

EDUCACIÓN

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



**TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO**



SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE EL SALTO

DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES

**Estimación de biomasa comercial de *Yucca schidigera* en el Ejido El Bramadero, San Quintín,
Baja California**

**Que como requisito parcial para obtener el título
de INGENIERO FORESTAL**

PRESENTA:

GUADALUPE DE LA CRUZ CASTAÑEDA

El Salto, Pueblo Nuevo, Durango

diciembre de 2025

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE EL SALTO

DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES

La presente tesis titulada:

Estimación de biomasa comercial de *Yucca schidigera* en el Ejido El Bramadero, San Quintín, Baja California

Realizada por:

GUADALUPE DE LA CRUZ CASTAÑEDA

Bajo la dirección del Comité de Tesis indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

COMITÉ DE TESIS

Dra. Beatriz Díaz Ramírez

DIRECTORA

**Dr. Francisco Javier
Hernández**

ASESOR

**M.C. Ricardo de la Cruz
Carrera**

ASESOR

El Salto, Pueblo Nuevo, Durango

diciembre de 2025

DEDICATORIA

A Dios: *por permitirme llegar al punto en el que hoy me encuentro, por las oportunidades que ha puesto en mi camino, por la salud que me ha brindado y por poner en mi camino a personas que han sido fundamentales en este proceso. Gracias por su guía constante.*

A mis padres Irene Castañeda Gonzales y Filiberto De la Cruz Ortiz: *a ustedes les debo todo. Gracias por su amor, esfuerzo y sacrificio. Son mi mayor inspiración para seguir adelante y alcanzar cada uno de mis objetivos. Este logro también es suyo y les dedico con todo mi corazón este nuevo escalón en mi vida académica. el orgullo que siento al saber que me ven avanzar es inmenso. Gracias, padres, por darme el más valioso de los regalos: El estudio.*

A mis hermanos Sara y Hugo: *Gracias por estar siempre al pendiente de mí, por sus palabras de aliento, por sus buenos deseos y sus valiosos consejos. Su apoyo ha sido vital en los momentos clave de este proceso.*

A mis sobrinos, Alexia y Hugo: *con la ilusión de que algún día estas páginas les inspiren a perseguir sus propios sueños con determinación y valentía. Que vean en este esfuerzo la prueba de que todo objetivo se alcanza con disciplina, pasión y fe en uno mismo, esta tesis también es para ustedes, como un faro que los anime a creer en lo posible.*

A mi cuñado Martin y a mi cuñada Lourdes: *Gracias por ser parte esencial de mi familia. Esta dedicatoria es un pequeño gesto para reconocer su presencia, su apoyo incondicional y su compañía en este camino conmigo.*

AGRADECIMIENTOS

***Al Instituto Tecnológico de El Salto**, por haberme formado académicamente y brindarme las herramientas necesarias para consolidarme como profesional. Mi gratitud hacia esta institución que ha sido pilar fundamental en mi desarrollo.*

***A Bioforestal del Noroeste**, por abrirme sus puertas y permitirme vivir una experiencia invaluable. Esta etapa marcó un antes y un después en mi formación profesional. Les guardo una sincera admiración por su compromiso con la excelencia y la apertura hacia los nuevos talentos.*

***Al Ing. Cesar Manuel Ruiz Quintero**, por su orientación, por compartir su experiencia y por la disposición y compromiso que demostró a lo largo de este proceso. Gracias por confiar en mí y por aportar valiosas enseñanzas que llevaré conmigo a lo largo de mi trayectoria.*

***Al Ing. Efraín Ruiz Quintero**, por su constante apoyo, por responder a cada duda con paciencia y claridad, por su generosidad al compartir su experiencia. Su acompañamiento hizo posible avanzar con seguridad y convicción en este proyecto.*

***Al Ing. Jaime Ruiz Quintero**, por su disposición, amabilidad y la valiosa experiencia compartida. Su apoyo fue clave para orientarme en diversas etapas del proceso.*

***Al Ing. Aldo Robles de la Paz**, por su guía, apoyo y amistad en cada uno de los trabajos realizados. Gracias por estar presente, por ayudarme de forma constante y compartir los conocimientos que ha adquirido a lo largo de sus años de labor.*

***A la Dra. Beatriz Díaz Ramírez**, por su disposición para orientarme en la redacción de esta tesis profesional, por el tiempo dedicado con generosidad y por brindarme también su amistad a lo largo de este proceso.*

***Al Dr. Francisco Javier Hernández** por su guía, paciencia y compromiso al formar parte del cuerpo de asesores. Su apoyo para la concreción de este trabajo.*

***Al M.C. Ricardo de la Cruz Carrera**, por colaborar como asesor y tomarse el tiempo para acompañarme en el desarrollo de este proyecto.*

A mis compañeros y amigos de universidad, quienes hicieron de mi paso por la carrera una experiencia inolvidable y enriquecedora. Gracias por cada momento compartido, el apoyo mutuo y la motivación constante.

A todas las personas que me acompañaron a lo largo de mi formación. Gracias por no dejarme solo, por su disposición para ayudarme en los momentos más difíciles y por brindarme siempre palabras de aliento. Su presencia fue fundamental para llegar hasta aquí.

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS.....	3
2.1. General	3
2.1.1. Específicos	3
3. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
3.1. Características del estado de Baja California	4
3.1.1. Principales tipos de vegetación	5
3.2. Descripción del género <i>Yucca</i>	6
3.2.1. Hábitat del género <i>Yucca</i>	7
3.2.2. Ecotipos.....	7
3.3. Importancia del género <i>Yucca</i>	7
3.4. Causas que afectan la supervivencia de la especie <i>Yucca</i>	9
3.5. Cambio climático	9
3.6. Manejo forestal sustentable	10
3.7. Uso de tecnologías en la gestión forestal	12
4. MATERIALES Y MÉTODOS	14
4.1. Descripción del área de estudio	14
4.1.1. Localización.....	14
4.1.2. Clima	14
4.1.3. Altitud sobre el nivel del mar.....	15
4.2. Métodos	15
4.2.1. Estudio dasométrico.....	15
4.3. Equipo y materiales	16
4.3.1. Material de campo.....	16
4.3.2. Diseño de muestreo	17
4.4. Rodalización.....	20
4.5. Registro de la información	21
4.5.1. Información General:.....	21
4.5.2. Información Dasométrica:.....	22
4.5.3. Fauna presente en el sitio	22
4.5.4. Metodología para el levantamiento de información	22
4.5.5. Elaboración de planos.....	23
4.6. Procesamiento de información	24
4.6.1. Cálculo del peso de los fustes de <i>Yucca</i>	24
4.6.2. Cálculo de existencias reales	25
4.6.2.1. Cálculo de las existencias reales aprovechables.....	26
4.6.2.2. Comparación entre existencias residuales y posibilidad.....	27
5. RESULTADOS	29
5.1. Estructura de la población.....	29
5.2. Existencias reales.....	30
5.3. Cantidad por aprovechar.....	38
5.4. Calendario de aprovechamiento.....	38
5.5. Vigencia del programa de manejo forestal simplificado	39
6. DISCUSIÓN	40
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	42

7.1.	Conclusiones.....	42
7.2.	Recomendaciones.....	43
8.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	44
9.	ANEXOS.....	50

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas de los sitios de muestreo para los rodales (coordenadas UTM).....	18
Tabla 2. Estructura de la población de los individuos de Yucca en el área de aprovechamiento.	29
Tabla 3. Distribución promedio por categoría de altura y diámetro promedio de los rodales.	31
Tabla 4. Representación por su condición de edad promedio de los organismos por categoría de diámetro del promedio de los rodales.	31
Tabla 5. Estructura de la población, existencias reales y aprovechables del rodal 1 (490.692 ha).	32
Tabla 6. Estructura de la población, existencias reales y aprovechables del rodal 2 (644. 573 ha).	33
Tabla 7. Estructura de la población, existencias reales y aprovechables del rodal 3 (364.333 ha).	34
Tabla 8. Estructura de la población, existencias reales y aprovechables del rodal 4 (607.492 ha).	35
Tabla 9. Estructura de la población, existencias reales y aprovechables del rodal 5 (759.415 ha).	36
Tabla 10. Posibilidad de aprovechamiento.	37
Tabla 11. Cantidades de aprovechamiento para las anualidades propuestas.	38
Tabla 12. Programa del plan de corta en los rodales propuestos parcela 452 Z-2 P-1 Ejido El Bramadero.	39

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación.....	14
Figura 2. Sitios de muestreo en los rodales de aprovechamiento.....	20
Figura 3. Rodales de aprovechamiento presentes en el programa de manejo forestal no maderable	21
Figura 4. Estructura de la población promedio por hectárea	30

RESUMEN

Debido a las características del recurso forestal no maderable en Baja California, se implementó un Programa de Manejo Forestal No Maderable simplificado para *Yucca schidigera* en la parcela 452 del Ejido El Bramadero, municipio de San Quintín. El objetivo fue elaborar la memoria técnica del programa de manejo, siguiendo los lineamientos de la Ley general de Desarrollo Forestal Sustentable (LGDFS) y su reglamento, con el fin de gestionar ante la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) la autorización de aprovechamiento. Se aplicó un muestreo sistemático dentro del polígono de la parcela, registrando variables dendrométricas de *Yucca schidigera* (altura total, altura fuste limpio y diámetro basal), para estimar densidad poblacional y biomasa mediante ecuaciones alométricas procesadas en Excel. Los resultados indican que el 58.1 % de la población corresponde a ejemplares jóvenes menores de 50 cm de altura, el 31.2% a adultos mayores de 51 cm y el 10.7 % a individuos muertos. Con base en las existencias reales, se propone una tasa de aprovechamiento del 10 %. Esta estrategia deja un volumen residual del 90 %, manteniendo la estructura poblacional y favoreciendo la regeneración natural. Este enfoque, acorde con la NOM-005-SEMARNAT-1997, contribuye al aprovechamiento sustentable del recurso, la conservación del ecosistema y el fortalecimiento productivo de la comunidad ejidal.

Palabras clave: *Yucca schidigera*, aprovechamiento, manejo forestal, sostenibilidad, estructura poblacional.

ABSTRACT

Due to the characteristics of non-timber forest resources in Baja California, a simplified Non-Timber Forest Management Program for *Yucca schidigera* was implemented on plot 452 of the El Bramadero Ejido, in the municipality of San Quintín. The objective was to prepare the technical report for the management program, following the guidelines of the General Law for Sustainable Forest Development (LGDFS) and its regulations, in order to obtain harvesting authorization from the Ministry of Environment and Natural Resources (SEMARNAT). Systematic sampling was conducted within the plot area, recording dendrometric variables of *Yucca schidigera* (total height, clear stem height, and basal diameter) to estimate population density and biomass using allometric equations processed in Excel. The results indicate that 58.1% of the population consists of young specimens less than 50 cm tall, 31.2% of adults taller than 51 cm, and 10.7% of dead individuals. Based on actual stock levels, a harvest rate of 10% is proposed. This strategy leaves a residual volume of 90%, maintaining the population structure and promoting natural regeneration. This approach, in accordance with NOM-005-SEMARNAT-1997, contributes to the sustainable use of the resource, ecosystem conservation, and the productive strengthening of the ejido community.

Keywords: *Yucca schidigera*, harvesting, forest management, sustainability, population structure.

1. INTRODUCCIÓN

Las zonas áridas y semiáridas abarcan aproximadamente el 52% del territorio nacional, y se caracterizan por albergar comunidades vegetales altamente adaptadas a condiciones ambientales extremas, como temperaturas elevadas, baja disponibilidad de agua y suelos poco profundos. Entre estos ecosistemas destacan los matorrales xerófilos, conformados por especies suculentas, arbustivas, leñosas y de porte bajo, que desempeñan un papel ecológico fundamental en la conservación del suelo, la captura de carbono y la regulación hidrológica (Comisión Nacional Forestal [CONAFOR], 2018; Briones et al., 2018). Estas zonas también son fuente de recursos forestales no maderables que aportan beneficios económicos y sociales a comunidades rurales (Biodiversidad Mexicana, 2023).

Una de las especies más importantes en estos ecosistemas es la *Yucca schidigera*, conocida como palmilla, la cual tiene una amplia distribución en la península de Baja California. Esta especie, endémica del noroeste de México y el suroeste de Estados Unidos, ha sido históricamente aprovechada por poblaciones indígenas, y hoy en día se emplea en diversas industrias debido a sus propiedades saponínicas (Agroexcelencia, 2024; López-Serrano et al., 2021). El valor económico creciente de sus extractos ha intensificado la demanda y, con ello, la presión sobre las poblaciones silvestres.

