninguna de las superficies (Fig. 21A y 21B). Las células adaxiales tienen una altura de $25.16 \mu\text{m}$ (± 2.31) y las abaxiales $24.61 \mu\text{m}$ (± 2.42). En sección paradermal las células de la epidermis son oblongas. Las hojas son anfiestomáticas, los estomas son paracíticos (Fig. 21D), están hundidos y presentan cámaras subestomáticas delimitadas por células irregulares en sentido periclinal, las células subsidiarias son reniformes, paralelas a las oclusivas, éstas últimas presentan proyecciones de cutina anteriores y posteriores. En el mesófilo el tejido fotosintético está conformado por parénquima en empalizada distribuido en dos capas de células irregulares, las células tienen $25.23 \mu\text{m}$ (± 4.36) de alto y el estrato de parénquima en empalizada $46.15 \mu\text{m}$ (± 5.36) (Fig. B). El parénquima esponjoso registra $53.70 \mu\text{m}$ (± 4.44) de ancho, está constituido por células irregulares, sus células miden $27.29 \mu\text{m}$ (± 4.97) de alto. El mesófilo exhibió abundantes rafidios y escasos estiloides. Los haces vasculares son colaterales, libres, ovados, se agrupan en dos filas en la región media del mesófilo, están rodeados por una vaina parenquimática compuesta por una capa de células ovadas con $14.01 \mu\text{m}$ (± 1.97) de alto, hacia el interior de la vaina parenquimática se observan casquetes de 46.6 fibras (± 1.00), localizados del lado del xilema y el floema (Fig. 21C). El xilema está diferenciado en proto y metaxilema, el protoxilema se orienta hacia la superficie abaxial, está constituido por 23.2 (± 0.71) células poligonales, el diámetro del lumen mide $14.61 \mu\text{m}$ (± 2.13) y el grosor de las paredes $1.47 \mu\text{m}$ (± 0.24), el metaxilema se orienta hacia la región media del haz vascular conformado por 14 (± 0.78) células poligonales, con un diámetro del lumen de $7.62 \mu\text{m}$ (± 1.14) y un grosor de $0.32 \mu\text{m}$ (± 0.10). El floema se encuentra hacia la superficie adaxial, está constituido por células poligonales y de una a tres células acompañantes por elemento de tubo criboso.

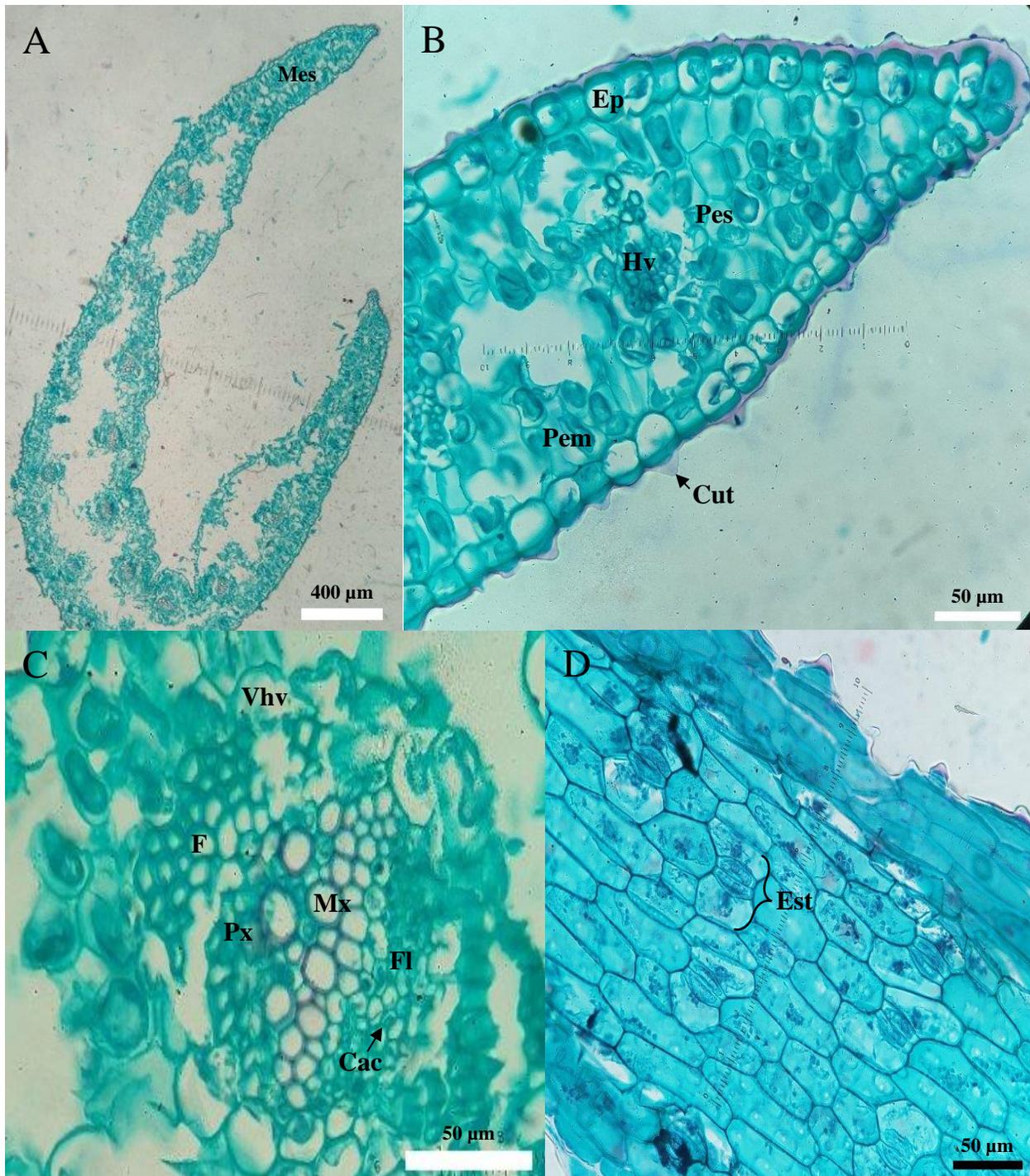


Figura 21. *Yucca necopina*. Hoja. (A, B, C) Sección transversal, (D) paradermal. **A)** Perfil de la lámina en forma de “U”. **B)** Cutícula lisa, epidermis adaxial y parénquima en empalizada. **C)** Haz vascular. **D)** Estomas paracíticos. Cac = Célula acompañante, Cut = Cutícula, Ep = Epidermis, Est = Estoma, F = Fibras, Fl = Floema, Hv = Haz vascular, Mes = Mesófilo, Mx = Metaxilema, Pem = Parénquima en empalizada, Pes = Parénquima Esponjoso, Px = Protoxilema, Vhv = Vaina del haz vascular.

7.22 *Yucca pallida* McKelvey

En sección transversal la hoja tiene forma de “V” abierta. La cutícula es lisa en la superficie abaxial y estriada en la adaxial, mide $22.55 \mu\text{m}$ (± 8.08) de grosor en la superficie adaxial y $12.29 \mu\text{m}$ (± 5.23) en la abaxial. La epidermis está formada por una capa de células triangulares en ambas superficies, además presenta papilas solitarias o en grupos de dos en ambas superficies (Fig. 22A y 22B). Las células adaxiales tienen $29.72 \mu\text{m}$ (± 3.00) de alto y las abaxiales $17.94 \mu\text{m}$ (± 2.09). En sección paradermal las células de la epidermis son oblongas. Las hojas son anfiestomáticas, los estomas son paracíticos (Fig. 22D), están ligeramente hundidos y presentan cámaras subestomáticas delimitadas por células rectangulares en sentido periclinal, las células subsidiarias son reniformes, paralelas a las oclusivas, estas últimas presentan proyecciones de cutina posteriores. En el mesófilo el tejido fotosintético está constituido por parénquima en empalizada distribuido en cuatro a cinco capas de células irregulares, las células tienen $65.92 \mu\text{m}$ (± 7.23) de alto y el estrato de parénquima en empalizada $255.09 \mu\text{m}$ (± 39.89) (Fig. 22B). Debajo de este tejido se localizan canales secretores a lo largo de todo el ancho de la hoja. El parénquima esponjoso registra $544.32 \mu\text{m}$ (± 44.84) de ancho, está constituido por células irregulares, sus células miden $40.71 \mu\text{m}$ (± 5.92) de alto. El mesófilo exhibió abundantes rafidios, por el contrario, en la región del parénquima esponjoso hay abundantes estiloides. Los haces vasculares son colaterales, libres, ovados, se agrupan en dos filas en la región media del mesófilo, están rodeados por una vaina parenquimática compuesta por una capa de células ovadas con $20.04 \mu\text{m}$ (± 3.13) de alto, hacia el interior de la vaina parenquimática se observan casquetes de 84.9 fibras (± 16.11), localizados del lado del xilema y el floema (Fig. 22C). El xilema está diferenciado en proto y metaxilema, el protoxilema se orienta hacia la superficie abaxial, está compuesto por 6.23 (± 2.01) células poligonales, el diámetro del lumen mide $14.56 \mu\text{m}$ (± 2.10) y el grosor de las paredes $2.06 \mu\text{m}$ (± 0.41), el metaxilema se localiza hacia la región media del haz vascular conformado por 18.83 (± 3.58) células poligonales, con un diámetro del lumen de $7.26 \mu\text{m}$ (± 1.21) y un grosor de $1.36 \mu\text{m}$ (± 0.19). El floema se encuentra hacia la superficie adaxial, está constituido por células poligonales y de una a tres células acompañantes por elemento de tubo criboso.

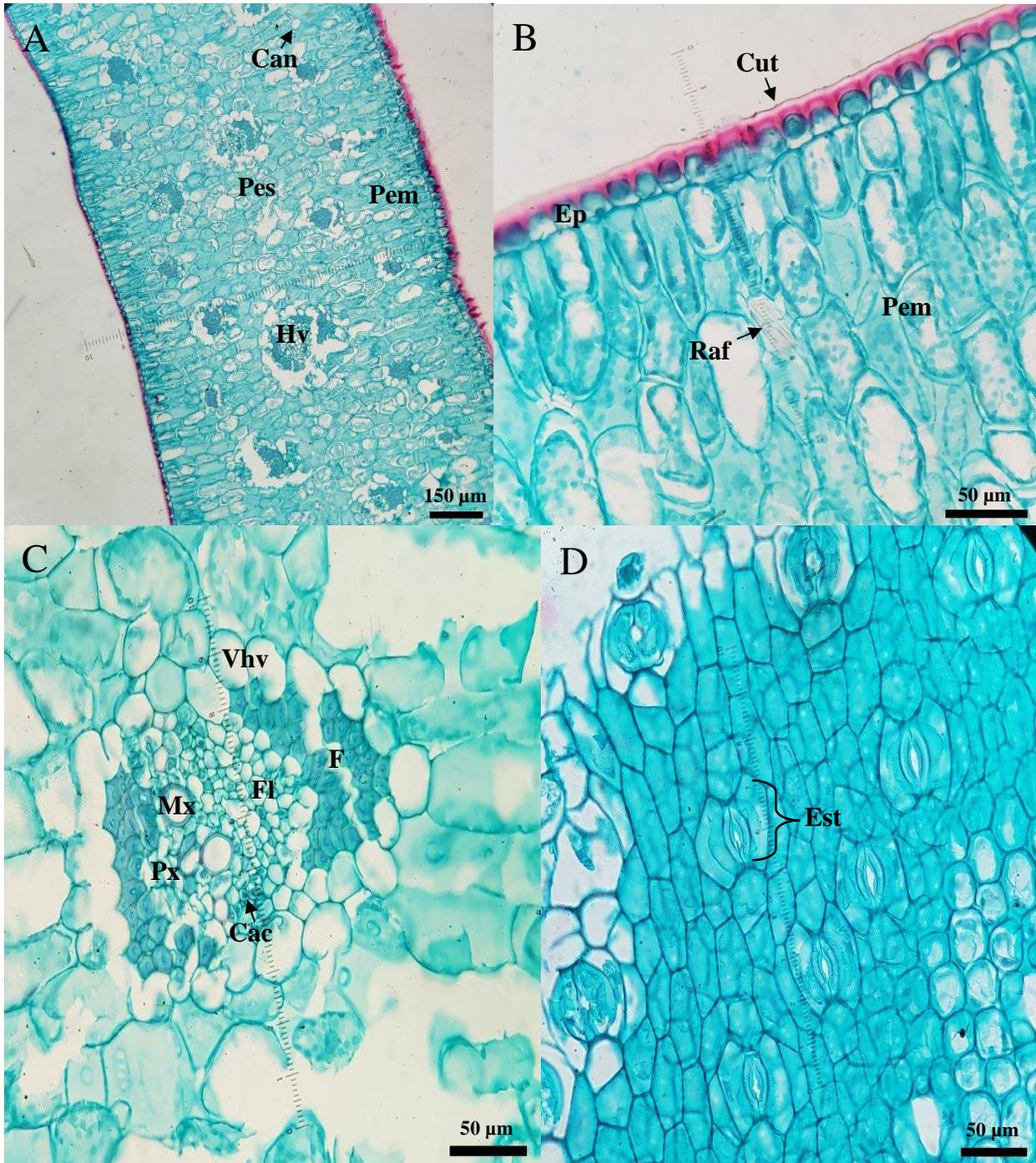


Figura 22. *Yucca pallida*. Hoja. (A, B, C) Sección transversal, (D) paradermal. A) Mesófilo. B) Cutícula lisa, epidermis adaxial y parénquima en empalizada. C) Haz vascular. D) Estomas paracíticos. Cac = Célula acompañante, Cut = Cutícula, Ep = Epidermis, Est = Estoma, F = Fibras, Fl = Floema, Hv = Haz vascular, Mx = Metaxilema, Pem = Parénquima en empalizada, Pes = Parénquima Esponjoso, Px = Protoxilema, Vhv = Vaina del haz vascular.

7.23 *Yucca reverchonii* Trel.

En sección transversal la hoja tiene forma de “V” abierta. La cutícula es lisa en ambas superficies, mide $18.79 \mu\text{m}$ (± 6.42) de grosor en la superficie adaxial y $17.93 \mu\text{m}$ (± 5.20) en la abaxial. La epidermis está formada por una capa de células piriformes en ambas superficies, además presenta papilas en grupos de dos en ambas superficies (Fig. 23A y 23B). Las células adaxiales miden $26.33 \mu\text{m}$ (± 3.52) de alto y las abaxiales $27.30 \mu\text{m}$ (± 3.86). En sección paradermal las células de la epidermis son rectangulares en sentido periclinal. Las hojas son anfiestomáticas, los estomas son paracíticos (Fig. 23D), están hundidos y presentan cámaras subestomáticas delimitadas por células irregulares, las células subsidiarias son reniformes, paralelas a las oclusivas, estas últimas presentan proyecciones de cutina anteriores y posteriores. En el mesófilo el tejido fotosintético está conformado por parénquima en empalizada distribuido en dos capas de células oblongas, las células tienen $32.62 \mu\text{m}$ (± 4.63) de alto y el estrato de parénquima en empalizada $52.26 \mu\text{m}$ (± 5.76) (Fig. 23B). Debajo de este tejido se localizan canales secretores a lo largo de todo el ancho de la hoja. El parénquima esponjoso registra $348.86 \mu\text{m}$ (± 12.38) de ancho, está constituido por células irregulares, sus células miden $27.72 \mu\text{m}$ (± 4.02) de alto. El mesófilo exhibió abundantes rafidios, por el contrario, en la región del parénquima en empalizada hay abundantes estiloides y son escasos en el parénquima esponjoso. Asimismo, la zona del parénquima esponjoso presenta abundantes espacios intercelulares con una constitución homogénea que originan un mesófilo laxo en la parte central de la lámina. Los haces vasculares son colaterales, libres, ovados, se agrupan en dos filas en la región media del mesófilo, están rodeados por una vaina parenquimática compuesta por una capa de células ovadas con $12.55 \mu\text{m}$ (± 2.02) de alto, hacia el interior de la vaina parenquimática se observan casquetes de 346.86 fibras (± 0.43), localizados del lado del xilema y el floema (Fig. 23C). El xilema está diferenciado en proto y metaxilema, el protoxilema se orienta hacia la superficie abaxial, está compuesto por 36.76 (± 0.43) células poligonales, el diámetro del lumen mide $12.47 \mu\text{m}$ (± 1.47) y el grosor de las paredes $1.58 \mu\text{m}$ (± 0.30), el metaxilema se orienta hacia la región media del haz vascular conformado por 15.6 (± 0.49) células poligonales, con un diámetro del lumen de $6.57 \mu\text{m}$ (± 0.79) y un grosor de $0.28 \mu\text{m}$ (± 0.07). El floema se encuentra hacia la superficie adaxial, está constituido por células poligonales y de una a tres células acompañantes por elemento de tubo criboso.

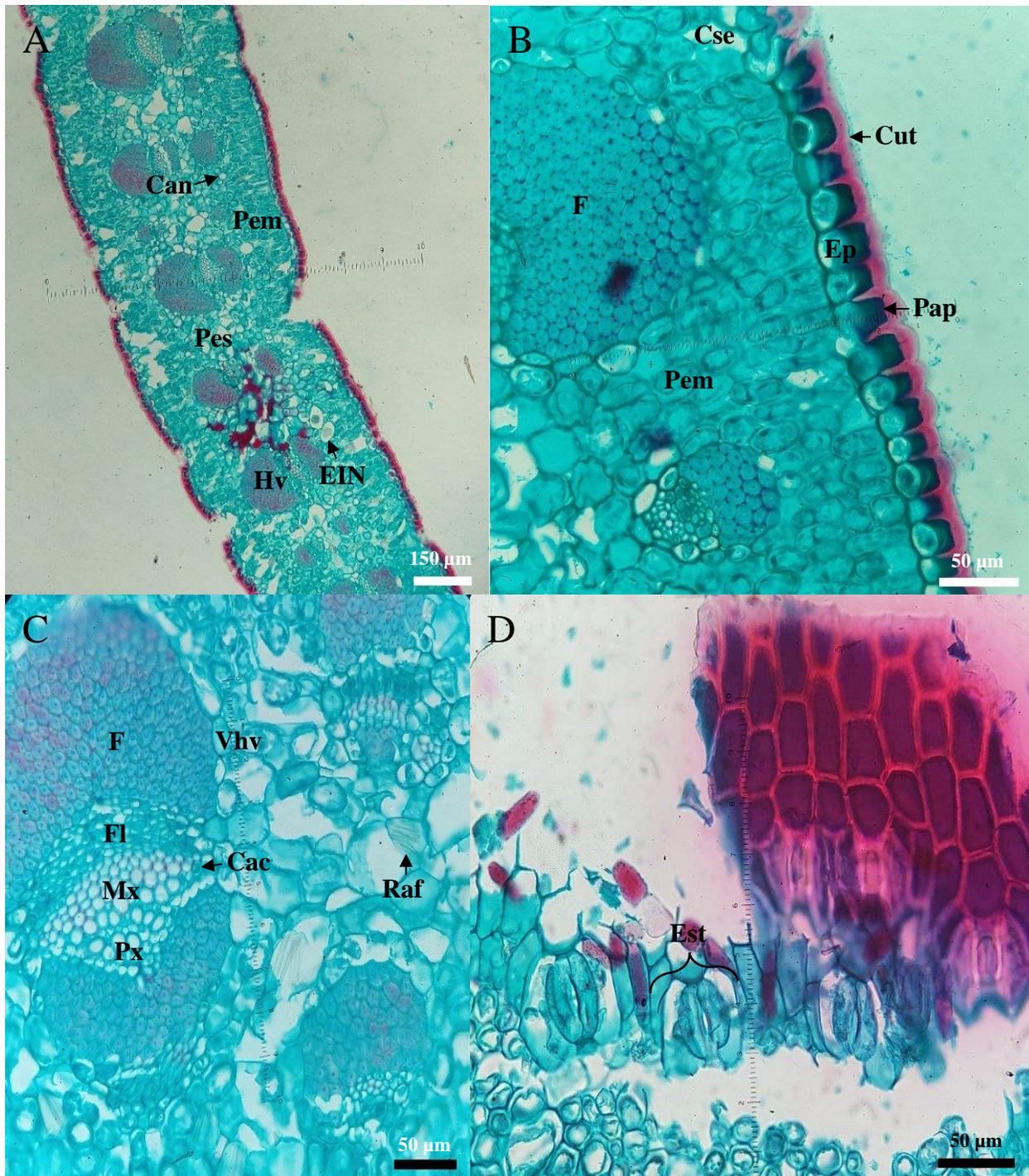


Figura 23. *Yucca reverchonii*. Hoja. (A, B, C) Sección transversal, (D) paradermal. **A)** Mesófilo. **B)** Cutícula lisa, epidermis abaxial y parénquima en empalizada. **C)** Haz vascular. **D)** Estomas paracíticos. Cac = Célula acompañante, Can = Canal secretor, Cse = Cámara subestomática, Cut = Cutícula, EIN = Espacios intercelulares, Ep = Epidermis, Est = Estoma, F = Fibras, Fl = Floema, Hv = Haz vascular, Mx = Metaxilema, Pem = Parénquima en empalizada, Pes = Parénquima Esponjoso, Px = Protoxilema, Raf = Rafidio, Vhv = Vaina del haz vascular.

