

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DEL SUELO**



Título:

**Rendimiento de hule y producción de plántulas a partir de arbustos silvestres
de guayule (*Parthenium argentatum*)**

Por:

LAURA LIDIA HERNÁNDEZ BAUTISTA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de

INGENIERO AGRÍCOLA Y AMBIENTAL

Saltillo, Coahuila, México

Septiembre 2020

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DEL SUELO**

Rendimiento de hule y producción de plántulas a partir de arbustos silvestres de guayule (*Parthenium argentatum*)

Por:

LAURA LIDIA HERNÁNDEZ BAUTISTA

TESIS

Que somete a la consideración del H. Jurado Examinador como requisito para obtener el título de:

INGENIERO AGRÍCOLA Y AMBIENTAL

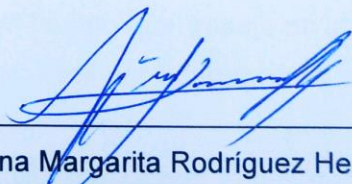
Aprobada por:



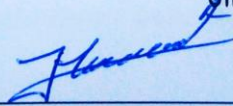
Dr. Marco Antonio Castillo Campohermoso
Director



Dra. Alma Patricia García Villanueva
Co-Director interno



Dra. Ana Margarita Rodríguez Hernández
Co-Director externo
Universidad Autónoma Agraria
"Antonio Narro"



M. C. Sergio Sánchez Martín
Coordinador de la División de Ingeniería
Coordinación de la División
de Ingeniería



Saltillo, Coahuila, México. Septiembre 2020

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a **Dios** por la vida y las oportunidades que se me han brindado para desarrollarme como persona, por tener una familia que me ha dado amor y brindado su apoyo para seguir adelante con mis sueños.

A mi **ALMA MATER** por abrirme las puertas y poder desarrollar una licenciatura en agronomía con la cual he reconocido la importancia que tiene la agricultura en el desarrollo de la vida, como nos dice Rattan Lal “Cuando la salud del suelo se degrada, la salud de las personas también se degrada”.

Al **Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA)** que me dio la oportunidad y puso a disposición sus herramientas para concluir mis estudios, así mismo por brindarme el apoyo económico para la realización de tesis de licenciatura a través del proyecto “Efecto del empleo de aguas residuales depuradas en el cultivo de guayule sobre la producción de látex” con clave FONCYT C13-C117.

A mis asesores el **Dr. Marco Antonio Castillo Campohermoso** por brindarme su apoyo y guiarme durante el desarrollo de mi investigación, a la **Dra. Ana Margarita Rodríguez Hernández** por compartir conmigo sus conocimientos y poder desempeñarme en el laboratorio, la **Dra. Alma Patricia García Villanueva** por asesorarme durante mi carrera profesional.

A la **Dra. Yolanda ortega** por apoyarme durante el tiempo que trabaje en laboratorio del CIQA. A mis compañeros de laboratorio **Cesar, Idali** por brindarme su paciencia para el uso adecuado de los equipos de laboratorio.

A mis padres y mis hermanas **Alelí y Leonor** quienes me han apoyado para concluir este proyecto, pero sobretodo estuvieron pendientes para que no desistiera, con muchos ánimos.

A mi amiga **Ana Lilia**, para mi ahora una hermana con la cual me aventure a salir de casa y continuar estudiando; a mi amigo **Jesús Alberto** que quiero y estimo mucho, con quien he compartido momentos inolvidables de risas y llantos, y que a pesar de las adversidades nuestra amistad sigue de pie.

DEDICATORIA

Para ti, mi pequeño y amoroso Diego Said te amo con todo mi corazón me has acompañado desde el inicio hasta el final de este proyecto, presente en todo momento con pataditas, risas y llantos, gracias hijo.

A mis padres la Sra. María Bautista Mayorga y el Sr. Cayetano Hernández que siempre han estado para mí, siendo ellos lo más importante en mi vida, y ahora mi hijo, a quienes amo mucho.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE CUADROS	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
RESUMEN	X
INTRODUCCIÓN	12
1. OBJETIVOS	15
1.1 Objetivo general.....	15
1.2 Objetivos específicos.....	15
2. HIPÓTESIS	15
3. REVISIÓN DE LITERATURA	16
3.1 Guayule silvestre.....	16
3.2 Descripción botánica.....	17
3.2.1 Hojas.....	18
3.2.2 Inflorescencia.....	18
3.2.3 Frutos.....	19
3.2.4 Raíz.....	19
3.3 Importancia económica del guayule.....	19
3.3.1 Hule natural.....	20
3.3.2 Demanda mundial del hule.....	20
3.3.3 hule de guayule.....	21
3.3.4 Comercialización del hule de guayule.....	22
3.4 El guayule como cultivo agrícola.....	25
3.4.1 Germinación de semillas.....	25
3.4.2 Establecimiento de planta.....	26
3.4.3 Cultivo y riego.....	26
3.4.4 Cosecha.....	27
3.5 Extracción de hule, resina y látex.....	27
3.5.1 Métodos para la extracción de látex.....	28
3.5.2 Métodos de extracción de hule.....	29
3.5.3 Sub-productos de la extracción de hule y látex.....	30
CAPITULO I.- RENDIMIENTO DE HULE A PARTIR DE ARBUSTOS SILVESTRES DE GUAYULE	32

4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	32
4.1 Sitio de colecta de las plantas de <i>Parthenium argentatum</i>	32
4.2 Extracción de látex.....	32
4.2.1 Preparación de muestras	32
4.2.2 Cuantificación de látex	33
4.2.3 Cuantificación de materia seca.....	34
4.3 Extracción de hule y resina	34
4.4 Concentración, secado y determinación de porcentajes del material obtenido.....	37
4.5 Análisis estadístico	39
4.5.1 Modelo lineal	39
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	40
5.1 Extracción de látex, hule y resina de guayule	41
5.2 Extracción de látex de guayule por planta.....	42
5.3 Extracción de hule y resina.....	46
5.4 Condiciones climatológicas en la zona de colecta (Mazapil Zacatecas).....	50
CAPITULO II. PRODUCCION DE PLÁNTULAS A PARTIR DE SEMILLAS DE ARBUSTOS SILVESTRES DE GUAYULE.	54
6. MATERIALES Y MÉTODOS.....	54
6.1 Selección de semillas	54
6.2 Procesamiento de semilla	54
6.3 Germinación de semillas.....	54
6.4 Conteo de semillas	55
6.5 Producción de plántulas.....	56
7. RESULTADOS.....	58
7.1 Porcentaje de germinación	58
7.2 Plántulas en invernadero	59
8. CONCLUSIONES.....	60
9. BIBLIOGRAFÍA.....	61

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación taxonómica del guayule	17
Cuadro 2. Plantas productoras de látex.....	20
Cuadro 3. Parámetros y condiciones de extracción	36
Cuadro 4. Contenido de látex, hule y resina en plantas de guayule	42
Cuadro 5. Concentración de látex, hule y resina mensual	42
Cuadro 6. Parámetros meteorológicos estación Tanque de Hacheros.....	51
Cuadro 7. Conteo de semillas por planta.....	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Guayule silvestre.....	17
Figura 2. Hojas de guayule silvestre	18
Figura 3. Hoja de guayule cultivado	18
Figura 4. Flores de guayule silvestre.....	19
Figura 5. Waring 7010HG Batidora sellada, 2200-1800 rpm.....	34
Figura 6. Spectrafuge, 24 d micro-centrifuge	34
Figura 7. Bel – Art Micro – Mil Grinder con temporizador.....	35
Figura 8. Balanza de análisis de humedad MF-50	35
Figura 9. Speed extractor E-916, Buchi	37
Figura 10. Buchi, Multivapor P-6, Alemania	38
Figura 11. Liofilizador Labconco Free Dry System/freezone 4.5, MO	38
Figura 12. Ubicación del sitio de colecta en el estado de Zacatecas	40
Figura 13. Distribución de las plantas en el sitio de colecta	41
Figura 14. Concentración de látex por planta.....	43
Figura 15. Concentración promedio de látex de guayule en cada planta durante el ensayo	44
Figura 16. Concentración promedio mensual de látex	44
Figura 17. Concentración promedio de hule por planta.....	46
Figura 18. Concentración promedio mensual de hule	47
Figura 19. Concentración promedio de resina por planta.....	48
Figura 20. Concentración promedio mensual de resina	48
Figura 21. Ubicación de la estación meteorológica Tanque de Hacheros.....	50
Figura 22. Temperatura y precipitación registradas durante el tiempo transcurrido de la investigación de guayule	52
Figura 23. Radiación, humedad relativa y evapotranspiración registradas durante el tiempo transcurrido de la investigación de guayule.....	52

Figura 24. Procesamiento de semillas para germinación y crecimiento de plántulas a partir de guayule silvestre	56
Figura 25. Desarrollo de plántulas de guayule silvestre bajo invernadero	57
Figura 26. Germinación y supervivencia de las semillas de guayule silvestre	59