El aprovechamiento inadecuado y sin planificación técnica ha derivado en sobreexplotación, reduciendo la capacidad de regeneración de la especie. Dado que la tala de aprovechamiento coincide con la madurez reproductiva, se compromete su floración y producción de semillas (Castellón-Olivares, 2003). En este contexto, se vuelve necesario establecer medidas técnicas para asegurar un uso racional de la especie, mediante programas de manejo forestal no maderable sustentable, bajo las directrices de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (LGDFS) y la NOM-005-SEMARNAT-1997.

El presente trabajo se desarrolló en la parcela 452 Z-2 P-1 del Ejido El Bramadero, municipio de San Quintín, Baja California, con el objetivo de diseñar un programa de manejo forestal no maderable sustentable para *Yucca schidigera*, sustentado en un diagnóstico técnico que incluyó inventario forestal, delimitación de rodales, cálculo de volumen, biomasa y evaluación del potencial de regeneración natural.

En conjunto, el estudio proporciona los elementos técnicos necesarios para fundamentar un aprovechamiento responsable, garantizar la conservación de la especie y contribuir al desarrollo socioeconómico de la comunidad ejidal.

2. OBJETIVOS

2.1. General

Diseñar un programa de manejo forestal no maderable sustentable para aprovechar la *Yucca schidigera* en la parcela 452 Z-2 P-1 del ejido El Bramadero.

2.1.1. Específicos

1. Realizar un inventario forestal cuantitativo de *Yucca schidigera* en una superficie de 2,866.50 ha para estimar su densidad y abundancia.
2. Calcular la biomasa comercial ($\text{Ton} \cdot \text{ha}^{-1}$) de *Yucca schidigera*, incluyendo la cuantificación de individuos aprovechables.
3. Determinar el potencial de regeneración natural de *Yucca schidigera* para definir tasas de extracción sustentables.
4. Elaborar una propuesta técnica de manejo no maderable que integre criterios ecológicos, normativos y productivos para el aprovechamiento sostenible de *Yucca schidigera*.

3. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. Características del estado de Baja California

El clima es muy seco en el 69 % del territorio, seco en el 24 % y templado subhúmedo en el 7 % restante. La temperatura media anual oscila entre los 18 °C y 23 °C, con máximas que pueden superar los 45 °C en el Valle de Mexicali. Las lluvias son escasas, con una precipitación promedio de 200 mm anuales, aunque en las costas del Golfo de California se registran apenas 40 mm. Las sierras Juárez y San Pedro Mártir dividen el estado en dos grandes regiones climáticas: mediterránea al noroeste y árida al sur y este. En las zonas altas se presentan climas templados y semifríos subhúmedos, con posibilidad de nevadas en invierno (Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2021). Las condiciones climáticas áridas han llevado a algunas especies a desarrollar adaptaciones fisiológicas para conservar agua en raíces o tallos, como ocurre con los matorrales sarcocaulales y sarcocrasicaulales, o para minimizar la pérdida de agua reduciendo su estructura foliar o transformándola en espinas, como los matorrales desérticos micrófilos y las cactáceas, (INEGI, 2001).

La Comisión Nacional Forestal (CONAFOR, 2022) señala que el estado de Baja California posee una superficie forestal de 6,378,814.36 hectáreas, lo que representa el 87.04 % de su territorio total. Esta superficie está compuesta principalmente por Matorral Xerófilo (92.01 %), seguido por bosque templado (2.72 %), otras asociaciones vegetales (0.05 %) y otras áreas forestales (5.22 %). Por su parte, Benítez-Molina y Ortiz-Zamudio (2022) indican que la superficie estatal asciende a 7,350,700.88 ha, en esta cobertura predominan las zonas semiáridas, que constituyen el 47.7 % del total forestal, seguidas por zonas áridas, bosques de coníferas y bosques de latifoliadas en orden decreciente. Esta distribución evidencia la relevancia de los ecosistemas xerófilos en la configuración territorial de Baja California.

En la región, el clima es mediterráneo, este se caracteriza por inviernos con temperaturas bajas y presencia de lluvias, los veranos son cálidos y secos, suelen presentarse tormentas ocasionalmente. La cantidad de lluvia anual varía entre 500 y

700 mm, siendo mayor que en cualquier otra zona ecológica del norte de la península. Aproximadamente el 75% de esta precipitación ocurre entre octubre y abril. En la Sierra de Juárez, la nieve representa cerca del 25% de la precipitación total, mientras que, en San Pedro Mártir, donde la altitud supera los 2,200 metros, puede llegar al 50% (González-Abraham et al, 2010).

3.1.1. Principales tipos de vegetación

La vegetación de chaparral incluye hierbas, arbustos, árboles sensibles a los incendios, y suculentas como cactáceas, adaptadas a condiciones extremas. Los suelos, mayormente rocosos y compuestos por granito, permiten un buen drenaje y favorecen la tolerancia a temperaturas extremas, desde calor intenso hasta nieve, a altitudes de 400 a 1200 m s.n.m. Las lluvias se concentran en invierno, con tormentas de verano que aportan agua adicional. Entre las especies representativas destacan las manzanitas (*Arctostaphylos sp.*) y los chamizos (*Adenostoma sp.*), adaptadas al ecosistema (Valdez, 2009).

El chaparral se caracteriza por su vegetación densa y arbustiva, predominante en regiones con clima mediterráneo, que incluyen veranos secos e inviernos húmedos. Este ecosistema se encuentra principalmente en la cuenca mediterránea, California, partes de Chile, Australia y Sudáfrica (Ecología Verde, 2024).

La vegetación de las zonas áridas y semiáridas no solo aportan servicios ambientales, además proveen bienes mediante el aprovechamiento de recursos forestales no maderables, El aprovechamiento de las especies de este tipo de vegetación involucra solo una parte de la planta y para ello se implementan estudios técnicos o programas de manejo (CONAFOR, 2022).

La Sierra de Juárez, situada en el norte de Baja California, alcanza altitudes que van desde los 90 hasta los 1700 m s.n.m. En sus zonas más elevadas se desarrollan bosques de coníferas que están integrados dentro del Parque Nacional Constitución de 1857, se conservan ejemplares de especies como *Pinus jeffreyi*, *Pinus coulteri* y *Pinus quadrifolia*, cuyas edades son comparables a las de los árboles presentes en la

Sierra de San Pedro Mártir. En la zona alta de dicha sierra, se conserva un bosque mixto de coníferas en buen estado, dominado por árboles maduros. Este ecosistema, representativo del bosque relictos mediterráneo más austral de Norteamérica, alberga especies como *Pinus jeffreyi*, *P. lambertiana*, *P. contorta*, *Abies concolor*, *Calocedrus decurrens* y *Cupressus montana*. En el norte del parque predominan los bosques de *Pinus coulteri*, mientras que en la ladera occidental se desarrollan comunidades de *Pinus quadrifolia* sobre matorral de chaparral (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias [INIFAP], 2018).

3.2. Descripción del género *Yucca*

La familia Asparagaceae tiene una distribución casi mundial y comprende 120 géneros y 3101 especies de hierbas, arbustos y plantas arborescentes con inflorescencias que varían de solitarias a espigadas (Govaerts, 2017).

El género *Yucca*, pertenece a la subfamilia *Agavoide*, comprende un grupo de angiospermas con aproximadamente 50 especies de plantas (Villaseñor, 2016). Se ha estimado que el género *Yucca* comprende conservadoramente de 35 a 40 especies dentro de su área de distribución nativa desde América Central hacia el norte hasta el extremo sur de Canadá (El Sayed et al., 2020).

Las plantas del género *Yucca*, conocidas comúnmente como yuca o palmilla, presentan hojas rígidas en forma de espada, racimos de flores cerosas blancas y follaje que puede ser suculento o no. Sus flores, grandes y carnosas, son generalmente polícarpicas. Estas especies prosperan en hábitats que van desde ambientes semiáridos hasta trópicos secos (Phillips et al., 2015).

Conocida comúnmente como Palmilla o Datilillo la *Yucca schidigera*, es una especie perenne con tallo único, que puede alcanzar alturas de hasta 4 metros y diámetros de aproximadamente 40 centímetros. Suele crecer en agrupaciones que varían desde pequeños conjuntos hasta colonias superiores a 20 ejemplares. Su periodo de floración ocurre entre inicios de abril y mediados de mayo, y típicamente se localiza en

laderas áridas y zonas de desierto húmedo a altitudes inferiores a los 1500 metros sobre el nivel del mar (Flores-Vidrio, 2019).

3.2.1. Hábitat del género *Yucca*

La especie en México se distribuye en el norte de la península de Baja California, en terrenos planos y valles, sobre suelos profundos, francos o arenosos, así como en cañadas, cañones y en las laderas de cerros. Se encuentra a altitudes que varían entre los 800 y 1800 m s.n.m, formando parte del matorral desértico (Matuda y Piña, 1980).

3.2.2. Ecotipos

Las adaptaciones dentro de una especie pueden manifestarse como ecoclinas (adaptaciones continuas) o como ecotipos (adaptaciones discontinuas), estos últimos también denominados razas ecológicas o fisiológicas (Flores-Vidrio, 2019). Los ecotipos constituyen unidades básicas de la clasificación genealógica y representan poblaciones genéticamente diferenciadas con características morfológicas y fisiológicas específicas que ofrecen ventajas adaptativas en ambientes particulares (Castellón-Olivares, 2003). Estas diferencias pueden deberse a factores bióticos, edáficos, microclimáticos, o a la distribución de la especie en varias zonas climáticas. De este modo, se conforma una red de sectores poblacionales homogéneos pero distintos, con preferencias por hábitats diversos. Mientras más amplio sea el rango ecológico de la especie, mayor será la cantidad y diversidad de ecotipos, algunos con diferencias morfológicas notables, para la *Yucca schidigera*, se han identificado cuatro ecotipos principales: montano, intermontano, mediterráneo y desértico, asociados a gradientes altitudinales y variabilidad ambiental a lo largo de Baja California.

3.3. Importancia del género *Yucca*

Sepúlveda (1994) menciona que, a inicios de la década de 1990, los volúmenes de aprovechamiento de la especie oscilaban entre 4,000 y 7,000 ton anuales de fuste. Esta cifra ha ido incrementándose hasta la fecha, lo que convierte a la especie en un

tema de gran interés económico, aunado al científico por la limitada información disponible sobre ella.

La especie *Yucca schidigera* es endémica del noroeste de México y del suroeste de Estados Unidos. Los nativos de la región utilizaban las flores y frutos de esta planta como parte de su alimentación (Jaramillo, 1980) y es una planta medicinal popular debido a sus muchos efectos positivos en la fisiología animal y humana, incluidos sus sistemas reproductivos (Vlčková et al., 2017).

Los extractos de *Yucca schidigera*, han sido utilizados por sus propiedades antimicrobianas y beneficios medicinales. Sus metabolitos secundarios, especialmente las saponinas, mejoran la salud y la producción animal de forma natural, reduciendo el uso de fármacos y ayudando a mitigar la resistencia microbiana. Además, ofrecen una alternativa rentable y eficiente en sistemas de producción de diversas especies animales (Zúñiga-Serrano et al., 2022).

Saeed et al. (2018) Mencionan que la *Yucca schidigera*, cultivada en zonas desérticas, es valorada por sus saponinas y compuestos fenólicos con efectos antioxidantes. Se utiliza como complemento alimenticio, en cosméticos y farmacéutica. En nutrición animal, destaca por reducir el amoníaco y el olor fecal, además de aportar beneficios antiinflamatorios, inmunoestimulantes y promotores del crecimiento.

Lograr un equilibrio entre la intensificación productiva y la reducción de impactos ambientales es clave para una producción sostenible de proteínas animales. El uso de aditivos naturales como *Yucca schidigera* favorece una ganadería y acuicultura más limpia, y su adaptación a zonas áridas la posiciona como un recurso valioso frente al cambio climático (Adegbeye et al., 2019).

Las saponinas, se utilizan en algunas bebidas, así como para favorecer la absorción de agua en suelos y hojas. Los compuestos químicos presentes, al ser incorporados al agua de los sistemas de riego, ayudan a mantenerlos libres de algas. Además, tienen propiedades antibióticas (Hawker, 2016).

La ganadería y la acuicultura contribuyen a la contaminación del aire, la tierra y los cuerpos de agua, la *Yucca schidigera* demostró que es capaz de reducir la

concentración aérea de amoníaco en los corrales y el olor a amoníaco del estiércol. En rumiantes, la yuca podría reducir la emisión de metano, disminuir la emisión de óxido nitroso, reducir el nitrógeno urinario y fecal, contribuyendo a la disminución de gases contaminantes (Adegbeye et al., 2019).