7.24 *Yucca rupicola* Scheele

En sección transversal la hoja tiene forma de “V” abierta. La cutícula es lisa en ambas superficies, mide $9.24 \mu\text{m}$ (± 3.07) de grosor en la superficie adaxial y $12.38 \mu\text{m}$ (± 4.84) en la abaxial. La epidermis está formada por una capa de células ovadas, además presenta papilas solitarias en ambas superficies (Fig. 24A y 24B). Las células adaxiales exhiben una altura de $20.67 \mu\text{m}$ (± 2.19) y las abaxiales $16.80 \mu\text{m}$ (± 1.79). En sección paradermal las células de la epidermis son oblongas. Las hojas son anfiestomáticas, los estomas son paracíticos (Fig. 24D), están hundidos y presentan cámaras subestomáticas delimitadas por células rectangulares en sentido periclinal, las células subsidiarias son reniformes, paralelas a las oclusivas, éstas últimas presentan proyecciones de cutina posteriores. En el mesófilo el tejido fotosintético está conformado por parénquima en empalizada distribuido en dos a tres capas de células oblongas, las células tienen $51.57 \mu\text{m}$ (± 19.69) de alto y el estrato de parénquima en empalizada $127.77 \mu\text{m}$ (± 13.27) (Fig. 24B). El parénquima esponjoso registra $569.17 \mu\text{m}$ (± 50.46) de ancho, está constituido por células irregulares, sus células miden $27.98 \mu\text{m}$ (± 3.43) de alto. El mesófilo exhibió escasos estiloides, por el contrario, en la región del parénquima en empalizada hay abundantes rafidios y son escasos en el parénquima esponjoso. Los haces vasculares son colaterales, libres, ovados, se agrupan en dos filas en la región media del mesófilo, están rodeados por una vaina parenquimática compuesta por una capa de células ovadas con $19.30 \mu\text{m}$ (± 3.34) de alto, hacia el interior de la vaina parenquimática se observan casquetes de 321.86 fibras (± 29.86), localizados del lado del xilema y el floema (Fig. 24C). El xilema está diferenciado en proto y metaxilema, el protoxilema se orienta hacia la superficie abaxial, está compuesto por 20.13 (± 2.87) células poligonales, el diámetro del lumen mide $11.66 \mu\text{m}$ (± 1.36) y el grosor de las paredes $1.94 \mu\text{m}$ (± 0.31), el metaxilema se localiza hacia la región media del haz vascular conformado por 41.16 (± 10.04) células poligonales, con un diámetro del lumen de $7.01 \mu\text{m}$ (± 0.90) y un grosor de $1.35 \mu\text{m}$ (± 0.19). El floema se encuentra hacia la superficie adaxial, está constituido por células poligonales y de una a cuatro células acompañantes por elemento de tubo criboso.

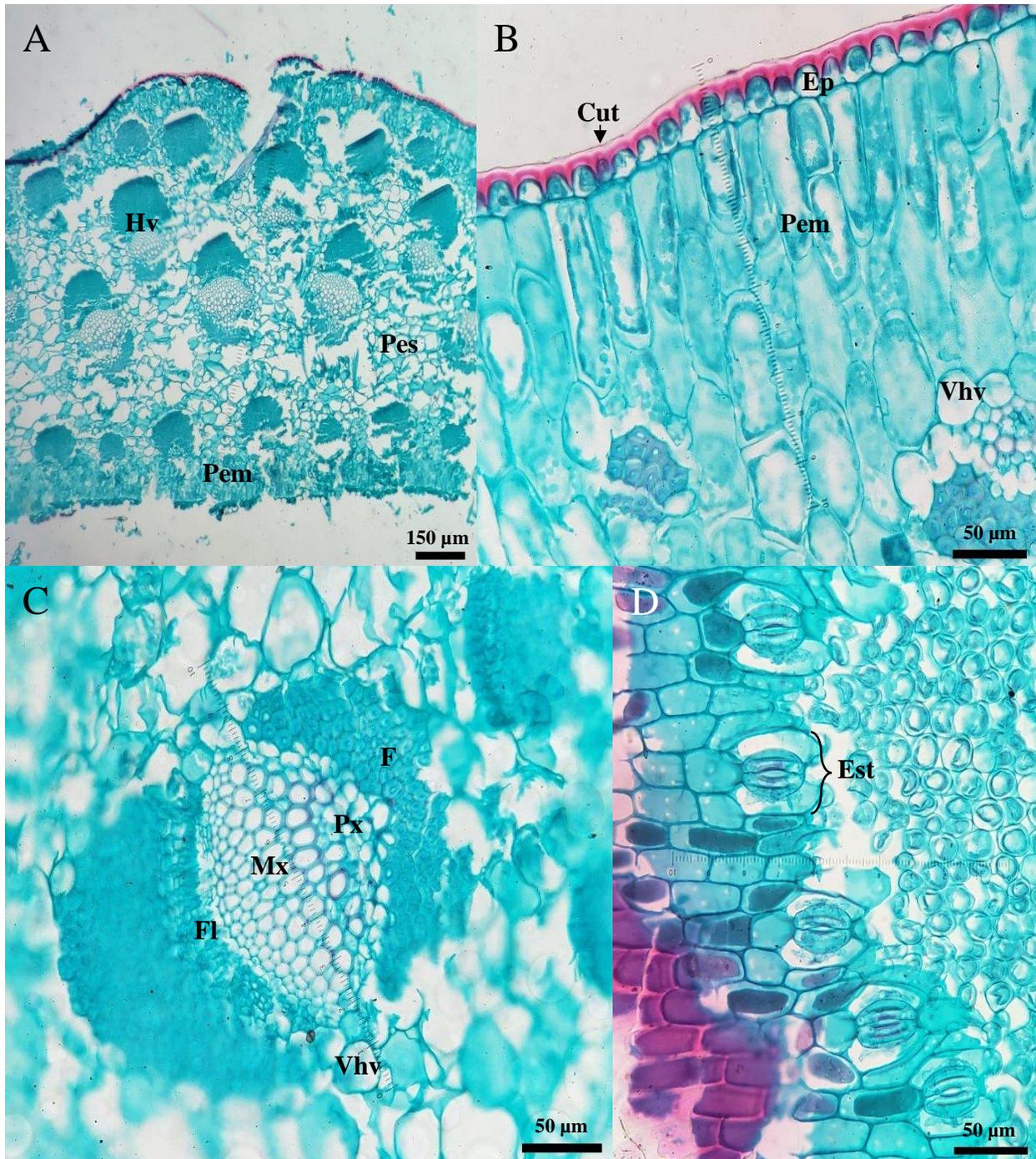


Figura 24. *Yucca rupicola*. Hoja. (A, B, C) Sección transversal, (D) paradermal. A) Mesófilo. B) Cutícula lisa, epidermis adaxial y parénquima en empalizada. C) Haz vascular. D) Estomas paracíticos. Cut = Cutícula, Ep = Epidermis, Est = Estoma, F = Fibras, Fl = Floema, Hv = Haz vascular, Mx = Metaxilema, Pem = Parénquima en empalizada, Pes = Parénquima Esponjoso, Px = Protoxilema, Vhv = Vaina del haz vascular.

7.25 *Yucca schottii* Engelm.

En sección transversal la hoja tiene forma de “V” abierta. La cutícula es estriada en ambas superficies, mide $34.53 \mu\text{m}$ (± 4.38) de grosor en la superficie adaxial y $26.68 \mu\text{m}$ (± 3.92) en la abaxial. La epidermis está formada por una capa de células ovadas, además presenta papilas solitarias en la superficie abaxial y en grupos de dos en la adaxial (Fig. 25A y 25B). Las células adaxiales con una altura de $29.42 \mu\text{m}$ (± 4.40) y las abaxiales $27.24 \mu\text{m}$ (± 1.83). En sección paradermal las células de la epidermis son oblongas. Las hojas son anfiestomáticas, los estomas son paracíticos (Fig. 25D), están hundidos y presentan cámaras subestomáticas delimitadas por células rectangulares en sentido periclinal, se observaron abundantes rafidios en las cámaras subestomáticas, las células subsidiarias son reniformes, paralelas a las oclusivas, éstas últimas presentan proyecciones de cutina anteriores y posteriores. En el mesófilo el tejido fotosintético está compuesto por parénquima en empalizada distribuido en cuatro a seis capas de células irregulares y alargadas, las células tienen $44.56 \mu\text{m}$ (± 2.80) de alto y el estrato de parénquima en empalizada $213.43 \mu\text{m}$ (± 8.36) (Fig. 25B). El parénquima esponjoso registra $983.09 \mu\text{m}$ (± 7.29) de ancho, está constituido por células esféricas, sus células miden $48.51 \mu\text{m}$ (± 3.50) de alto. El mesófilo exhibió abundantes rafidios, por el contrario, en la región del parénquima en empalizada hay abundantes estiloides y son escasos en el parénquima esponjoso. Los haces vasculares son colaterales, libres, ovados se agrupan en tres filas en la región media del mesófilo, están rodeados por una vaina parenquimática compuesta por una capa de células ovadas con $21.41 \mu\text{m}$ (± 1.37) de alto, hacia el interior de la vaina parenquimática se observan casquetes de 284.3 fibras (± 3.03), localizados del lado del xilema y el floema (Fig. 25C). El xilema está diferenciado en proto y metaxilema, el protoxilema se orienta hacia la superficie abaxial, está compuesto por 34.26 (± 0.82) células poligonales, el diámetro del lumen mide $22.66 \mu\text{m}$ (± 1.37) y el grosor de las paredes $2.20 \mu\text{m}$ (± 0.33), el metaxilema se orienta hacia la región media del haz vascular conformado por 35.96 (± 0.66) células poligonales, con un diámetro del lumen de $7.68 \mu\text{m}$ (± 0.95) y un grosor de $0.28 \mu\text{m}$ (± 0.09). El floema se encuentra hacia la superficie adaxial, está constituido por células poligonales y de una a cuatro células acompañantes por elemento de tubo criboso.

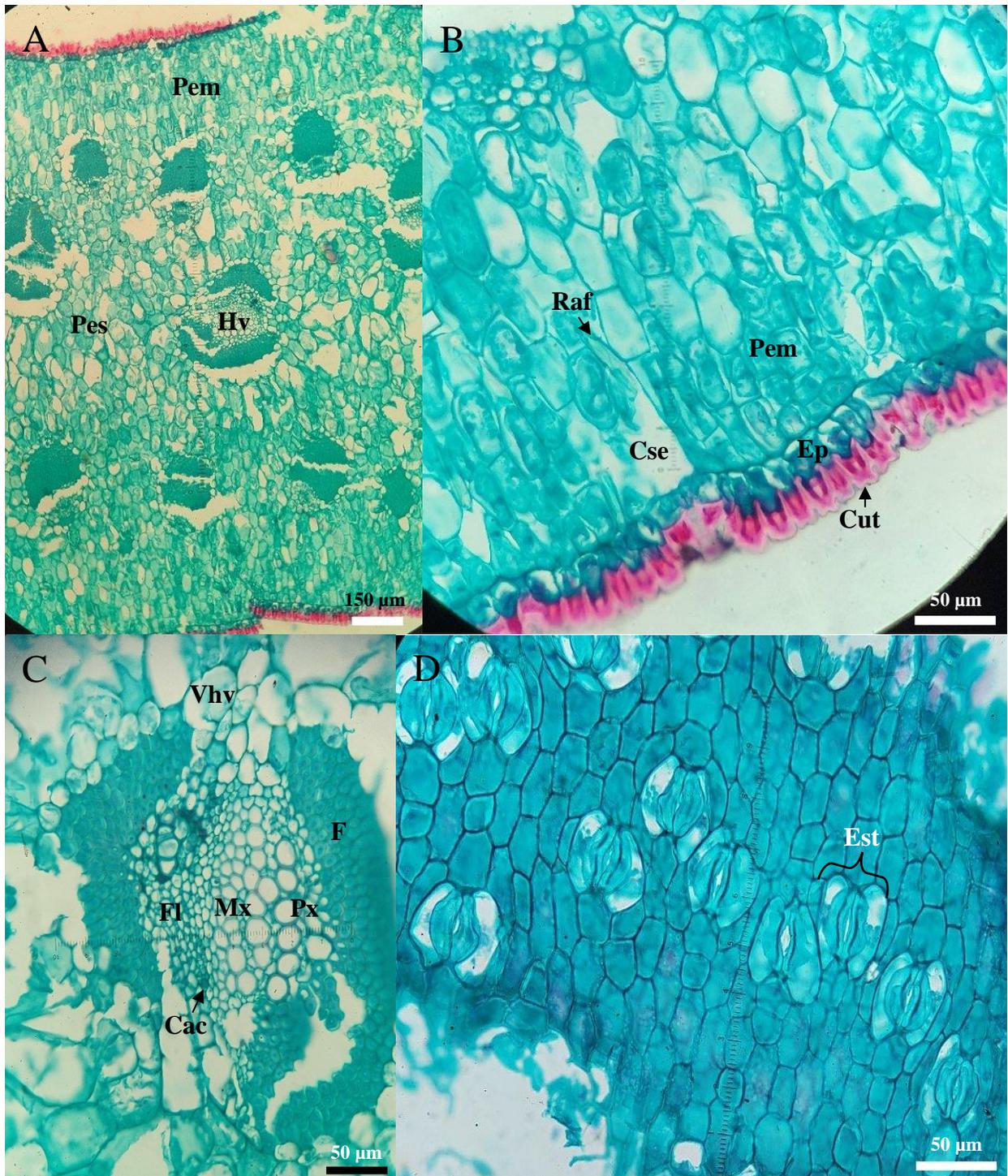


Figura 25. *Yucca schottii*. Hoja. (A, B, C) Sección transversal, (D) paradermal. **A)** Mesófilo. **B)** Cutícula estriada, epidermis adaxial y parénquima en empalizada. **C)** Haz vascular. **D)** Estomas paracíticos. Cac = Célula acompañante, Cse = Cámara subestomática, Cut = Cutícula, Ep = Epidermis, Est = Estoma, F = Fibras, Fl = Floema, Hv = Haz vascular, Mx = Metaxilema, Pem = Parénquima en empalizada, Pes = Parénquima Esponjoso, Px = Protoxilema, Raf = Rafidio, Vhv = Vaina del haz vascular.

7.26 *Yucca thompsoniana* Trel.

En sección transversal la hoja tiene forma de “V” abierta. La cutícula es estriada en ambas superficies, mide $16.33 \mu\text{m}$ (± 5.96) de grosor en la superficie adaxial y $16.80 \mu\text{m}$ (± 5.99) en la abaxial. La epidermis está formada por una capa de células piriformes en ambas superficies, además presenta papilas en grupos de dos en ambas superficies (Fig. 26A y 26B). Las células adaxiales tienen una altura de $29.81 \mu\text{m}$ (± 3.34) y las abaxiales $30.31 \mu\text{m}$ (± 3.36). En sección paradermal las células de la epidermis son oblongas. Las hojas son anfiestomáticas, los estomas son paracíticos (Fig. 26D), están hundidos y presentan cámaras subestomáticas delimitadas por células rectangulares en sentido periclinal, las células subsidiarias son reniformes, paralelas a las oclusivas, estas últimas presentan proyecciones de cutina posteriores. En el mesófilo el tejido fotosintético está conformado por parénquima en empalizada distribuido en dos a tres capas de células oblongas, las células tienen $40.54 \mu\text{m}$ (± 5.74) de alto y el estrato de parénquima en empalizada $120.18 \mu\text{m}$ (± 12.40) (Fig. 26B). El parénquima esponjoso registra $296.55 \mu\text{m}$ (± 36.38) de ancho, está constituido por células irregulares, sus células miden $30.62 \mu\text{m}$ (± 3.96) de alto. El mesófilo exhibió abundantes rafidios, por el contrario, en la región del parénquima en empalizada hay abundantes estiloides y son escasos en el parénquima esponjoso. Asimismo, la zona del parénquima esponjoso presenta abundantes espacios intercelulares con una constitución homogénea que originan un mesófilo laxo en la parte central de la lámina. Los haces vasculares son colaterales, libres, ovados, se agrupan en dos filas en la región media del mesófilo, están rodeados por una vaina parenquimática compuesta por una capa de células ovadas con $18.02 \mu\text{m}$ (± 3.44), hacia el interior de la vaina parenquimática se observan casquetes de 317.86 fibras (± 48.83), localizados del lado del xilema y el floema (Fig. 26C). El xilema está diferenciado en proto y metaxilema, el protoxilema se orienta hacia la superficie abaxial, está compuesto por 14.76 (± 3.51) células poligonales, el diámetro del lumen mide $11.13 \mu\text{m}$ (± 1.89) y el grosor de las paredes $2.09 \mu\text{m}$ (± 0.25), el metaxilema se localiza hacia la región media del haz vascular conformado por 31 (± 8.74) células poligonales, con un diámetro del lumen de $6.74 \mu\text{m}$ (± 0.80) y un grosor de $1.19 \mu\text{m}$ (± 0.22). El floema se encuentra hacia la superficie adaxial, está constituido por células poligonales y de una a tres células acompañantes por elemento de tubo criboso.

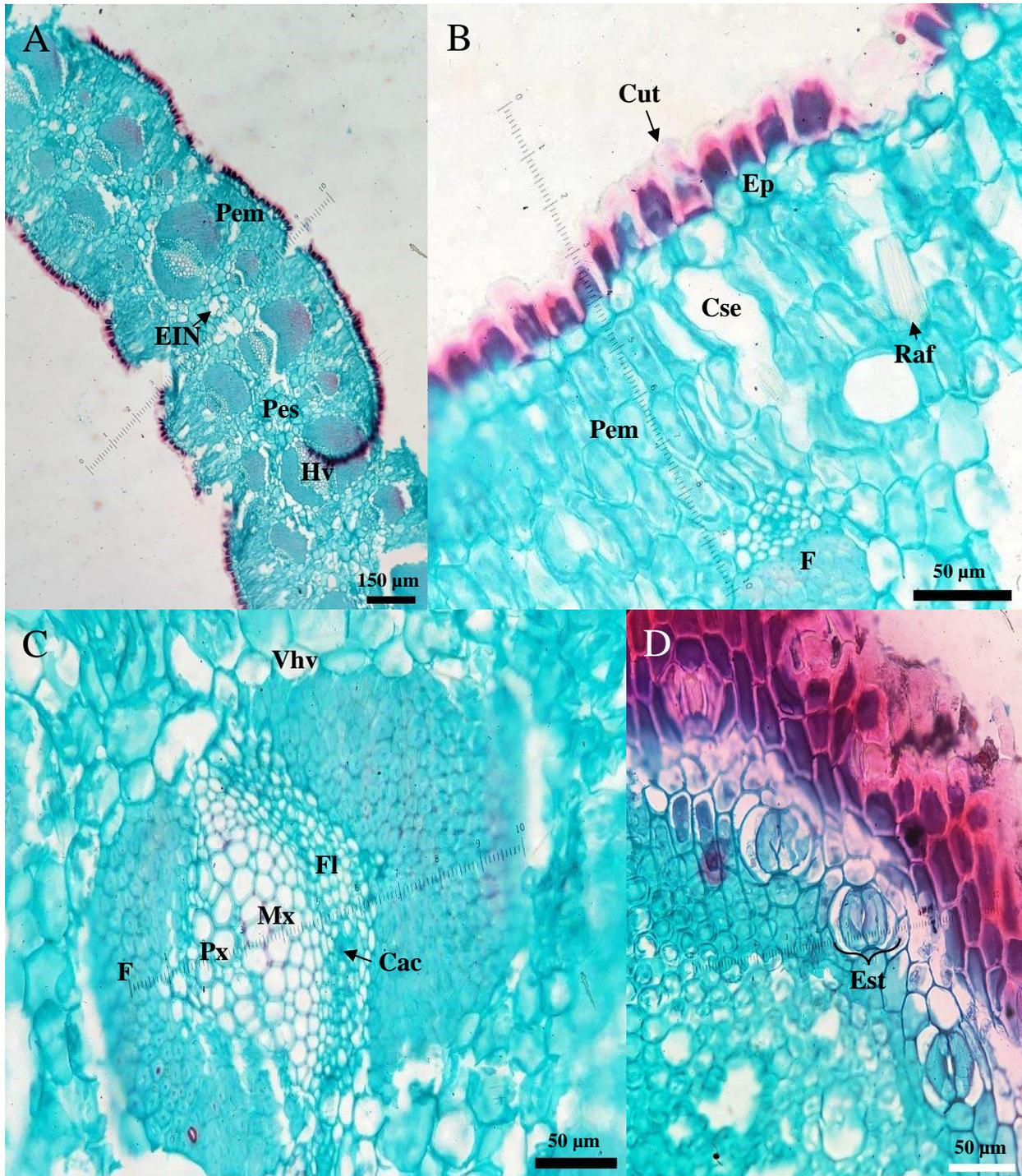


Figura 26. *Yucca thompsoniana*. Hoja. (A, B, C) Sección transversal, (D) paradermal. A) Mesófilo. B) Cutícula estriada, epidermis adaxial y parénquima en empalizada. C) Haz vascular. D) Estomas paracíticos. Cac = Célula acompañante, Cse = Cámara subestomática, Cut = Cutícula, EIN = Espacios intercelulares, Ep = Epidermis, Est = Estoma, F = Fibras, Fl = Floema, Hv = Haz vascular, Mx = Metaxilema, Pem = Parénquima en empalizada, Pes = Parénquima Esponjoso, Px = Protoxilema, Raf = Rafidio, Vhv = Vaina del haz vascular.