RESUMEN

El guayule (*Parthenium argentatum*) es un arbusto dioico perennifolio que pertenece a la familia *Asteraceae*. La importancia Agroindustrial de este cultivo radica en que es capaz de producir hule natural (HN) de alto peso molecular con propiedades hipoalergénicas. La presente investigación se centró en cuantificar el contenido de látex, hule y resina en plantas silvestres de guayule, así mismo evaluar el porcentaje de germinación de las semillas. La colecta de las muestras de guayule silvestre se realizó en una zona silvestre ubicada en Zacatecas, durante 8 meses (julio-febrero) para evaluar el contenido de látex, y durante 6 meses (julio-diciembre) para conocer la concentración de hule y resina, muestreando 10 plantas divididas en dos bloques, bloque I: P01 a P05 durante 4 meses julio, septiembre, noviembre y enero; bloque II se muestrearon las plantas P06 a P10, durante los meses agosto, octubre, diciembre y febrero. La extracción de látex se obtuvo por un homogenado descrito por Cornish *et al.*, (1999). La extracción de hule y resina se realizó por medio de un equipo completamente automatizado que se basa en la técnica de extracción acelerada con solventes (ASE). Para el ensayo de germinación las semillas se sometieron por un tratamiento modificado por Naqvi y Hanson (1980). La presente investigación se llevó a cabo con la intención de encontrar una correlación con las variables climatológicas de la zona, y variabilidad intrínseca natural de las plantas, época de cosecha vs el rendimiento de látex de las plantas analizadas, con la idea de tomar en consideración la importancia de estas variables en el futuro manejo agronómico de este arbusto; así mismo se busca proporcionar información consistente a productores agrícolas de la zona sobre el rendimiento y aprovechamiento. Como resultados de las cuantificaciones de hule a lo largo de seis meses podemos observar que el contenido de látex de la muestra P06 se obtuvo un valor de 175.83 mg/g de materia seca, para el mes de agosto la concentración de látex fue de 145.5 mg/g de materia seca; el hule con valor de 10.74% le correspondió a la planta P05, el mes con el valor más alto de hule fue noviembre con un porcentaje de 11.43; para la resina la planta P04 y P09 compartieron el mismo porcentaje siendo este el más alto con un 8.15%, el mes de agosto el contenido de resina alcanzó el valor de 8.91%. En el ensayo de germinación la planta

P05 mostró el mejor porcentaje de germinación de 6.36%. Durante el mes de agosto la temperatura (media de 22.8 °C), precipitación (acumulada 87.8) y radiación (780162 W/m) acumularon los valores más altos con respecto a los demás meses de colecta.

PALABRAS CLAVE: Hule natural, látex, resina, guayule silvestre.

INTRODUCCIÓN

El hule natural se obtiene de un líquido lechoso de color blanco llamado látex, es una solución acuosa coloidal que incluye terpenoides, isoprenoides, grasas y carbohidratos. La producción de hule es particularmente abundante en las angiospermas tropicales. Uno de los metabolitos secundarios de mayor importancia comercial del mundo es el látex de hevea, un politerpeno de peso molecular muy alto (hasta dos millones Da (Mw)) (Tangpakdee *et al.*, 1997). El guayule, acumula hule de peso molecular similar al de Hevea (Rodríguez *et al.*, 2002). Las restantes especies productoras de látex, presentan un peso molecular menor al requerido sobre todo para ser utilizado en la industria de los neumáticos (Vilela *et al.*, 2011). El látex de origen natural se encuentra presente en la mayoría de los artículos de uso diario, los objetos que han sido fabricados a partir de este elastómero han sido de gran utilidad a lo largo de la historia, todo esto gracias a sus bondadosas propiedades puesto que es un material idóneo para fabricar artículos elásticos de paredes muy delgadas, con elevada durabilidad y en algunos casos bajo costo, así mismo presenta unas excelentes propiedades barrera, las cuales proporcionan una protección eficaz contra agentes infecciosos, como por ejemplo virus y bacterias; por sus aplicaciones a través del tiempo se ha vuelto fundamental en el área de sanidad, incluyendo 400 dispositivos médicos, el empleo de artículos de látex natural se ha documentado actualmente en más de 40,000 artículos (Brasero, 2017a).

Actualmente, entre el 7 y el 11% de la producción de hule natural se utiliza en forma de látex, este biopolímero se cultiva en regiones tropicales, y en las naciones asiáticas de Malasia, Tailandia e Indonesia, estas últimas, representan más del 90% de la producción mundial de hule natural. La importancia del hule natural para la economía mundial, la preocupación por la propagación del tizón sudamericano, y la alergia al látex tipo I, han despertado un renovado interés en el desarrollo de fuentes alternativas de hule natural (Beilen y Poirer, 2007). El guayule (*Parthenium argentatum*) es una fuente alternativa de la producción de hule natural con el potencial comprobado de sustituir el hule del hevea. Lo anterior, sugiere una inminente producción Industrial del

cultivo de guayule y por consiguiente coloca a este como una alternativa muy prometedora para la producción de hule natural, donde México tiene una gran área de oportunidad.

Por otro lado, el guayule puede considerarse como la mejor fuente sustentable de hule natural por tener un menor impacto ambiental en la cadena de producción, en términos de sustentabilidad el guayule es un cultivo “multiusos” pudiéndose denominar cultivo de “cero desperdicios”, adicionalmente a las aplicaciones reportadas para el hule; con las resinas del guayule se pueden hacer preservantes para maderas, pesticidas y plastificantes; los residuos de la extracción se pueden emplear como biocombustible, o en mezclas con otras fibras para producir papel, entre otras aplicaciones (Rasutis *et al.*, 2015; Sabaini *et al.*, 2018).

Todos los estudios realizados hasta la fecha confirman las inigualables propiedades físico-mecánicas que tiene el hule del guayule principalmente para la industria automotriz aunadas a las propiedades hipoalergénicas que resultan de gran interés para la industria de la salud. Sin embargo, a pesar de todas estas ventajas presentes en el mercado, la producción masiva del hule a partir del guayule sigue siendo limitada primero, por su bajo contenido en la planta (5 a 17 % de la materia seca), segundo, por su formación al interior en las células del parénquima de la corteza que crea la necesidad de cortar la planta para su extracción así como plantear procesos de extracción más eficientes y sustentables y tercero, por el lento crecimiento de la planta la cual necesita de 2 a 3 años antes de alcanzar su máximo contenido en hule. Estas limitantes nos indican que la explotación del potencial del guayule reside principalmente en poder aumentar su velocidad de crecimiento y/o aumentar la capacidad de la planta en sintetizar el hule (Rasutis *et al.*, 2015, Ray *et al.*, 2005).

En este sentido, para aumentar el potencial productivo de las plantas, una estrategia es el desarrollo de programas de mejora genética (Furbank *et al.*, 2015), el éxito de estos programas radica en la elección de los mejores ejemplares para realizar las cruces, basados en esto, y dado que México cuenta con más del 90% del germoplasma

natural del guayule, el conocimiento del potencial genético para producir hule, látex y resina con el que cuenta la especie en su habita natural, resulta de gran importancia.

1. OBJETIVOS

1.1 Objetivo general

- a. Evaluar el rendimiento de látex, hule y resina durante 6 meses en arbustos de guayule silvestre
- b. Evaluar el porcentaje de germinación a partir de semillas de plantas de guayule silvestre.

1.2 Objetivos específicos

- Cuantificar la producción de látex, hule y resina
- Correlacionar las variables climáticas, época de cosecha y variabilidad intrínseca de las plantas con el rendimiento de látex obtenido de las plantas silvestres seleccionadas.
- Producir plántulas a partir de semillas de guayule silvestre.

2. HIPÓTESIS

- La producción de hule, látex y resina de las plantas de guayule en su habitat natural es favorecida por distintos factores climatológicos
- Las semillas del guayule silvestre tendrán un porcentaje de germinación mayor de 5%.

3. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 Guayule silvestre

Parthenium argentatum Gray es un arbusto perenne comúnmente llamado guayule (Benedict *et al.*, 2008). Se le conoce con distintos nombres dependiendo de la región guayulera (Coahuila, Chihuahua, Durango, Nuevo León, San Luis Potosí, y Zacatecas) donde se encuentre; Afinador (Zacatecas); Yerba del hule (región de Pasaje Durango); Jehuite o Jihuite (Zacatecas y Durango), es nativo de las tierras áridas del centro-norte de México y el área adyacente de Big Bend de Texas (Castillo, 2000).

Pertenece a la familia Asteraceae (o Compositae), arbusto leñoso que mide entre 0.3 - 1.5 m, presenta flores amarillas y hojas verde-grisáceo (Wood, 2002). Crece naturalmente en altitudes de 600 a 2133 msnm, en lugares con una precipitación promedio anual mínima de 200 mm y hasta 50 mm en años extremadamente secos; el promedio anual máximo es de 635 mm en años muy húmedos (Burlard, 1946). El rango de temperatura en el que se desarrolla es de 18 a 49.5 °C, son consideradas como plantas tolerantes a las altas temperaturas, pero se ha demostrado que entran en un proceso de dormancia cuando la temperatura se encuentra por debajo de los 4 °C (Thompson y Ray, 1989). El pH óptimo para su crecimiento va de 6 a 8 en suelos calcáreos y bien drenados (Arroyo, 1999).



Figura 1: Guayule silvestre

La planta de guayule suele asociarse con la palma samandoca (*Yucca carnerosana*), con la mariola (*Parthenium incanum*) la lechuguilla (*Agave lechuguilla*), la gobernadora (*Larrea sp.*) y el cocotillo (*Fouquería splendens*), es también frecuente encontrarlo con el sotol (*Dasyliirion spp*). México cuenta con el 99% del germoplasma natural distribuido en más de 9 millones de hectáreas (Jasso *et al.*, 2005).