La acumulación de amoníaco en los estanques de peces es perjudicial para la contaminación del medio ambiente. Paray et al., (2021) mencionan que la inclusión de extracto de yuca es reconocida como una solución práctica para adsorber el amoníaco transportado por el agua, esta tiene abundantes cantidades de polifenoles, saponinas esteroides y resveratrol y se puede usar como solución o como polvo.

3.4. Causas que afectan la supervivencia de la especie *Yucca*

Los principales riesgos para la especie *Yucca schidigera* se deben al aprovechamiento acelerado de los tallos, lo cual afecta directamente su regeneración sexual. Esto ocurre porque la talla de aprovechamiento coincide con la talla de madurez reproductiva, lo que impide la floración y, por ende, la producción de frutos y semillas (Castellón-Olivares, 2003).

3.5. Cambio climático

El medio ambiente es un factor clave en la vida forestal, ya que los cambios climáticos afectan a los ecosistemas, que se ven comprometidos por escasas precipitaciones, altas temperaturas y excesiva radiación. Esto lleva a la necesidad de elaborar programas de restauración. Los estudios realizados en condiciones mediterráneas han encontrado que, en el interior de los tubos, la temperatura y la demanda evaporativa del aire son mayores que en el exterior (Vázquez de Castro et al., 2012).

Las cuencas hidrológicas generan beneficios como la regulación del cambio climático, la conservación del ciclo hidrológico, la reducción de la erosión, la prevención de inundaciones, y el mantenimiento de los escurrimientos de agua. Además, su vegetación contribuye a la captura de carbono y protege la biodiversidad (SEMARNAT, 2018).

La pérdida de cobertura forestal por el cambio climático reduce servicios clave como el agua y la biodiversidad. La regulación estomática en las especies forestales influye en el intercambio gaseoso y el balance hídrico y de carbono. Comprender mejor estos procesos ayuda a modelar con más precisión la captura de carbono frente al cambio climático (Gómez-Guerrero et al., 2021).

El cambio climático, mediante variaciones en la humedad y temperatura, influye directamente en el desempeño fisiológico de las plantas, afectando su crecimiento y provocando alteraciones en su fenología. Estos efectos están asociados con modificaciones en la permeabilidad del suelo, el microclima y los patrones de consumo de agua, lo que en conjunto repercute en el equilibrio de los ecosistemas y en la productividad vegetal (Lluch-Cota et al., 2022).

3.6. Manejo forestal sustentable

Los recursos forestales no maderables (RFNM) juegan un papel relevante en la dinámica productiva de los ecosistemas semiáridos de México, al contribuir con el 9.4 % del total de la producción nacional registrada en este rubro. Estos recursos incluyen productos como plantas medicinales, frutos silvestres, resinas, fibras naturales, entre otros, que no requieren la tala de árboles y que se extraen de manera sostenible. Esta cifra refleja su importancia ecológica y socioeconómica dentro del sector forestal no tradicional (SEMARNAT, 2020).

La zonificación forestal, como herramienta de planeación, permite identificar y ordenar los terrenos forestales y preferentemente forestales según sus funciones biológicas, ambientales, socioeconómicas y restauradoras. Este enfoque es clave para una administración eficiente de los RFNM, especialmente en regiones donde su aprovechamiento representa una alternativa económica viable (CONAFOR, 2024).

En el manejo forestal, es esencial estimar con precisión la cantidad de materia prima disponible en los rodales para asegurar un aprovechamiento eficiente. Dado el valor ecológico y económico de los RFNM en el norte de México, su gestión debe ser sustentable. Esto implica una planificación integrada que equilibre producción y

conservación, considerando que el aprovechamiento de los RFNM representa en la actualidad una fuente de ingresos para las poblaciones de las zonas áridas del norte de México (Cano-Martagón, 2018; Villavicencio-Gutiérrez et al., 2021).

Para garantizar dicha sustentabilidad, la NOM-005-SEMARNAT-1997 establece criterios técnicos de cosecha. En su apartado 4.1.10, apéndice III, inciso “d”, se indica que la madurez se identifica cuando los individuos presentan al menos un 80 % de su longitud sin hojas verdes. En grupos de edad homogénea, solo se debe aprovechar el 50 % de los individuos maduros, evitando dañar brotes e individuos jóvenes.

Este tipo de regulación cobra especial relevancia en las regiones áridas del norte de México, donde las condiciones climáticas adversas como las elevadas temperaturas y la escasa precipitación limitan las opciones productivas. Ante este panorama, las comunidades aprovechan especies nativas como fuente alternativa de ingresos, dependiendo especialmente de los RFNM en zonas semidesérticas (Gonzales-López y Díaz Balderas, 2018).

La restauración en zonas áridas requiere estrategias específicas que consideren la escasa disponibilidad de agua, la baja fertilidad del suelo y la adaptación de especies nativas a condiciones extremas. Estas acciones deben integrarse en los planes de manejo forestal para asegurar la resiliencia ecológica y la recuperación funcional del ecosistema (CONAFOR, 2024).

En ese sentido, la restauración ecológica representa una alternativa viable para revertir los procesos de degradación en zonas áridas. El uso de especies nativas adaptadas permite recuperar la funcionalidad ecológica y promover la resiliencia del ecosistema frente a condiciones climáticas extremas (Gonzales-Delgado, 2019).

Finalmente, con fundamento en el artículo 85 de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable, se establece que se requiere autorización para el aprovechamiento de RFNM en casos específicos, como los tallos de especies del género *Yucca*. Esta disposición busca garantizar un manejo sustentable de dichos recursos. Asimismo, el artículo 72 del Reglamento de la misma ley señala que la Secretaría es la autoridad competente para otorgar dicha autorización, y que el reglamento establece los

requisitos y obligaciones que deben cumplir los titulares de los permisos de aprovechamiento (LGDFS y RLGDFS, 2020).

3.7. Uso de tecnologías en la gestión forestal

Los Vehículos Aéreos No Tripulados (VANT) representan un recurso estratégico de alto potencial para la gestión forestal. Aunque la tecnología forestal tiene una larga trayectoria, pero es importante contar con tecnologías de vanguardia para tener un mejor entendimiento de los recursos naturales, una de las principales ventajas de los VANT respecto a las imágenes satelitales es la resolución espacial o distancia de muestreo del terreno (Gallardo-Salazar et al., 2021).

La aplicación de los VANT ha permitido expandir sus aplicaciones en la observación y el análisis de los recursos naturales, han dependido de herramientas como sensores remotos, imágenes satelitales y mediciones en campo. En este contexto, los VANT representan una innovación que integra y optimiza dichas metodologías para mejorar la eficiencia en el monitoreo ambiental (Guevara-Bonilla et al., 2020).

La robótica aérea, al igual que en muchos otros ámbitos, puede llegar a tener aplicaciones muy prácticas en la lucha contra incendios, podemos observar cómo los drones pueden ser de gran ayuda en el ámbito de la quema preventiva ya que además de poder alcanzar zonas de difícil acceso, tienen un menor coste, son más precisos y facilitan mucho la labor de los bomberos ya que les brinda mayor seguridad y capacidad de decisión puesto que pueden obtener bastante información gracias a las cámaras implementadas (Gambín-Martínez, 2023).

Reyes Zurita et al., (2022) mencionan que el uso de fotogrametría con drones es válido para trabajos de precisión en la obtención de alturas, y como una herramienta fiable en el sector forestal, además es más accesible en comparación con el LiDAR.

La Inteligencia Artificial (IA) facilita el perfeccionamiento en la identificación de especies a través de algoritmos sofisticados, permite elaborar mapas detallados en zonas de difícil acceso y mejora el monitoreo de la biodiversidad con una mayor exactitud. Al integrarse con drones, estas tecnologías emergentes amplían

considerablemente sus aplicaciones, ofreciendo un alto potencial para estudios ecológicos y estrategias de conservación (Cabrera-Verdesoto et al., 2024).

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Descripción del área de estudio

4.1.1. Localización

La presente investigación se llevó a cabo en la parcela 452 Z-2 P-1, ubicada en el Ejido El Bramadero, Municipio de San Quintín, Baja California, México (Figura 1).

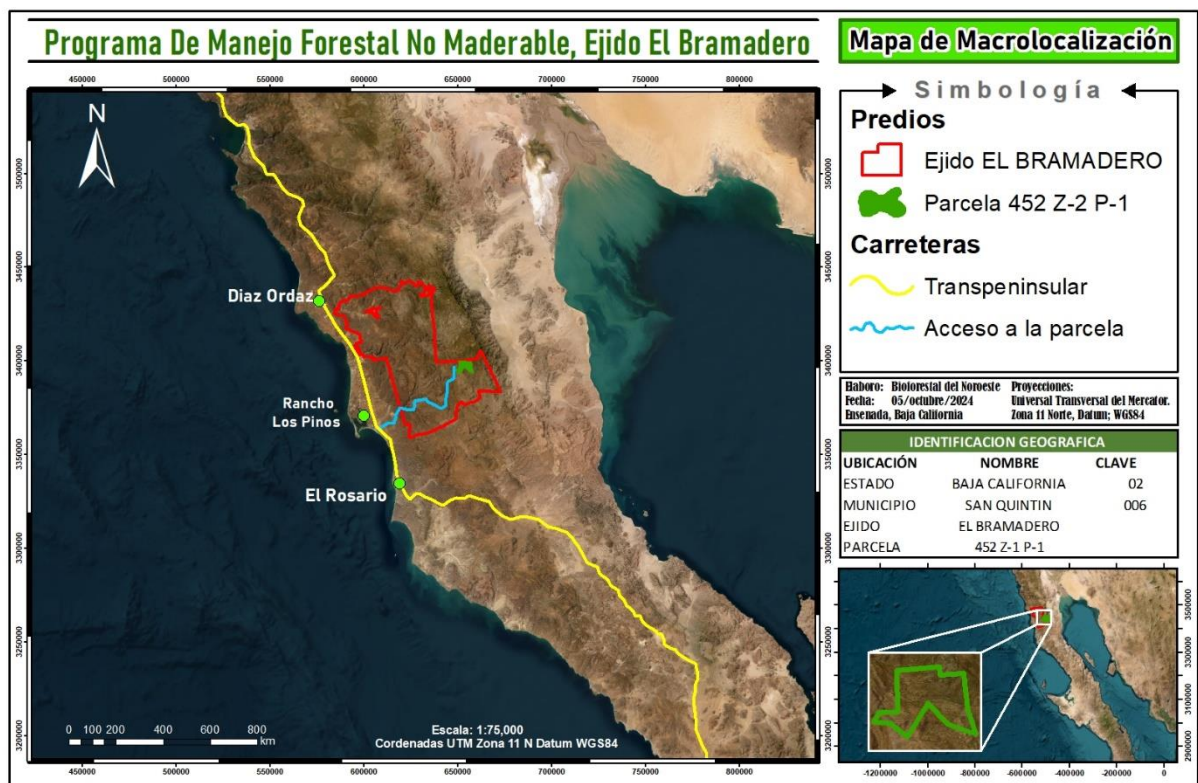


Figura 1. Mapa de ubicación

4.1.2. Clima

El tipo de clima predominante en la parcela es el que corresponde a un clima árido templado, temperatura media anual entre 12° C y 18° C, una temperatura en el mes más frío entre -3° C y 18° C, y una temperatura en el mes más cálido inferior a 22° C (Comisión Nacional de Agua [CONAGUA], 2021).

4.1.3. Altitud sobre el nivel del mar

La parcela se encuentra a una altitud de 1700 m s.n.m., en las coordenadas extremas: 31° 05´ 26” a 30° 23´ 05” de latitud Norte y 115° 48´ 47” a 115° 35´ 42” de longitud Oeste.

4.2. Métodos

4.2.1. Estudio dasométrico

El estudio técnico se realizó considerando como fundamento técnico la metodología desarrollada por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) la cual se lleva de la siguiente manera;

1. Caracterización ecológica del sitio

Se delimitó el área de estudio mediante coordenadas geográficas UTM, utilizando imágenes satelitales (Google Earth Pro) y validación en campo. La caracterización se realizó mediante:

- Inventario estructural: Aplicación de sitios circulares de 1,000 m² distribuidos sistemáticamente para estimar densidad, cobertura y frecuencia relativa de *Y. schidigera*.
- Variables ambientales: Registro de altitud, pendiente, tipo de suelo y vegetación acompañante, conforme a la metodología de muestreo de INIFAP.
- Clasificación fitogeográfica: Determinación del tipo de vegetación predominante (matorral xerófilo) y su relación con la distribución de la especie.