7.27 *Yucca valida* Brandegees

En sección transversal la hoja tiene forma de “V” abierta. La cutícula es lisa en ambas superficies, mide $31.72 \mu\text{m}$ (± 5.54) de grosor en la superficie adaxial y $31.28 \mu\text{m}$ (± 5.89) en la abaxial. La epidermis está formada por una capa de células triangulares, además presenta papilas en grupos de dos en ambas superficies (Fig. 27A y 27B). Las células adaxiales tienen $35.96 \mu\text{m}$ (± 2.93) de alto y las abaxiales $30.08 \mu\text{m}$ (± 3.12). En sección paradermal las células de la epidermis son poligonales. Las hojas son anfiestomáticas, los estomas son paracíticos (Fig. 27D), están hundidos y presentan cámaras subestomáticas delimitadas por células rectangulares en sentido periclinal, las células subsidiarias son reniformes, paralelas a las oclusivas, éstas últimas presentan proyecciones de cutina posteriores. En el mesófilo el tejido fotosintético está conformado por parénquima en empalizada distribuido en dos capas de células irregulares, las células tienen $25.14 \mu\text{m}$ (± 3.23) de alto y el estrato de parénquima en empalizada $43.31 \mu\text{m}$ (± 3.78) (Fig. 27B). El parénquima esponjoso registra $1086.29 \mu\text{m}$ (± 6.65) de ancho, está constituido por células poligonales, sus células miden $43.05 \mu\text{m}$ (± 3.61) de alto. El mesófilo exhibió escasos rafidios, por el contrario, en la región del parénquima en empalizada hay abundantes estiloides y son escasos en el parénquima esponjoso. Los haces vasculares son colaterales, libres, ovados, se agrupan en tres filas en la región media del mesófilo, están rodeados por una vaina parenquimática compuesta por una capa de células ovadas con $20.73 \mu\text{m}$ (± 3.63), hacia el interior de la vaina parenquimática se observan casquetes de 254.6 fibras (± 0.72), localizados del lado del xilema y el floema (Fig. 27C). El xilema está diferenciado en proto y metaxilema, el protoxilema se orienta hacia la superficie abaxial, está compuesto por 19.96 (± 0.66) células poligonales, el diámetro del lumen mide $18.24 \mu\text{m}$ (± 2.39) y el grosor de las paredes $2.15 \mu\text{m}$ (± 0.57), el metaxilema se localiza hacia la región media del haz vascular conformado por 14.36 (± 0.49) células poligonales, con un diámetro del lumen de $7.58 \mu\text{m}$ (± 1.66) y un grosor de $0.28 \mu\text{m}$ (± 0.09). El floema se encuentra hacia la superficie adaxial, está constituido por células poligonales y de una a cuatro células acompañantes por elemento de tubo criboso.

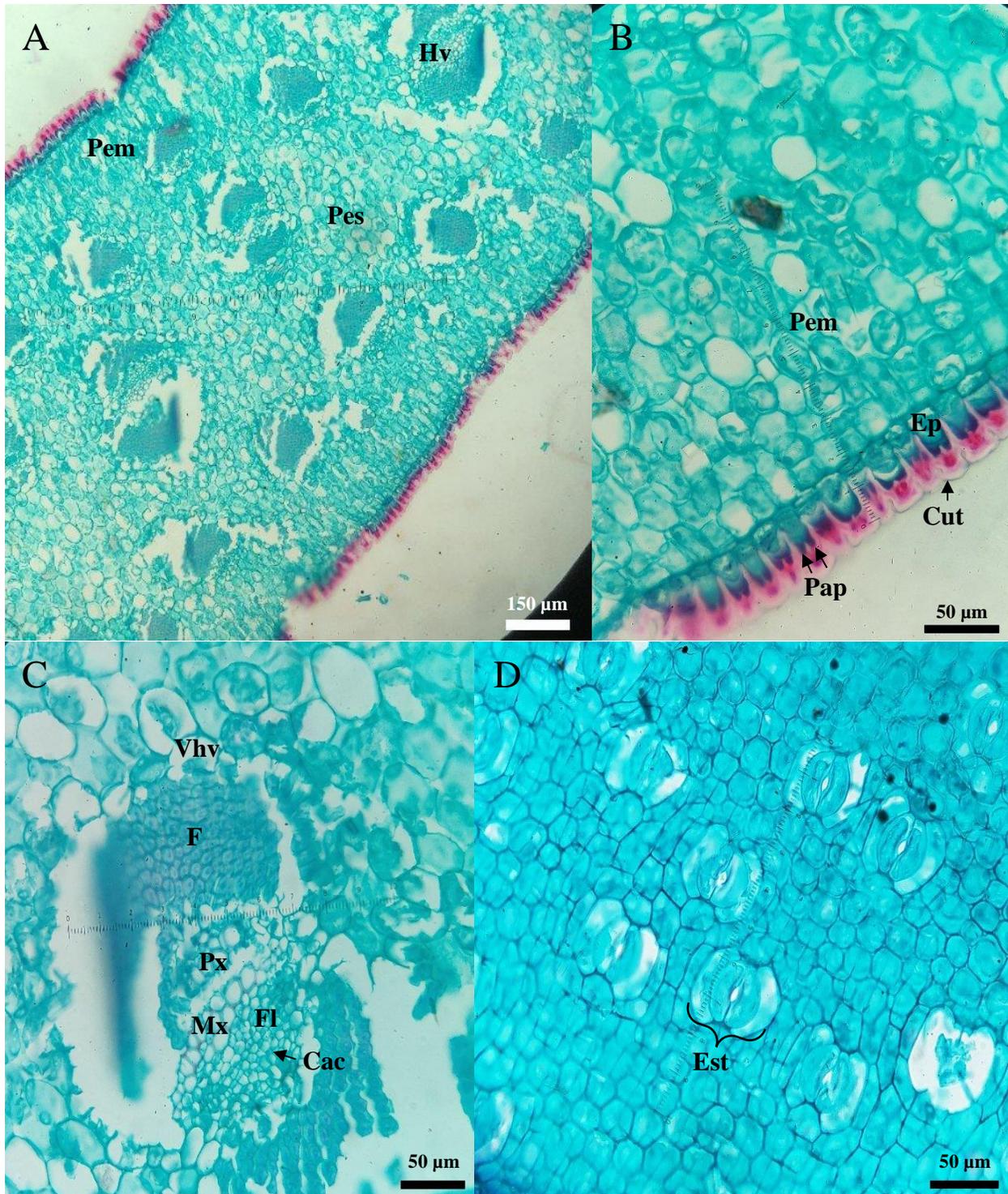


Figura 27. *Yucca valida*. Hoja. (A, B, C) Sección transversal, (D) paradermal. **A)** Mesófilo. **B)** Cutícula lisa, epidermis adaxial y parénquima en empalizada. **C)** Haz vascular. **D)** Estomas paracíticos. Cac = Célula acompañante, Cut = Cutícula, Ep = Epidermis, Est = Estoma, F = Fibras, Fl = Floema, Hv = Haz vascular, Mx = Metaxilema, Pem = Parénquima en empalizada, Pes = Parénquima Esponjoso, Px = Protoxilema, Vhv = Vaina del haz vascular.

7.28 *Yucca verdiensis* McKelvey

En sección transversal la hoja tiene forma de “V” recta. La cutícula es lisa en ambas superficies, mide $15.32 \mu\text{m}$ (± 8.50) de grosor en la superficie adaxial y $14.58 \mu\text{m}$ (± 8.07) en la abaxial. La epidermis está formada por una capa de células piriformes, además presenta papilas solitarias en ambas superficies (Fig. 28A y 28B). Las células adaxiales miden $37.48 \mu\text{m}$ (± 3.41) de alto y las abaxiales $34.39 \mu\text{m}$ (± 2.48). En sección paradermal las células de la epidermis son esféricas. Las hojas son anfiestomáticas, los estomas son paracíticos (Fig. 28D), están hundidos y presentan cámaras subestomáticas delimitadas por células rectangulares en sentido periclinal, las células subsidiarias son reniformes, paralelas a las oclusivas, éstas últimas presentan proyecciones de cutina anteriores y posteriores. En el mesófilo el tejido fotosintético está conformado por parénquima en empalizada distribuido en tres capas de células irregulares, las células tienen $38.53 \mu\text{m}$ (± 5.43) de alto y el estrato de parénquima en empalizada $226.15 \mu\text{m}$ (± 19.67) (Fig. 28B). El parénquima esponjoso registra $1849.06 \mu\text{m}$ (± 182.61) de ancho, está constituido por células isodiamétricas, sus células miden $31.52 \mu\text{m}$ (± 4.08) de alto. El mesófilo exhibió escasos estiloides, por el contrario, en la región del parénquima en empalizada hay abundantes rafidios y son escasos en el parénquima esponjoso. Los haces vasculares son colaterales, libres, ovados, se agrupan en cuatro filas en la región media del mesófilo, están rodeados por una vaina parenquimática compuesta por una capa de células ovadas con $20.22 \mu\text{m}$ (± 2.81) de alto, hacia el interior de la vaina parenquimática se observan casquetes de 191.6 fibras (± 48.32), localizados del lado del xilema y el floema (Fig. 28C). El xilema está diferenciado en proto y metaxilema, el protoxilema se orienta hacia la superficie abaxial, está conformado por 21.33 (± 5.39) células poligonales, el diámetro del lumen mide $14.14 \mu\text{m}$ (± 1.77) y el grosor de las paredes $1.94 \mu\text{m}$ (± 0.30), el metaxilema se localiza hacia la región media del haz vascular conformado por 45.4 (± 9.22) células poligonales, con un diámetro del lumen de $8.62 \mu\text{m}$ (± 1.39) y un grosor de $1.24 \mu\text{m}$ (± 0.20). El floema se encuentra hacia la superficie adaxial, está constituido por células poligonales y de una a tres células acompañantes por elemento de tubo criboso.

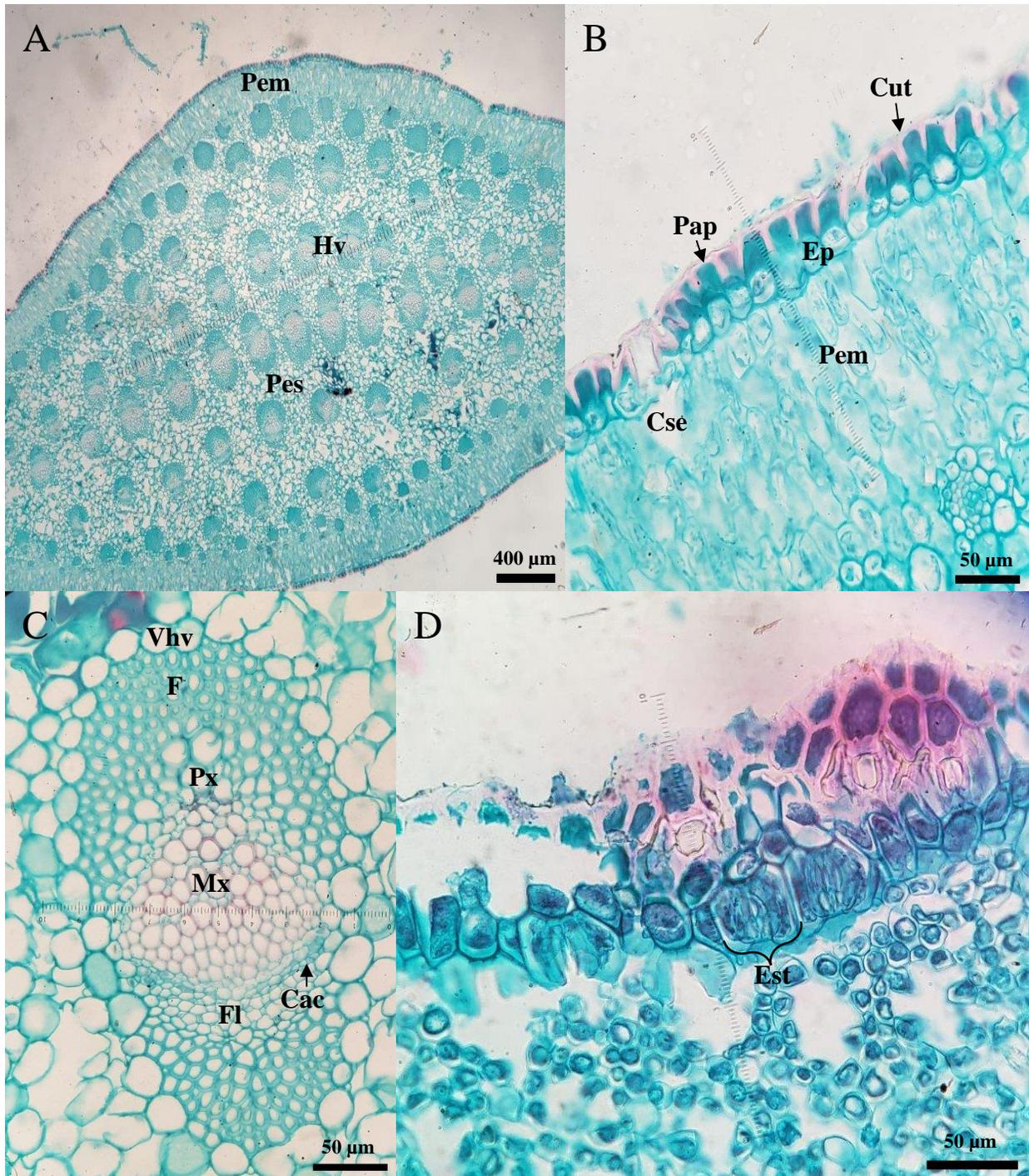


Figura 28. *Yucca verdiensis*. Hoja. (A, B, C) Sección transversal, (D) paradermal. **A)** Perfil de la lámina en forma de “V” recta. **B)** Cutícula lisa, epidermis adaxial y parénquima en empalizada. **C)** Haz vascular. **D)** Estomas paracíticos. Cac = Célula acompañante, Cse = Cámara subestomática, Cut = Cutícula, Ep = Epidermis, Est = Estoma, F = Fibras, Fl = Floema, Hv = Haz vascular, Mx = Metaxilema, Pap = Papilas, Pem = Parénquima en empalizada, Pes = Parénquima Esponjoso, Px = Protoxilema, SP = Vhv = Vaina del haz vascular.

En las 28 especies de *Yucca* analizadas se observaron diferencias principalmente en el perfil de la hoja, ornamentación y grosor de la cutícula, presencia o ausencia de papilas en la epidermis de ambas superficies de las hojas, forma de las células epidérmicas, tipo de hoja por la distribución de los estomas en la epidermis, localización de las proyecciones de cutina asociadas con las células oclusivas, presencia o ausencia de inclusiones minerales y el número de fibras que se encuentran cercanos a los haces vasculares, la variación de estos caracteres se reporta en el cuadro 1.

En relación con el perfil de la hoja se observó que 17 especies tienen forma de “V” abierta, nueve en “V” recta, una en recta y solamente *Y. necopina* en forma de U. La cutícula en la cara abaxial varió entre 1.18 a 66.15 μm de grosor, y de 2.40 a 78.14 μm en la adaxial; *Yucca filamentosa*, *Y. baileyi* y *Y. declinata* presentaron la cutícula más delgada en la superficie abaxial con 1.18, 2.50 y 2.62 μm respectivamente; mientras que los valores más altos en esa misma superficie se presentaron en *Y. muscipula*, *Y. brevifolia* y *Y. decipiens* con 66.15, 49.01 y 48.14 μm para cada una. En la superficie adaxial los valores más bajos se presentaron en *Y. filamentosa*, *Y. kanabensis* y *Y. constricta* con 2.40, 3.24 y 3.90 μm respectivamente; en tanto que los más altos se registraron en *Y. muscipula*, *Y. brevifolia* y *Y. decipiens* con 78.14, 52.68 y 48.48 μm . La ornamentación de la cutícula presentó dos variantes: lisa y estriada, la primera variante se observó en 22 especies, la segunda en cinco, y *Y. pallida* tiene cutícula lisa en la superficie abaxial y estriada en la adaxial.

Con respecto a la epidermis se registraron siete patrones asociados al número de papilas por cada célula en ambas superficies, y uno donde solamente se observaron las papilas en una de las superficies: 1) dos papilas por célula (nueve spp.), 2) una papila por cada célula (cinco spp.), 3) una o dos papilas por célula (cuatro spp.), 4) dos a tres papilas por célula (dos spp.), 5) tres a cuatro (una especie), 6) sin papilas (cinco especies), 7) una papila en la célula abaxial y dos papilas en la adaxial (una especie), y 8) una papila por célula en la cara adaxial (una especie). Las células epidérmicas son variables en su forma y van desde piriformes, oblongas, triangulares, ovadas hasta cónicas. De cada tipo se observaron nueve, siete, seis, cinco y una especie correspondientemente.

En 24 especies los estomas se localizan por debajo de la epidermis, *Yucca guatemalensis* y *Y. pallida* los tienen ligeramente hundidos, mientras que, en *Y. filamentosa* y *Y. muscipula* se encuentran al mismo nivel de esta capa celular. Por otra parte, las células oclusivas presentan

proyecciones de cutina en las regiones anterior y posterior en 16 especies, únicamente posteriores en 10 especies y, *Y. guatemalensis* y *Y. muscipula* solo tienen proyecciones anteriores.

Las inclusiones minerales se registraron en 25 especies, *Yucca constricta* no tiene rafidios en los tejidos foliares, *Y. filamentosa* no tiene estiloides y *Y. baileyi* no presenta cristales de oxalato de calcio. La abundancia de los rafidios y estiloides varió en función del tejido foliar. La epidermis no presentó rafidios en 23 especies, sin embargo, éstos son abundantes en *Y. decipiens*, *Y. elata* y *Y. muscipula*, y escasos en *Y. baccata* y *Y. jaliscensis*. En las cámaras subestomáticas 21 especies no tienen rafidios, son escasos en *Y. aloifolia*, *Y. capensis*, *Y. coahuilensis* y *Y. decipiens*, y abundantes en *Y. brevifolia*, *Y. jaliscensis* y *Y. schottii*. El parénquima en empalizada de 21 especies presenta rafidios abundantes, en cuatro son escasos y sólo *Y. baileyi*, *Y. constricta* y *Y. filamentosa* no los tienen. En el parénquima esponjoso son escasos en 14 especies, abundantes en 11 especies y no se observaron en *Y. baileyi*, *Y. constricta* y *Y. guatemalensis*.

Los estiloides están ausentes en la epidermis de 27 especies, con excepción de *Y. decipiens* donde son escasos. En las cámaras subestomáticas no se observaron estiloides en las especies analizadas. El parénquima en empalizada contiene estiloides abundantes en 16 especies, escasos en ocho, en tanto que *Yucca baileyi*, *Y. declinata*, *Y. filamentosa* y *Y. pallida* no los presentaron. El parénquima esponjoso de 20 especies posee escasos estiloides, en *Y. aloifolia*, *Y. guatemalensis* y *Y. pallida* son abundantes, y no están en *Y. baccata*, *Y. baileyi*, *Y. filamentosa*, *Y. harrimaniae* y *Y. muscipula*.

El número de fibras asociadas a los haces vasculares osciló entre 28 a 488 fibras aproximadamente; *Y. baileyi*, *Y. campestris*, *Y. elata* y *Y. necopina* registraron el menor número de fibras con 28, 39, 45 y 45 respectivamente, mientras que las especies con el mayor el número de fibras fueron *Y. thompsoniana*, *Y. muscipula* y *Y. grandiflora* con 382, 397 y 488 fibras cada una. Todas las características se resumen en el Cuadro 1.

Por otro lado, las características de la anatomía foliar que no variaron en las especies de *Yucca* estudiadas fueron la presencia de estomas en ambas superficies, el complejo estomático paracítico, además de que en todos los taxones hay cámaras subestomáticas, no se observó hipodermis, mientras que los haces vasculares están rodeados por una vaina parenquimática, son colaterales, ovalados y libres en todas ellas, asimismo, la ausencia de una laguna protoxilemática, un patrón de desarrollo endarca, el xilema está diferenciado en protoxilema y metaxilema.

Cuadro 1. Caracteres anatómicos distintivos entre las especies de *Yucca* estudiadas.

Taxa	Perfil	Hoja	Ornamentación y grosor de la cutícula	Número de papilas	Forma de las células epidérmicas	Estomas	Posición de los estomas en relación con la epidermis	Proyecciones de cutina en los estomas	Rafidios	Estiloides	Haces vasculares	Fibras
<i>Yucca aloifolia</i>	“V” abierta	AF	Lisa ABA: 11.86-22.63 µm ADA: 5.1-26.14 µm	Papilas solitarias (ADA)	Triangulares	P c/Cse	Hundidos	Posteriores	(* Ep (-) Cse (+) PEM (-) PES	(* Ep (* Cse (-) PEM (+) PES	COL	74-99
<i>Y. baccata</i>	“V” abierta	AF	Estriada ABA: 7.91-27.88 µm ADA: 16.58-24.71 µm	Una o dos papilas (ADA y ABA)	Triangulares	P c/Cse	Hundidos	Posteriores	(-) Ep (* Cse (+) PEM (-) PES	(* Ep (* Cse (-) PEM (* PES	COL	92-164
<i>Y. baileyi</i>	“V” recta	AF	Lisa ABA: 2.50-11.14 µm ADA: 4.58-13.44 µm	Una o dos papilas (ADA y ABA)	Oblongas	P c/Cse	Hundidos	Posteriores	(* Ep (* Cse (* PEM (* PES	(* Ep (* Cse (* PEM (* PES	COL	28-49
<i>Y. brevifolia</i>	“V” recta	AF	Lisa ABA: 20.11- 49.01 µm ADA: 20.02- 52.68 µm	Papilas solitarias (ADA y ABA)	Oblongas	P c/Cse	Hundidos	Posteriores	(* Ep (+) Cse (+) Mes	(* Ep (* Cse (+) PEM (-) PES	COL	70-135
<i>Y. campestris</i>	“V” abierta	AF	Lisa ABA: 3.54-14.67 µm ADA: 5.04-16.55 µm	Papilas solitarias (ADA y ABA)	Ovadas	P c/Cse	Hundidos	Posteriores	(* Ep (* Cse (+) PEM (-) PES	(* Ep (* Cse (+) PEM (-) PES	COL	39-44
<i>Y. capensis</i>	“V” abierta	AF	Lisa ABA: 8.61-29.09 µm ADA: 10.13-28.56 µm	Dos papilas (ADA y ABA)	Cónicas	P c/Cse	Hundidos	Posteriores y anteriores	(* Ep (-) Cse (-) MES	(* Ep (* Cse (+) PEM (-) PES	COL	191-405
<i>Y. coahuilensis</i>	“V” abierta	AF	Lisa ABA: 7.99-25.56 µm ADA: 10.13-28.47 µm	Una o dos papilas (ADA y ABA)	Oblongas	P c/Cse	Hundidos	Posteriores y anteriores	(* Ep (-) Cse (+) PEM (-) PES	(* Ep (* Cse (+) PEM (-) PES	COL	287-293

Cuadro 1. Continuación.