3.2 Descripción botánica

Peña (1983) menciona que el guayule cuenta con la siguiente clasificación taxonómica.

Cuadro 1. Clasificación taxonómica del guayule

Reino: Vegetal	Familia: Asteraceae
División: Embryophita Siphonogama	Tribu: Heleantheae
Subdivisión: Angiospermae	Subtribu: Ambrosineae
Clase: Dicotiledonea	Género: <i>Parthenium</i>
Orden: Asterales	Especie: <i>argentatum</i>

3.2.1 Hojas

La forma de la hoja en planta adulta varía de acuerdo a la cantidad de agua aprovechable y su posición sobre las ramas. Las hojas del guayule son largamente pecioladas, plateado-canescentes, espatuladas a estrechamente oblanceoladas, enteras o ligeramente dentadas con uno o seis dientes, cubiertos de pelos o tricomas tanto en el haz como en el envés dándole así un color verde-grisáceo (Conacyt, 1981). Las hojas de invierno son de 1 a 3 cm de largo y 3 a 7 mm de ancho, largas a ovadas. Las hojas de verano son de 6 a 7 cm de largo y 2 a 2.5 de ancho.



Figura 2. Hojas de guayule silvestre



Figura 3. Hoja de guayule cultivado

3.2.2 Inflorescencia

Rodríguez (1983), menciona que las flores del guayule son pequeñas dispuestas en cabezuelas o en capítulos sobre un receptáculo común, miden aproximadamente 5 mm de diámetro, variando de 6 a 18 números de cabezuelas. Cada cabezuela posee dos clases de flores, las liguladas y las de disco (Arroyo, 1999).



Figura 4. Flores de guayule silvestre

3.2.3 Frutos

Larios (1983), clasifica al fruto de guayule como un aquenio, siendo este un monóspero cuyo pericarpio no está unido a la semilla y de la cual se puede separar fácilmente. Sin embargo menciona que el fruto de guayule es ovalado y tangencialmente aplanado, el pericarpio de color negro y con tricomas no muy numerosos, con una longitud de 2.5 mm y 1.8 mm de ancho. La floración y la formación de semillas se producen bajo largos fotoperiodos debido al crecimiento activo cuando la humedad del suelo está disponible, con una gran floración a principios de primavera y verano y una floración menor en otoño (Bekaardt *et al.*, 2010).

3.2.4 Raíz

Lloyd (1911), menciona que el sistema radicular del guayule consiste en una raíz típica que penetra en el subsuelo, delgada en plantas jóvenes con un sistema de raicillas que en un principio es pobre, conforme la planta va creciendo, las raicillas se extienden horizontalmente en grandes distancias de 1.5 a 2 m o más de la planta.

3.3 Importancia económica del guayule

En México, el guayule se encuentra de forma natural distribuido en más de 5 millones de hectáreas, específicamente en el desierto chihuahuense, representando más del 90% del germoplasma silvestre mundial (Rodríguez *et al.*, 2005; Rasutis *et*

al., 2015; Foster *et al.*, 2011). El guayule es de gran interés industrial ya que, es una fuente renovable de hule natural (HN) (*cis*'1,4-poliisopreno).

3.3.1 Hule natural

El hule de alto peso molecular se producen en alrededor de 300 géneros de angiospermas, y de ellas, solo unas pocas especies han sido objeto de extracción de hule natural a lo largo de la historia (Brasero, 2017).

Cuadro 2. Plantas productoras de látex

Especie	Familia	Nombre común
<i>Hevea brasiliensis</i>	Euforbiáceas	Para
<i>Parthenium argentatum</i>	Asteráceas	Guayule
<i>Manihot glaziovii</i>	Asteráceas	Ceara
<i>Castilla elastica</i>	Moráceas	Panama
<i>Ficus elastica</i>	Moráceas	India
<i>Funtumia elastica</i>	Apocináceas	Lago silk

3.3.2 Demanda mundial del hule

La demanda de hule natural se encuentra principalmente en el sector automotriz, en particular la industria llantera, los principales consumidores en el mercado mundial son china (30%) y Estados Unidos y Canadá (13%). China se convirtió en el principal importador de hule natural en el mundo desde el 2005 (Pulido-Sierra, 2012).

La producción de HN ha crecido exponencialmente cada año, hasta el 2017 se produjeron mundialmente 14,252,753 toneladas de HN en un total de 11,739,333 hectáreas, teniendo un rendimiento de 1.2141 toneladas por hectárea cultivada donde, el 89% de esta producción se realiza en Asia, de acuerdo con datos obtenidos de la FAO (<http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>), teniendo así una dependencia a la importación del HN de los países asiáticos productores; en 2018

Tailandia e Indonesia fueron los países con mayores ingresos económicos por la exportación de HN, con \$ 4,475,208,895 y \$ 3,949,214,198 USD respectivamente. Para México, en 2018 se tienen datos de importación de HN para 14,134 toneladas con un costo de \$ 75, 855,261 USD, para este mismo año se presentó un ingreso de \$ 3,168,662 USD por exportar cerca de 1,322 toneladas. Para Estados Unidos se tienen reportes que, del total de HN importado, el 78% de este es destinado a la producción de neumáticos (IRSG, 2015).

En el año 2017 la derrama económica del HN en el mercado de las materias primas fue de 20 mil millones de dólares a nivel mundial. Sin embargo, actualmente debido a una gran incertidumbre causada principalmente por aspectos sociopolíticos y la amenaza de una plaga fúngica, se pone en riesgo el abastecimiento al mercado mundial de hule natural producido 100% a partir de *H. brasiliensis* (Barrera y Cornish, 2016). Con lo anterior la importancia del guayule en el mercado internacional del HN se pone de manifiesto. Sugiriendo una inminente producción industrial del cultivo de guayule y por consiguiente colocando al cultivo de guayule como una alternativa muy prometedora para la producción de HN, donde México tiene una gran área de oportunidad.

3.3.3 hule de guayule

El hule natural proveniente del guayule se sintetiza y almacena principalmente en el tejido del parénquima del tallo y la raíz (Backhaus, 1998) y en las células mesofílicas de las hojas (Madhavan y Benedict, 1984). Dicho de otro modo se cree que el hule se acumula en el citoplasma y luego se deposita en las vacuolas, donde se acumula hasta que la célula este casi llena de partículas de hule, basándose en esto, el aumento de hule en tallos leñosos (tallos <5 mm, tallos 5–10 mm y tallos > 10 mm) se debe al aumento de partículas de hule contenidas en las vacuolas.

Gracias a la demanda de la industria del hule natural se demostró que el guayule es especialmente adecuado para la fabricación de productos médicos

hipoalergénicos como guantes, tubos, condones y catéteres (Cornish *et al.*, 2001). El hule de Guayule es distinto del hule de hevea debido a su composición (mayor contenido de lípidos y proteínas), estructura macromolecular distinta (polímeros lineales no ramificados) y sus propiedades hipoalergénicas (las proteínas que causan alergia al látex están ausentes).

El contenido medio de hule en las plantas silvestres de guayule está alrededor de 8-10 % base seca (Jasso *et al.*, 1997). Sin embargo, se encontraron plantas con contenido de hule de hasta 21% (Rodríguez *et al.*, 2004). Se sabe que el contenido puede variar dependiendo las condiciones ambientales y climáticas de lugar; pues se ha encontrado que las plantas de guayule producen hule de alta calidad en la época de invierno cuando normalmente se registran las temperaturas frías.

3.3.4 Comercialización del hule de guayule

La comercialización del guayule empezó en 1903, cuando las instalaciones de extracción industrial estaban operando en los estados de Coahuila, Zacatecas y Durango. Durante los años 1903 a 1951 se presentaron tres periodos comerciales importantes. En 1998, se llevó a cabo un proyecto para la producción de látex utilizando la tecnología de extracción por solventes (Jasso *et al.*, 1998). Se presentaron grandes avances en la producción agrícola de guayule como resultado de los programas de investigación multidisciplinarios e multiinstitucionales iniciados por la promulgación de la Ley de Comercialización y Desarrollo Económico de Látex Nativo de 1978 y la Ley de Materiales Agrícolas Críticos de 1984 (Leyes 95-592 y 98 -284) (Foster *et al.*, 2011). Este esfuerzo demostró que el guayule podía ser plantado, cultivado, cosechado y procesado como fuente de hule natural (Ray *et al.*, 2010).

Actualmente el guayule está siendo producido y explotado a escala comercial por la empresa *Yulex Corporation* (<http://yulex.com/>) en EE. UU. También la compañía productora de neumáticos más grande del mundo *Bridgestone Corporation*, a finales

del año 2015 anunció su producción de neumáticos para automóviles fabricados con un 100% de componentes a partir de HN derivados del guayule, fabricados en el Centro Técnico de *Bridgestone* en Japón (<https://noticias.autocosmos.com.mx/2015/10/13/bridgestone-produce-llantas-con-caucho-natural-del-guayule>), por lo que en 2018 creó vínculos con la empresa *Versalis* con el objetivo de complementar su investigación, esta asociación tienen el objetivo de producir neumáticos a partir de HN del cultivo de guayule a partir del 2020 (<https://www.bridgestoneamericas.com/en/newsroom/press-releases/2018/bridgestone-and-versalis-partnering-to-expand-guayule-research-e>).