2. Evaluación de la población aprovechable

Se realizó una clasificación fenológica de los individuos en cuatro categorías: hijuelos, renuevos, maduros y muertos, considerando diámetro basal, altura del fuste total, altura del fuste limpio. Los criterios de selección para aprovechamiento se basan en:

- Normativa aplicable: Se aplica la NOM-005-SEMARNAT-1997 para regular el aprovechamiento de recursos forestales no maderables.
- Tasa de extracción: Se establece un límite del 50% de individuos maduros por sitio, con rotación espacial y temporal para evitar sobreexplotación.
- Frecuencia de corte: Se propone un ciclo de aprovechamiento de 15 años, conforme a recomendaciones técnicas del INIFAP para especies de lento crecimiento.

3. Estimación de biomasa y rendimiento

Se emplearon ecuaciones alométricas ajustadas mediante regresión lineal para *Y. schidigera*. Las variables consideradas incluyen:

- Altura total del fuste (cm)
- Altura del fuste limpio (cm)
- Diámetro basal (cm)

El rendimiento se expresó en biomasa aérea (kg/ha^{-1}), para estimar el potencial económico y ecológico del aprovechamiento.

4. Cumplimiento normativo y trazabilidad

Se integraron los formatos oficiales actualizados de SEMARNAT para remisiones forestales, avisos de aprovechamiento y bitácoras de campo, incluyendo:

- Georreferenciación de unidades de manejo
- Registro fotográfico y documental

La documentación se adapta a los lineamientos de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (LGDFS), asegurando la legalidad y transparencia del proceso.

4.3. Equipo y materiales

4.3.1. Material de campo

Para garantizar la calidad y precisión en la recopilación de datos técnicos en campo, se priorizó la disponibilidad de equipo especializado y material adecuado. Estos recursos fueron fundamentales para realizar el levantamiento, registro y análisis de información. A continuación, se enlista el material técnico utilizado:

Cartas informativas de la Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO) e INEGI, e incluyendo

- Cartas topográficas
- Cartas geológicas
- Cartas de suelos
- Brújula
- GPS (marca Garmin)
- Flexómetro
- Cinta métrica de 30 m
- Cuerdas de 17.84 m
- Machete
- Lápices grasos
- Hojas de registro
- Tabla de apoyo
- Calculadora de bolsillo
- Computadora para procesar datos

4.3.2. Diseño de muestreo

El diseño de muestro implica definir el método de muestreo, tamaño de muestra y el tamaño y forma de los sitios. En este caso se aplicó el método de muestreo

estratificado al azar donde cada rodal es considerado como un estrato. El tamaño de muestra designado fue de 91 sitios circulares de 0.1 ha de superficie cada uno.

El INIFAP, recomienda determinar un tamaño de muestra que sea estadísticamente suficientemente representativo, basado en la variabilidad del rodal de aprovechamiento y el nivel de confianza y precisión deseada. Este criterio se utiliza como base para definir el tamaño de muestra.

En función de lo anterior, se aplicó el método de muestreo estratificado al azar con designación proporcional, determinando el número de sitios de muestreo en proporción al área de cada rodal. Una vez definida la cantidad de puntos a evaluar, su ubicación se realizó en gabinete utilizando una tabla de números aleatorios para asignar coordenadas específicas. Estas coordenadas fueron capturadas en un dispositivo GPS y registradas bajo el sistema de coordenadas UTM, con Datum WGS84. Finalmente, los puntos fueron localizados en campo mediante el uso del equipo, asegurando precisión en el posicionamiento de cada unidad de muestreo.

Para fines del estudio, se muestrearon 91 sitios, equivalentes a 9.1 ha, lo que representa una intensidad de muestreo del 0.31%. Las coordenadas de los sitios de muestreo se presentan en la Tabla 1 y en la Figura 2. Los sitios de muestreo corresponden a parcelas de 0.1 ha en forma circular. Finalmente, se levantaron los datos correspondientes para cada una de las colonias de yuca presentes en el área.

Tabla 1. Coordenadas de los sitios de muestreo para los rodales (coordenadas UTM).

Coordenadas (UTM)					
Vértice	X	Y	Vértice	X	Y
0	650358	3400097	46	657538	3396982
1	650390	3399430	47	653797	3396834
2	650320	3398877	48	654412	3396903
3	650572	3398135	49	655097	3397154
4	651124	3399524	50	654542	3396080
5	650939	3400130	51	654655	3395750
6	650949	3397696	52	654941	3396322
7	652269	3399494	53	657306	3397456
8	651260	3398381	54	655374	3395109
9	650948	3398839	55	656739	3397707
10	651611	3399051	56	655521	3394927

Tabla 1 (Continuación)

11	651697	3399604	57	655151	3395786
12	651552	3400139	58	655391	3395482
13	652049	3400197	59	655981	3395213
14	651538	3398011	60	656639	3395309
15	652175	3398485	61	657447	3394478
16	652228	3398987	62	657943	3394914
17	653317	3399165	63	657081	3395031
18	653475	3398428	64	657107	3395283
19	652671	3398183	65	657454	3394754
20	655027	3396816	66	654847	3399413
21	652141	3397785	67	654572	3399585
22	652750	3397566	68	655298	3399557
23	653257	3397911	69	655826	3399188
24	652812	3399092	70	656243	3399321
25	653753	3397447	71	656190	3398869
26	654380	3398363	72	656255	3399185
27	653078	3396695	73	655855	3399502
28	653969	3397994	74	657460	3399314
29	655169	3398777	75	656934	3399557
30	654557	3397891	76	655902	3398572
31	655156	3398179	77	656646	3398719
32	656562	3398609	78	657064	3398748
33	655264	3397610	79	657204	3399204
34	653169	3400478	80	655818	3398088
35	653684	3400545	81	657473	3398014
36	653479	3400192	82	656962	3398088
37	652668	3400294	83	656134	3397735
38	652795	3399741	84	656451	3398144
39	653880	3399871	85	656981	3397177
40	654314	3400115	86	656840	3395326
41	653234	3399590	87	655460	3395754
42	653268	3397076	88	656232	3395447
43	654092	3397120	89	657702	3394740
44	654707	3397258	90	655036	3395456
45	656199	3397205			

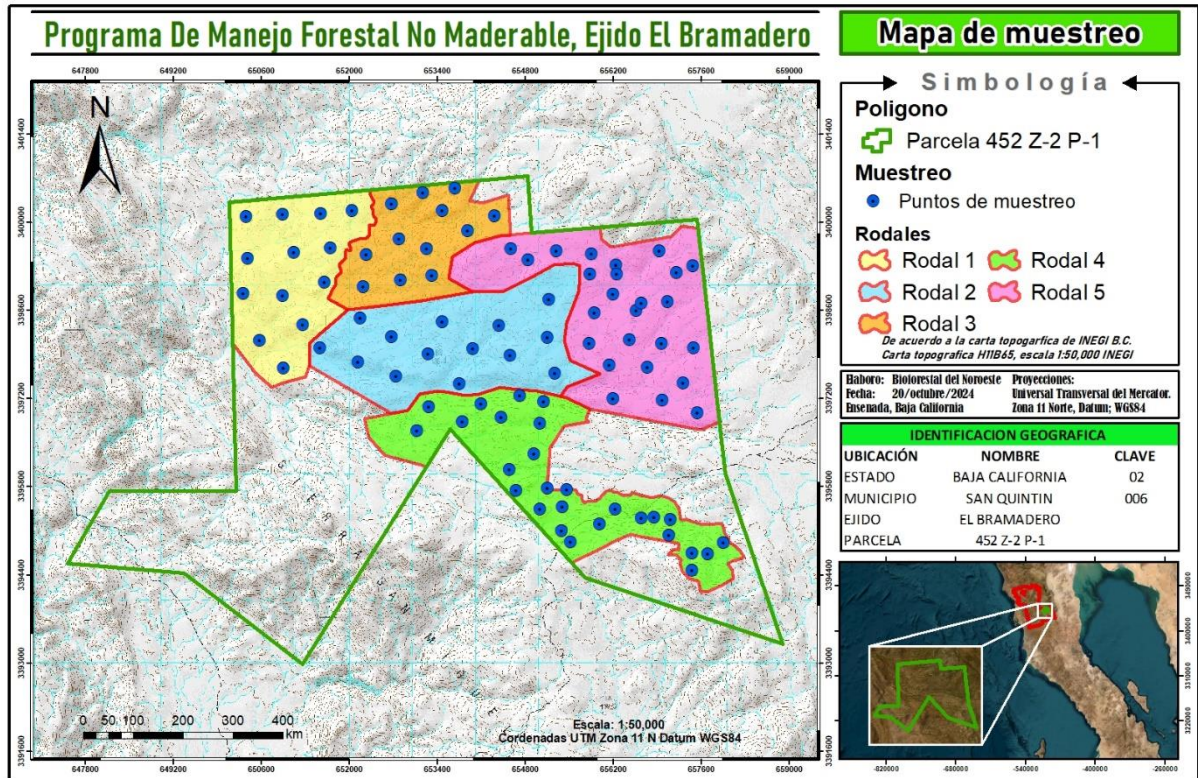


Figura 2. Sitios de muestreo en los rodales de aprovechamiento

4.4. Rodalización

La rodalización es un proceso esencial dentro del manejo forestal que debe de considerar criterios técnicos y operativos que aseguren una división lógica y funcional del terreno

Para la rodalización se consideraron:

Factores físicos y geográficos

Topografía: pendiente, orientación y altitud, caminos, limites naturales como montañas, riscos, arroyos,

Factores biológicos

Tipo de vegetación, cobertura y densidad.

Criterios técnicos y de manejo

Historial del lugar: verificar si han existido aprovechamientos anteriores, plagas e incendios

Para este trabajo se delimitaron cinco rodales de aprovechamiento, ubicados en la porción central del polígono de la parcela, (Figura 3). El acceso al predio se realizó por brechas de saca que se planea abrir. Los rodales están situados a 1.5 km del camino real, separado por una colina descubierta de vegetación. Las superficies de los rodales son las siguientes: el rodal de aprovechamiento 1 tiene 490.692 ha, el rodal 2 cuenta con 644.473 ha, el rodal 3 abarca 364.333 ha, el rodal 4 posee 607.492 ha y el rodal 5 tiene una superficie de 759.415 ha.

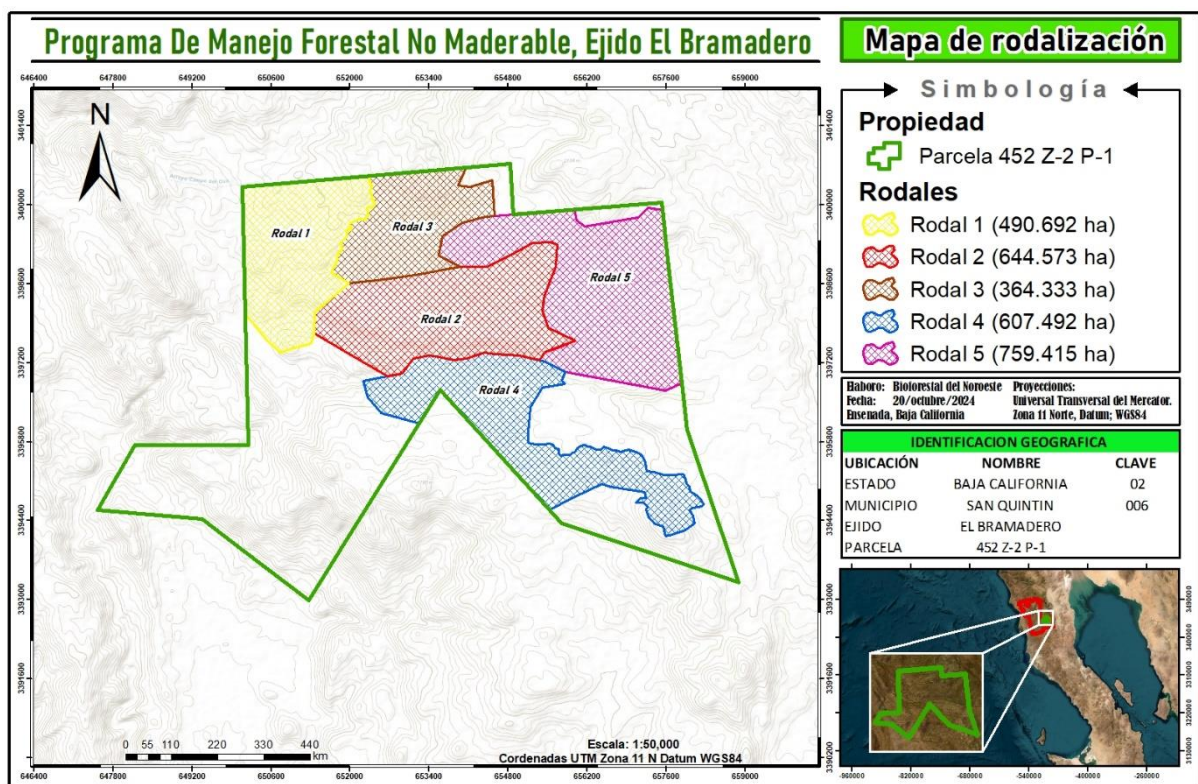


Figura 3. Rodales de aprovechamiento presentes en el programa de manejo forestal no maderable

4.5. Registro de la información

Para registrar la información obtenida en campo, se utilizó el formato que se muestra en el Anexo 4. En cada punto de muestreo, se registró la siguiente información:

4.5.1. Información General:

Nombre del predio, municipio, no. de sitio, coordenadas, rodal, % pendiente, % de cobertura, exposición, especie, fauna y especies asociadas, así como cualquier otra observación que se presente.