Taxa	Perfil	Hoja	Ornamentación y grosor de la cutícula	Número de papilas	Forma de las células epidérmicas	Estomas	Posición de los estomas en relación con la epidermis	Proyecciones de cutina en los estomas	Rafidios	Estiloides	Haces vasculares	Fibras
<i>Y. constricta</i>	“V” recta	AF	Lisa ABA: 4.13-8.46 µm ADA: 3.90 - 10.07 µm	Dos o tres papilas (ADA y ABA)	Oblongas	P c/Cse	Hundidos	Posteriores y anteriores	(*) Ep (*) Cse (*) PEM (*) PES	(*) Ep (*) Cse (-) MES	COL	100- 147
<i>Y. decipiens</i>	“V” recta	AF	Lisa ABA: 20.56- 48.14 µm ADA: 18.58- 48.48 µm	Papilas solitarias (ADA y ABA)	Triangulares	P c/Cse	Hundidos	Posteriores y anteriores	(+) Ep (-) Cse (+) MES	(-) Ep (*) Cse (+) PEM (-) PES	COL	94-99
<i>Y. declinata</i>	“V” abierta	AF	Lisa ABA: 2.62 -3.84 µm ADA: 4.64- 13.57 µm	Sin papilas (ADA y ABA)	Ovadas	P c/Cse	Hundidos	Posteriores y anteriores	(*) Ep (*) Cse (-) MES	(*) Ep (*) Cse (*) PEM (-) PES	COL	108- 144
<i>Y. elata</i>	“V” recta	AF	Lisa ABA: 6.14- 31.91 µm ADA: 5.79- 28.39 µm	Tres o cuatro papilas (ADA y ABA)	Piriformes	P c/Cse	Hundidos	Posteriores y anteriores	(+) Ep (*) Cse (+) MES	(*) Ep (*) Cse (+) PEM (-) PES	COL	45-48
<i>Y. filamentosa</i>	Recta	AF	Lisa ABA: 1.18 -2.57 µm ADA: 2.40-9.21 µm	Sin papilas (ADA y ABA)	Ovadas	P c/Cse	No hundidos	Posteriores y anteriores	(*) Ep (*) Cse (*) PEM (-) PES	(*) Ep (*) Cse (*) PEM (*) PES	COL	47-72
<i>Y. gloriosa</i>	“V” abierta	AF	Lisa ABA: 6.15- 17.54 µm ADA: 4.86- 11.71 µm	Sin papilas (ADA y ABA)	Oblongas	P c/Cse	Hundidos	Posteriores y anteriores	(*) Ep (*) Cse (+) MES	(*) Ep (*) Cse (-) MES	COL	110- 115
<i>Y. grandiflora</i>	“V” recta	AF	Lisa ABA: 18.96- 46.48 µm ADA: 19.00- 46.52 µm	Dos papilas (ADA y ABA)	Piriformes	P c/Cse	Hundidos	Posteriores y anteriores	(*) Ep (*) Cse (+) MES	(*) Ep (*) Cse (+) PEM (-) PES	COL	301- 488

Cuadro 1. Continuación.

Taxa	Perfil	Hoja	Ornamentación y grosor de la cutícula	Número de papilas	Forma de las células epidérmicas	Estomas	Posición de los estomas en relación con la epidermis	Proyecciones de cutina en los estomas	Rafidios	Estiloides	Haces vasculares	Fibras
<i>Y. guatemalensis</i>	“V” abierta	AF	Lisa ABA: 6.87-22.85 µm ADA: 7.48-28.97 µm	Sin papilas (ADA y ABA)	Piriformes	P c/Cse	Ligeramente hundidos	Anteriores	(*) Ep (*) Cse (+) PEM (*) PES	(*) Ep (*) Cse (+) MES	COL	159-169
<i>Y. harrimaniae</i>	“V” recta	AF	Lisa ABA: 10.29-23.55 µm ADA: 7.95-25.41 µm	Dos o tres papilas (ADA y ABA)	Piriformes	P c/Cse	Hundidos	Posteriores y anteriores	(*) Ep (*) Cse (+) PEM (-) PES	(*) Ep (*) Cse (+) PEM (*) PES	COL	168-308
<i>Y. jaliscensis</i>	“V” abierta	AF	Estriada ABA: 6.77-21.24 µm ADA: 11.27-35.27 µm	Dos papilas (ADA y ABA)	Piriformes	P c/Cse	Hundidos	Posteriores y anteriores	(-) Ep (+) Cse (+) PEM (-) PES	(*) Ep (*) Cse (+) PEM (-) PES	COL	185-187
<i>Y. kanabensis</i>	“V” recta	AF	Lisa ABA: 3.40-9.10 µm ADA: 3.24-9.51 µm	Dos papilas (ADA y ABA)	Piriformes	P c/Cse	Hundidos	Posteriores y anteriores	(*) Ep (*) Cse (+) PEM (-) PES	(*) Ep (*) Cse (+) PEM (-) PES	COL	123-200
<i>Y. muscipula</i>	“V” abierta	AF	Estriada ABA: 39.64-66.15 µm ADA: 40.70-78.14 µm	Dos papilas (ADA y ABA)	Triangulares	P c/Cse	No hundidos	Anteriores	(+) Ep (*) Cse (-) MES	(*) Ep (*) Cse (+) PEM (*) PES	COL	394-397
<i>Y. nana</i>	“V” abierta	AF	Lisa ABA: 6.84-21.73 µm ADA: 9.77-29.23 µm	Dos papilas (ADA y ABA)	Oblongas	P c/Cse	Hundidos	Posteriores	(*) Ep (*) Cse (+) MES	(*) Ep (*) Cse (-) MES	COL	182-305
<i>Y. necopina</i>	“U”	AF	Lisa ABA: 4.58-9.41 µm ADA: 5.14-9.76 µm	Sin papilas (ADA y ABA)	Oblongas	P c/Cse	Hundidos	Posteriores y anteriores	(*) Ep (*) Cse (+) MES	(*) Ep (*) Cse (-) MES	COL	45-49

Cuadro 1. Continuación.

Taxa	Perfil	Hoja	Ornamentación y grosor de la cutícula	Número de papilas	Forma de las células epidérmicas	Estomas	Posición de los estomas en relación con la epidermis	Proyecciones de cutina en los estomas	Rafidios	Estiloides	Haces vasculares	Fibras
<i>Y. pallida</i>	“V” abierta	AF	Lisa (ABA) y Estriada (ADA) ABA: 5.71-19.99 µm ADA: 10.89-34.62 µm	Una o dos papilas (ADA y ABA)	Triangulares	P c/Cse	Ligeramente hundidos	Posteriores	(*) Ep (*) Cse (+) MES	(*) Ep (*) Cse (*) PEM (+) PES	COL	62-112
<i>Y. reverchonii</i>	“V” abierta	AF	Lisa ABA: 10.66-25.65 µm ADA: 10.57-29.22 µm	Dos papilas (ADA y ABA)	Piriformes	P c/Cse	Hundidos	Posteriores y anteriores	(*) Ep (*) Cse (+) MES	(*) Ep (*) Cse (+) PEM (-) PES	COL	346-348
<i>Y. rupicola</i>	“V” abierta	AF	Lisa ABA: 6.14-18.26 µm ADA: 5.02-13.82 µm	Papilas solitarias (ADA y ABA)	Ovadas	P c/Cse	Hundidos	Posteriores	(*) Ep (*) Cse (+) PEM (-) PES	(*) Ep (*) Cse (-) MES	COL	269-371
<i>Y. schottii</i>	“V” abierta	AF	Estriada ABA: 20.19-34.78 µm ADA: 27.83-47.05 µm	Una papila (ABA) y dos papilas (ADA)	Ovadas	P c/Cse	Hundidos	Posteriores y anteriores	(*) Ep (+) Cse (+) MES	(*) Ep (*) Cse (+) PEM (-) PES	COL	277-288
<i>Y. thompsoniana</i>	“V” abierta	AF	Estriada ABA: 9.20-25.69 µm ADA: 8.15-24.62 µm	Dos papilas (ADA y ABA)	Piriformes	P c/Cse	Hundidos	Posteriores	(*) Ep (*) Cse (+) MES	(*) Ep (*) Cse (+) PEM (-) PES	COL	235-382
<i>Y. valida</i>	“V” abierta	AF	Lisa ABA: 22.62-39.82 µm ADA: 22.15-40.53 µm	Dos papilas (ADA y ABA)	Triangulares	P c/Cse	Hundidos	Posteriores	(*) Ep (*) Cse (-) MES	(*) Ep (*) Cse (+) PEM (-) PES	COL	253-256
<i>Y. verdiensis</i>	“V” recta	AF	Lisa ABA: 4.04-24.49 µm ADA: 3.96-24.86 µm	Papilas solitarias (ADA y ABA)	Piriformes	P c/Cse	Hundidos	Posteriores y anteriores	(*) Ep (*) Cse (+) PEM (-) PES	(*) Ep (*) Cse (-) MES	COL	122-264

Simbología. **AF** = Anfiestomática, **ADA** = Superficie adaxial, **ABA** = Superficie abaxial, **COL** = Haces vasculares colaterales, ovalados y libres, **Cse** = Cámara subestomática, **Ep** = Epidermis, **MES** = Mesófilo, **P** = Paracíticos, **PEM** = Parénquima en empalizada, **PES** = Parénquima esponjoso, (-) = Escasos, (+) = Abundantes, (*) = Ausentes.

VIII DISCUSIÓN

El perfil de la lámina abierta de las hojas maduras en las monocotiledóneas, observado en sección transversal, es diagnóstico en el nivel de especie, por ejemplo, en Poaceae ha sido útil para los géneros *Hyparrhenia*, *Cymbopogon* y *Dichanthium*, en los cuales la forma más frecuente fue en forma de “V” y en “U” la menos frecuente, aunque presenta variaciones intermedias dependiendo del grado de plegamiento de las hojas (Ellis, 1976; Rudall y Mathew, 1994). En *Yucca* se registraron cuatro perfiles, el más común fue en forma de “V” abierta y lo comparten 17 especies. Únicamente en *Yucca filamentosa* es recto y en *Y. necopina* tiene forma de “U”. Solano *et al.* (2013; 2017) analizaron este carácter en géneros de Agavoideae como *Polianthes* y *Manfreda*, y delimitaron grupos de especies; algunos de sus resultados son similares a los obtenidos en la presente investigación, por ejemplo, el perfil de la lámina menos frecuente es el de forma de “U” en *Yucca* y *Polianthes*, mientras que, para *Manfreda* y *Yucca* la forma más común es en “V” abierta.

En otras especies de Asparagales como *Iris juncea* la lámina es ovada, en *Iris* subgénero *Hermadactyloides* es cuadrada y en *I. xanthoclora* tiene forma de “V” (Goldblatt, 1990; Rudall y Mathew, 1994). En diez especies de *Milla* la forma más común es depresa-obovada, mientras que *M. mexicana* y *M. rosea* se diferencian por la forma ancha y transversalmente-elíptica, respectivamente (Gutiérrez *et al.*, 2015). El tipo de perfil de la lámina se relaciona con las condiciones de humedad ambiental, los taxa que se desarrollan en zonas áridas y semiáridas presentan el perfil en forma de “V” plegando su lámina para proteger los estomas de las altas temperaturas (Esau, 1982). Sin embargo, *Yucca guatemalensis* no se establece en ambientes tan áridos como las otras especies que tienen el mismo perfil, es posible que éste estado de carácter también se relacione con la pérdida de agua asociada a la exposición solar y a que es una especie cultivada (Esau, 1965; Smith y Figueiredo, 2016).

La cutícula estriada es una característica de la epidermis foliar que se considera como una adaptación a los climas áridos (Esau, 1982; Álvarez, 1990; Solano *et al.*, 2017). Este carácter fue registrado en algunas de las especies analizadas en la presente investigación como *Yucca baccata*, *Y. jaliscensis*, *Y. muscipula*, *Y. schottii* y *Y. thompsoniana*. El resto de las especies presenta una cutícula lisa, solamente *Y. pallida* exhibió una cutícula lisa en la superficie abaxial y estriada en la adaxial. En otros géneros de Agavoideae se han registrado resultados similares, por ejemplo,

García-Mendoza (1987) señaló que en el género *Beschorneria* la cutícula es estriada. Álvarez (1990) estudió la cutícula en *Polianthes*, *Bravoa*, *Prochnyanthes*, *Pseudobravo* y *Manfreda*, señaló que en los tres primeros géneros está más desarrollada que en los dos últimos géneros. En la investigación de Solano *et al.* (2013; 2017) 12 especies de *Polianthes* presentaron la cutícula estriada y únicamente en *P. densiflora* se observó cutícula lisa. A su vez en *Manfreda* la mayoría de las especies exhiben cutícula lisa, excepto *M. longiflora*, *M. potosina*, *M. pringlei* y *M. pubescens* que tienen porciones lisas o estriadas en ambas superficies de la hoja. Solano *et al.* (2013) señalaron que en *Polianthes* la cutícula cambia de lisa a estriada con la madurez. Otros autores consideran que las diferencias entre el espesor y la estructura de la cutícula podrían estar determinadas por patrones genéticos y la edad de la planta (Eagan, 1969; Yeats y Rose, 2013; Chávez-Güitrón *et al.*, 2019). Sin embargo, en esta investigación no consideramos que esté relacionado con la madurez de la hoja, ya que el material vegetal analizado corresponde a individuos adultos.

En relación con el grosor de la cutícula, este carácter se ha explicado como una adaptación a los ambientes áridos (Blunden y Binns, 1970; Álvarez, 1990; Solano *et al.*, 2017), pues sirve como protección contra la transpiración excesiva y está determinado por la exposición al sol, las hojas más expuestas exhiben una cutícula más gruesa en ambas superficies (Esau, 1965; Withner *et al.*, 1974; Rotondi *et al.*, 2003). En las especies examinadas la cutícula oscila entre 1.18 a 52.68 μm de grosor. Por lo anterior, *Yucca muscipula* destaca con respecto al resto de las especies debido a que su cutícula es más gruesa en ambas superficies (66.15 (\pm 7.15) μm en la superficie abaxial y 78.14 μm (\pm 7.97) en la superficie adaxial).

La epidermis es uniestratificada e isobilateral en todas las especies analizadas, sin embargo, hay variaciones en la forma de las células epidérmicas y la altura de éstas en ambas superficies de las hojas. Se reconocieron cinco formas de células epidérmicas en las hojas, la más común es piriforme y se presentó en nueve especies; solamente *Yucca capensis* exhibió células cónicas. En relación con la altura de las células la superficie adaxial es mayor a la registrada en la superficie abaxial, se registraron valores de 16.80 (\pm 1.79) a 62.51 μm (\pm 5.54) en la epidermis abaxial y 17.31 (\pm 2.66) y 65.16 μm (\pm 7.43) en la adaxial. Klimko *et al.*, (2018) destacaron la importancia de las dimensiones de las células epidérmicas, en combinación con otros caracteres epidérmicos, como diagnósticos en el nivel de especie.

La epidermis foliar puede presentar o no papilas. En el presente estudio se registró variación en el número y la ubicación de las papilas entre las especies evaluadas. Por ejemplo, *Yucca constricta* y *Y. harrimaniae* tienen papilas en grupos de dos o tres en ambas superficies, *Y. elata* presenta de tres a cuatro papilas en ambas superficies, *Y. schottii* posee papilas solitarias en la superficie abaxial y en grupos de dos en la adaxial, *Y. baccata*, *Y. baileyi*, *Y. coahuilensis* y *Y. pallida* exhiben una o dos papilas en ambas superficies, mientras que en *Y. aloifolia* son solitarias y sólo están en la superficie adaxial. En otros géneros relacionados filogenéticamente como *Beschorneria*, *Furcraea*, *Hesperaloë*, *Hesperoyucca*, *Manfreda*, *Polianthes* y *Prochnyanthes* las papilas se localizan en ambas superficies formando líneas sobre las nervaduras o en los márgenes (Verhoek-Williams, 1998).

Solano *et al.* (2013, 2017) describieron las papilas en varias especies de *Polianthes* y *Manfreda*, registraron que son solitarias en *P. geminiflora* var. *clivicola*, *P. geminiflora* var. *geminiflora*, *P. graminifolia*, *P. multicolor*, en *M. elongata* sólo hay papilas en el envés y las macropapilas en la superficie abaxial son típicas de *M. guttata* y *M. guerrerensis*, no obstante, en *M. nanchititlensis* y *M. scabra* se localizan en ambas superficies. En algunos estudios se ha sugerido que la presencia de papilas en la epidermis facilita la captación y regulación de luz, evitando que se calienten los tejidos subyacentes y se dañen los estomas (Lindorf *et al.*, 1991; Sandoval-Zapotitla *et al.*, 2003).

Todas las especies analizadas tienen hojas anfiestomáticas. Se ha señalado que esta característica es frecuente en *Agave*, *Beschorneria*, *Furcraea*, *Manfreda*, *Polianthes* y *Yucca* (Álvarez, 1990). La presencia de estomas en ambas superficies de las hojas es común en las plantas que habitan en ambientes xerofíticos, ya que contribuye a una mayor tasa fotosintética y difusión de CO₂ entre las células del mesófilo (Álvarez-Holguín *et al.*, 2018). En Agavaceae es variable el tipo de complejo estomático y en una misma especie se puede presentar más de un patrón (Flores-Vindas, 1999). En las especies incluidas en el presente estudio se registraron estomas paracíticos, Sánchez-Manzo (2020) obtuvo resultados similares en seis especies de *Yucca*: *Y. capensis*, *Y. coahuilensis*, *Y. elata*, *Y. grandiflora*, *Y. reverchonii*, *Y. thompsoniana*. Álvarez (1990) y Solano *et al.* (2013) también los observaron de este tipo en *Manfreda* y *Polianthes*. En otras investigaciones se ha observado que en *P. tuberosa* y *Y. glauca* los estomas son anomocíticos y tetracíticos en *Agave*, *Beschorneria*, *Clistoyucca*, *Furcraea*, *Hesperaloë*, *Hesperoyucca*, *Samuela*,

Y. aloifolia, *Y. baccata*, *Y. elata*, *Y. elephantipes*, *Y. endlichiana*, *Y. filamentosa*, *Y. gloriosa*, *Y. guatemalensis*, *Y. jaliscensis*, *Y. lacandonica*, *Y. linearifolia*, *Y. periculosa*, *Y. queretaroensis*, *Y. schottii*, *Y. torreyi* y *Y. treculeana*, ocho de estas especies de *Yucca* fueron analizadas en este estudio, obteniéndose resultados similares (Shah y Gopal, 1970; Álvarez, 1990; Blunden y Binns, 1970; Blunden y Jewers, 1973; Gentry y Sauck, 1978; Sánchez-Manzo, 2020).

En 24 de las especies analizadas los estomas están hundidos en la epidermis y todas desarrollan cámaras subestomáticas. En *Yucca muscipula* y *Y. filamentosa* los estomas son superficiales, y en *Y. guatemalensis* y *Y. pallida* se apreciaron ligeramente hundidos. Los estomas hundidos y la presencia de cámaras subestomáticas son frecuentes en especies que crecen en ambientes xéricos, ya que evitan la pérdida excesiva de agua por transpiración (Álvarez, 1990). Sin embargo, en las yucas con estomas superficiales, es posible que otras características impidan que pierda agua, tales como grosor de la cutícula o la presencia de papilas. En la literatura se han reportado cámaras subestomáticas y supraestomáticas en *Agave*, *Dasyilirion*, *Furcraea*, *Hesperaloë*, *Manfreda* y *Yucca* (McCledon, 1908; Roux-López, 1964; Álvarez, 1990), estos resultados no concuerdan del todo con lo observado en las especies de *Yucca* analizadas, donde no se observaron cámaras supraestomáticas. Las células oclusivas presentan proyecciones anteriores y posteriores en la mayoría de las especies estudiadas, se ha interpretado este carácter como una adaptación de las agaváceas a las condiciones de sequía severa en géneros como *Agave*, *Dasyilirion*, *Hesperaloë* y *Yucca*, la presencia de estos engrosamientos de cutina se relaciona con el control de pérdida de agua impidiendo el acceso de aire caliente como consecuencia del cierre de la cámara subestomática (McClendon, 1908; Roux-López, 1964).

Del mismo modo que en las especies analizadas, las hojas no tienen hipodermis en *Beschorneria*, *Furcraea*, *Prochnyanthes*, *Polianthes* (Álvarez, 1990; Solano *et al.*, 2013) y *Manfreda* (Reyes, 2007), sin embargo, también se han registrado algunas especies en Agavoideae con hipodermis monoestratificada en la base de las hojas, por ejemplo, *Yucca glauca*, *Agave americana* y *A. sisalana* (Blunden y Binns, 1970; Blunden y Jewers, 1973). De acuerdo con Solano *et al.* (2013) es posible que la hipodermis esté relacionada con el engrosamiento de las láminas foliares como sucede en algunas especies de *Agave*. Además, Nyffeler y Eggli (1997) señalaron que el desarrollo de este tejido puede estar influenciado por condiciones ambientales, proporcionándole a las láminas foliares soporte y un reservorio de agua.

El parénquima en empalizada bien desarrollado se correlaciona con una alta intensidad de luz y su presencia es poco común en monocotiledóneas (Rudall, 2007). En todas las especies estudiadas si se observó una diferenciación del mesófilo en parénquima en empalizada para ambas superficies, y parénquima esponjoso. *Yucca decipiens*, *Y. grandiflora* y *Y. muscipula* presentan un parénquima en empalizada más desarrollado (323.62 - 635.25 μm), tanto en la altura de las células, como en el área que ocupan estas en el mesófilo. Asimismo, Blunden y Jewers (1973) indicaron que en Agavaceae el parénquima en empalizada puede o no estar presente y está poco desarrollado en *Beschorneria* y *Polianthes* (García-Mendoza, 1987; Solano *et al.*, 2013), asimismo, no ha sido observado en *Manfreda* (Solano *et al.*, 2017). La presencia de parénquima en empalizada organizado en varios estratos es típico de especies que habitan en ambientes áridos con alta irradiación solar; cuando se encuentra en ambas superficies de las hojas mejora la eficiencia fotosintética (Lindorf *et al.*, 1991; Roth, 1992).