En 2013 la empresa internacional *Pirelli* firmó un acuerdo con la empresa *Versalis* para un suministro exclusivo de HN de guayule, que se usaría para fabricar neumáticos, actualmente la empresa internacional ya produce neumáticos a partir de HN de guayule, lo describen como un “*neumático de rendimiento ultra-alto*” por lo que lo hace un cultivo alternativo viable al uso de la planta de *H. brasiliensis* y la sustitución de polímeros petroquímicos en sus neumáticos (<https://www.pirelli.com/tyre/ww/en/news/2016/02/03/pirelli-makes-the-first-guayule-based-uhp-tyre/>).

Cooper Tire y Rubber Company y socios del consorcio, incluyendo la Universidad de Clemson, la Universidad de Cornell, *PanAridus* y el Servicio de Investigación Agrícola del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA-ARS por sus siglas en inglés) en agosto del 2017 anunciaron la subvención por cinco años por la cantidad de \$6.9 millones de dólares para la Iniciativa de Investigación y Desarrollo de Biomasa (BRDI, por sus siglas en inglés), este consorcio de empresas destinaron la subvención para "*Asegurar el futuro del caucho natural, una plataforma estadounidense de bioenergía y neumáticos de Guayule*", *Cooper Tire* es la encargada de producir los neumáticos, actualmente se encuentran haciendo pruebas a los neumáticos ya producidos donde, se encontró que tenían un rendimiento general al menos igual a los neumáticos fabricados con *H. brasiliensis* y caucho sintético, en particular, los neumáticos tuvieron un desempeño

significativamente mejor en resistencia a la rodadura, manejo en mojado y frenado en mojado que sus contrapartes convencionales. *Chuck Yurkovich*, Vicepresidente Senior de Investigación y Desarrollo Global de *Cooper* comento en una entrevista "En base a nuestros hallazgos, *Cooper* podría usar caucho de guayule en la producción de neumáticos mañana si hubiera suficiente material disponible para satisfacer nuestras necesidades de producción a un precio competitivo", además de los análisis ya mencionados, se realizó un análisis del ciclo de vida (LCA) en la *Universidad de Clemenson* para cuantificar el impacto ambiental en la producción donde encontraron que los neumáticos 100% de HN de guayule presentan entre 6-30% menos emisiones en 10 categorías diferentes de impacto ambiental y energético en el ciclo de vida en comparación con un neumático convencional.([http://coopertire.com/News/Corporate-News-Releases/Cooper-Tire-and-Consortium-Partners-Complete-\\$6-9.aspx](http://coopertire.com/News/Corporate-News-Releases/Cooper-Tire-and-Consortium-Partners-Complete-$6-9.aspx)).

La empresa finlandesa, *Nokian Tyres* (<https://www.nokiantyres.com/>) ha establecido una plantación de guayule en Santa Cruz de la Zarza, Toledo, España. Poniendo en marcha un proyecto centrado en el cultivo de guayule para la fabricación de neumáticos. Los cultivos de guayule en este proyecto son gestionados por agricultores locales, con el fin de conocer su cultivo y su adaptación a las condiciones climáticas y edáficas de la zona. La inversión total en la nueva instalación es de 60 millones de euros, actualmente este proyecto está en desarrollo y tiene un plazo estimado de ejecución de dos años para finalizar en 2020. Dentro de este proyecto se está construyendo un centro de prueba con una extensión de 300 hectáreas donde, se desarrollarán y lanzarán productos nuevos a base de guayule (www.infotaller.tv/neumaticos/pruebas-Nokian-Tyres-contravelocidad_2_1342985689.html).

3.4 El guayule como cultivo agrícola

Rodríguez *et al.*, 2002, informaron que el guayule en México crecía en la naturaleza en poblaciones naturales que oscilaban entre 7890 y 31,900 plantas/ha. Se ha recomendado poblaciones de plantas que varía de 23,000 a 54,000 plantas/ha para la producción de hule o látex (Bedane *et al.*, 2009). Si bien no se ha informado sobre cuando cosechar el guayule para obtener un rendimiento óptimo de látex, conocer la densidad de plantas por hectárea permitiría a los productores y procesadores establecer fechas de cosecha para obtener el máximo rendimiento y ganancias (Coffelt y Nakayama, 2010).

3.4.1 Germinación de semillas

Las plantas de origen silvestre del desierto y semidesierto requieren de condiciones muy específicas para lograr una buena germinación, además las tasas de germinación y vigor de dichas plantas son muy bajos ya que presentan dormancia y poca viabilidad de semilla. Así mismo, la germinación se caracteriza por el alargamiento de la raíz embrionaria que penetra en la cubierta de la semilla o el pericarpio (Jones *et al.*, 2013). Se sabe que las altas temperaturas y la salinidad afecta la germinación de las semillas, por lo que el efecto inhibitorio de la salinidad en la germinación de las semillas aumenta a medida que aumenta la temperatura en muchas especies de plantas, incluido el mezquite (*Prosopis juliflora*) Keblawy y Rawai (2005); (*Sarcobatus vermiculatus*) (Khan *et al.*, 2002) y (*Atriplex cordobensis*) (Aiazzi *et al.*, 2002).

Las plantas maduras de guayule pueden soportar fluctuaciones de temperatura de -18 a 49 ° C (Estilai y Ray, 1991); sin embargo, el crecimiento de las plántulas de guayule es relativamente sensible a la alta salinidad (Miyamoto *et al.*, 1982). La germinación de guayule se ve favorecida con una temperatura de siembra a 20°C (Sanchez *et al.*, 2014). La semilla de Guayule propia para el cultivo es tan pequeña que 0.5 Kg contiene alrededor de 600, 000 semillas y menos del 10% de ellas llevan

semillas completamente maduras (Brandes, 1942). Con todo lo anterior se puede mencionar que las semillas de plantas silvestres desérticas requieren de condiciones muy específicas de germinación y que dicho porcentaje es muy bajo comparado con semillas mejoradas.

3.4.2 Establecimiento de planta

Trasplante y siembra directa: El trasplante implica plantar plantas pre-cultivadas (comúnmente en invernaderos) en campos agrícolas. La siembra directa es cuando las semillas se plantan directamente en el suelo en campo. Actualmente, el método más común es el trasplante, pero la siembra directa es un enfoque económicamente más factible que probablemente sea desarrollado y utilizado por los productores (Rasutis *et al.*, 2015). Sin embargo el período de crecimiento hasta la cosecha podría acortarse en casi un año sembrando directamente en el campo (Foster y Coffelt, 2005). Hunsaker y Elshikha (2017) nos dicen que la siembra directa está siendo exitosas en parcelas de investigación sin embargo se necesitan mejoras; el control de malezas en siembra directa o trasplante ha sido un tema importante a tratar puesto que existen limitados estudios sobre un control de malezas en guayule (Abdel-Haleem *et al.*, 2019).

3.4.3 Cultivo y riego

El nitrógeno (N) es un nutriente importante para los trasplantes y la siembra directa, y la aplicación de N da como resultado una mayor biomasa vegetal (Foster y Coffelt, 2005), particularmente cuando se aplica como nitrato en lugar de amonio en los trasplantes (Ray *et al.*, 2010). Las tasas de N de fertilizantes en la literatura se dan para un período de crecimiento específico de guayule, por ejemplo, 210 kg N / ha total aplicado durante 2 años de crecimiento (Bucks *et al.*, 1985a), 620 kg N / ha total durante 4 años de crecimiento; por otra parte en suelos con alto contenido de potasio (K), no se necesita adicionar K; para el fósforo (P), los estudios han demostrado que cambiar los niveles de P no afecta el peso seco de la planta de

guayule (Ray *et al.*, 2010) y, por lo tanto, la fertilización con P suele ser baja o inexistente.

La cantidad de agua de riego necesaria depende de la región de cultivo y los niveles de rendimiento deseados (Foster y Coffelt, 2005). La planta de guayule contrario a lo que se podría pensar requiere grandes cantidades de agua aplicada en el riego para lograr la máxima producción (Foster y Coffelt, 2005). Las recomendaciones de riego varían entre los estudios, con un rango de 700 a 1000 mm/año de agua aplicada para riego, con una supuesta lluvia de 300 mm/año para Arizona, totalizando 1000-1300 mm / año (Nakayama *et al.*, 1991a) (Coffelt y Rayo, 2011).

3.4.4 Cosecha

Actualmente no se ha registrado una época del año durante la cual se deba cosechar el guayule; lo cual supondría una ventaja, pudiéndose extender el tiempo de cosecha durante todo el año (Rasutis *et al.*, 2015). Por ejemplo, en la cosecha de septiembre a marzo se obtiene mayor producción de biomasa, enero resulto ser el mejor mes para la concentración de látex y julio el menor (Coffelt y Nakayama, 2010).