4.5.2. Información Dasométrica:

Número de colonia, número de individuos, diámetro, altura total, altura del fuste, altura de fuste limpio, número de renuevos, hijuelos y número de individuos muertos.

4.5.3. Fauna presente en el sitio

La presencia de fauna se determinó mediante:

Observación directa: (Avistamiento de animales en el sitio), observación indirecta: (evidencias como excretas, huellas, nidos, refugios) y antecedentes de la zona: (Información obtenida de bibliografía, informes previos o experiencia local)

4.5.4. Metodología para el levantamiento de información

El proceso para inventariar el recurso forestal se describe a continuación:

1. Establecimiento del sitio de muestreo
 - Se delimitaron sitios de 1,000 m² (17.84 m de radio) en el área de estudio.
2. Medición de individuos de *Yucca*
 - Se midió el diámetro de cada individuo a una altura de 1.30 cm desde el nivel del suelo, utilizando una cinta métrica.
 - Altura total: Se determinó la altura total de cada árbol, desde la base hasta el ápice más alto.
 - Altura de fuste limpio: Se midió la altura del tronco desde la base hasta donde comienzan las rosetas u hojas de la planta.
3. Características del sitio

- Especie a medir: Se identificaron las colonias de *Yucca* las cuáles fueron los principales objetos de medición en el sitio.
- Especies asociadas: Se listaron las especies de vegetación presentes en la parcela, identificando aquellas que se encuentran asociadas a la especie principal.
- Pendiente: Se midió la pendiente del terreno utilizando un clinómetro para determinar el ángulo de inclinación.
- Textura del suelo: Se realizó una descripción cualitativa de la textura del suelo (arenoso, limoso, arcilloso, etc.).
- Cobertura: Se estimó el porcentaje de cobertura vegetal aérea, observando la proyección de la vegetación arbustiva sobre el suelo.

4. Fauna asociada

- Presencia de especies de fauna: Se registró la presencia de cualquier especie de fauna observada en la parcela, como mamíferos, aves o insectos, junto con posibles indicios de su actividad (huellas, nidos, etc.). para conocer la biodiversidad del área.

4.5.5. Elaboración de planos

Se utilizó ArcMap 10.8 para la generación de planos georreferenciados, integrando coordenadas GPS y cartas topográficas del INEGI. El procedimiento incluyó:

- Georreferenciación: Se utilizó la carta topográfica H11B65 (escala 1:50,000) con coordenadas UTM (Zona 11 N, datum WGS84).
- Carga de coordenadas: Se importó una tabla CSV con campos X-Y, y se proyectó como capa de eventos XY, asignando el sistema de referencia correspondiente.
- Digitalización: Se creó un shapefile para delimitar el polígono de estudio, trazando sobre la carta georreferenciada y asignando atributos espaciales.

- Diseño cartográfico: En Layout View se integraron escala, norte, leyenda, etc. El plano se exportó en formato JPG para agregarlos en los anexos técnicos.

4.6. Procesamiento de información

4.6.1. Cálculo del peso de los fustes de Yucca

La estimación de volúmenes se realizó en Excel, aplicando la tabla de estimación de pesos publicada por el INIFAP en su folleto técnico No. 8 (Sepúlveda, 1994) para la especie *Yucca schidigera*, la cual se basa en una ecuación de regresión que considera las variables de altura y diámetro del fuste.

Finalmente, se calcularon las existencias reales totales en los rangos comprendidos entre 0.10 y 3.50 m de altura. Posteriormente se calculó el 50% de las existencias totales aprovechables, así como la posibilidad total.

El modelo de predicción de los pesos utilizados es el siguiente:

$$Peso\ kg = 18.6461 - 0.03073(alf) - 3.16939(df) + 0.00064(alf)^2 + 0.162988(df)^2$$

Dónde: alf= altura del fuste (cm)

 df= diámetro del fuste (cm)

El proceso y análisis de la información recabada en campo permitió identificar las características de la ha tipo por rodal, para lo cual se consideró lo siguiente;

- Se eligió una zona con condiciones similares de suelo, pendiente, altitud y vegetación.
- Se evitaron las áreas alteradas: zonas con caminos, incendios, pastoreo reciente.
- Se aseguró que la especie esté distribuida de forma representativa.
- Se delimitaron sitios de muestreo de 0.1 ha (1000 m²) para facilitar el muestreo.

Al integrar esta información con los criterios de manejo establecidos y las superficies correspondientes, se procedió al cálculo de la posibilidad total del predio, teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

4.6.2. Cálculo de existencias reales

La estimación de las existencias reales se realizó a partir de una base de datos elaborada en Excel, la cual integra las variables obtenidas (altura de fuste total, altura de fuste limpio y diámetro) durante el inventario de campo.

Posteriormente, estos datos fueron procesados mediante la aplicación de ecuaciones alométricas publicadas por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) en su folleto técnico No. 8 (Sepúlveda, 1994), con el objetivo de calcular el volumen de cada individuo registrado.

A partir de este análisis, se obtienen dos categorías volumétricas:

- Volumen maduro o aprovechable
- Volumen no aprovechable

La clasificación entre ambas categorías se determina aplicando la regla propuesta por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), la cual establece que una planta se considera aprovechable si presenta al menos 80 % de fuste limpio y un máximo de 20 % de rosetas u hojas.

En cada rodal, se realiza un conteo total de ejemplares aprovechables y no aprovechables, los cuales se clasifican en tres estratos de superficie (rodal, sitio y ha) y seis rangos de altura, que van desde los 10 cm hasta los 400 cm. Esta doble estratificación por área y por altura permite caracterizar la estructura poblacional de la especie, facilitando el análisis de su distribución morfológica y el estado de desarrollo de los individuos.

Cada rango incluye las variables de volumen (Vol) y número de individuos (Ind) que deben ser capturadas en la siguiente tabla de resumen de rodal (Anexo 2);

- Para la primera clasificación respecto a superficie que es a nivel rodal, se contabilizaron todos los individuos presentes en cada categoría de altura y la sumatoria generó las existencias reales totales (ERT) de volumen (Vol) e individuos (Ind) dentro del rodal.

$$\sum vol = ERT/vol$$

$$\sum ind = ERT/ind$$

- Para la segunda clasificación por sitio, se utilizó el número de individuos y el volumen arrojado por rodal, este se divide entre el número de sitios (n) realizados dentro del mismo, para con ello obtener las sumatoria de las existencias reales por sitio.

$$Vol/Rodal \times n = ERT Vol/sitio$$

$$Ind/Rodal \times n = ERT Ind/sitio$$

- Finalmente, para la última clasificación, que corresponde a hectáreas (ha) se utilizó el número de individuos y el volumen arrojado por sitio (n), este se multiplica por 10 que es el factor de conversión para ha, con ello se obtienen las sumatoria de las existencias reales por ha.

$$Vol/sitio \times 10 = ERT Vol/ha$$

$$Ind/sitio \times 10 = ERT Ind/ha$$

Una vez realizado lo anterior se suman las columnas de Volumen (Vol) e Individuos (Ind) de cada clasificación y se obtiene las existencias reales totales por rodal, sitio y ha.

4.6.2.1. Cálculo de las existencias reales aprovechables

Para determinar las existencias reales en cada rodal, se emplearon dos indicadores clave:

- Existencias Reales Totales por hectárea (ERT/ha)

- Existencias Reales Aprovechables por hectárea (ERT aprovechables/ha)

Estos indicadores permiten calcular el porcentaje de individuos que representan las existencias reales aprovechables dentro de cada rodal, lo cual se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$(ERT \text{ aprovechables/ha} \times 100) \div ERT/ha$$

Una vez obtenidos los porcentajes de existencias reales aprovechables en cada rodal, se procedió a realizar la sumatoria del volumen aprovechable correspondiente a los cinco rodales evaluados.

Al total obtenido se le aplica un factor de 50 %, el cual representa la posibilidad de aprovechamiento. Este porcentaje se establece con base en criterios técnicos de sostenibilidad y conservación, y su aplicación permite estimar el volumen de cosecha final.

Este valor representa el volumen que puede ser extraído de manera responsable, conforme a los lineamientos establecidos por SEMARNAT y los principios de manejo sustentable.

4.6.2.2. Comparación entre existencias residuales y posibilidad

Se realizó una comparación entre el volumen residual y la posibilidad total. Para realizar dicha comparación se clasifican todos los individuos presentes en las ERT/ha de cada uno de los cinco rodales en rangos de altura que van de los 0 cm a 400 cm (Anexo 3).

La clasificación por rangos de altura permitió distinguir dos grupos dentro de la población evaluada:

- Individuos jóvenes: Se consideran aquellos con una altura entre 0 y 50 cm.
- Individuos adultos: Corresponden a aquellos con alturas entre 51 y 400 cm.

Este análisis permite interpretar la dinámica poblacional de la especie, evaluando aspectos clave como:

- La capacidad de regeneración natural, observando la proporción entre individuos jóvenes y adultos
- La estructura poblacional, identificando si predominan los ejemplares adultos o juveniles
- La efectividad de tratamientos silvícolas previos, valorando si han favorecido una distribución equilibrada y funcional
- La viabilidad del aprovechamiento actual, considerando si este asegura la sostenibilidad del recurso a largo plazo

Con ello, se entiende que el proceso de estratificación, estimación de existencias reales, cálculo de posibilidad y volumen de cosecha no solo cumple una función técnica, sino que también proporciona evidencia para validar la sustentabilidad del manejo forestal aplicado.

- Saber que el mayor porcentaje pertenece a individuos jóvenes indica que hay regeneración natural activa, lo cual es positivo para la sostenibilidad.
- El un porcentaje entre 20 y 30 de adultos muestra el potencial inmediato de aprovechamiento, ya que los adultos suelen tener mayor volumen comercial.
- Ayuda a justificar que el aprovechamiento no pone en riesgo la permanencia del recurso.
- Permite definir si se debe hacer un aprovechamiento selectivo, una pausa en el corte, o fomentar más regeneración.
- También orienta la planeación de cortas futuras y la rotación de áreas.

5. RESULTADOS

5.1. Estructura de la población

Con base en la información obtenida en campo, y como resultado del procesamiento de los datos, la estructura de la población promedio por hectárea presenta un mayor porcentaje los individuos jóvenes menores a 19 cm (46.7%); de los cuales 21.5% corresponden a renuevos y el restante 25.2% a hijuelos, posteriormente se refleja en las categorías de 20 a 50 cm y 51-100 cm con porcentajes de 11.4% y 11.6%; respectivamente los porcentajes bajos son de las categorías que van desde los 101 a los 400 cm, presentan un porcentaje de 19.6%. Con lo anterior se puede concluir que la estructura de la población está representada principalmente por individuos jóvenes menores de los 50 cm; (58.1%) distribuidos en las diferentes categorías de clases de altura y adultos mayores de 51 cm; (31.2%). Cabe resaltar que el restante 10.7% corresponde a individuos muertos (Tabla 4 y Figura 4).

Tabla 2. Estructura de la población de los individuos de *Yucca* en el área de aprovechamiento.

Total		
Rangos (cm)	Número de individuos	Porcentajes
0 -10	733.00	21.5
11-19 <	858.00	25.2
20 - 50	390.02	11.4
51 - 100	395.49	11.6
101-150	363.32	10.7
151-200	196.81	5.8
201-250	80.36	2.4
251-300	21.79	0.6
301-350	4.54	0.1
351-400	0.50	0.0
Muertos	365.00	10.7
Tocones	0.00	0.0

La tasa de aprovechamiento va dirigida al 50% de los individuos obtenidos del cálculo de las existencias reales de individuos aprovechables, respetando el 50% de las existencias reales que se queda como volumen residual, con ello se garantiza la regeneración y conservación de la especie en toda el área que se intervenga.

El análisis determinó que el 20.22% de los individuos son potencialmente aprovechables, aunque solo el 50% de ellos (10.11% del total) cumple con las condiciones óptimas para su extracción. El 79.19% corresponde a volumen residual, es decir, individuos que permanecerán en pie tras las cortas por razones ecológicas o técnicas. Finalmente, el 10.7% de la población está conformado por individuos muertos, sin valor productivo pero relevantes en el contexto ecológico del rodal.