En este estudio *Yucca aloifolia*, *Y. baccata*, *Y. brevifolia*, *Y. muscipula*, *Y. pallida* y *Y. reverchonii* tienen canales, este carácter no se había registrado para la familia, es probable que estos secreten mucílago o aceites. Diversos autores indican que los canales pueden surgir como respuesta ante el estímulo de una herida, presión mecánica, ataque de insectos o microorganismos y estrés hídrico (Clifford *et al.*, 2002; Evert, 2006; Cutler *et al.*, 2008; Rudall, 2007; Crang *et al.*, 2018; Schweingruber y Börner, 2018).

Los espacios intercelulares se han reportado previamente en *Yucca* (Heyduk *et al.*, 2016; 2021), en este estudio lo presentan trece especies. Este tejido facilita el intercambio y difusión de gases, su arquitectura controla la capacidad fotosintética y la eficiencia en el uso del agua, asimismo son adaptaciones de la planta al entorno y es un carácter conservado entre la evolución de las plantas terrestres (Ishizaki, 2015; Whitewoods, 2021). Es probable que en *Yucca* su ubicación cerca de los haces vasculares, le permita actuar como un regulador de la temperatura en la hoja y facilite el intercambio de gases. Seago *et al.* (2005) y Zhang *et al.* (2021) señalan que el mesófilo esponjoso se puede caracterizar como aerenquimatoso debido a que el tejido contiene espacios de aire, aunque el término aerénquima se aplica comúnmente a los grandes espacios de aire que se encuentran en la mayoría de plantas acuáticas (Evans, 2004; Evert, 2006; Cutler *et al.*, 2008; Schweingruber *et al.*, 2008; Huber y Linder, 2012; Ishizaki, 2015; Crang *et al.*, 2018; Schweingruber y Börner, 2018), por lo que su uso en esta investigación no sería adecuado.

La formación de cristales de oxalato de calcio en la epidermis es común en algunas familias de angiospermas, como Fabaceae (Borchert, 1984), Orchidaceae (Chase y Peacor, 1987), Nymphaeaceae (Kuo-Huang, 1992), Casuarinaceae (Berg, 1994) y Agavaceae (Hernández-Valencia *et al.*, 2003). La mayoría de las especies de *Yucca* incluidas en esta investigación tienen estiloides y rafidios, sin embargo, su ubicación y abundancia es variable. La presencia de rafidios en la epidermis caracteriza a *Yucca baccata*, *Y. elata*, *Y. jaliscensis* y *Y. muscipula*, únicamente *Y. decipiens* exhibe estiloides y rafidios en este tejido. Roux-López (1964) y Verhoek-Williams, (1998) señalaron que los rafidios y las drusas en la epidermis pueden aumentar la capacidad de resistencia mecánica de las paredes externas; además, son reservorios de calcio y ácido oxálico, desechos metabólicos que pueden ser tóxicos para la célula (Prychid y Rudall, 1999).

En relación con la ubicación de los rafidios Franceschi y Nakata (2005) señalaron que su distribución dentro de los tejidos de las plantas es variable, y no existe alguna generalidad sobre el lugar donde se pueden formar los cristales, esto se debe a su amplia variedad de funciones, entre ellas la captación y reflexión de luz. Nuestros resultados muestran rafidios en las cámaras subestomáticas en siete especies. En estudios sobre otras Agavoideae, Aurea *et al.* (2012) observaron cristales en la cavidad supraestomática y la superficie cuticular de *Agave atrovirens*, los autores indicaron que probablemente el oxalato de calcio es liberado a través de los estomas.

Los rafidios y estiloides se encontraron con mayor frecuencia en el parénquima empalizada en 25 de las 28 especies evaluadas. Eagan (1969) y Verhoek-Williams (1998) documentaron rafidios dentro de idioblastos en este tejido para *Y. campestris* y *Y. brevifolia*. En la presente investigación se obtuvieron resultados similares para ambas especies, pero únicamente en el mesófilo. Blunden y Binns (1970) observaron el mismo tipo de cristales en *Y. glauca*. En *Y. filamentosa* observamos rafidios en el parénquima esponjoso. Solano *et al.* (2013) registraron rafidios y estiloides en el mesófilo de *Polianthes geminiflora* var. *clivicola* y la ausencia de éstos en *P. geminiflora* var. *geminiflora*, este carácter apoyó la delimitación de ambas variedades. De manera similar, Solano *et al.* (2017) delimitaron cinco especies de *Manfreda* debido a la ausencia de estiloides y la presencia de rafidios en las células subepidérmicas.

La inclusión mineral más común en las monocotiledóneas son los rafidios (Nicholson, 1960; Grayum, 1990; Prychid y Rudall, 1999). Dahlgren *et al.* (1985) denominaron a los estiloides con el término pseudo-rafidios, concluyeron que son característicos de Agavaceae y están

presentes en células suberizadas o idioblastos. Los cristales de oxalato de calcio regulan la cantidad de esta sustancia cuando es demasiado baja o alta, constituyen una defensa contra la herbivoría, bioacumulación de metales pesados y dan soporte estructural a la planta, entre otros (Franceschi y Horner, 1980; Mazen y Maghraby, 1997).

Los haces vasculares se han clasificado en función de su conexión con la superficie adaxial/abaxial mediante la vaina que rodea al haz vascular como libres, trabados y semitrabados (Nicora y Rugolo, 1987), y por la posición relativa del floema y xilema se han denominado colaterales, bicolaterales, anfigvasales y anficribales (Crang *et al.*, 2018). En esta investigación, se registraron haces vasculares libres y colaterales, este carácter distingue a *Yucca* de otros géneros relacionados como *Agave*, *Hesperaloë*, *Hesperoyucca* y *Prochnyanthes*, donde se han registrado haces semitrabados y colaterales abiertos (Ellis, 1976; Álvarez, 1990).

Eagan (1969) y Blunden y Binns (1970) señalaron que en *Yucca glauca* y *Y. campestris* la vaina de los haces vasculares está conformada por una capa de células parenquimáticas, esta característica se observó en todas las especies de *Yucca* analizadas. Blunden y Jewers (1973) y Solano (2000) también registraron el desarrollo de una vaina de parénquima en *Agave*, *Beschorneria*, *Doryanthes* y *Polianthes*, además, este tejido se reconoce como un carácter diagnóstico en *Manfreda pringlei* (Solano *et al.*, 2017). Crang *et al.* (2018) señalaron que en las hojas homobáricas la vaina de los haces vasculares consta de una sola capa de células, como en *Yucca*, esta arquitectura permite el flujo lateral de aire y vapor de agua dentro de la hoja, principalmente en el parénquima esponjoso del mesófilo, también proporciona soporte mecánico a la estructura de las hojas (Megías *et al.*, 2018).

El protoxilema frecuentemente se desgarró durante su desarrollo formando una laguna protoxilemática (Crang *et al.*, 2018), no obstante, esto no se observó en las especies de *Yucca* analizadas. El número de células del protoxilema en *Yucca* es variable, en promedio está conformado por seis (± 0.74) células en *Y. aloifolia* y hasta 52.7 (± 1.48) en *Y. campestris*; del mismo modo, el metaxilema varía desde 12.06 (± 0.69) células en *Y. baileyi* hasta 101.76 (± 13.19) en *Y. harrimaniae*. El proto y metaxilema conforman parcialmente la vasculatura primaria de la planta, es a través de ellos que se transporta el agua y algunas sustancias disueltas como minerales y hormonas, la presencia de un mayor número de células del metaxilema está relacionado con una

mayor eficiencia en la conducción de agua, además, es menos propenso a sufrir daños mecánicos (Rudall, 2007; Crang *et al.*, 2018; Alemán-Sancheschúlz *et al.*, 2019, Li *et al.*, 2019).

En el floema, se registraron de una a cinco células acompañantes asociadas a los elementos de tubo criboso, su número varió entre las especies analizadas. De acuerdo con Adams *et al.* (2013) la capacidad fotosintética alta está relacionada directamente con el número de elementos de tubo criboso y células acompañantes, así como la densidad de venas que proporcionan un mayor flujo de fotosintatos fuera de las hojas. Crang *et al.* (2018) señalaron que en el floema los elementos de tubo criboso realizan la translocación de los fotosintatos, las células acompañantes cargan y descargan los azúcares en los elementos de tubo criboso, las células del parénquima mueven el agua y la almacenan, mientras que las fibras protegen al floema.

En promedio, el número de fibras varía entre 38.3 (\pm 5.63) en *Yucca baileyi* y 395.03 (\pm 0.76) en *Y. muscipula*. Por lo general, las fibras son numerosas en las monocotiledóneas, formando vainas que encierran a los haces vasculares (Evert, 2006). Bell y King (1994) reportaron en *Yucca baccata*, *Y. carnerosana*, *Y. elata*, *Y. glauca*, *Y. thompsoniana* y *Y. torreyi* la presencia de haces vasculares rodeados por fibras arriba y debajo de éstos, destacando esto como un carácter con valor taxonómico en el nivel genérico, lo cual también se observó en el presente estudio. En *Agave* las fibras rodean por tres lados el haz vascular, a diferencia de *Dasyllirion* donde las fibras lo rodean por completo y, en *Nolina* encierran a más de uno.

En este estudio las especies con hojas crasas presentaron un mayor número de fibras que aquellas con hojas delgadas, esto podría estar relacionado a que las primeras requieren una mayor resistencia mecánica y soporte de las mismas. En algunos estudios se ha indicado que las fibras sirven principalmente para proteger el tejido vascular, además están involucradas en la conducción y almacenamiento de agua (Crang *et al.*, 2018). Asimismo, aportan soporte estructural y resistencia mecánica (Chuncho *et al.*, 2019).

Los resultados de esta investigación permitieron comparar algunas características anatómicas foliares de 28 especies de *Yucca*, con lo registrado en estudios similares para este género y otros cercanamente emparentados que se desarrollan principalmente en ambientes áridos y semiáridos. Las características anatómicas en las especies evaluadas varían lo suficiente para considerarlas útiles y potencialmente diagnósticas en conjunto. A la fecha, se han investigado sólo algunos caracteres anatómicos y en pocas especies de *Yucca*, además, éstos se basaron únicamente

en taxones con importancia económica. Si bien, en la presente investigación no consideraron todas las especies que conforman al género, se describieron más de la mitad de ellas y aporta un conocimiento más detallado e integral de su anatomía foliar. También se describieron por primera vez canales en seis especies.

Entre los aspectos que podrían considerarse en estudios subsecuentes está aumentar el número de muestras analizadas por especie, ajustar las técnicas de imbibición y corte considerando las características particulares de los tejidos de las hojas en *Yucca*, por ejemplo, aumentar el tiempo de infiltración y aplicar vacío para excluir los contenidos celulares de manera más eficiente. En cuanto a las secciones paradermales, la microtecnica representó algunos inconvenientes para observar el complejo estomático, sobre todo en especies con hojas en forma de “V”, lo cual podría complementarse mediante microscopía con focal.

IX CONCLUSIONES

Los estudios de anatomía descriptiva son la base para conocer el nivel celular y tisular de diferentes taxones, también permiten comparar las estructuras analizadas, establecer las variaciones que presentan, entender procesos que se llevan a cabo en ellas e incluso buscar explicaciones sobre su presencia o ausencia.

Los caracteres anatómicos foliares aportan evidencia útil en la taxonomía de *Yucca* que en el nivel genérico permiten distinguirlo de otros de la subfamilia Agavoideae, por ejemplo, las diferencias en el número de proyecciones cuticulares o la disposición de las fibras presentes en los haces vasculares. En el nivel específico, hay caracteres que sólo se presentan en algunas especies, como cutícula estriada, canales secretores, espacios intercelulares, los rafidios en la epidermis y las cámaras subestomáticas. No obstante, un sólo carácter anatómico o estado de carácter no basta para delimitar especies o complejos de especies, se requiere de la combinación de diversas fuentes de evidencia, como morfológica, fisiológica, ecológica y biogeográfica.

La presencia de rafidios en la epidermis y las cámaras subestomáticas, así como estiloides epidérmicos y canales secretores se registran por primera vez en *Yucca*. *Yucca muscipula* se distinguió por tener la cutícula más gruesa registrada de las estudiadas en esta investigación. Algunas características anatómicas foliares registradas han sido asociadas con adaptaciones a los hábitats áridos y semiáridos, tales como el hundimiento de los estomas y sus proyecciones

cuticulares, el grosor de la cutícula y la presencia de papilas en la epidermis, éstas no se presentan en todas las especies, pero sí se observaron combinaciones o variantes de algunas de ellas.

Es necesario realizar más estudios que ayuden a entender la función y naturaleza de los caracteres anatómicos observados en las hojas de *Yucca*, para definir su valor diagnóstico en el nivel genérico y específico, y evaluar si las variaciones en éstos están relacionadas con las condiciones ambientales de los sitios donde se establecen estas plantas.

X REFERENCIAS

- Ackerly, D., Knight, C., Weiss, S., Barton, K., y Starmer, K. (2002). Leaf size, specific leaf area and microhabitat distribution of chaparral woody plants: contrasting patterns in species level and community level analyses. *Oecologia*, 130(3), 449-457. <https://doi.org/10.1007/s004420100805>
- Alemán-Sancheschúlz, G., Solano, E., y López-Portillo, J. (2019). La arquitectura hidráulica de las plantas vasculares terrestres, una revisión. *Madera y bosques*, 25(3). <https://doi.org/10.21829/myb.9019.2531828>
- Álvarez, A. (1990). El complejo estomático en la familia Agavaceae II. Epidermis adulta. *Feddes Repertorium*, 101(3-4), 113-134. <https://doi.org/10.1002/fedr.19901010304>
- Álvarez-Holguín, A., Morales-Nieto, C. R., Corrales-Lerma, R., Avendaño-Arrazate, C. H., Rubio-Arias, H. O., y Villarreal-Guerrero, F. (2018). Caracterización estomática, concentración de clorofila y su relación con producción de biomasa en *Bouteloua curtipendula*. *Agronomía Mesoamericana*, 29(2), 251-261.
- APG II. (2003). An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG II. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 141(4), 399-436.
- APG III. (2009). An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 161(2): 105-121. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2009.00996.x>
- APG IV. (2016). An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 181(1): 1-20. <https://doi.org/10.1111/boj.12385>
- Arteaga, M. C., Bello-Bedoy, R., León de la Luz, J. L., Delgadillo, J., y Domínguez, R. (2015). Phenotypic variation of flowering and vegetative morphological traits along the distribution for the endemic species *Yucca capensis* (Agavaceae). *Botanical Sciences*, 93(4), 765-770. <https://doi.org/10.17129/botsci.214>
- Aurea, B. N., Rosalva, M. E., Jose, L. M. E. S., Santiago, F. K., y Leopoldo, G. C. (2012). Microstructural differences in *Agave atrovirens* Karw leaves and pine by age effect. *African Journal of Agricultural Research*, 7(24), 3550-3559. <https://doi.org/10.5897/AJAR11.1185>

- Ayala-Hernández, M. M., Ríos-Gómez, R., Solano, E., y García-Mendoza, A. (2022). *Yucca muscipula* (Asparagaceae, Agavoideae), a new species from central Mexico. *Phytotaxa*, 543(2), 103-112. <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.543.2.1>
- Baker, H. G. (1986). Yuccas and yucca moths-a historical commentary. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 73(3), 556-564. <https://doi.org/10.2307/2399193>
- Baker, J. G. (1881) A synopsis of *Aloineae* and *Yuccoideae*. *The Journal of the Linnean Society. Botany*, 18: 148- 263. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.1880.tb00663.x>
- Bailey, L. H. (1924). *Manual of Cultivated Plants; a Flora for the Identification of the Most Common or Significant Species of Plants Grown in the Continental United States and Canada: For Food, Ornament, Utility, and General Interest, Both in the Open and Under Glass*. Macmillan.
- Bell, W., y King, C. (1944). Methods for the Identification of the Leaf Fibers of Mescal (*Agave*), *Yucca* (*Yucca*), Beargrass (*Nolina*) and Sotol (*Dasyilirion*). *American Antiquity*, 10(2), 150-160. <https://doi.org/10.2307/275111>
- Bentham, G. y Hooker, J.D. (1883). *Genera plantarum*, vol. 3(2). Reeve, London. <http://dx.doi.org/10.5962/bhl.title.747>
- Berg, R. H. (1994). A calcium oxalate-secreting tissue in branchlets of the Casuarinaceae. *Protoplasma*, 183(1), 29-36. <https://doi.org/10.1007/BF01276810>
- Blunden, G., y Binns, W. W. (1970). The leaf anatomy of *Yucca glauca* Nutt. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 63(2), 133-141. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.1970.tb02545.x>
- Blunden, G., Yi, Y., y Jewers, K. (1973). The comparative leaf anatomy of *Agave*, *Beschorneria*, *Doryanthes* and *Furcraea* species (Agavaceae: Agaveae). *Botanical journal of the Linnean Society*, 66(2), 157-179. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.1973.tb02167.x>
- Borchert, R. (1984). Functional anatomy of the calcium-excreting system of *Gleditsia triacanthos* L. *Botanical Gazette*, 145(4), 474-482. <https://doi.org/10.1086/337481>
- Chase, M. W., J. L. Reveal y M. F. Fay. (2009). A subfamilial classification for the expanded asparagalean families Amaryllidaceae, Asparagaceae and Xanthorrhoeaceae. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 161(2): 132-136. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2009.00999.x>

- Chase, M. W. y Peacor, D. R. (1987). Crystals of calcium oxalate hydrate on the perianth of *Stelis* SW. *Lindleyana*, 2(2), 91-94.
- Chávez-Güitrón, L. E., Salinas-Pérez, F. D. C., Pérez-Salinas, E. A., Caballero, J., Vallejo-Zamora, A. y Sandoval-Zapotitla, E. (2019). Variación de caracteres epidérmico-foliare de *Agave salmiana* subsp. *salmiana* (Asparagaceae) en el centro de México. *Botanical Sciences*, 97(4), 711-724. <https://doi.org/10.17129/botsci.2159>
- Cheeke, P. R., Piacente, S., y Oleszek, W. (2006). Anti-inflammatory and anti-arthritic effects of *Yucca schidigera*: a review. *Journal of inflammation*, 3(1), 1-7. <https://doi.org/10.1186/1476-9255-3-6>
- Chuncho, G., Chuncho, C., y Aguirre, Z. H. (2019). *Anatomía y morfología vegetal*. Universidad Nacional de Loja.
- Clary, K. H. (1995). *Yucca linearifolia* (Agavaceae): a new, indehiscent, fleshy-fruited, linear-leaved species endemic to the Chihuahuan Desert, Mexico. *Brittonia*, 47(4), 394-396. <https://doi.org/10.2307/2807567>
- Clary, K. H. (1997). *Phylogeny, character evolution, and biogeography of Yucca L. (Agavaceae) as inferred from plant morphology and sequences of the Internal Transcribed Spacer (ITS) region of the nuclear ribosomal DNA* [Tesis de doctorado, The University of Texas at Austin].
- Clary, K. H. (2001). The genus *Hesperoyucca* (Agavaceae) in the western United States and Mexico: new nomenclatural combinations. *SIDA, Contributions to Botany*, 19(4), 839- 847.
- Clary, K. H., y Adams, T. P. (2021). *Yucca carrii* (Asparagaceae), a New Species from the Northern Gulf Coast Prairie of Texas. *Lundellia*, 24(1), 11-23. <https://doi.org/10.25224/1097-993X-24.1.11>
- Clifford, S. C., Arndt, S. K., Popp, M., y Jones, H. G. (2002). Mucilages and polysaccharides in *Ziziphus* species (Rhamnaceae): localization, composition and physiological roles during drought-stress. *Journal of experimental Botany*, 53(366), 131-138. <https://doi.org/10.1093/jexbot/53.366.131>
- Crang, R., Lyons-Sobaski, S., y Wise, R. (2018). *Plant anatomy: a concept-based approach to the structure of seed plants*. Springer.
- Cronquist, A., Holmgren, A. H., Holmgren, N. H., Reveal, J. L., y Holmgren, P. K. (1977). *Intermountain*

- flora. Vascular plants of the Intermountain West, USA Volume six. The monocotyledons.* Columbia University Press.
- Cronquist, A. (1981). An integrated system of classification of flowering plants. Columbia University Press.
- Cutler, D. F., Botha, C. E. J., y Stevenson, D. W. (2008). *Plant anatomy: an applied approach.* Blackwell Publishing.
- Dahlgren, R. M. T., H. T. Clifford y P. F. Yeo. (1985). *The Families of The Monocotyledons: Structure, Evolution and Taxonomy.* Springer-Verlag. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-61663-1>
- Davidse, G., Sánchez, M. S., y Chater, A. O. (1994). *Flora mesoamericana: Alismataceae a Cyperaceae (Vol. 6).* UNAM.
- Diggle, P. K., y DeMason, D. A. (1983). The relationship between the primary thickening meristem and the secondary thickening meristem in *Yucca whipplei* Torr. I. Histology of the mature vegetative stem. *American Journal of Botany*, 70(8), 1195-1204. <https://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1983.tb12468.x>
- Dirección General de Repositorios Universitarios, Universidad Nacional Autónoma de México. Portal de Datos Abiertos UNAM, Colecciones Universitarias. Recuperado el 13 de enero de 2022. <https://datosabiertos.unam.mx/>
- Dumortier, B. C. J. (1829). *Agavineae. Analyse des Familles des Plantes.* J. Casterman, Tournay. <https://doi.org/10.5962/bhl.title.443>
- Eagan B., A. R. (1969). Comparative anatomy of the leaves of *Yucca campestris* McKelvey [Tesis de maestría, Faculty of Texas Technological College]. <https://ttu-ir.tdl.org/bitstream/handle/2346/11000/31295015504862.pdf?sequence=1>
- Eguiarte, L. E., Souza, V., y Silva-Montellano, A. (2000). Evolución de la familia Agavaceae: filogenia, biología reproductiva y genética de poblaciones. *Botanical Sciences*, (66), 131-150. <https://doi.org/10.17129/botsci.1618>
- Ellis, R. P. (1976). A procedure for standardizing comparative leaf anatomy in the Poaceae. I. The leaf-blade as viewed in transverse section. *Bothalia*, 12(1), 65-109.