3.5 Extracción de hule, resina y látex

Actualmente, en el cultivo de guayule, el producto primario de interés es el hule, pero dependiendo del método utilizado para la extracción, existe la posibilidad de obtener hule en forma de látex o hule puro: el látex se obtiene mediante extracción con agua mientras que el hule puro es obtenido por un proceso de extracción con solventes, en este último proceso previo a la extracción del hule se realiza una extracción selectiva de resina a partir del bagazo para posteriormente hacer la extracción del hule puro. En cualquier caso, para la extracción de látex y/o hule, se requiere cosechar la planta casi en su totalidad (ramas y hojas) obteniendo

rendimientos dependiendo de la variedad entre el 5 y 10 % de látex y/o hule del peso seco total (Sfeir et al., 2014; Boateng et al., 2015; Sabaini et al., 2018).

3.5.1 Métodos para la extracción de látex

En la ciencia y tecnología de polímeros, la palabra látex es usada para denotar una dispersión coloidal estable de una sustancia polimérica en un medio acuoso. (Brasero, 2017).

Para extraer el látex se emplea un solvente acuoso, (Salvucci *et al.*, 2009). La pH alto, este procedimiento evita los problemas con los solventes orgánicos, sin embargo la extracción requiere material fresco y demanda tiempo por lo que ha sido difícil de automatizar (Cornish *et al.*, 1999).

En distintas investigaciones se ha logrado la cuantificación del látex, pero la cuantificación precisa depende de las condiciones de almacenamiento y análisis posteriores a la cosecha, considerando como máximo dos semanas para garantizar que el hule no se coagule (se forme hule), sino que permanezca como una emulsión en forma de látex (Salvucci *et al.*, 2009).

En general, el contenido del látex en la planta debe ser igual o inferior al contenido total de hule. Por ejemplo, cuando ocurre una coagulación considerable, en el tejido de la planta con bajo contenido de agua, el contenido del látex subestima en gran medida la cantidad total de hule en el tejido. Además, la extracción de tejido para el látex no proporciona una medida de la cantidad de resina en el tejido, ya que la determinación de la resina generalmente se realiza en una muestra seca separada (Salvucci *et al.*, 2009).

3.5.2 Métodos de extracción de hule

El método más primitivo utilizado para extraer el hule fue por flotación en agua. Este método fue ampliamente utilizado desde el inicio de la comercialización de guayule. Se descartó debido a las siguientes dificultades: a) grandes cantidades de agua de calidad en las zonas semiáridas donde se cultivaba guayule, b) a la eliminación de aguas residuales con alto contenido de sodio, c) a la eficiencia de extracción variable y d) el control de calidad.

Debido a lo anterior se desarrolló un método de extracción simultánea, el cual consistió en mejorar el proceso del uso del agua mediante el uso de vapor; o una mezcla de disolventes. La extracción acelerada de solventes (ASE) puede usarse para cuantificar con precisión el hule y la resina en muestras de guayule (Pearson *et al.*, 2013). A menudo se usa un procedimiento de extracción secuencial simple, donde la resina se extrae primeramente en acetona, en la que el hule de alto peso molecular es insoluble, seguido de la extracción de hule con un solvente orgánico fuerte adecuado, como hexano, ciclohexano o tetrahidrofurano (Cornish *et al.*, 2009, Coffelt *et al.*, 2009, Black *et al.*, 1983). El método automatizado ASE es relativamente rápido para extraer compuestos de interés en materiales vegetales, pero los protocolos deben evaluarse para cada nueva especie, así como la parte vegetal a utilizar en la extracción (Pearson *et al.*, 2010).

Investigaciones anteriores han demostrado que la preparación y el manejo de la muestra previa a la extracción pueden tener un efecto significativo en la determinación del hule (Schloman *et al.*, 1996a). Por lo tanto se tiene que tomar en consideración el tamaño de la partícula y la carga adecuada en la celda de extracción ya que esta puede tener efectos significativos en la extracción y cuantificación del hule usando el método ASE bajo nitrógeno gaseoso (Pearson *et al.*, 2010; Salvucci *et al.*, 2009). Se sabe que algunos compuestos, como el hule de guayule, están sujetos a degradación térmica y oxidativa (Schloman *et al.*, 1996a; Cornish *et al.*, 2009).

El método ASE requiere el protocolo de extracción de resina (tres ciclos de 20 min) para llevar a cabo primero, en forma gaseosa N y a 40 ° C. Las temperaturas más altas degradan el hule termolábil, por lo tanto, las temperaturas de acetona por encima de 40 °C sobreestiman la fracción de resina y subestiman la fracción de hule en las muestras que se analizan. Después de la eliminación de la fracción de resina, las muestras se extraen con ciclohexano o hexano a 140 °C. Las temperaturas más frías no solubilizan completamente el hule de guayule de alto peso molecular en los ciclos.

En los últimos años, se han puesto a disposición instrumentos para el método ASE, también llamados extracción de líquido a presión, como el Dionex ASE 200 (Dionex Corp., Bannockburn, IL), que proporcionan un medio para automatizar la extracción secuencial de tejido de guayule. Una ventaja importante de los sistemas ASE sobre los métodos de extracción tradicionales es la manipulación reducida de los solventes orgánicos. Además, los instrumentos ASE aumentan la velocidad y la eficiencia de la extracción mediante el uso de alta presión, solo o en combinación con altas temperaturas, para la extracción con solvente (Thurbide y Hughes, 2000).

3.5.3 Sub-productos de la extracción de hule y látex

La resina es un subproducto importante del guayule puesto que para la obtención de hule, es necesario retirar la resina como primer paso, se sabe que contiene compuestos terpenoides los cuales tienen fuertes propiedades termiticidas y fungicidas, se han formulado en conservantes para productos de madera, así como en recubrimientos. Mediante la impregnación de la madera con el extracto de resina cruda, la madera se puede proteger contra muchos tipos de organismos que destruyen la madera. (Bultman *et al.*, 1991; Gutiérrez *et al.*, 1999; Nakayama *et al.*, 2001, Thames *et al. al.*, 1996).

Así también se ha encontrado que puede emplearse como combustible, ya que contiene valores comparables al aceite de la mayoría de los cultivos de semillas oleaginosas, correspondiendo al valor de (37.90 MJ Kg) (*Nakayama et al., 2003*).

Es importante mencionar que después de la extracción con solventes se obtiene un coproducto denominado bagazo el cual contiene resina y puede usarse sin procesamiento químico adicional. Por ejemplo, se ha combinado con un aglutinante de plástico para fabricar tableros compuestos de alta densidad, que son resistentes a la degradación de termitas. Este bagazo también se puede mezclar con otros tipos de fuentes de madera para hacer tablas de densidad intermedia, que tendrán propiedades de control de insectos. Así también el bagazo se puede comprimir en troncos de chimenea, briquetas o pellets para la producción de energía. Dicho material tiene un contenido energético mayor que el de otras fuentes de madera debido a la resina, que puede representar aproximadamente el 10% de la masa seca. El bagazo se convierte en combustible líquido, y con una tecnología mejorada de pirolisis, podría convertirse en una fuente económica de combustible diésel. El bagazo desresinado puede ser una fuente de alcohol y otro tipo de entidades químicas para combustible líquido o disolventes (*Carmona et al., 2017*).

CAPITULO I.- RENDIMIENTO DE HULE A PARTIR DE ARBUSTOS SILVESTRES DE GUAYULE

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Sitio de colecta de las plantas de *Parthenium argentatum*

El presente estudio se llevó a cabo en el Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), mediante muestreos realizados en una parcela silvestre ubicada en el kilómetro 112 de la carretera 54 Zacatecas – Saltillo; entre los paralelos 24°22'27.01" latitud Norte y los meridianos 101°23'40.51" longitud oeste y a 1812 msnm.

Las colectas de guayule se efectuaron mensualmente con la finalidad de comparar la producción de látex, hule y resina de 10 plantas elegidas al azar con al menos 15 metros de distancia entre plantas, las cuales fueron georeferenciadas con un GPS modelo eTrex 35 de la marca Garmin, los muestreos se realizaron en dos bloques: bloque I colecta de 5 plantas seleccionadas al azar con la siguiente nomenclatura (P01, P02, P03, P04 y P05) durante los meses de julio, septiembre, noviembre y enero; bloque II plantas (P06, P07, P08, P09 y P10) durante los meses de agosto, octubre, diciembre y febrero.

4.2 Extracción de látex

4.2.1 Preparación de muestras

De las muestras colectadas en campo se cortó una rama representativa para cada una de las 10 plantas a una altura de corte de aproximadamente 10 cm del suelo, para su transporte y resguardo se mantuvieron hidratadas dentro de una hielera hasta el momento de la extracción.

Las muestras colectadas y almacenadas se analizaron para conocer el rendimiento del látex; la concentración y el rendimiento (hule y resina) estas se colectaron y fragmentaron utilizando el método descrito por Coffelt y Nakayama (2007) el cual consiste en cortar las plantas cerca (50 mm) de la superficie del suelo y usar todas las partes de la planta para extraer látex, hule y resina.

Las muestras frescas se colocaron en gasa humedecida y transportadas en frío hasta el sitio de procesamiento, en este método, el material vegetal pasa a través de una licuadora y se mezcla con una solución alcalina para producir homogeneizado para análisis de látex (Coffelt y Nakayama, 2007). La concentración de látex en el homogenado se determinó por el método descrito por Cornish *et al.*, (1999).

Las concentraciones de látex se determinaron sobre una base de peso seco. Las concentraciones de resina y hule se determinaron mediante una modificación del método gravimétrico de Black *et al.*, (1983) según lo descrito por Veatch-Blohm *et al.*, (2006). Los rendimientos de látex, hule y resina son el producto de las concentraciones respectivas multiplicadas por la biomasa (Coffelt *et al.*, 2009).