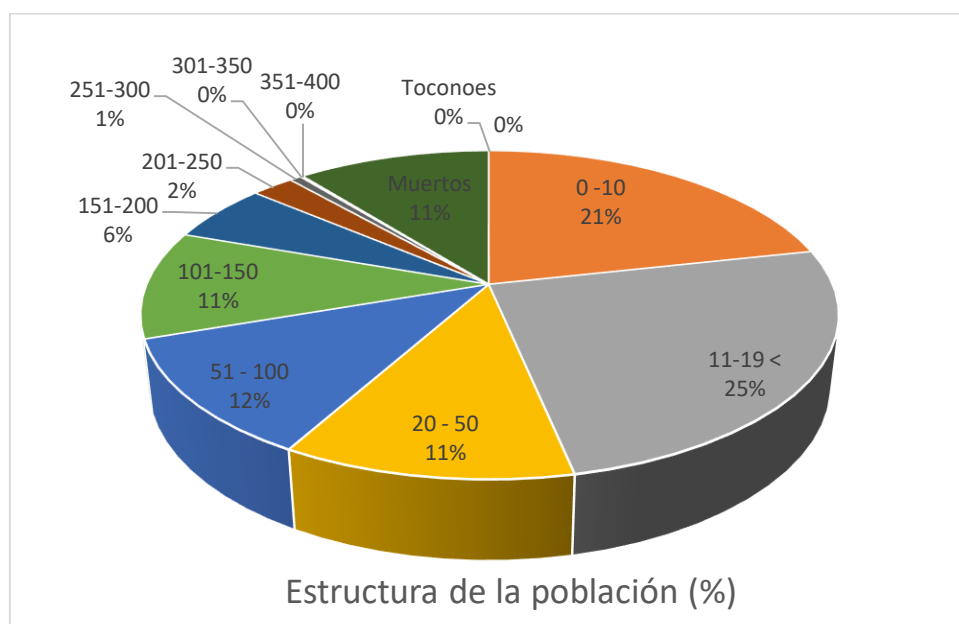


Figura 4. Estructura de la población promedio por hectárea

5.2. Existencias reales

Para determinar las existencias reales totales y establecer el volumen de aprovechamiento o la posibilidad de corta, se realizó un análisis detallado de la estructura poblacional de la especie de interés. Esto implicó identificar la densidad de individuos por ha, clasificados según categorías de altura y de diámetro (Tabla 5).

Tabla 3. Distribución promedio por categoría de altura y diámetro promedio de los rodales.

Distribución por categoría de alturas y diámetro promedio por rodal						
Categoría diamétrica (cm)	No. Individuos	Alt. total, promedio (cm)	Alt. Promedio del fuste limpio (cm)	Diámetro Promedio (cm)	No. de Hijuelos	Alt. total promedio de los Hijuelos (cm)
5	94	30.8	11.9	6.9	867	50
10	565	59.9	38.2	9.7		
15	437	130.5	107.8	14.8		
20	195	190.9	166.6	19.2		
25	12	253.08	229	25.2		

En la tabla 6 se muestra la representación de los individuos por su condición de edad en promedio de los rodales muestreados.

Tabla 4. Representación por su condición de edad promedio de los organismos por categoría de diámetro del promedio de los rodales.

Representación por su condición de edad		
Organismos juveniles	43.62	%
Organismos maduros	50.76	%
Organismos seniles	5.61	%
Edad promedio de los individuos juveniles	15.58	Años
Edad promedio de los individuos maduros	67.02	Años
Edad promedio de los individuos seniles	123.88	Años
No. Total .de individuos factibles de aprovechamiento	85	Ind
Tasa de regeneración de las especies de aprovechamiento	20.2	%

En las Tablas de la 7 a la 11 se presenta la información de las existencias reales totales (ERT), las no aprovechables y aprovechables tomando en cuenta la altura de los individuos por rodal.

Finalmente, en la Tabla 12 se muestran los datos de la posibilidad en los rodales de aprovechamiento.

Tabla 5. Estructura de la población, existencias reales y aprovechables del rodal 1 (490.692 ha).

RANGOS (CM)	ERT/HA			ERT NO APROVECHABLES/HA			ERT APROVECHABLES/HA			50% APROVECHABLE	
	NO. DE IND.	PESO EN KGS	PESO EN TONELADAS	NO. DE IND.	PESO EN KGS	Peso TONELADAS	NO. DE INDIVIDUOS	VOLUMEN EN KGS	PESO TONELADAS	NO. DE INDIVIDUOS	PESO EN TONELADAS
0-10 Renue	171			171							
11-19 Hlijuelos	173			173							
20 - 50	61	204.0000	0.2040	56	183.5000	0.1835	5	20.500	0.021	3	0.0103
51 - 100	89	615.9375	0.6159	54	332.8125	0.3328	35	283.125	0.283	18	0.1416
101-150	59	1007.6875	1.0077	4	65.9375	0.0659	55	941.750	0.942	28	0.4709
151-200	41	1248.5000	1.2485	1	22.9375	0.0229	41	1225.563	1.226	20	0.6128
201-250	18	776.4375	0.7764	1	25.0000	0.0250	17	751.438	0.751	8	0.3757
251-300	8	460.4375	0.4604	0	0.0000	0.0000	8	460.438	0.460	4	0.2302
301-350	2	163.7500	0.1638	0	0.0000	0.0000	2	163.750	0.164	1	0.0819
351-400	0	0.0000	0.0000	0	0.0000	0.0000	0	0.000	0.000	0	0.0000
Muertos	110	0.0000	0.0000	110.0	0.0000	0.0000	0.0	0.000	0.000	0	0.0000
Tocones	0	0.0000	0.0000	0.0	0.0000	0.0000	0.0	0.000	0.000	0	0.0000
TOTAL	732.8	4476.7500	4.4768	570	630.1875	0.6302	163	3846.563	3.8466	81	1.9233

Tabla 6. Estructura de la población, existencias reales y aprovechables del rodal 2 (644. 573 ha).

RANGOS (CM)	ERT/HA			ERT NO APROVECHABLES/HA			ERT APROVECHABLES/HA			50% APROVECHABLE	
	NO. DE IND.	PESO EN KGS	PESO EN TONELADAS	NO. DE IND.	VOLUMEN EN KGS	NO. DE IND.	PESO EN KGS	PESO EN TONELADAS	NO. DE IND.	NO. DE INDIVIDUOS	NO. DE IND.
0-10 Renue	48			48							
11-19 Hijuelos	96			96							
20 - 50	74	244.7500	0.2448	74	244.7500	0.2448	0	0.000	0.000	0	0.0000
51 - 100	61	396.7500	0.3968	53	352.8125	0.3528	9	43.938	0.044	4	0.0220
101-150	106	966.2500	0.9663	78	516.0000	0.5160	28	450.250	0.450	14	0.2251
151-200	29	837.1875	0.8372	1	35.1250	0.0351	28	802.063	0.802	14	0.4010
201-250	3	124.6250	0.1246	0	0.0000	0.0000	3	124.625	0.125	2	0.0623
251-300	3	171.1875	0.1712	0	0.0000	0.0000	3	171.188	0.171	1	0.0856
301-350	0	0.0000	0.0000	0	0.0000	0.0000	0	0.000	0.000	0	0.0000
351-400	0	0.0000	0.0000	0	0.0000	0.0000	0	0.000	0.000	0	0.0000
Muertos	23	0.0000	0.0000	23.0	0.0000	0.0000	0.0	0.000	0.000	0	0.0000
Tocones	0	0.0000	0.0000	0.0	0.0000	0.0000	0.0	0.000	0.000	0	0.0000
TOTAL	443.3	2740.7500	2.7408	373	1148.6875	1.1487	71	1592.063	1.5921	35	0.7960

Tabla 7. Estructura de la población, existencias reales y aprovechables del rodal 3 (364.333 ha).

RANGOS (CM)	ERT/HA			ERT NO APROVECHABLES/HA			ERT APROVECHABLES/HA			50% APROVECHABLE	
	NO. DE IND.	PESO EN KGS	PESO EN TONELADAS	NO. DE IND.	VOLUMEN EN KGS	NO. DE IND.	PESO EN KGS	PESO EN TONELADAS	NO. DE IND.	NO. DE INDIVIDUOS	VOL. EN TONELADAS
0-10 Renue	184			184							
11-19 Hijuelos	198			198							
20 - 50	75	242.1667	0.2422	73	233.8333	0.2338	3	8.333	0.008	1	0.0042
51 - 100	83	666.9167	0.6669	53	390.8333	0.3908	29	276.083	0.276	15	0.1380
101-150	75	1229.8333	1.2298	13	215.7500	0.2158	62	1014.083	1.014	31	0.5070
151-200	49	1424.7500	1.4248	0	0.0000	0.0000	49	1424.750	1.425	25	0.7124
201-250	12	526.6667	0.5267	0	0.0000	0.0000	12	526.667	0.527	6	0.2633
251-300	4	210.9167	0.2109	0	0.0000	0.0000	4	210.917	0.211	2	0.1055
301-350	2	123.2500	0.1233	0	0.0000	0.0000	2	123.250	0.123	1	0.0616
351-400	0	0.0000	0.0000	0	0.0000	0.0000	0	0.000	0.000	0	0.0000
Muertos	72	0.0000	0.0000	72.0	0.0000	0.0000	0.0	0.000	0.000	0	0.0000
Tocones	0	0.0000	0.0000	0.0	0.0000	0.0000	0.0	0.000	0.000	0	0.0000
TOTAL	753.2	4424.5000	4.4245	593	840.4167	0.8404	160	3584.083	3.5841	80	1.7920

Tabla 8. Estructura de la población, existencias reales y aprovechables del rodal 4 (607.492 ha).

RANGOS (CM)	ERT/HA			ERT NO APROVECHABLES/HA			ERT APROVECHABLES/HA			50% APROVECHABLE	
	NO. DE IND.	PESO EN KGS	PESO EN TONELADAS	NO. DE IND.	VOLUMEN EN KGS	NO. DE IND.	PESO EN KGS	PESO EN TONELADAS	NO. DE IND.	NO. DE INDIVIDUOS	NO. DE IND.
0-10 Renue	167			167							
11-19 Hijuelos	229			229							
20 - 50	127	454.9130	0.4549	127	454.9130	0.4549	0	0.000	0.000	0	0.0000
51 - 100	81	520.7826	0.5208	54	332.9565	0.3330	27	187.826	0.188	13	0.0939
101-150	69	969.6522	0.9697	13	149.3913	0.1494	56	820.261	0.820	28	0.4101
151-200	37	862.6957	0.8627	0	0.0000	0.0000	37	862.696	0.863	18	0.4313
201-250	30	1340.1304	1.3401	0	0.0000	0.0000	30	1340.130	1.340	15	0.6701
251-300	0	0.0000	0.0000	0	0.0000	0.0000	0	0.000	0.000	0	0.0000
301-350	0	0.0000	0.0000	0	0.0000	0.0000	0	0.000	0.000	0	0.0000
351-400	0	0.0000	0.0000	0	0.0000	0.0000	0	0.000	0.000	0	0.0000
Muertos	99	0.0000	0.0000	99.0	0.0000	0.0000	0.0	0.000	0.000	0	0.0000
Tocones	0	0.0000	0.0000	0.0	0.0000	0.0000	0.0	0.000	0.000	0	0.0000
TOTAL	837.2	4148.1739	4.1482	688	937.2609	0.9373	149	3210.913	3.2109	74	1.6055

Tabla 9. Estructura de la población, existencias reales y aprovechables del rodal 5 (759.415 ha).

RANGOS (CM)	ERT/HA			ERT NO APROVECHABLES/HA			ERT APROVECHABLES/HA			50% APROVECHABLE	
	NO. DE IND.	PESO EN KGS	PESO EN TONELADAS	NO. DE IND.	VOLUMEN EN KGS	NO. DE IND.	PESO EN KGS	PESO EN TONELADAS	NO. DE IND.	NO. DE INDIVIDUOS	NO. DE IND.
0-10 Renue	165			165							
11-19 Hijuelos	162			162							
20 - 50	54	180.0500	0.1801	49	161.7500	0.1618	5	18.300	0.018	2	0.0092
51 - 100	82	556.4500	0.5565	48	295.2000	0.2952	34	261.250	0.261	17	0.1306
101-150	54	911.2500	0.9113	4	52.7500	0.0528	51	858.500	0.859	25	0.4293
151-200	41	1219.0000	1.2190	1	18.3500	0.0184	40	1200.650	1.201	20	0.6003
201-250	19	818.8000	0.8188	1	40.0000	0.0400	18	778.800	0.779	9	0.3894
251-300	7	403.2000	0.4032	0	0.0000	0.0000	7	403.200	0.403	4	0.2016
301-350	1	73.9500	0.0740	0	0.0000	0.0000	1	73.950	0.074	1	0.0370
351-400	1	57.0500	0.0571	0	0.0000	0.0000	1	57.050	0.057	0	0.0285
Muertos	61	0.0000	0.0000	61.0	0.0000	0.0000	0.0	0.000	0.000	0	0.0000
Tocones	0	0.0000	0.0000	0.0	0.0000	0.0000	0.0	0.000	0.000	0	0.0000
TOTAL	644.5	4219.7500	4.2198	490	568.0500	0.5681	155	3651.700	3.6517	77	1.8259

Tabla 10. Posibilidad de aprovechamiento.