<https://doi.org/10.4102/abc.v12i1.1382>

- Engelmann, G. (1871). *Yucca* and *Agave*. En: C. King, S. Watson y D.C. Eaton (Eds.), *Report of the Geological Exploration of the Fortieth Parallel, Volume V: Botany* (pp. 496-497). Government Printing Office. <https://doi.org/10.3133/70039231>
- Engelmann, G. (1873). Notes of the genus *Yucca*. *Transactions of the Academy of Science of St. Louis*, 3,17-54.
- Esau, K. (1965). *Anatomy of seed plants*. Wiley.
- Esau, K. (1982). *Anatomía de las plantas con semilla*. Hemisferio Sur.
- Espejo, A. S. y López-Ferrari, A. R. (1993). *Las Monocotiledóneas mexicanas, una sinopsis florística I. Lista de referencia. Parte I. Agavaceae, Alismaceae, Alliaceae, Alstroemeriaceae y Amaryllidaceae*. Consejo Nacional de la Flora de México y Universidad Autónoma Metropolitana.
- Evans, D. E. (2004). Aerenchyma formation. *New phytologist*, 161(1), 35-49. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2003.00907.x>
- Evert, R. F. (2006). *Esau's plant anatomy: meristems, cells, and tissues of the plant body: their structure, function, and development*. John Wiley & Sons.
- Fenzi, E. O. (1889). YUCCA FILIFERA, Chabaud. *Bullettino della R. Società Toscana di Orticultura*, 4(9), 278-280.
- Flores-Hernández, A., Hernández-Herrera, J. A., Madinaveitia-Rios, H., Valenzuela-Nuñez, L. M., Murillo-Amador, B., Rueda-Puente, E. O., García-Hernández, J. L. y Ortiz-Cano, H. G. (2011). Evaluación de la población natural y hábitat de palma azul (*Yucca rigida*) en Mapimí, Durango, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14(1), 315- 321.
- Flores-Vindas, E. (1999). *La planta: estructura y función*. Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Franceschi, V. R., y Horner, H. T. (1980). Calcium oxalate crystals in plants. *The Botanical Review*, 46(4), 361-427. <https://doi.org/10.1007/BF02860532>
- Franceschi, V. R., & Nakata, P. A. (2005). Calcium oxalate in plants: formation and function. *Annual review of plant biology*, 56, 41. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.56.032604.144106>

- Francisco-Francisco, N., García-Osuna, H. T., Benavides-Mendoza, A., Hernández-Juárez, A., y Ramírez-Godina, F. (2016). Morfología y anatomía foliar de *Dasyilirion cedrosanum* en diferentes etapas de desarrollo. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(7), 1679-1687.
- García-García, J. A., Reding-Bernal, A., & López-Alvarenga, J. C. (2013). Cálculo del tamaño de la muestra en investigación en educación médica. *Investigación en educación médica*, 2(8), 217-224. [https://doi.org/10.1016/S2007-5057\(13\)72715-7](https://doi.org/10.1016/S2007-5057(13)72715-7)
- García-Mendoza, A. (1987). Monografía del género *Beschorneria* Kunth. Agavaceae. [Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México] TESIUNAM. <http://132.248.9.195/pmig2018/0053370/Index.html>
- García-Mendoza, A., y Galván-V., R. (1995). Riqueza de las familias Agavaceae y Nolinaceae en México. *Botanical Sciences*, (56), 7-24. <https://doi.org/10.17129/botsci.1461>
- García-Mendoza, A. (1998). Una nueva especie de *Yucca* (Agavaceae) de Oaxaca y Puebla, México. *Acta Botánica Mexicana*, (42), 1-5. <https://doi.org/10.21829/abm42.1998.792>
- García-Mendoza, A. (2011). Agavaceae. En: *Medina, R.* (ed.). Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. Fascículo 88. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México.
- García-Villanueva, E. (1986). Anatomía de la semilla madura de *Yucca periculosa* Baker (Agavaceae) y ontogenia de su tejido de reserva [Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México]. TESIUNAM. <http://132.248.9.195/pmig2018/0030586/Index.html>
- Gentry, H. S. (1957). A new *Yucca* from Sonora, Mexico. *Madroño*, 14(2), 51-53.
- Gentry, H. S. (1972). *The Agave Family in Sonora*. Government Printing Office.
- Gentry, H. S y Sauck, J. R. (1978). The stomatal complex in *Agave*: groups Deserticolae, Campaniflorae, Umbelliflorae. *Proceedings of the California Academy of Sciences*, 41, 371-387.
- Goldblatt, P. (1990). Phylogeny and classification of Iridaceae. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 77(4), 607-627.
- Gómez-Pompa, A., y Valdés, J. (1962). Una especie epífita de *Yucca* de la selva Lacandona. *Botanical Sciences*, (27), 43-46.

- Grayum, M. H. (1990). Evolution and phylogeny of the Araceae. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 628-697. <https://doi.org/10.2307/2399668>
- Guillot, D. y Van der Meer, P. (2009). El género *Yucca* L. en España. Monografías de la Revista Bouteloa.
- Gutiérrez, J., Salgado, J., Grego-Valencia, D., y Terrazas, T. (2015). Morfología y anatomía foliar de los géneros del complejo *Milla* (Themidaceae). *Revista mexicana de biodiversidad*, 86(3), 652-660. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2015.06.008>
- Hernández-Sandoval, L. (1995). Análisis cladístico de la familia Agavaceae. *Botanical Sciences*, (56), 57-68. <https://doi.org/10.17129/botsci.1464>
- Hess, W.J. y Robbins, R.L. (1996). *Yucca* Linnaeus. En: *Flora of North America Editorial Committee (Ed.) Flora of North America. Vol. 26* (pp. 423–439). Oxford University Press.
- Heyduk, K., Burrell, N., Lalani, F. y Leebens-Mack, J. (2016). Gas exchange and leaf anatomy of a C3–CAM hybrid, *Yucca gloriosa* (Asparagaceae). *Journal of Experimental Botany*, 67(5), 1369-1379. <https://doi.org/10.1093/jxb/erv536>
- Heyduk, K., Ray, J. N. y Leebens-Mack, J. (2021). Leaf anatomy is not correlated to CAM function in a C3+CAM hybrid species, *Yucca gloriosa*. *Annals of Botany*, 20, 1-13. <https://doi.org/10.1093/aob/mcaa036>
- Hochstätter, F. (2003). New classification in the genus *Yucca* (Agavaceae). *Cactaceae-Review*, 6(1), 18-19.
- Hochstätter, F. (2013). A new species of *Yucca* (Agavaceae) from the north-western United States. *Cactus y Co.*, 17(1), 75.
- Huber, M., y Linder, H. P. (2012). The evolutionary loss of aerenchyma limits both realized and fundamental ecohydrological niches in the Cape reeds (Restionaceae). *Journal of Ecology*, 100(6), 1338-1348. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2012.02022.x>
- Hutchinson, J. (1934). *The families of flowering plants II*. Monocotyledons. MacMillan y Co.
- Ishizaki, K. (2015). Development of schizogenous intercellular spaces in plants. *Frontiers in Plant Science*, 6, 497. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00497>

- Jiménez-Noriega, P. M. S., Terrazas, T., López-Mata, L., Sánchez-González, A., y Vibrans, H. (2017). Anatomical variation of five plant species along an elevation gradient in Mexico City basin within the Trans-Mexican Volcanic Belt, Mexico. *Journal of Mountain Science*, 14(11), 2182-2199. <https://doi.org/10.1007/s11629-017-4442-8>
- Johansen, D. A. (1940). *Plant microtechnique*. McGraw-Hill Book Company, Inc.
- Jolly, A. R., Zailaa, J., Farah, U., Woojuh, J., Libifani, F. M., Arzate, D... y Scoffoni, C. (2021). Leaf Venation and Morphology Help Explain Physiological Variation in *Yucca brevifolia* and *Hesperoyucca whipplei* Across Microhabitats in the Mojave Desert, CA. *Frontiers in plant science*, 11, 2170. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.578338>
- Judd, W. S., Ch. S. Campbell, E. A. Kellogg, P. F. Stevens y M. J. Donoghue. (2016). *Systematics: A Phylogenetic Approach*. Sinauer Associates, Inc.
- Kanwal, H., Hameed, M., Nawaz, T., Aqueel, M. S. y Younis, A. (2012). Structural adaptations for adaptability in some exotic and naturalized species of Agavaceae. *Pakistan journal of botany*, 44(1), 129-134.
- Keith, E. L. (2003). *Yucca cernua* (Agavaceae: Series *Rupicolae*), a new species from Newton and Jasper Counties in Eastern Texas. *SIDA, Contributions to Botany*, 20(3), 891-898.
- Klimko, M., Nowińska, R., Wilkin, P., y Wiland-Szymańska, J. (2018). Comparative leaf micromorphology and anatomy of the dragon tree group of *Dracaena* (Asparagaceae) and their taxonomic implications. *Plant Systematics and Evolution*, 304(8), 1041-1055. <https://doi.org/10.1007/s00606-018-1530-3>
- Kubitzki, K. (1998). *The families and genera of vascular plants. III Flowering Plants. Monocotyledons. Lilianae (except Orchidaceae)*. Springer-Verlag.
- Kuo-Huang, L. L. (1992). Ultrastructural Study on the Development of Crystal-forming Sclereids in *Nymphaea tetragona*. *Taiwania*, 37(2), 104-114. <https://doi.org/10.6165/tai.1992.37.104>
- Laferrière, J. E. (1995). *Yucca declinata*: a new species from Sonora. *Cactus and Succulent Journal*, 67(6), 347.

- Lenz, L. W. (1998). *Yucca capensis* (Agavaceae, Yuccoideae), a new species from Baja California Sur, Mexico. *Cactus and Succulent Journal*, 70(6), 289-296.
- Li, Y., Sperry, J. S., y Shao, M. (2009). Hydraulic conductance and vulnerability to cavitation in corn (*Zea mays* L.) hybrids of differing drought resistance. *Environmental and Experimental Botany*, 66(2), 341-346. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2009.02.001>
- Lindorf, H., Parisca, L., y Rodríguez, P. (1991). *Botánica. Clasificación, estructura, reproducción*. Ediciones de la Biblioteca.
- Linnaeus, C. (1753). *Species Plantarum, exhibentes plantas rite cognitatas, ad genera relatas, cum differentiis specificis, nominibus trivialibus, synonymis selectis, locis natalibus, secundum systema sexuale digestas*. Tomo 1. Impensis Laurentii Salvii, Holmiae.
- Luna, P. (2018). Diversidad genética de *Yucca capensis* (Asparagaceae), planta endémica de la Sierra de la Laguna [Tesis de maestría, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California] <https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/>
- Lynch, A. H., Rudall, P. J., y Cutler, D. F. (2006). Leaf anatomy and systematics of Hyacinthaceae. *Kew bulletin*, 61(2), 145-159.
- Martínez-Meyer, E., Sosa-Escalante, J. E., y Álvarez, F. (2014). El estudio de la biodiversidad en México: ¿una ruta con dirección?. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85, 1-9. <https://doi.org/10.7550/rmb.43248>
- Martínez-Quezada, D. M., Sandoval-Zapotitla, E., Solís-De la Cruz, J., Velázquez-Vázquez, D. E., y Herrera-Cabrera, E. B. (2016). Caracterización anatómica y análisis de variación de epidermis foliar y caulinar entre dos genotipos de *Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews. *Agroproductividad*, 249, 26-33.
- Martínez-Valverde, M. F. (2019). Variación morfológica en hojas de *Guatteria amplifolia* Triana & Planch (Annonaceae) en México. [Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México] TESIUNAM. <http://132.248.9.195/ptd2020/febrero/0801090/Index.html>
- Matuda, E. y Piña, L. (1980). *Las plantas mexicanas del género Yucca*. Serie Fernando de Alva Ixtlilxóchitl, Colección Miscelánea Estado de México.

- Mazen, A. y Maghraby, O. (1997). Accumulation of cadmium, lead and strontium, and a role of calcium oxalate in water hyacinth tolerance. *Biologia plantarum*, 40(3), 411-417. <https://doi.org/10.1023/A:1001174132428>
- McCledon, J. F. (1908). On xerophytic adaptations of leaf structure in *Yucca*, *Agave* and *Nolina*. *American Naturalist*, 42, 306-308.
- McDonald, P. G., Fonseca, C. R., Overton, J. M., y Westoby, M. (2003). Leaf-size divergence along rainfall and soil-nutrient gradients: is the method of size reduction common among clades?. *Functional Ecology*, 17(1), 50-57. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2435.2003.00698.x>
- McKelvey, S. D. (1938). *Yuccas of the southwestern United States 1*. Arnold Arboretum, Jamaica Plain.
- McKelvey, S. D. (1947). *Yuccas of the southwestern United States 2*. Arnold Arboretum, Jamaica Plain.
- Meiners, O. M., y Hernández-López, L. (2007). Únicamente en México... especies endémicas y las plantas de Jalisco. *Biodiversitas*, 71, 16-19.
- Megías, M., Molist, P., y Pombal, M. (2018). *Atlas de Histología Vegetal y Animal. Órganos vegetales*. Facultad de biología, Universidad de Vigo.
- Mittermeier, R. A., Robles, G. P. E. y Mittermeier C. G. (1997). *Megadiversidad: los países biológicamente más ricos del mundo*. CEMEX.
- Mora-Olivo, A., Hurtado-González, M., Gaona-García, G., & Treviño-Carreón, J. (2009). Chochas: Las flores comestibles del desierto. *CienciaUAT*, 4(2), 10-13.
- Murillo-Serna, J. S., Rincón-Barón, E. J., y Alzate-Guarin, F. (2018). Anatomía foliar comparativa de tres especies de *Furcraea* (Asparagaceae: Agavoideae). *Hoehnea*, 45(4), 607-615. <https://doi.org/10.1590/2236-8906-06/2018>
- Nicholson, D. H. (1960). The occurrence of trichoscleroids in the Monsteroideae (Arecaceae). *American Journal of Botany*, 47, 598-602. <https://doi-org.pbidi.unam.mx:2443/10.2307/2439440>
- Nicora, E. G., y Rugolo, Z. A. (1987). *Los géneros de gramíneas de América Austral*. Editorial Hemisferio Sur.
- Nyffeler, R., y Eggli, U. (1997). Comparative Stem Anatomy and Systematics of *Eriosyce sensu lato* (Cactaceae). *Annals of Botany*, 80(6), 767-786. <https://doi.org/10.1006/anbo.1997.0518>

- Patil, D. A., y Pai, R. M. (2006). The floral anatomy of *Yucca gloriosa* L. (Agavaceae) with a note on taxonomic position of the genus. *Journal of Phytological Research*, 19(2), 209-214.
- Patil, D. A., y Pai, R. M. (2011). The Agavaceae: taxonomic and phylogenetic appraisal. *Journal of Experimental Sciences*, 2(3), 20-24.
- Pax, F. y K. Hoffmann. (1930). Amaryllidaceae. En: Engler, A. y K. Prantl (eds.). *Die Natürlichen Pflanzenfamilien* 15A (pp. 391-430).
- Pellmyr, O., Segraves, K. A., Althoff, D. M., Balcázar-Lara, M., y Leebens-Mack, J. (2007). The phylogeny of yuccas. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 43(2), 493-501. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2006.12.015>
- Piña, I. L. (1989). Una nueva especie del género *Yucca* (Agavaceae). *Cactáceas y suculentas mexicanas*, 34, 51-56.
- POWO: Plants of the World Online. (2022) Recuperado el 1 de Agosto de 2022. <http://www.plantsoftheworldonline.org/>
- Prychid, C. J., y Rudall, P. J. (1999). Calcium oxalate crystals in monocotyledons: a review of their structure and systematics. *Annals of botany*, 84(6), 725-739. <https://doi.org/10.1006/anbo.1999.0975>
- Prychid, C. J., Rudall, P. J., y Gregory, M. (2003). Systematics and biology of silica bodies in monocotyledons. *The Botanical Review*, 69(4), 377-440.
- Pursh, F. (1814). *Flora Americae Septentrionalis, Or, A Systematic Arrangement and Description of the Plants of North America: Containing, besides what Have Been Described by Preceding Authors, Many New and Rare Species, Collected During Twelve Years Travels and Residence in that Country* (Vol. 2). White, Cochrane, and Company, London.
- Raycheva, T., y Stojanov, K. (2013). Comparative anatomical study of five species of genus *Asparagus* in Bulgaria. *Trakia Journal of Sciences*, 11(2), 104-109.
- Red de Herbarios del Noroeste de México. Herbario de la Universidad de Sonora. Sonora, México. Recuperado el 12 de enero de 2021 <http://www.herbanwmex.net/portal/index.php>

- Reveal, J. L. (1977). En: A. Cronquist, A. H. Holmgren, N. H. Holmgren, J. L. Reveal, y P. K. Holmgren (Eds.), *Intermountain flora. Vascular plants of the Intermountain West, USA Volume six. The monocotyledons*. Columbia University Press.
- Reveal, J. L. (2012). An outline of a classification scheme for extant flowering plants. *Phytoneuron*, 37: 1-221.
- Reveal, J. L. y W. C. Hodgson. (2002). *Agave* Linnaeus. En: Flora of North America Editorial Committee (Ed.). *Flora of North America North of Mexico* (pp. 442-461). Oxford University Press.
- Reyes, J. (2007). Anatomía de la hoja del género *Manfreda* Salisb. (AGAVACEAE) [Tesis de Licenciatura, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México]. TESIUNAM. <http://132.248.9.195/pd2007/0622529/Index.html>
- Rocha, M., Good-Ávila, S. V., Molina-Freaner, F., Arita, H. T., Castillo, A., García-Mendoza, A., Silva-Montellano, A., Gaut, B. S., Souza, V. y Eguiarte, L. E. (2006). Pollination biology and adaptive radiation of Agavaceae, with special emphasis on the genus *Agave*. *Aliso: A Journal of Systematic and Evolutionary Botany*, 22(1), 329-344.
- Roth, I. (1992). *Leaf structure: coastal vegetation and mangroves of Venezuela* (Vol. 14). Gebrüder Borntraeger.
- Rotondi, A., Rossi, F., Asunis, C., y Cesaraccio, C. (2003). Leaf xeromorphic adaptations of some plants of a coastal Mediterranean macchia ecosystem. *Journal of Mediterranean Ecology*, 4, 25-36.
- Roux-López, J. (1964). Estudio morfológico de la epidermis de algunas xerofitas mexicanas [Tesis de Doctorado, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México]. TESIUNAM. <http://132.248.9.195/ptd2013/anteriores/0058973/Index.html>
- Rudall, P., y Mathew, B. (1994). Leaf anatomy of the bulbous irises. *Botanische Jahrbücher für Systematik, Pflanzengeschichte und Pflanzengeographie*, 115(4), 63-76.
- Rudall, P. J. (2007). *Anatomy of flowering plants: An introduction to plant structure and development*. Cambridge University Press.
- Ruzin, S. E. (1999). *Plant Microtechnique and Microscopy*. Oxford University Press.