4.2.2 Cuantificación de látex

De las muestras colectadas en campo se separaron hojas, flores y las ramas menores a 3 mm de diámetro y el resto de la planta se descortezó; para esta prueba solo se utilizaron las ramas y la corteza de la planta las cuales durante el proceso se remojan en una solución alcalina (KOH), posteriormente en una licuadora industrial como la de la imagen 5 se muele la mezcla durante 90 s, la solución generada se filtró por una gasa para separar el bagazo del resto de la solución, quedando un concentrado del cual se tomaron tres repeticiones depositadas en tubos de ensayo para ser centrifugadas por 5 min a 16000 g (figura 6), pasando este tiempo y con el fin de coagular el látex de la solución se adicionó 50 μ l de ácido acético (CH_3COOH) y se volvieron a centrifugar con los mismo parámetros, el látex

sobrenadante se colocó en placas previamente pesadas en una estufa a 50 °C por 24 horas, para después por diferencia de pesos calcular la cantidad de látex coagulado de la muestra (Coffelt *et al.*, 2009).



Figura 5. Waring 7010HG Batidora sellada, 2200-1800 rpm



Figura 6. Spectrafuge, 24 d micro-centrifuge

4.2.3 Cuantificación de materia seca

De la solución obtenida para la cuantificación de látex se realizó por triplicado en tubos eppendorf se colocó 1 ml de esta misma en un vaso previamente pesado el cual se sometió a secado en una estufa por 24 horas, para después por diferencia de pesos calcular materia seca.

4.3 Extracción de hule y resina

Preparación de la muestra. De las muestras colectadas se seleccionaron y cortaron segmentos de tallos de guayule entre 10 y 15 mm de diámetro y 7 cm de largo los cuales se colocaron en una estufa durante 48 horas. Una vez secos los tallos, las muestras se sometieron a un proceso de molienda la cual se realizó en un molino

Bel – Art Micro – Mil Grinder con temporizador mostrado en la figura 7, durante 30 segundos. Una vez terminada las moliendas, las muestras se secaron nuevamente en la estufa a una temperatura de 45 °C por 24 horas para mantener la humedad de la muestra $\leq 10\%$. La medición del porcentaje de humedad se realizó mediante una balanza de análisis de humedad modelo MF-50 mostrado en la figura 8, dichas muestras fueron las que se utilizaron para la extracción de hule y resina (Salvucci et al., 2009).



Figura 7. Bel – Art Micro – Mil Grinder con temporizador



Figura 8. Balanza de análisis de humedad MF-50

Preparación de la celda para extracción. Se colocó un filtro de celulosa en el fondo de la celda, seguido de 5 g de arena de cuarzo (Buchi de 0.3-0.9 mm), seguido de otro filtro de celulosa, una mezcla relación 1:5 muestra-arena (0.5 g y 2.5 g), posteriormente 5 g de arena de cuarzo y al final un filtro de celulosa.

Parámetros del equipo de extracción. La obtención de resina y hule se realizó con 2 rondas de extracción en base al procedimiento de Pearson *et al.*, (2013) con algunas modificaciones. La primera ronda consistió en extraer la resina de la muestra usando acetona como solvente, para después extraer el hule presente utilizando

hexano. En el cuadro 3 se muestran las condiciones bajo las cuales se realizaron las rondas de extracción.

Cuadro 3. Parámetros y condiciones de extracción

Parámetro	Extracción de Resina	Extracción de hule
	Característica	Característica
Temperatura	40 °C	60 °C
Presión	100 bares	100 bares
Solventes	Acetona 100%	Hexano 100%
Celdas	40 ml	40 ml
Vial	240 ml	240 ml
Ciclos	3	3
Calentamiento	3 min	3 min
Retención	5,10,15 min	5,10,15 min
Descarga	5 min	5 min
Enjuague con solvente	3 min	3 min
Enjuague con gas	3 min	3 min

Cada extracto obtenido, fue colectado en viales de 240 ml previamente etiquetados para su posterior concentración, mediante la evaporación del solvente a distintas temperaturas respectivas.

El método ASE (Extracción Acelerada por Solventes) usado en este trabajo, tiene una alta repetitividad, alta recuperación de la extracción, operación totalmente automática, bajo consumo y exposición a los solventes y menor tiempo de extracción en comparación a las técnicas previamente usadas como Soxhlet, y gravimétricas (Pearson *et al.*, 2013).

Extracción del contenido de hule y resina. El hule natural y la resina fueron obtenidos usando un equipo de extracción automatizado Speed extractor E-916, Buchi mostrado en la figura 9, en el cual las muestras se exponen a una presión y temperatura controladas y pueden realizarse hasta 6 extracciones simultáneas. Las muestras se colocaron en celdas de extracción de 40 ml, que son controladas individualmente, por lo tanto, los efectos de contaminación cruzada se eliminan por completo, a cada celda se les inyecta acetona para la extracción de resina y hexano

para la extracción de hule por medio de una bomba. Cada ciclo de extracción consta de tres pasos: 1) calentamiento que es el aumento de temperatura paso a paso para alcanzar la presión establecida; 2) mantenimiento, una vez alcanzadas temperatura y presión deseadas, estas se mantienen por un tiempo determinado para finalmente 3) descargar el extracto se descarga en viales de recolección de 240 ml.



Figura 9. Speed extractor E-916, Buchi

4.4 Concentración, secado y determinación de porcentajes del material obtenido

Para la concentración del material de hule y resina, se utilizó un evaporador (Buchi, multivapor P-6) figura 10, con parámetros controlables. Los parámetros para evaporación con acetona fueron: 536 bares de vacío, una temperatura de 40 °C, y la agitación entre 100 y 180 rpm. Para el hexano el vacío fue de 400 bares, la temperatura de 40 °C, y la agitación entre 100 y 180 rpm, hasta obtener de 10 a 15 ml de concentrado de cada muestra.



Figura 10. Buchi, Multivapor P-6, Alemania

Posteriormente se pesaron y etiquetaron viales de vidrio color ámbar de 50 ml para verter el concentrado obtenido de cada muestra. Enseguida los viales se llevaron a evaporación total bajo una campana de extracción y finalmente fueron sometidos al proceso de liofilización en un equipo Labconco Free Dry System/freezone 4.5, EUA como el que se muestra en la Figura 11, durante 24 horas, para eliminar completamente la humedad contenida de las muestras. Finalmente, la obtención del porcentaje de resina y hule presente en las muestras se obtuvo por la diferencia de pesos del vial y la muestra seca menos el peso del vial previamente registrado, el resultado de esta diferencia fue multiplicado por 100 y dividido entre el peso de la muestra inicial que en este caso fue de 0.5 g.



Figura 11. Liofilizador Labconco Free Dry System/freezone 4.5, MO

4.5 Análisis estadístico

Para el procesamiento de los datos se utilizó un diseño completamente al azar (Tukey, 1953), para el análisis estadístico se utilizó la prueba de Tukey utilizando el software InfoStat versión 2008.

4.5.1 Modelo lineal

Prueba de Tukey (Diferencia Honestamente Significativa, DHS). Esta prueba está diseñada para comparar todas las parejas posibles de medias, manteniendo a α , el error tipo I para todo el conjunto completo de comparaciones. El método se basa en utilizar el cuadrado medio del error, que se obtiene de un ANVA, para calcular un valor de referencia, ω , que se compara con las diferencias de cada par de medias, si el resultado es mayor que ω se asumen medias diferentes, en caso contrario se consideran semejantes o estadísticamente iguales.

La fórmula de cálculo es:

$$\omega = q_{\alpha}(k, v) \sqrt{\frac{CM_E}{n_g}}$$

Donde:

k = número de tratamientos o niveles

v = grados de libertad asociados al CME, con $v = N - k$

n_g = número de observaciones en cada uno de los k niveles (lo que implica un diseño balanceado)

α = nivel de significancia

$q_{\alpha}(k, v)$ = valor de tablas de Tukey (rangos estudentizados de Tukey)

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De las colectas mensuales de guayule realizadas se obtuvieron muestras de 10 plantas (nombradas como P01 hasta P10) elegidas al azar las cuales se ubican en el estado de Zacatecas, en el kilómetro 112 de la carretera 54 Zacatecas – Saltillo; entre los paralelos $24^{\circ}22'27.01''$ latitud Norte y los meridianos $101^{\circ}23'40.51''$ longitud oeste y a 1812 msnm. El sitio y la distribución de las plantas se aprecian en la figura 12 y la figura 13. De cada una de las plantas colectadas se realizó extracción y cuantificación de látex, hule y resina.