Nombre del rodal	Ert	Existencias toneladas/hectárea			Superficie hectáreas	Posibilidad total toneladas	Peso residual toneladas	Existencias reales totales
		No aprovechables	Aprovechables	Aprovechables 50%				
Rodal I	4.477	0.630	3.847	1.923	490.690	943.73	1252.962	2196.696
Rodal II	2.741	1.149	1.592	0.796	644.573	515.66	1256.071	1766.613
Rodal III	4.425	0.840	3.584	1.792	364.333	652.16	958.348	1611.991
Rodal IV	4.148	0.937	3.211	1.605	607.492	978.06	1547.441	2519.982
Rodal V	4.220	0.568	3.652	1.826	759.415	1389.73	1821.115	3204.541
Suma					2866.503	4479.34	6835.936	11299.825

5.3. Cantidad por aprovechar

El presente programa contempla el aprovechamiento de 4,479.34 toneladas de fustes de yuca en cinco anualidades.

El programa contempla cinco rodales de aprovechamiento los cuales proyectan las cantidades descritas en la tabla siguiente, esto se aprovecharán en cinco anualidades (Tabla 13).

Tabla 11. Cantidades de aprovechamiento para las anualidades propuestas.

Tabla 22. Caudales de aprovechamiento para las unidades propuestas.					
Rodal	Nombre del predio	Especie	Aprovechables 50 %	Superficie (ha)	Cantidad (ton)
I	Parcela 452 Z-2 P-1 del Ejido Bramadero	<i>Yucca schidigera</i>	1.923	490.690	943.73
II			0.796	644.573	515.66
III			1.792	364.333	652.16
IV			1.605	607.492	978.06
V			1.826	759.415	1389.73
Total				2866.503	4479.34

5.4. Calendario de aprovechamiento

En la Tabla 14 se presenta el programa de corta propuesto en cinco anualidades, para darle oportunidad al propietario de la parcela de planear las actividades o el plan de acción de tal manera de no apresurar los compromisos que se adquieran, o en su momento los que indique la secretaria, así como los mismos que se especifican en el presente documento.

Tabla 12. Programa del plan de corta en los rodales propuestos parcela 452 Z-2 P-1 Ejido El Bramadero.

Plan de corta							
Anualidad	Fecha de inicio	Rodal	Nombre del predio	Especie(s) (nombre científico)	Aprovechables 50 %	Superficie (ha)	Cantidad (ton)
I	09 junio 2025 - 08 de junio 2026	I	Ejido Bramadero, parcela 452 Z-2 P-1	Yucca schidigera	1.92	490.69	943.74
II	09 junio 2026- 08 de junio 2027	II			0.80	644.57	515.66
III	09 junio 2027 - 08 de junio 2028	III			1.79	364.33	652.16
IV	09 junio 2028 - 08 de junio 2029	V			1.83	759.42	1,389.73
V	09 junio 2029 - 09 de junio 2030	IV			1.61	607.49	978.06
Total					7.95	2866.51	4479.34

5.5. Vigencia del programa de manejo forestal simplificado

En el Artículo 77 del Reglamento de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (LGDFS) menciona que “Los avisos y autorizaciones de aprovechamientos de recursos forestales no maderables tendrán una vigencia máxima de cinco años”; mientras que en la NOM-005SEMARNAT-1997 que establece los procedimientos, criterios y especificaciones para realizar el aprovechamiento, transporte y almacenamiento de corteza, tallos y plantas completas de vegetación forestal, menciona en el punto III del apartado 4.1.4 (referente a el aprovechamiento de *Yucca* spp.) que el Estudio técnico justificativo, cuya vigencia máxima será de cinco años; con este antecedente y partiendo de los datos arrojados en los muestreos realizados en el ejido, el presente programa de manejo forestal no-maderable tendrá una vigencia de cinco años a partir de la fecha de autorización, tiempo suficiente para realizar el aprovechamiento y cumplir con lo solicitado con la autoridad competente.

6. DISCUSIÓN

La evaluación de *Yucca schidigera* en contextos de manejo sustentable exige una consideración integral de sus características biológicas y de las condiciones biofísicas del sitio. Investigaciones como las de Castellón-Olivares (2003) y López-Serrano et al. (2021) evidencian una marcada variabilidad morfológica entre las poblaciones de esta especie, lo que ha permitido distinguir al menos cuatro ecotipos con diferencias relevantes en términos de productividad de biomasa, densidad de colonias y capacidad de regeneración. En el Ejido El Bramadero, ubicado en una zona de transición entre matorral desértico y chaparral, predomina el ecotipo intermontano, el cual se caracteriza por una productividad moderada y condiciones ambientales que favorecen un aprovechamiento forestal sostenible.

Los resultados obtenidos en el presente estudio evidencian una alta representatividad de individuos jóvenes de *Yucca schidigera* (58.1%) en el área de estudio, lo que sugiere un buen potencial de regeneración natural en la parcela 452 del Ejido El Bramadero. Este hallazgo concuerda con lo reportado por López-Serrano et al. (2021), quienes observaron que la regeneración de la especie puede mantenerse en condiciones adecuadas siempre que se respete la densidad mínima de individuos reproductores.

El análisis de la estructura de la población mostró que el 31.2% de los individuos son adultos, lo cual representa un grupo potencialmente aprovechable desde el punto de vista silvícola. Sin embargo, tal como advierte Castellón-Olivares (2003), es necesario tener precaución al momento de realizar la corta, ya que la talla de madurez reproductiva coincide con la talla de aprovechamiento. Por tanto, la estrategia planteada en esta tesis de aprovechar únicamente el 50% de los individuos maduros resulta adecuada para no comprometer la viabilidad reproductiva de la especie.

En términos de volumen, se estimaron 4,479.34 toneladas aprovechables, distribuidas en cinco rodales con un plan de corta a cinco anualidades. Esta distribución

escalonada del aprovechamiento es coherente con la política forestal actual, que promueve el uso sustentable bajo esquemas de manejo técnico, normado por la NOM-005-SEMARNAT-1997. La implementación de rodales, y el cálculo de existencias reales y aprovechables, permite una planificación precisa que disminuye el riesgo de sobreexplotación.

Respecto a las existencias residuales, el 79.19% de los individuos se mantendrán en pie, lo que no solo favorece la conservación de la estructura poblacional, sino también de los servicios ecoistémicos asociados, como la protección del suelo y la captura de carbono. Este enfoque se alinea con lo propuesto por Briones et al. (2018), quienes destacan que los matorrales xerófilos, como el que habita esta especie, tienen un papel relevante en los ecosistemas áridos.

En conjunto, los resultados respaldan la viabilidad de un manejo forestal no maderable sustentable para *Yucca schidigera*, siempre que se mantenga el equilibrio entre aprovechamiento y conservación, se respeten los criterios técnicos establecidos y se asegure la participación de las comunidades ejidales en la toma de decisiones y en la implementación del programa.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

Se realizó el inventario forestal de *Yucca schidigera* en la superficie de 2,866.50 ha, logrando estimar su densidad y abundancia. Los resultados muestran variaciones entre rodales, con densidades que van de 443 a 837 plantas/ha, lo que evidencia la heterogeneidad espacial de la población y aporta información clave para su manejo.

El cálculo de la biomasa comercial permitió estimar existencias reales de 11,299.82 toneladas, de las cuales 4,479.34 toneladas corresponden a individuos aprovechables bajo una tasa de corta del 50%. Se mantiene un volumen residual de 6,835.94 toneladas, asegurando la conservación de la especie y su regeneración natural. Con ello se confirma que el objetivo de cuantificar biomasa e individuos aprovechables fue alcanzado satisfactoriamente.

El análisis de la estructura poblacional mostró que más del 58% de los individuos son jóvenes, lo que garantiza la capacidad de regeneración natural de la especie. Este resultado respalda la viabilidad de establecer tasas de extracción sustentables sin comprometer la permanencia de la población.

Con la información obtenida se diseñó una propuesta de manejo forestal no maderable sustentable para *Yucca schidigera*, que integra criterios ecológicos, normativos y productivos. Esta propuesta cumple con la NOM-005-SEMARNAT-1997 y con la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable, asegurando un aprovechamiento responsable y el fortalecimiento productivo de la comunidad ejidal.

En conclusión, la estimación de biomasa de *Yucca schidigera* en el Ejido El Bramadero no solo permite identificar su potencial productivo, sino también establecer las bases para un manejo forestal no maderable que equilibre los componentes ecológicos, sociales y económicos. Este enfoque integrado es esencial para garantizar la conservación de la especie y el bienestar de las comunidades que dependen de ella.

7.2. Recomendaciones

Mantener la tasa de corta propuesta del 50% de los individuos aprovechables, asegurando un volumen residual suficiente para conservar la estructura poblacional y favorecer la regeneración natural.

Implementar un programa de monitoreo periódico (cada 2–3 años) para evaluar cambios en densidad, biomasa y regeneración para detectar si hubo alteración positiva o negativa por el tratamiento de aprovechamiento aplicado, para ver si es necesario actualizar el método silvícola y con ello la NOM-005-SEMARNAT-1997.

Enfocar en la protección de individuos jóvenes, que aseguran la regeneración natural de las poblaciones de *Yucca*, garantizando la continuidad del ciclo reproductivo.

Es importante que los ejidatarios y personas involucradas en el aprovechamiento de *Yucca schidigera* reciban capacitaciones claras y accesibles sobre la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable y la NOM-005-SEMARNAT-1997. Conocer estas normas les permitirá aprovechar el recurso de manera legal, responsable y sustentable, evitando sanciones y asegurando la conservación de la especie.

Se recomienda incorporar el uso de drones en futuros inventarios y programas de manejo de *Yucca schidigera*. Esta herramienta permite obtener imágenes aéreas de alta resolución para estimar con mayor precisión la densidad, biomasa y regeneración de la especie. Además, facilita la elaboración de mapas claros y accesibles para los ejidatarios y técnicos, fortaleciendo la toma de decisiones y asegurando que el aprovechamiento se realice de manera sustentable y conforme a la normatividad forestal vigente.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agroexcelencia (23 de octubre de 2024). *Yucca schidigera*: una herramienta eficaz para regenerar tus cultivos. <https://agroexcelencia.com/yucca-schidigera-una-herramienta-eficaz-para-regenerar-tus-cultivos/>
- Adegbeye, M. J., Elghandour, M. M., Monroy, J. C., Abegunde, T. O., Salem, A. Z., Barbabosa-Pliego, A., & Faniyi, T. O. (2019). Potential influence of *Yucca* extract as feed additive on greenhouse gases emission for a cleaner livestock and aquaculture farming-A review. *Journal of Cleaner Production*, 239, 118074. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118074>
- Benítez Molina, G., y Ortiz Zamudio, L. B. (2022). Políticas públicas en el sector forestal de México por entidad federativa: Análisis y perspectivas. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 26(1), 220–234. <https://doi.org/10.53897/RevAIA.22.26.26>
- Briones, O., Búrquez, A., Martínez-Yrizar, A., Pavón, N., y Perroni, Y. (2018). Biomasa y productividad en las zonas áridas mexicanas. *Madera y Bosques*, 24, 1–19. <https://doi.org/10.21829/myb.2018.2401898>
- Biodiversidad Mexicana, (27 de agosto de 2023) México megadiverso. <https://www.biodiversidad.gob.mx/pais/quees>
- Cabrera-Verdesoto, C. A., Arellano-Reinoso, K. G., y Ureta-Leones, D. A. (2024). Uso de inteligencia artificial para la identificación de especies forestales a través de imágenes satelitales. *Multidisciplinary Collaborative Journal*, 2 (1), 26-38. <https://doi.org/10.70881/mcj/v2/n1/29>
- Cano Martagón, N. (2018) Mejores prácticas de manejo para las principales especies forestales no maderables de importancia económica en los ecosistemas áridos y semiáridos de Coahuila, México. [Tesis de maestría, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/handle/123456789/45565>