- Rzedowski, J. (1955-1960). Notas sobre la flora y la vegetación del estado de San Luís Potosí. *Ciencia*, 15(4-5), 89-96.
- Rzedowski, J. (1962). Contribuciones a la fitogeografía florística e histórica de México. I. Algunas consideraciones acerca del elemento endémico en la flora mexicana. *Botanical Sciences*, (27), 52-65.
- Rzedowski, J. (1991). Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México. *Acta botánica mexicana*, (14), 3-21. <https://doi.org/10.21829/abm14.1991.61>
- Sánchez-Manzo, A. (2020). Ornamentación y composición química de la cutícula foliar de *Yucca* (Asparagaceae, Agavoideae) [Tesis de Licenciatura, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México]. TESIUNAM. <http://132.248.9.195/ptd2020/septiembre/0803512/Index.html>
- Sandoval-Zapotitla, E., Martínez-Quezada, D. M., Reyes-Santiago, J., Islas-Luna, M. D. L. Á., y Rosas, U. (2019). Leaf morpho-anatomical diversity in *Echeveria* aff. *gigantea* (Crassulaceae). *Botanical Sciences*, 97(2), 218-235. <https://doi.org/10.17129/botsci.2028>
- Sandoval-Zapotitla, E., Terrazas, T., y Vallejo, A. (2003). Análisis fenético de caracteres anatómicos-foliare de *Trichocentrum* y géneros relacionados (Orchidaceae, Oncidiinae). *Lankesteriana*, 7(2), 51-53.
- Sargent, C. S. (1905). *Manual of the trees of North America (exclusive of Mexico)* (Vol. 1). Houghton Mifflin.
- Sarukhán, J., Koleff, P., Carabias, J., Soberón, J., Dirzo, R., Llorente-Bousquets, J.,... y De la Maza, J. (2009). *Capital natural de México, Síntesis: Conocimiento actual, evaluación y perspectivas de sustentabilidad* (No. 333.951672 COM SIN.CIMMYT.).
- Schneider, C. A., Rasband, W. S., y Eliceiri, K. W. (2012). NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nature methods*, 9(7), 671-675. <https://doi.org/10.1038/nmeth.2089>
- Schweingruber, F. H., y Börner, A. (2018). *The plant stem: a microscopic aspect*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-73524-5>

- Schweingruber, F. H., Börner, A., y Schulze, E. D. (2008). *Atlas of woody plant stems: evolution, structure, and environmental modifications*. Springer-Verlag. <https://doi.org/10.1007/3-540-32525-5>
- Seago Jr, J. L., Marsh, L. C., Stevens, K. J., Soukup, A., Votrubova, O., y Enstone, D. E. (2005). A re-examination of the root cortex in wetland flowering plants with respect to aerenchyma. *Annals of Botany*, 96(4), 565-579. <https://doi.org/10.1093/aob/mci211>
- Shah, G. L., y Gopal, B. V. (1970). Structure and development of stomata on the vegetative and floral organs of some Amaryllidaceae. *Annals of Botany*, 34(3), 737-749. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a084406>
- Sheldon, S. (1980). Ethnobotany of *Agave lecheguilla* and *Yucca carnerosana* in Mexico's Zona Ixtlera. *Economic Botany*, 34(4), 376-390. <https://doi.org/10.1007/BF02858314>
- Shinners, L. (1958). *Spring Flora of the Dallas-Fort Worth Area Texas*. Botanical Research Institute of Texas.
- Shreve, F., y Wiggins, I. L. (1964). *Vegetation and flora of the Sonoran Desert* (Vol. 591). Stanford University Press.
- Singh, G. (2019). *Plant Systematics, 4. ed.: An Integrated Approach*. CRC Press.
- Solano, E. (2000). Sistemática del género *Polianthes* L. (Agavaceae) [Tesis de Doctorado, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México]. TESIUNAM. <http://132.248.9.195/pd2000/280665/Index.html>
- Solano, E., Terrazas, T., y González-Becerril, A. (2013). Comparative anatomy of the stem, leaf, and inflorescence basal axis of *Polianthes* L. (Asparagaceae, Agavoideae) species. *Feddes Repertorium*, 124(4), 105-115. <https://doi.org/10.1002/fedr.201300017>
- Solano, E., Terrazas, T., Reyes-Rivera, J., y Serrano-Casas, H. (2017). Anatomía comparativa de raíz, tallo, hoja y base del pedúnculo de *Manfreda* (Asparagaceae: Agavoideae). *Revista mexicana de biodiversidad*, 88(4), 899-911. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rmb.2017.10.019>
- Southwest Environmental Information Network, SEINet Arizona - New Mexico Chapter. (s.f.). Recuperado el 12 de enero de 2021 <https://swbiodiversity.org/seinet/index.php>

- Standley, P. C. (1920). *Trees and Shrubs of Mexico*. (Vol. 23). Contributions from the United States National Herbarium, Smithsonian Institution 23, Washington, D. C.
- Thiede, J. (2020) *Agave* AGAVACEAE. En: Egli U. y Nyffeler R. (eds), *Monocotyledons. Illustrated Handbook of Succulent Plants*. Springer-Verlag. https://doi.org/10.1007/978-3-662-56486-8_111
- Torr, J. (1859). *Report on the United States and Mexican Boundary Survey. Made Under the Direction of the Secretary of the Interior, by William H. Emory. Volume 2, Botany*. Texas State Historical Association.
- Trelease, W. (1902). The *Yuccaeae*. *Missouri Botanical Garden Annual Report, 1902*(1902), 27-133. <https://doi.org/10.2307/2400121>
- Trelease, W. (1907). Additions to the genus *Yucca*. *Missouri Botanical Garden Annual Report, 1907*, 225-230. <https://doi.org/10.2307/2400028>
- Trelease, W. (1911). An Additional Tree-*Yucca* and One Other Species New to the United States. *Missouri Botanical Garden Annual Report, 1911*, 101-103. <https://doi.org/10.2307/2400117>
- Trelease, W. (1920). Amaryllidaceae. En: Standley, P. (Ed.). *Trees and shrubs of Mexico*. Contributions U.S. National Herbarium, 23(1): 105-142.
- Tropicos®. Missouri Botanical Garden (2021). Recuperado el 12 enero de 2021 <https://www.tropicos.org/home>
- Valencia, R., Franco, R., y Mendoza, A. (2003). Micromorfología de la epidermis foliar de *Agave tequilana* Weber. *Agrofaz: publicación semestral de investigación científica*, 3(2), 387-396.
- Verhoek-Williams, S. (1998). Agavaceae. En: K. Kubitzki (Ed.), *The families and genera of vascular plants: flowering plants monocotyledons Liliaceae (except Orchidaceae)*, Vol. III. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-03533-7_8
- Villarreal-Quintanilla, J. Á., y Encina-Domínguez, J. A. (2005). Plantas vasculares endémicas de Coahuila y algunas áreas adyacentes, México. *Acta Botánica Mexicana*, (70), 1-46. <https://doi.org/10.21829/abm70.2005.986>
- Villaseñor, J. L. (2016). Checklist of the native vascular plants of Mexico. *Revista mexicana de biodiversidad*, 87(3), 559-902. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rmb.2016.06.017>

- Wall, M. E., y Fenske, C. S. (1961). Steroidal sapogenins. LXI. Steroidal sapogenin content of seeds. *Economic Botany*, 15(2), 131-132.
- Webber, J. M. (1953). *Yuccas of the southwest*. Agriculture Monograph No. 17. United States Department of Agriculture.
- Wettstein, R. (1944). *Tratado de Botánica Sistemática*. Edit Labor, S.A.
- Whitewoods, C. D. (2021). Riddled with holes: Understanding air space formation in plant leaves. *PLoS Biology*, 19(12), e3001475. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3001475>
- Withner, C. L., Nelson, P. K., y Wejksnora, P. J. (1974). The anatomy of orchids. *The orchids: scientific studies*, 267-347.
- Woodbury, A. M., Wall, M. E., y Willaman, J. J. (1961). Steroidal sapogenins. LVIII. Steroidal sapogenins from the Joshua tree. *Economic Botany*, 15(1), 79-86.
- Yeats, T. H., & Rose, J. K. (2013). The formation and function of plant cuticles. *Plant Physiology*, 163(1), 5-20. <https://doi.org/10.1104/pp.113.222737>
- Zamudio, S., y Aguilar-Gutiérrez, G. (2020). Dos especies nuevas de Asparagaceae (Agavoideae) de los estados de Guanajuato y Querétaro, México. *Brittonia*, 72(2), 154-163. <https://doi.org/10.1007/s12228-020-09613-0>
- Zhang, L., McEvoy, D., Le, Y., y Ambrose, C. (2021). Live imaging of microtubule organization, cell expansion, and intercellular space formation in Arabidopsis leaf spongy mesophyll cells. *The Plant Cell*, 33(3), 623-641. <https://doi.org/10.1093/plcell/koaa036>
- Zimmermann, M. H., y Tomlinson, P. B. (1965). Anatomy of the palm *Rhapis excelsa*: I. Mature vegetative axis. *Journal of the Arnold Arboretum*, 46(2), 160-180.

XI APÉNDICES

Apéndice 1. Condiciones y localidades en las que crecen las especies analizadas del género *Yucca*

Espece	Voucher herbario	Hábitat	Distribución geográfica
<i>Yucca aloifolia</i> L.	5636 y 5639 Solano (FEZA)	0-1 800 m Bosque de <i>Pinus-Quercus</i> , selvas bajas caducifolias y selvas medianas subperennifolias. Planicies y laderas de suelo franco-arcilloso con roca caliza. ^{1, 2, 3}	México: AGS., CHIS., COL., GRO., JAL., MICH., MOR., NAY., OAX., PUE., VER., YUC. USA: AL., FL., GA., LA., MS., NC., SC., TX., VA. ^{4, 5}
<i>Yucca baccata</i> Torr.	1410 Sedona (DES)	300-2 500 m Bosque de <i>Juniperus-Pinus-Quercus</i> , matorral rosetófilo y pastizales. Planicies secas y laderas con suelo arcilloso, calcáreo, franco-arenoso y rocas basálticas. ^{1, 3}	México: AGS., BC., BCS., CHIH., COAH., DGO., N.L., SIN., S.L.P., SON., TAMS., ZAC. USA: AZ., CA., CO., NV., NM., TX., UT. ^{4, 5}
<i>Yucca baileyi</i> Wooton y Standl.	2008-0111-10 Ayala (DES)	1300-2 500 m Bosque de <i>Juniperus-Pinus</i> , matorral rosetófilo y pastizales. Suelo arenoso y arcilloso con roca caliza. ^{6, 7}	USA: AZ., CO., NM., UT. ⁴
<i>Yucca brevifolia</i> Engelm.	1940-0478-021 Ayala (DES)	400-2 200 m Bosque de <i>Juniperus-Pinus</i> y matorral rosetófilo. Planicies o abanicos aluviales con suelo arenoso y rocoso. ^{1, 6, 9}	México: BC., BCS., SIN., SON. USA: AZ., CA., NV., UT. ^{4, 5}
<i>Yucca campestris</i> McKelvey	1990-0335-10 Ayala (DES)	800-1 150 m Matorral rosetófilo asociado con <i>Prosopis glandulosa</i> y pastizales. Suelo franco arcilloso, arenoso y calcáreo. ^{6, 7}	USA: NM., TX. ⁴
<i>Yucca capensis</i> L.W. Lenz	5879 y 5880 Solano (FEZA)	0-1 000 m Bosque de <i>Quercus</i> , matorral xerófilo y selvas bajas caducifolias. Regosol con sustratos graníticos y esquisto. ^{6, 10, 11}	México: BC., BCS., SIN., SON. ^{4, 5}

Apéndice 1. Continuación.

Especie	Voucher herbario	Hábitat	Distribución geográfica
<i>Yucca coahuilensis</i> Matuda y I. Piña	1880 y 1881 Ríos (FEZA)	Menos de 400 m Matorral desértico micrófilo asociado con <i>Prosopis</i> y <i>Opuntia</i> , pastizal natural. Calcisoles, xerosoles, suelos arenosos y pedregosos. ^{1,12}	México: CHIH., COAH., DGO., N.L., S.L.P., TAMS., ZAC. ^{4,5}
<i>Yucca constricta</i> Buckley	2014-0-820-01 Ayala (DES)	300-700 m Matorral espinoso asociado con <i>Opuntia-Prosopis</i> y pastizal. Suelo arcilloso-arenoso con limo y roca caliza. ^{3,7}	México: CHIH., COAH., DGO., N.L., S.L.P., ZAC. USA: TX. ^{4,5}
<i>Yucca decipiens</i> Trel.	4960 y 5588 Solano (FEZA)	1 800-2 480 m Bosque de <i>Quercus</i> , matorral crasicaule, matorral xerófilo asociado con <i>Acacia</i> , <i>Agave</i> , <i>Mimosa</i> , <i>Opuntia</i> , <i>Prosopis</i> y pastizal. Regosol con caliche y roca caliza. ^{1,3}	México: AGS., CHIH., COAH., COL., DGO., GRO., GTO., JAL., MICH., NAY., N.L., OAX., S.L.P., TAMS., ZAC. ^{4,5}
<i>Yucca declinata</i> Laferr.	2018-0807-01 Ayala (DES)	750-950 m Bosque abierto. Suelo con roca volcánica y roca caliza. ³	México: BC., BCS., SIN., SON. ^{4,5}
<i>Yucca elata</i> (Engelm.) Engelm.	1991-0619-10 Ayala (DES)	300-1 900 m Bosque de <i>Juniperus-Pinus-Quercus</i> , matorral espinoso y pastizal. Suelo arcillo-arenoso y franco-arenoso con roca caliza. ^{1,3}	México: BC., BCS., CHIH., COAH., DGO., N.L., SIN., S.L.P., SON., TAMS., ZAC. USA: AZ., NM., TX. ^{4,5}
<i>Yucca filamentosa</i> L.	2018-0806-01 Ayala (DES)	500-900 m Bosque de <i>Quercus-Pinus</i> . Suelo arenoso y aluvial. ^{6,8}	USA: AL., FL., GA., LA., MD., MS., NC., SC., TN., VA., WV. ⁴
<i>Yucca gloriosa</i> L.	5908 Majure (DES)	0-2 500 m Bosque de <i>Pinus-Quercus</i> y matorral costero. Suelo franco-arcilloso, limoso, arenoso y con calcita. ^{6,7}	USA: AL., FL., GA., LA., MS., NC., SC. ⁴

Apéndice 1. Continuación.

Espece	Voucher herbario	Hábitat	Distribución geográfica
<i>Yucca grandiflora</i> Gentry	5993 y 5994 Solano (FEZA)	600-1 400 m Bosque de <i>Juniperus-Quercus</i> , pastizales y selvas bajas caducifolias, Suelo arcilloso. ^{1, 6, 13}	México: BC., BCS., CHIH., SIN., SON. ^{4, 5}
<i>Yucca guatemalensis</i> Baker	5637 Solano (FEZA)	0-2 230 m Bosque mesófilo de montaña, matorrales y selvas bajas caducifolias asociado con <i>Bursera</i> . Luvisoles con roca caliza. ^{2, 3, 8}	México: CAMP., CHIS., CDMX., GRO., MEX., MOR., OAX., PUE., QRO., Q. ROO., S.L.P., TLAX., VER., YUC. ^{4, 5}
<i>Yucca harrimaniae</i> Trel.	32431 Hodgson (DES)	1 000-2 500 m Bosque de <i>Juniperus-Pinus</i> , matorral rosetófilo y pastizal. Suelo franco-arenoso o arcilloso con roca caliza y arenisca. ^{3, 7, 9}	USA: AZ., CO., NV., NM., UT. ⁴
<i>Yucca jaliscensis</i> (Trel.) Trel.	6200 Solano (FEZA)	1 000-2 200 m Bosque de <i>Pinus-Quercus</i> y selvas bajas caducifolias. Suelo de areniscas de color pardo. ^{3, 8, 14}	México: AGS., CHIH., COAH., COL., DGO., GRO., GTO., JAL., MEX., MICH., NAY., N.L., OAX., SIN., S.L.P., TAMS., ZAC. ^{4, 5}
<i>Yucca kanabensis</i> McKelvey	1994-0637-021 Ayala (FEZ)	900-2 400 m Bosque de <i>Juniperus-Pinus-Quercus</i> , matorral de <i>Juniperus</i> y matorral rosetófilo. Suelo franco- arenoso o arcilloso. ⁶	USA: AZ., CO., NM., UT.. ⁴
<i>Yucca muscipula</i> Ayala- Hern., Ríos-Gómez, E. Solano y García-Mend.	2046 y 2047 Ayala (FEZA)	1 294-1 350 m Bosque espinoso y matorral xerófilo asociado con <i>Prosopis</i> y <i>Bursera</i> . Leptosol lítico, leptosol rendzico y regosol lítico. ¹⁵	México: HGO. ¹⁵
<i>Yucca nana</i> Hochstätter	32455 Hodgson (DES)	1 400-2 400 m Bosque de <i>Juniperus-Pinus</i> . Sobre roca caliza y arenisca. ⁶	USA: AZ., CO., NV., NM., UT. ⁴
<i>Yucca necopina</i> Shinnars	2018-0883-10-1 Ayala (DES)	200-300 m Suelo arenoso profundo. ^{3, 7}	USA: TX. ⁴

Apéndice 1. Continuación.

Especie	Voucher herbario	Hábitat	Distribución geográfica
<i>Yucca pallida</i> McKelvey	2014-0234-01 Ayala (DES)	100-400 m Bosque de <i>Juniperus-Quercus</i> y pastizales. Suelo aluvial, calcáreo con roca caliza y limo gris. ^{3,7}	USA: TX. ⁴
<i>Yucca reverchonii</i> Trel.	1884 y 1885 Ríos (FEZA)	280-1 220 m Matorral espinoso, matorral xerófilo asociado con <i>Prosopis</i> , <i>Opuntia</i> , <i>Mammillaria</i> y pastizal arbustivo. Leptosol lítico y suelos arcillosos con roca caliza. ^{1,3,8}	México: CHIH., COAH., DGO., N.L., S.L.P., TAMS., ZAC. USA: TX. ^{4,5}
<i>Yucca rupicola</i> Scheele	1979-0509-01 Ayala (DES)	400-900 m Bosque de <i>Juniperus-Quercus</i> . Suelo calcáreo. ^{1,6,7}	México: AGS., CHIH., COAH., DGO., N.L., S.L.P., TAMS., ZAC. USA: TX. ^{4,5}
<i>Yucca schottii</i> Engelm.	5606 Solano (FEZA)	1 200-2 200 m Bosque de <i>Juniperus-Pinus-Quercus</i> , matorral rosetófilo y pastizal. Yermosoles cálcicos, leptosoles y suelos arcillosos, franco-limosos, graníticos y con roca caliza o volcánica. ^{1,6,16}	MÉXICO: CHIH., SON. USA: AZ., NM. ^{4,5}
<i>Yucca thompsoniana</i> Trel.	2017-0759-01 Ayala (DES)	200-2 230 m Bosque de <i>Juniperus-Pinus-Quercus</i> y matorral xerófilo. Suelo pedregoso con roca caliza y novaculita. ^{1,3,8}	México: CHIH., COAH., DGO., NL., SLP., TAMS., ZAC. USA: TX. ^{4,5}
<i>Yucca valida</i> Brandege	1836 y 1837 Ríos (FEZA)	0-2 230 m Matorral desértico rosetófilo, matorral espinoso, matorral sarcocaula, matorral xerófilo y selvas bajas caducifolias. Leptosoles, Regosoles, suelos aluviales, arenosos con roca caliza, grava y depósitos de arcilla fina. ^{1,3,8}	México: BCN., BCS., SIN., SON. ^{4,5}
<i>Yucca verdiensis</i> McKelvey	KClary y KClary 2 (FEZA)	300-2 000 m Bosque de <i>Juniperus-Pinus-Quercus</i> , matorral de <i>Juniperus</i> y pastizal. Suelo aluvial granítico con roca caliza. ³	USA: AZ. ⁴

La información del hábitat se corroboró en campo y de acuerdo con la siguiente literatura:

- ¹ Matuda, E. y Piña, L. (1980). Las plantas mexicanas del género *Yucca*. Serie Fernando de Alva Ixtlilxóchitl, Colección Miscelánea Estado de México.
- ² Davidse, G., Sánchez, M. S., y Chater, A. O. (1994). *Flora mesoamericana: Alismataceae a Cyperaceae* (Vol. 6). UNAM.
- ³ Red de Herbarios del Noroeste de México. Herbario de la Universidad de Sonora. Sonora, México. Recuperado el 12 de enero de 2022 <http://www.herbanwmex.net/portal/index.php>
- ⁴ POWO: Plants of the World Online. (2022). Recuperado el 1 de Agosto de 2022. <http://www.plantsoftheworldonline.org/>
- ⁵ Villaseñor, J. L. (2016). Checklist of the native vascular plants of Mexico. *Revista mexicana de biodiversidad*, 87(3), 559-902. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rmb.2016.06.017>
- ⁶ Southwest Environmental Information Network, SEINet Arizona - New Mexico Chapter. (s.f.). Recuperado el 12 de enero de 2021 <https://swbiodiversity.org/seinet/index.php>
- ⁷ Tropicos®. Missouri Botanical Garden. (2021). Recuperado el 12 enero de 2021 <https://www.tropicos.org/home>
- ⁸ Dirección General de Repositorios Universitarios, Universidad Nacional Autónoma de México. Portal de Datos Abiertos UNAM, Colecciones Universitarias. Recuperado el 13 de enero de 2022. <https://datosabiertos.unam.mx/>
- ⁹ Cronquist, A., Holmgren, A. H., Holmgren, N. H., Reveal, J. L., y Holmgren, P. K. (1977). *Intermountain flora. Vascular plants of the Intermountain West, USA Volume six. The monocotyledons*. Columbia University.
- ¹⁰ Arteaga, M. C., Bello-Bedoy, R., León de la Luz, J. L., Delgadillo, J., y Domínguez, R. (2015). Phenotypic variation of flowering and vegetative morphological traits along the distribution for the endemic species *Yucca capensis* (Agavaceae). *Botanical Sciences*, 93(4), 765-770. <https://doi.org/10.17129/botsci.214>
- ¹¹ Luna, P. (2018). Diversidad genética de *Yucca capensis* (Asparagaceae), planta endémica de la Sierra de la Laguna [Tesis de maestría, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California] <https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/>
- ¹² Villarreal-Quintanilla, J. Á., y Encina-Domínguez, J. A. (2005). Plantas vasculares endémicas de Coahuila y algunas áreas adyacentes, México. *Acta Botánica Mexicana*, (70), 1-46. <https://doi.org/10.21829/abm70.2005.986>
- ¹³ Gentry, H. S. (1957). A new *Yucca* from Sonora, Mexico. *Madroño*, 14(2), 51-53.
- ¹⁴ García-Mendoza, A. (1998). Una nueva especie de *Yucca* (Agavaceae) de Oaxaca y Puebla, México. *Acta Botánica Mexicana*, (42), 1-5. <https://doi.org/10.21829/abm42.1998.792>
- ¹⁵ Ayala-Hernández, M. M., Ríos-Gómez, R., Solano, E., y García-Mendoza, A. (2022). *Yucca muscipula* (Asparagaceae, Agavoideae), a new species from central Mexico. *Phytotaxa*, 543(2), 103-112. <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.543.2.1>
- ¹⁶ Shreve, F., y Wiggins, I. L. (1964). *Vegetation and flora of the Sonoran Desert* (Vol. 591). Stanford University Press.