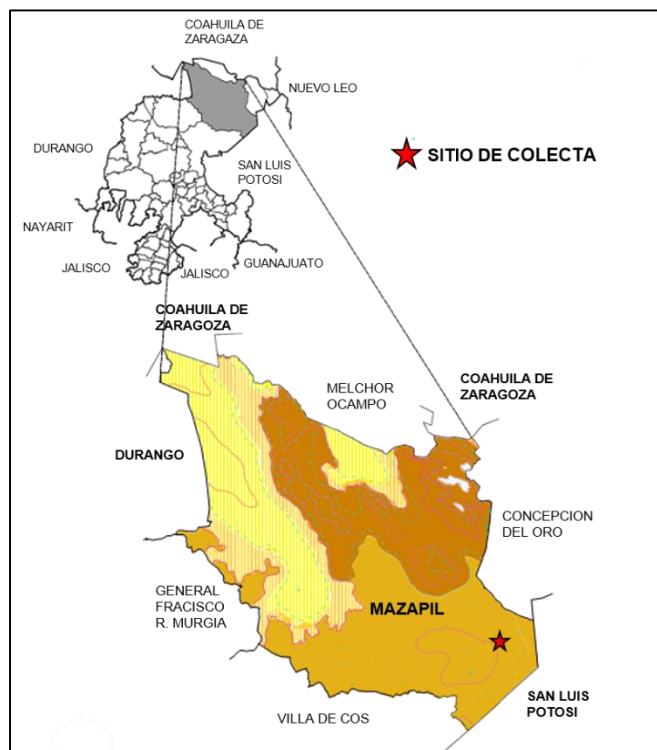
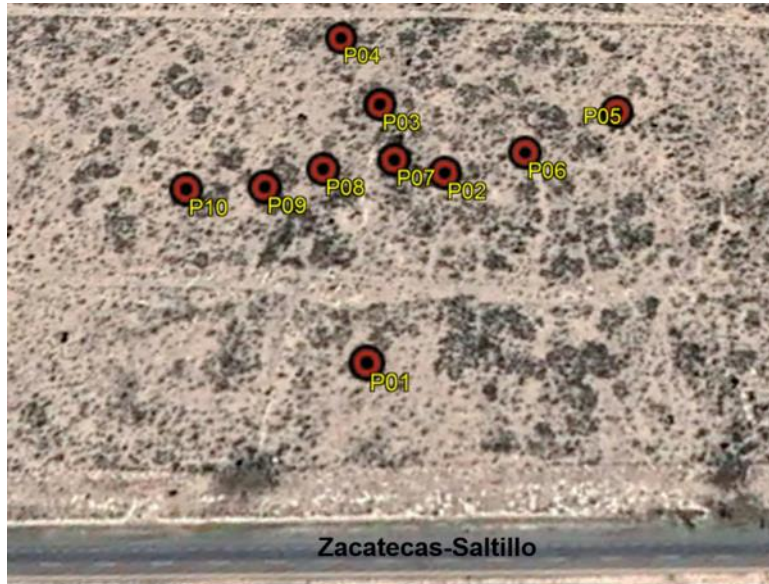


Figura 12. Ubicación del sitio de colecta en el estado de Zacatecas



● Planta de guayule

Figura 13. Distribución de las plantas en el sitio de colecta

5.1 Extracción de látex, hule y resina de guayule

De manera general se resume en el cuadro 4 el contenido de las variables analizadas por planta así mismo los valores correspondientes a cada mes de colecta, estos se aprecian en el cuadro 5, donde para los meses de enero y febrero las variables hule y resina, por razones fuera del control de esta investigación no se llevaron a cabo.

Cuadro 4. Contenido de látex, hule y resina en plantas de guayule

Planta	Látex mg/g	Hule (%)	Resina (%)
P01	129.51	7.41	7.87
P02	134.76	8.55	6.81
P03	115.55	6.77	6.54
P04	121.54	8.54	8.15
P05	160.26	10.74	8.06
P06	175.83	9.48	6.23
P07	115.66	6.51	7.23
P08	99.57	5.79	3.71
P09	134.45	4.19	8.15
P10	139.94	10.59	7.35

Cuadro 5. Concentración de látex, hule y resina mensual

Mes de colecta	látex mg/g	Hule (%)	Resina (%)
Julio	126.94	7.72	7.42
Agosto	145.50	9.44	8.91
Septiembre	119.74	6.06	8.12
Octubre	125.83	8.46	6.16
Noviembre	140.86	11.43	6.92
Diciembre	144.90	6.08	4.53
Enero	141.76	-	-
Febrero	116.13	-	-

5.2 Extracción de látex de guayule por planta

De acuerdo a las muestras colectadas durante los meses de julio a febrero, se realizaron extracciones de látex y se calcularon los contenidos con respecto a materia seca.

La figura 14 contiene una representación del contenido de látex por planta por mes con valores que oscilan entre 66.44 – 186.62 mg/g, es importante resaltar que la planta P06 mantuvo valores superiores a 180 mg/g de muestra seca con un comportamiento casi constantes durante todos los muestreos. También se pueden observar en las figuras 15 y 16 los resultados por separado tanto de la concentración de látex por planta como por mes.

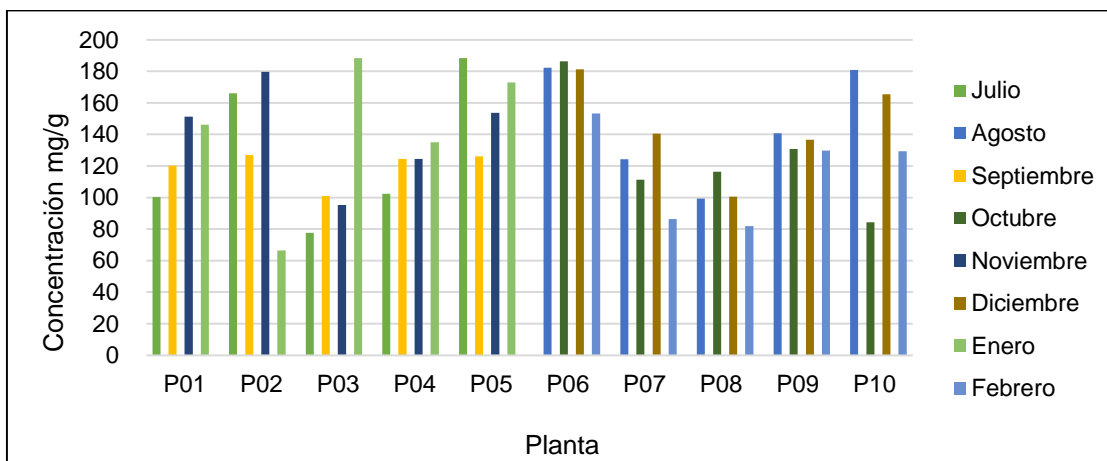


Figura 14. Concentración de látex por planta

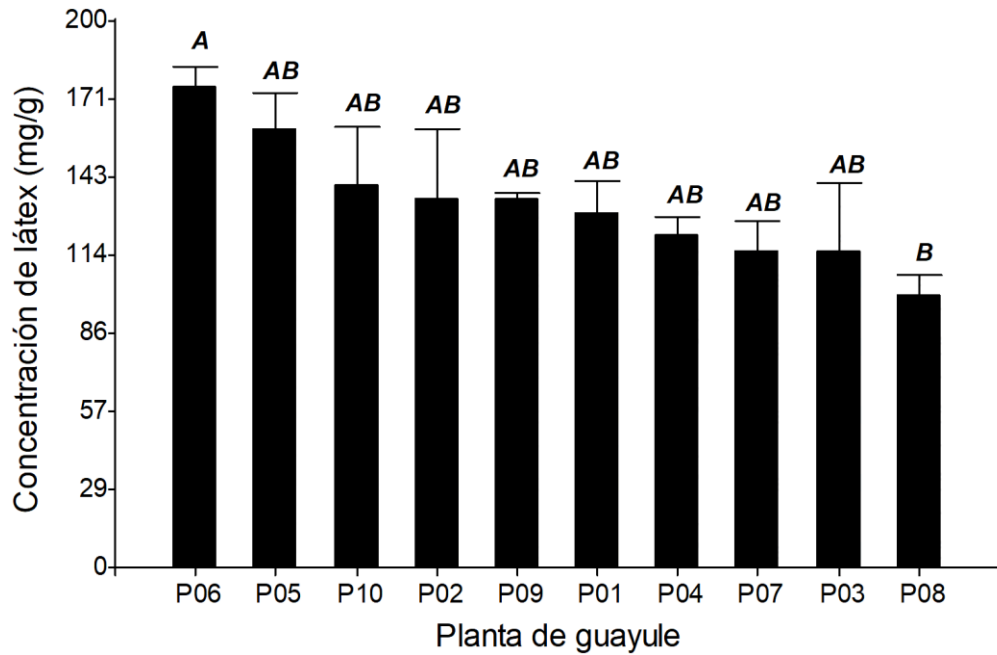


Figura 15. Concentración promedio de látex de guayule en cada planta durante el ensayo (Barra con letra igual no tienen diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$))