- Castellón Olivares, J. de J. (2003). *Modelo para el manejo sostenido de los recursos forestales no maderables: Estudio de caso Yucca schidigera Roez ex Ortgies en Pso Baja California*. [Tesis doctoral, Universidad Nacional Autónoma de México]. <https://hdl.handle.net/20.500.14330/TES01000318334>
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2021). Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional. *Bases de datos climatológicas*. Disponible en: <https://smn.conagua.gob.mx/es/informacion-climatologica-por-estado?estado=bc>
- Comisión Nacional Forestal [CONAFOR]. (2022). *Programa Operativo de Sanidad Forestal 2022 del Estado de Baja California*. https://sivicoff.cnf.gob.mx/ContenidoPublico/02%20Informes%20de%20acciones%20operativas/DiagnosticosEstatales/2022/BAJA_CALIFORNIA.pdf
- Comisión Nacional Forestal [CONAFOR]. (2024). *Manual de restauración forestal*. https://www.conafor.gob.mx/apoyos/docs/externos/2024/Manual_de_restauracion_forestal_version_digital.pdf
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal), (06 de septiembre de 2018). *Las zonas áridas son más que el desierto*. <https://www.gob.mx/conafor/es/articulos/las-zonas-aridas-son-mas-que-desierto?idiom=es>
- El Sayed, A. I., Smith, G. F., & Figueiredo, E. (2020). Diversity and distribution of the genus *Yucca*. *Journal of Arid Land Studies*, 12(3), 145–158.
- Ecología Verde (2024) Chaparral: características, clima, flora y fauna. <https://www.ecologiaverde.com/chaparral-caracteristicas-clima-flora-y-fauna5091.html>
- Flores Vidrio, A. (2019). *Análisis del modelo de predicción de peso de Yucca schidigera con fines de manejo y conservación*. [Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Baja California]. <https://hdl.handle.net/20.500.12930/1102>

- Gallardo-Salazar, J. L., Pompa-García, M., Aguirre-Salado, C. A., López-Serrano, P. M., y Meléndez-Soto, A. (2020). Drones: tecnología con futuro promisorio en la gestión forestal. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 11(61), 27–50. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i61.794>
- Gambín Martínez, J. A. (2023). *Uso de drones para el control y extinción de incendios forestales*. [Tesis de ingeniería, Universidad Politécnica de Cartagena]. <http://hdl.handle.net/10317/12735>
- González-Abraham, C. E., Garcillán, P. P., y Ezcurra, E. (2010). Ecorregiones de la península de Baja California: una síntesis. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 87, 69–82.
- González Delgado, M. (2019). *Árboles y arbustos de zonas áridas con potencial para restauración ecológica en dos localidades del municipio de Galeana, Nuevo León, México*. [Tesis de doctorado, Universidad Autónoma de Nuevo León]. <http://eprints.uanl.mx/id/eprint/18351>
- González López, H. D., & Díaz Balderas, J. A. (2018). Modelos biométricos para determinar el rendimiento de los productos forestales no maderables en el norte de México. [Tesis de ingeniería, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN)]. <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/handle/123456789/43435>
- Guevara-Bonilla, M., Meza-Leandro, A. S., Esquivel-Segura, E. A., Arias-Aguilar, D., Tapia-Arenas, A., y Masís-Meléndez, F. (2020). Uso de vehículos aéreos no tripulados (VANTS) para el monitoreo y manejo de recursos naturales: una síntesis. *Revista Tecnología en Marcha*, 33(4), 77–88. <https://doi.org/10.18845/tm.v33i4.4528>
- Gómez-Guerrero, A., Correa-Díaz, A., y Castruita-Esparza, L. U. (2021). Cambio climático y dinámica de los ecosistemas forestales. *Revista fitotecnia mexicana*, 44(4), 673-682. <https://doi.org/10.35196/rfm.2021.4.673>
- Hawker, J. L. (2016). *Agaves, Yuccas and Their Kin*. Texas Tech University Press.

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (INEGI). (2001). *Síntesis de información geográfica del estado de Baja California*. <https://www.inegi.org.mx>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (INEGI). (2021). *Aspectos geográficos de Baja California*. https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/areasgeograficas/resumen/resumen_02.pdf
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). (2018). *Importancia de los bosques relictos de Baja California*. <https://www.gob.mx/inifap/articulos/conservacion-de-los-bosques-relictos-de-baja-california>
- Jaramillo, E. A. (1980). Necesidades de incorporar al aprovechamiento las áreas cubiertas de izote (*Yucca* sp.) en Baja California. En *Memoria de la Primera Reunión Nacional sobre Ecología, Manejo y Domesticación de Plantas Útiles del Desierto* (pp. 130–138). SARH-INIF. Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (LGDFS). (5 de junio de 2018). <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGDFS.pdf>
- Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (LGDFS). (2018). <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGDFS.pdf>
- Lluch-Cota, S. E., Velázquez Zapata, J. A., y Nieto Delgado, C. (2022). Agricultura, agua y cambio climático en zonas áridas de México. *Recursos Naturales y Sociedad*, 8(2), 35–47. <https://doi.org/10.18846/renaysoc.2022.08.08.02.0004>
- López-Serrano, P. M., Hernández-Ramos, A., Méndez-González, J., Martínez-Salvador, M., Aguirre-Calderón, O., Vargas-Larreta, B., y Corral-Rivas, J. J. (2021). *Mejores prácticas de manejo y ecuaciones alométricas de biomasa de Yucca schidigera en Baja California*. CONAFOR–CONACYT.
- Matuda, E., y Piña, L. (1980). *Las plantas mexicanas del género Yucca*. Laboratorios Nacionales de Fomento Industrial.

- Phillips, S. J., Comus, P. W., Dimmitt, M. A., y Brewer, L. M. (2015). *A natural history of the Sonoran Desert*. University of California Press.
- Paray, B. A., El-Basuini, M. F., Alagawany, M., Albeshr, M. F., Farah, M. A., & Dawood, M. A. O. (2021). *Yucca schidigera* Usage for Healthy Aquatic Animals: Potential Roles for Sustainability. *Animals*, 11(1), 93. <https://doi.org/10.3390/ani11010093>
- Reglamento de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (RLGDFS). (9 de diciembre de 2020). https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regley/Reg_LGD FS.pdf
- Reyes-Zurita, N.; Rodríguez-Ortiz, G.; Enríquez-del Valle, J. R.; Jiménez-Colmenares, C. L. y Rincón Ramírez, J. A. (2022) Estimación de variables dasométricas en rodales bajo manejo forestal con vehículos aéreos no tripulados. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 13 (1), 22–31. <https://doi.org/10.29166/>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. SEMARNAT (27 de junio de 2018). ¿Qué son las cuencas hidrológicas y las reservas de agua? <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/que-son-las-cuencas-hidrologicas-y-las-reservas-de-agua>
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2020). Anuario estadístico de la producción forestal 2017. Dirección General de Gestión Forestal y de Suelos. <http://dsiappsdev.semarnat.gob.mx/datos/portal/publicaciones/2020/2017.pdf>
- Sepúlveda, J. (1994). *La palmita Yucca schidigera en Baja California*. Folleto Técnico No. 8. SARH.
- Saeed, M., Arain, M. A., Naveed, M., Alagawany, M., Abd El-Hack, M. E., Bhutto, Z. A., Bednarczyk, M., Kakar, U., M., Abdel-Latif, M. & Chao, S. (2018). *Yucca schidigera* can mitigate ammonia emissions from manure and promote poultry health and production. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(35), 35027-35033. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3546-1>

- Vázquez de Castro, A., Oliet, J. A., y Puértolas, J. (2012). Efecto de la transmisividad del tubo proyector y la sequía sobre el establecimiento de *Quercus ilex* y *Pinus halepensis*. En C. Martínez Ruiz et al. (Eds.), *Avances en la restauración de sistemas forestales* (pp. 5–223). Sociedad Española de Ciencias Forestales.
- Villaseñor, J. L. (2016). Checklist of the native vascular plants of México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 87(3), 559–902. *World Checklist of Selected Plant Families*. WCSP. (2017). Disponible en: <http://wcsp.science.kew.org>
- Valdez Zamudio (2009) Inventario de poblaciones silvestres de jojoba en el norte de México (baja california). [Archivo PDF].
- Villavicencio-Gutiérrez, E. E., Cano-Pineda, A., Castillo-Quiroz, D., Hernández-Ramos, A. y Martínez-Burciaga, O. U. (2021). Manejo forestal sustentable de los recursos no maderables en el semidesierto del norte de México. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 12(spe), 31-63. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v12iespecial1.1083>
- Govaerts R (2025). La Lista Mundial de Verificación de Plantas Vasculares (WCVP). Jardines Botánicos Reales, Kew. El conjunto de datos de la lista de verificación <https://doi.org/10.15468/6h8ucr.3>
- Vlčková, R., Sopkova, D., Andrejčáková, Z., Valocký, I., Kadasi, A., Harrath, A. H., & ovine Sirotkin, A. V. (2017). Dietary supplementation of yucca (*Yucca schidigera*) affects ovarian functions. *Teriogenología* <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.09.026>
- Zúñiga-Serrano, A., Barrios-García, H. B., Anderson, R. C., Hume, M. E., Ruiz Albarrán, M., Bautista-Martínez, Y., Sánchez-Guerra, N. A., Vázquez-Villanueva, J., Infante-Rodríguez, F., & Salinas-Chavira, J. (2022). E Antimicrobial and Digestive Effects of *Yucca schidigera* Extracts Related to Production and Environment Implications of Ruminant and Non-Ruminant Animals: A Review. *Agriculture*, 12 (8), 1198. <https://doi.org/10.3390/agriculture12081198>

9. ANEXOS

Anexo 1 Ejemplo del cuadro de resumen de las existencias reales por rodal, sitio y hectárea

rodal			sitio		ha	
altura	vol	ind	vol	ind	vol	ind
20 - 50						
51 - 100						
101-150						
151-200						
201-250						
251-300						
301-350						
351-400						

Anexo 2 autorización otorgada por SEMARNAT para el presente programa de manejo



Gobierno de México
Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

Medio Ambiente
Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales



OFICINA DE REPRESENTACIÓN EN EL ESTADO DE BAJA CALIFORNIA
BITÁCORA: 02/B1-0634/12/24
Oficio N° ORBC/SGPA/UARRN/1207/25
Asunto: Autorización para el aprovechamiento de recursos forestales no maderables
Mexicali, Baja California, 09 de Junio de 2025

JOSÉ DE JESÚS MARTÍNEZ LOZANO

En atención a su escrito de fecha 13 de Diciembre de 2024, recibido en esta Oficina de Representación de la SEMARNAT el día 16 de Diciembre de 2024, mediante el cual presenta un programa de manejo forestal para el aprovechamiento de recursos forestales no maderables, con fundamento en lo dispuesto por los artículos 32 Bis fracciones I, III y XXXIX de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 10 fracción XXXIX, 14, fracción XIII y 85 de la LGDFS publicada en el Diario Oficial de la Federación el 5 de junio de 2018; 16 fracciones VII y IX, 59 párrafo segundo de la Ley Federal de Procedimiento Administrativo; 72, 73, 74, 75, 76 y 77 del Reglamento de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable publicado en el Diario Oficial de la Federación el 9 de diciembre de 2020; 1 y 35 fracción X inciso d) del Reglamento Interior de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, publicado en el Diario Oficial de la Federación el día 27 de julio de 2022, esta Oficina de Representación autoriza el aprovechamiento de recursos forestales no maderables y la ejecución del programa de manejo forestal, conforme se indica a continuación:

PRIMERO. Se autoriza el aprovechamiento de recursos forestales no maderables y la ejecución del Programa de Manejo Forestal, en los términos que a continuación se indican:

1. DATOS DEL PREDIO O CONJUNTO DE PREDIOS:

Nombre del predio	Municipio	Estado
PARCELA 452 Z2 P1 DEL EJIDO EL BRAMADERO, MUNICIPIO DE SAN QUINTÍN, BAJA CALIFORNIA.	San Quintín	Baja California

2. UBICACIÓN GEOREFERENCIADA:
Datum: WGS84

Nombre del predio: COORDENADAS DE LA PARCELA 452 Z2 P1 DEL EJIDO EL BRAMADERO

Nombre del predio	Vértice	X (m)	Y (m)
COORDENADAS DE LA PARCELA 452 Z2 P1 DEL EJIDO EL BRAMADERO	1	653596.559955	3396724.77
COORDENADAS DE LA PARCELA 452 Z2 P1 DEL EJIDO EL BRAMADERO	2	651255.989169	3392969.08366

Calle Celys No. 2799, Edificio C, tercer nivel, local 19, Colonia Rivera, C.P. 21259, Mexicali, Baja California.
Tels. 01-606-9-04-42-09, denegado@se.semarnat.gob.mx, www.gub.mex/semarnat

1 de 24