Apéndice 2. Caracteres mensurables analizados en las especies del género *Yucca*

Taxa	<i>Yucca aloifolia</i>	<i>Y. baccata</i>	<i>Y. baileyi</i>	<i>Y. brevifolia</i>	<i>Y. campestris</i>	<i>Y. capensis</i>	<i>Y. coahuilensis</i>
(\bar{x}) Grosor de la cutícula abaxial	17.79 μm (\pm 2.46)	19.19 μm (\pm 5.57)	7.98 μm (\pm 2.79)	35.25 μm (\pm 10.12)	8.29 μm (\pm 2.75)	18.95 μm (\pm 8.13)	16.86 μm (\pm 5.73)
(\bar{x}) Grosor de la cutícula adaxial	15.05 μm (\pm 6.33)	20.56 μm (\pm 2.07)	8.09 μm (\pm 1.97)	39.66 μm (\pm 12.28)	9.72 μm (\pm 2.31)	19.74 μm (\pm 6.96)	18.94 μm (\pm 8.71)
(\bar{x}) Alto de las células de la epidermis ABA	20.52 μm (\pm 3.62)	23.55 μm (\pm 3.98)	23.70 μm (\pm 4.01)	62.51 μm (\pm 5.54)	21.39 μm (\pm 5.97)	36.83 μm (\pm 3.47)	35.04 μm (\pm 4.71)
(\bar{x}) Alto de las células de la epidermis ADA	25.23 μm (\pm 6.50)	28.95 μm (\pm 2.89)	29.91 μm (\pm 3.29)	65.16 μm (\pm 7.43)	25.42 μm (\pm 3.20)	34.83 μm (\pm 3.06)	41.10 μm (\pm 3.95)
(\bar{x}) Alto de las células del PEM	66.87 μm (\pm 3.91)	39.80 μm (\pm 5.20)	40.58 μm (\pm 7.37)	54.09 μm (\pm 7.63)	44.22 μm (\pm 3.28)	51.07 μm (\pm 7.17)	33.45 μm (\pm 6.22)
(\bar{x}) Ancho del estrato del PEM	203.60 μm (\pm 4.97)	30.42 μm (\pm 2.22)	96.51 μm (\pm 9.29)	273.08 μm (\pm 19.10)	156.63 μm (\pm 15.70)	98.36 μm (\pm 9.59)	123.26 μm (\pm 12.64)
(\bar{x}) Alto de las células del PES	53.72 μm (\pm 6.50)	26.69 μm (\pm 4.21)	43.69 μm (\pm 5.02)	30.62 μm (\pm 3.79)	44.97 μm (\pm 9.87)	32.00 μm (\pm 5.01)	40.50 μm (\pm 6.83)
(\bar{x}) Ancho del estrato del PES	555.31 μm (\pm 8.38)	2744.08 μm (\pm 157.17)	1285.27 μm (\pm 8.20)	2976.26 μm (\pm 172.61)	1103.84 μm (\pm 32.62)	995.86 μm (\pm 57.25)	1237.54 μm (\pm 37.14)
(\bar{x}) Alto de las células de la VHV	28.74 μm (\pm 7.38)	17.29 μm (\pm 3.07)	18.87 μm (\pm 3.33)	21.63 μm (\pm 3.48)	21.33 μm (\pm 4.35)	19.84 μm (\pm 2.74)	19.64 μm (\pm 4.14)
(\bar{x}) #células del PX	6 (\pm 0.74)	14.2 (\pm 3.27)	23.76 (\pm 0.67)	9.13 (\pm 1.81)	52.7 (\pm 1.48)	5.96 (\pm 1.47)	31.73 (\pm 0.44)
(\bar{x}) Diámetro del lumen del PX	19.26 μm (\pm 4.29)	13.58 μm (\pm 1.96)	11.01 μm (\pm 1.74)	9.73 μm (\pm 1.30)	13.39 μm (\pm 2.29)	14.05 μm (\pm 2.04)	18.58 μm (\pm 4.53)
(\bar{x}) Grosor de la pared del PX	1.92 μm (\pm 0.68)	2.12 μm (\pm 0.39)	1.36 μm (\pm 0.36)	2.08 μm (\pm 0.32)	1.58 μm (\pm 2.38)	2.40 μm (\pm 0.32)	1.63 μm (\pm 0.48)
(\bar{x}) #células del MX	15.23 (\pm 1.13)	20.46 (\pm 3.17)	12.06 (\pm 0.69)	20.16 (\pm 3.18)	18.23 (\pm 1.38)	14.63 (\pm 3.03)	38.56 (\pm 1.19)
(\bar{x}) Diámetro del lumen del MX	14.29 μm (\pm 3.57)	7.64 μm (\pm 1.22)	7.42 μm (\pm 1.19)	7.01 μm (\pm 1.03)	6.57 μm (\pm 1.41)	8.41 μm (\pm 1.12)	9.62 μm (\pm 2.69)
(\bar{x}) Grosor de la pared del MX	0.67 μm (\pm 0.24)	1.78 μm (\pm 0.37)	0.50 μm (\pm 0.14)	1.16 μm (\pm 0.19)	0.54 μm (\pm 0.18)	1.42 μm (\pm 0.19)	0.52 μm (\pm 0.19)
(\bar{x}) #células acompañantes FL	26 (\pm 1.11)	14.96 (\pm 3.16)	10.13 (\pm 0.68)	20.13 (\pm 3.53)	12.4 (\pm 1.19)	32.46 (\pm 8.95)	12 (\pm 0.87)
#Fibras	85.2 (\pm 4.57)	125.26 (\pm 21.99)	38.3 (\pm 5.63)	102.9 (\pm 22.67)	41.2 (\pm 1.34)	285.96 (\pm 58.99)	290 (\pm 1.11)

Apéndice 2. Continuación.

Taxa	<i>Y. constricta</i>	<i>Y. decipiens</i>	<i>Y. declinata</i>	<i>Y. elata</i>	<i>Y. filamentosa</i>	<i>Y. gloriosa</i>	<i>Y. grandiflora</i>
(\bar{x}) Grosor de la cutícula abaxial	6.52 μm (\pm 1.50)	35.62 μm (\pm 10.16)	3.24 μm (\pm 0.30)	18.21 μm (\pm 8.60)	1.88 μm (\pm 0.40)	10.08 μm (\pm 2.54)	33.24 μm (\pm 10.52)
(\bar{x}) Grosor de la cutícula adaxial	7.17 μm (\pm 2.40)	36.41 μm (\pm 9.33)	8.74 μm (\pm 2.94)	17.37 μm (\pm 8.33)	5.50 μm (\pm 2.16)	7.64 μm (\pm 2.20)	32.03 μm (\pm 9.59)
(\bar{x}) Alto de las células de la epidermis ABA	19.78 μm (\pm 2.06)	46.72 μm (\pm 4.87)	18.60 μm (\pm 2.48)	36.16 μm (\pm 2.74)	18.30 μm (\pm 2.74)	24.59 μm (\pm 4.45)	44.39 μm (\pm 3.26)
(\bar{x}) Alto de las células de la epidermis ADA	22.07 μm (\pm 1.43)	46.05 μm (\pm 3.92)	22.62 μm (\pm 2.40)	40.83 μm (\pm 4.69)	17.31 μm (\pm 2.66)	24.27 μm (\pm 3.64)	44.88 μm (\pm 2.55)
(\bar{x}) Alto de las células del PEM	48.73 μm (\pm 7.30)	97.65 μm (\pm 9.52)	54.49 μm (\pm 6.68)	36.83 μm (\pm 5.59)	38.60 μm (\pm 4.50)	31.49 μm (\pm 6.34)	52.50 μm (\pm 6.05)
(\bar{x}) Ancho del estrato del PEM	170.08 μm (\pm 15.10)	603.92 μm (\pm 29.03)	102.28 μm (\pm 11.78)	98.74 μm (\pm 1.21)	62.40 μm (\pm 9.33)	72.58 μm (\pm 11.20)	412.22 μm (\pm 48.64)
(\bar{x}) Alto de las células del PES	23.01 μm (\pm 2.74)	43.53 μm (\pm 9.65)	35.06 μm (\pm 5.63)	30.15 μm (\pm 4.65)	24.78 μm (\pm 2.96)	40.31 μm (\pm 8.50)	27.58 μm (\pm 3.89)
(\bar{x}) Ancho del estrato del PES	644.82 μm (\pm 77.30)	1474.26 μm (\pm 15.48)	483.33 μm (\pm 33.76)	1716.86 μm (\pm 19.77)	147.32 μm (\pm 17.10)	308.76 μm (\pm 11.72)	3725.59 μm (\pm 238.54)
(\bar{x}) Alto de las células de la VHV	13.84 μm (\pm 2.21)	22.90 μm (\pm 6.85)	22.24 μm (\pm 4.81)	20.18 μm (\pm 4.19)	14.00 μm (\pm 2.06)	24.08 μm (\pm 4.65)	18.65 μm (\pm 3.60)
(\bar{x}) #células del PX	9.06 (\pm 1.36)	13.03 (\pm 0.88)	9.83 (\pm 1.85)	38.1 (\pm 1.34)	11.7 (\pm 2.98)	27.23 (\pm 1.45)	17.73 (\pm 4.05)
(\bar{x}) Diámetro del lumen del PX	9.33 μm (\pm 1.21)	11.36 μm (\pm 3.42)	12.10 μm (\pm 10.31)	16.73 μm (\pm 2.09)	8.38 μm (\pm 1.45)	15.12 μm (\pm 2.60)	12.92 μm (\pm 2.00)
(\bar{x}) Grosor de la pared del PX	1.92 μm (\pm 0.37)	1.38 μm (\pm 0.46)	2.29 μm (\pm 0.38)	1.95 μm (\pm 0.52)	1.72 μm (\pm 0.36)	1.44 μm (\pm 0.32)	2.05 μm (\pm 0.35)
(\bar{x}) #células del MX	18.06 (\pm 0.03)	13.7 (\pm 0.46)	18.66 (\pm 3.08)	30.4 (\pm 0.81)	30.86 (\pm 6.17)	17.2 (\pm 1.82)	41.06 (\pm 7.93)
(\bar{x}) Diámetro del lumen del MX	6.10 μm (\pm 1.04)	6.55 μm (\pm 1.95)	7.36 μm (\pm 1.26)	8.27 μm (\pm 1.78)	5.38 μm (\pm 0.78)	8.38 μm (\pm 1.37)	6.47 μm (\pm 1.14)
(\bar{x}) Grosor de la pared del MX	1.40 μm (\pm 0.28)	0.46 μm (\pm 0.13)	1.34 μm (\pm 0.26)	0.55 μm (\pm 0.24)	1.04 μm (\pm 0.17)	0.58 μm (\pm 0.12)	1.15 μm (\pm 0.19)
(\bar{x}) #células acompañantes FL	24.06 (\pm 3.76)	11.03 (\pm 0.80)	27.66 (\pm 5.79)	12.23 (\pm 1.00)	16.73 (\pm 3.43)	13.3 (\pm 0.65)	30.66 (\pm 8.50)
#Fibras	124.56 (\pm 11.78)	96 (\pm 0.98)	123.43 (\pm 10.17)	46.2 (\pm 0.71)	58.86 (\pm 8.24)	113.1 (\pm 1.02)	393.23 (\pm 55.18)

Apéndice 2. Continuación.

Taxa	<i>Y. guatemalensis</i>	<i>Y. harrimaniae</i>	<i>Y. jaliscensis</i>	<i>Y. kanabensis</i>	<i>Y. muscipula</i>	<i>Y. nana</i>	<i>Y. necopina</i>
(\bar{x}) Grosor de la cutícula abaxial	15.18 μm (\pm 6.12)	18.04 μm (\pm 4.48)	14.21 μm (\pm 4.37)	6.27 μm (\pm 1.69)	53.21 μm (\pm 7.15)	13.23 μm (\pm 5.11)	7.08 μm (\pm 1.23)
(\bar{x}) Grosor de la cutícula adaxial	18.67 μm (\pm 7.43)	17.53 μm (\pm 6.53)	22.68 μm (\pm 6.98)	6.70 μm (\pm 1.87)	58.71 μm (\pm 7.97)	17.77 μm (\pm 6.34)	7.28 μm (\pm 1.15)
(\bar{x}) Alto de las células de la epidermis ABA	24.85 μm (\pm 2.53)	31.68 μm (\pm 4.13)	24.00 μm (\pm 2.57)	22.06 μm (\pm 3.95)	41.60 μm (\pm 6.69)	31.65 μm (\pm 5.19)	24.61 μm (\pm 2.42)
(\bar{x}) Alto de las células de la epidermis ADA	30.86 μm (\pm 2.43)	35.56 μm (\pm 4.03)	30.21 μm (\pm 5.47)	28.01 μm (\pm 4.22)	38.85 μm (\pm 7.70)	37.76 μm (\pm 3.97)	25.16 μm (\pm 2.31)
(\bar{x}) Alto de las células del PEM	50.03 μm (\pm 7.95)	24.13 μm (\pm 2.77)	64.39 μm (\pm 8.44)	39.05 μm (\pm 4.99)	84.78 μm (\pm 7.23)	25.66 μm (\pm 4.30)	25.23 μm (\pm 4.36)
(\bar{x}) Ancho del estrato del PEM	106.09 μm (\pm 10.55)	152.78 μm (\pm 25.85)	264.41 μm (\pm 12.36)	258.08 μm (\pm 43.37)	441.92 μm (\pm 13.83)	140.35 μm (\pm 16.84)	46.15 μm (\pm 5.36)
(\bar{x}) Alto de las células del PES	48.64 μm (\pm 6.31)	26.27 μm (\pm 3.16)	46.39 μm (\pm 7.68)	28.57 μm (\pm 2.74)	47.66 μm (\pm 4.97)	25.08 μm (\pm 3.19)	27.29 μm (\pm 4.97)
(\bar{x}) Ancho del estrato del PES	1186.95 μm (\pm 25.86)	1209.72 μm (\pm 94.54)	1200.64 μm (\pm 12.02)	872.77 μm (\pm 77.25)	1486.02 μm (\pm 7.39)	564.70 μm (\pm 96.10)	53.70 μm (\pm 4.44)
(\bar{x}) Alto de las células de la VHV	29.12 μm (\pm 5.33)	17.81 μm (\pm 1.72)	24.92 μm (\pm 4.56)	18.56 μm (\pm 2.77)	33.14 μm (\pm 5.95)	14.77 μm (\pm 2.45)	14.01 μm (\pm 1.97)
(\bar{x}) #células del PX	18.2 (\pm 0.92)	24.36 (\pm 5.85)	18.03 (\pm 0.85)	16.43 (\pm 3.74)	43.6 (\pm 0.72)	10.5 (\pm 3.49)	23.2 (\pm 0.71)
(\bar{x}) Diámetro del lumen del PX	24.39 μm (\pm 4.12)	10.21 μm (\pm 1.80)	21.31 μm (\pm 4.84)	8.94 μm (\pm 0.97)	21.81 μm (\pm 2.82)	6.13 μm (\pm 1.09)	14.61 μm (\pm 2.13)
(\bar{x}) Grosor de la pared del PX	2.41 μm (\pm 0.58)	1.79 μm (\pm 0.23)	2.07 μm (\pm 0.48)	1.96 μm (\pm 0.47)	2.07 μm (\pm 0.48)	1.79 μm (\pm 0.38)	1.47 μm (\pm 0.24)
(\bar{x}) #células del MX	16.6 (\pm 0.96)	101.76 (\pm 13.19)	19 (\pm 0.74)	40 (\pm 6.65)	45.03 (\pm 0.76)	37.7 (\pm 9.60)	14 (\pm 0.78)
(\bar{x}) Diámetro del lumen del MX	10.34 μm (\pm 2.55)	6.54 μm (\pm 1.08)	9.05 μm (\pm 1.93)	6.00 μm (\pm 0.93)	11.09 μm (\pm 1.95)	5.48 μm (\pm 1.26)	7.62 μm (\pm 1.14)
(\bar{x}) Grosor de la pared del MX	0.51 μm (\pm 0.15)	0.99 μm (\pm 0.16)	0.39 μm (\pm 0.14)	0.94 μm (\pm 0.16)	0.49 μm (\pm 0.17)	0.97 μm (\pm 0.19)	0.32 μm (\pm 0.10)
(\bar{x}) #células acompañantes FL	17.06 (\pm 0.69)	29.90 (\pm 8.65)	21.13 (\pm 0.73)	23.56 (\pm 4.63)	22.1 (\pm 0.84)	20.6 (\pm 4.61)	7.86 (\pm 0.68)
#Fibras	159.76 (\pm 1.81)	242.83 (\pm 40.30)	186.1 (\pm 0.75)	161.2 (\pm 22.86)	395.03 (\pm 0.76)	239.6 (\pm 38.56)	46.6 (\pm 1.00)

Apéndice 2. Continuación.

Taxa	<i>Y. pallida</i>	<i>Y. reverchonii</i>	<i>Y. rupicola</i>	<i>Y. schottii</i>	<i>Y. thompsoniana</i>	<i>Y. valida</i>	<i>Y. verdiensis</i>
(\bar{x}) Grosor de la cutícula abaxial	12.29 μm (\pm 5.23)	17.93 μm (\pm 5.20)	12.38 μm (\pm 4.84)	26.68 μm (\pm 3.92)	16.80 μm (\pm 5.99)	31.28 μm (\pm 5.89)	14.58 μm (\pm 8.07)
(\bar{x}) Grosor de la cutícula adaxial	22.55 μm (\pm 8.08)	18.79 μm (\pm 6.42)	9.24 μm (\pm 3.07)	34.53 μm (\pm 4.38)	16.33 μm (\pm 5.96)	31.72 μm (\pm 5.64)	15.32 μm (\pm 8.50)
(\bar{x}) Alto de las células de la epidermis ABA	17.94 μm (\pm 2.09)	27.30 μm (\pm 3.86)	16.80 μm (\pm 1.79)	27.24 μm (\pm 1.83)	30.31 μm (\pm 3.36)	30.08 μm (\pm 3.12)	34.39 μm (\pm 2.48)
(\bar{x}) Alto de las células de la epidermis ADA	29.72 μm (\pm 3.00)	26.33 μm (\pm 3.52)	20.67 μm (\pm 2.19)	29.42 μm (\pm 4.40)	29.81 μm (\pm 3.34)	35.96 μm (\pm 2.93)	37.48 μm (\pm 3.41)
(\bar{x}) Alto de las células del PEM	65.92 μm (\pm 7.23)	32.62 μm (\pm 4.63)	51.57 μm (\pm 19.69)	44.56 μm (\pm 2.80)	40.54 μm (\pm 5.74)	25.14 μm (\pm 3.23)	38.53 μm (\pm 5.43)
(\bar{x}) Ancho del estrato del PEM	255.09 μm (\pm 39.89)	52.26 μm (\pm 5.76)	127.77 μm (\pm 13.27)	213.43 μm (\pm 8.36)	120.18 μm (\pm 12.40)	43.31 μm (\pm 3.78)	226.15 μm (\pm 19.67)
(\bar{x}) Alto de las células del PES	40.71 μm (\pm 5.92)	27.72 μm (\pm 4.02)	27.98 μm (\pm 3.43)	48.51 μm (\pm 3.50)	30.62 μm (\pm 3.96)	43.05 μm (\pm 3.61)	31.52 μm (\pm 4.08)
(\bar{x}) Ancho del estrato del PES	544.32 μm (\pm 44.84)	348.86 μm (\pm 12.38)	569.17 μm (\pm 50.46)	983.09 μm (\pm 7.29)	296.55 μm (\pm 36.38)	1086.29 μm (\pm 6.65)	1849.06 μm (\pm 182.61)
(\bar{x}) Alto de las células de la VHV	20.04 μm (\pm 3.13)	12.55 μm (\pm 2.02)	19.30 μm (\pm 3.34)	21.41 μm (\pm 1.37)	18.02 μm (\pm 3.44)	20.73 μm (\pm 3.63)	20.22 μm (\pm 2.81)
(\bar{x}) #células del PX	6.23 (\pm 2.01)	36.76 (\pm 0.43)	20.13 (\pm 2.87)	34.26 (\pm 0.82)	14.76 (\pm 3.51)	19.96 (\pm 0.66)	21.33 (\pm 5.39)
(\bar{x}) Diámetro del lumen del PX	14.56 μm (\pm 2.10)	12.47 μm (\pm 1.47)	11.66 μm (\pm 1.36)	22.66 μm (\pm 1.37)	11.13 μm (\pm 1.89)	18.24 μm (\pm 2.39)	14.14 μm (\pm 1.77)
(\bar{x}) Grosor de la pared del PX	2.06 μm (\pm 0.41)	1.58 μm (\pm 0.30)	1.94 μm (\pm 0.31)	2.20 μm (\pm 0.33)	2.09 μm (\pm 0.25)	2.15 μm (\pm 0.57)	1.94 μm (\pm 0.30)
(\bar{x}) #células del MX	18.83 (\pm 3.58)	15.6 (\pm 0.49)	41.16 (\pm 10.04)	35.96 (\pm 0.66)	31 (\pm 8.74)	14.36 (\pm 0.49)	45.4 (\pm 9.22)
(\bar{x}) Diámetro del lumen del MX	7.26 μm (\pm 1.21)	6.57 μm (\pm 0.79)	7.01 μm (\pm 0.90)	7.68 μm (\pm 0.95)	6.74 μm (\pm 0.80)	7.58 μm (\pm 1.66)	8.62 μm (\pm 1.39)
(\bar{x}) Grosor de la pared del MX	1.36 μm (\pm 0.19)	0.28 μm (\pm 0.07)	1.35 μm (\pm 0.19)	0.28 μm (\pm 0.09)	1.19 μm (\pm 0.22)	0.28 μm (\pm 0.09)	1.24 μm (\pm 0.20)
(\bar{x}) #células acompañantes del FL	27.1 (\pm 4.72)	14.9 (\pm 0.48)	32.1 (\pm 4.90)	17.2 (\pm 0.71)	34.1 (\pm 6.49)	13.1 (\pm 0.54)	30.46 (\pm 4.96)
#Fibras	84.9 (\pm 16.11)	346.86 (\pm 0.43)	321.86 (\pm 29.86)	284.3 (\pm 3.03)	317.86 (\pm 48.83)	254.6 (\pm 0.72)	191.6 (\pm 48.32)

Simbología. ABA = Superficie abaxial, ADA = Superficie adaxial, FL = Floema, MX = Metaxilema, PEM = Parénquima en empalizada, PES = Parénquima esponjoso, VHV = Vaina del haz vascular, PX = Protóxilema, (\bar{x}) = Promedio.