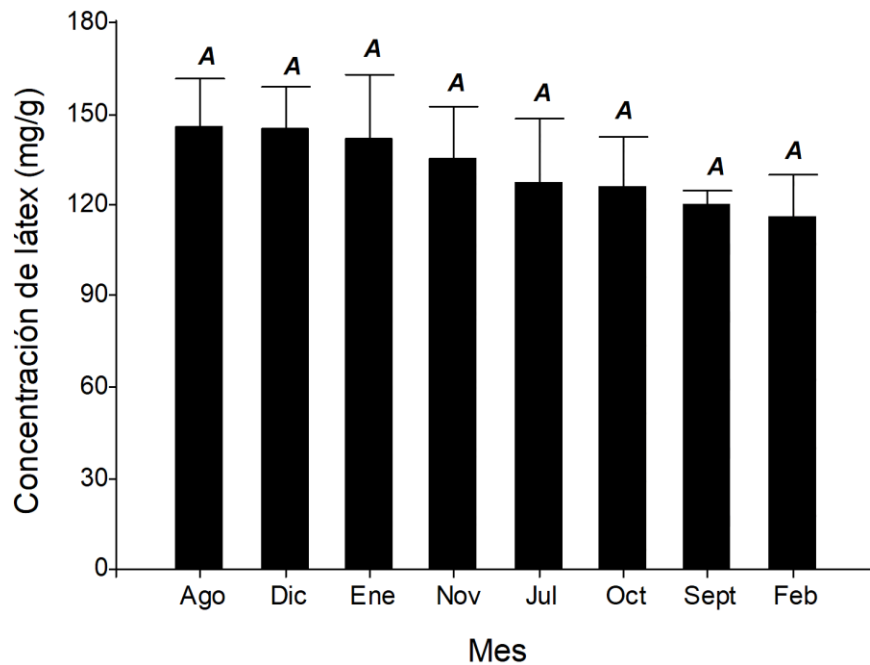


Figura 16. Concentración promedio mensual de látex (Barra con letra igual no tienen diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$))

En base a los resultados obtenidos con respecto a la concentración promedio mensual de látex en el mes de agosto las plantas concentraron la mayor cantidad con 145.50 mg de látex/g de muestra seca, sin embargo estadísticamente hablando no existe diferencia significativa entre los 8 meses evaluados. A pesar de lo anteriormente mencionado con los resultados obtenidos en este ensayo las plantas concentraron más látex, durante el verano contrario a lo que se menciona en un estudio realizado por Coffelt y Nakayama, en el cual durante dos años se evaluaron tres líneas de guayule las cuales se cosecharon cada dos meses para evaluar el contenido y rendimiento de látex, de acuerdo a las doce fechas de cosecha, enero (inverno) de ambos años fue el mejor mes para la concentración de látex y julio (verano) fue el peor mes (Coffelt y Nakayama, 2010); aunado a esto, Coffelt *et al.*, (2009) mencionan que las cosechas de primavera son probablemente las más deseadas una vez que las plantas alcancen su tamaño completo, esto en cuanto a la concentración y al rendimiento total de látex.

De igual forma Coffelt *et al.*, 2009, establecieron plantas de guayule en campo, donde usaron dos líneas de germoplasma, cosechadas tres veces al año por dos años, las cuales recibieron 10 combinaciones de almacenamiento (humectación y secado) para evaluar la concentración y rendimiento de látex, hule y resina, los tratamientos de almacenamiento húmedo a menudo dieron resultados mayores en cuanto a concentración y rendimiento de látex. Al tomar las muestras del mes de agosto, el cual presentó una precipitación mayor con respecto a los demás meses, presumiblemente por este hecho, la humedad del arbusto al momento de la cosecha presentó los más altos contenidos en la concentración de látex extraíble; Cornish *et al.*, (2000) propuso que cuando las ramas de guayule pierden la mitad de su humedad, todo el látex se habrá coagulado en hule sólido; de acuerdo con lo anterior en esta investigación las muestras colectadas se mantuvieron húmedas hasta su procesamiento para extraer látex, por lo tanto se tiene la certeza de que los valores obtenidos son fiables.

5.3 Extracción de hule y resina

Para calcular la concentración de hule y resina en las plantas se hicieron muestreos durante 6 meses (julio-diciembre), se realizaron las extracciones y se calcularon los porcentajes.

En la figura 17 se muestran el promedio mensual de la concentración de hule por planta distribuidos de la siguiente manera: julio, septiembre y noviembre (plantas P01, P02, P03, P04, P05) y agosto, octubre y diciembre (plantas P06, P07, P08, P09, P10); los valores de porcentaje de hule obtenidos oscilaron entre 5.79 – 10.74 %, plantas P08 y P05 respectivamente. En cambio en las concentraciones promedio mensuales representadas en la figura 18, el mes de noviembre el porcentaje de hule fue de 11.42%, siendo este valor la media más alta. Las concentraciones promedio por mes de resina se muestran en la figura 20, los valores oscilan de 4.53 - 8.51 %.

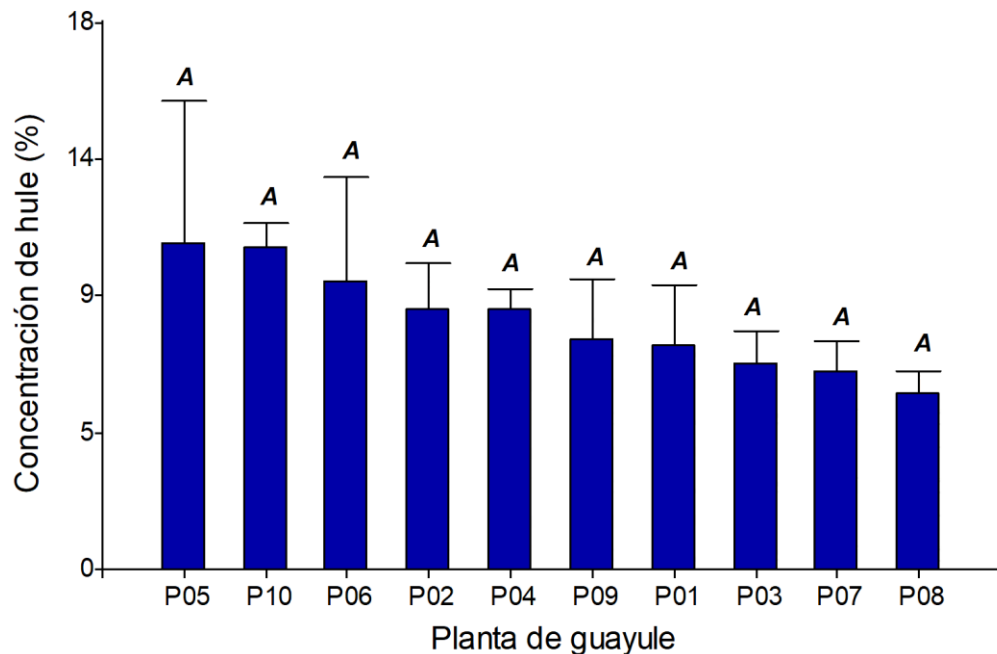


Figura 17. Concentración promedio de hule por planta (Barra con letra igual no tienen diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$))

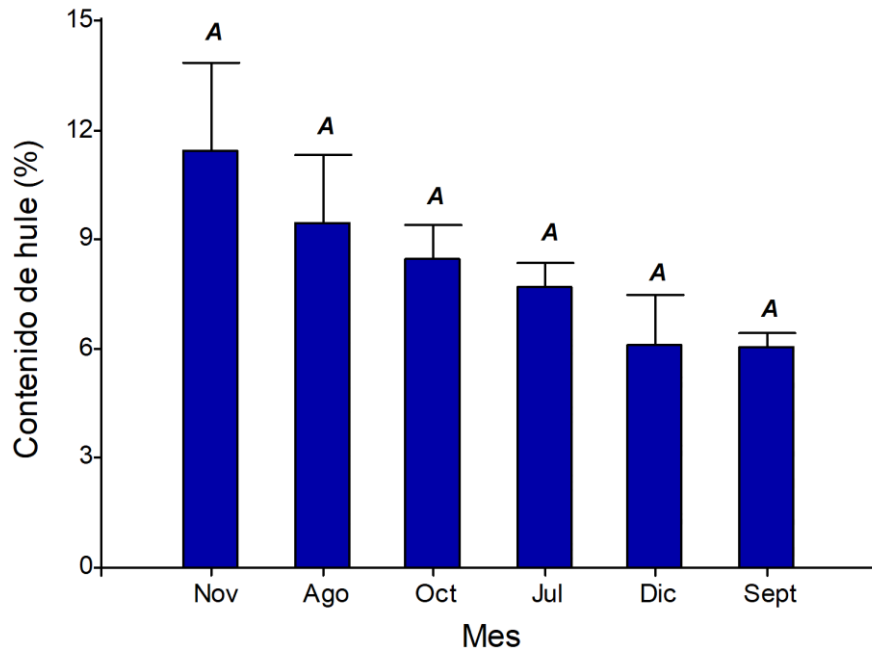


Figura 18. Concentración promedio mensual de hule (Barra con letra igual no tienen diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$))

Como se observa los valores correspondientes al contenido de hule no presentan diferencias estadísticamente significativas. Sin embargo, las plantas silvestres de guayule tuvieron mayor contenido de hule en el mes de noviembre con un contenido de hule del 11.42% dato bastante interesante, ya que Estilai y Ray (1991), mencionan que en plantas silvestres el contenido de hule varía en el rango de 3.6 a 22.8% y que incluso se han publicado contenidos altos por encima de 26%, pero estos rendimientos no han sido confirmados bajo condiciones de cultivo, por lo que se considera que los altos rendimientos en las plantas silvestres puede ser debido a la edad de las mismas, la cual en algunos casos, pueden alcanzar hasta los 40 años. En este sentido (Baylon, 2015), reporto valores de 22% de concentración de hule, datos correspondientes a muestras de guayule silvestre del estado de Durango, así mismo Rodríguez et al., (2004) reportaron valores similares en plantas silvestres.

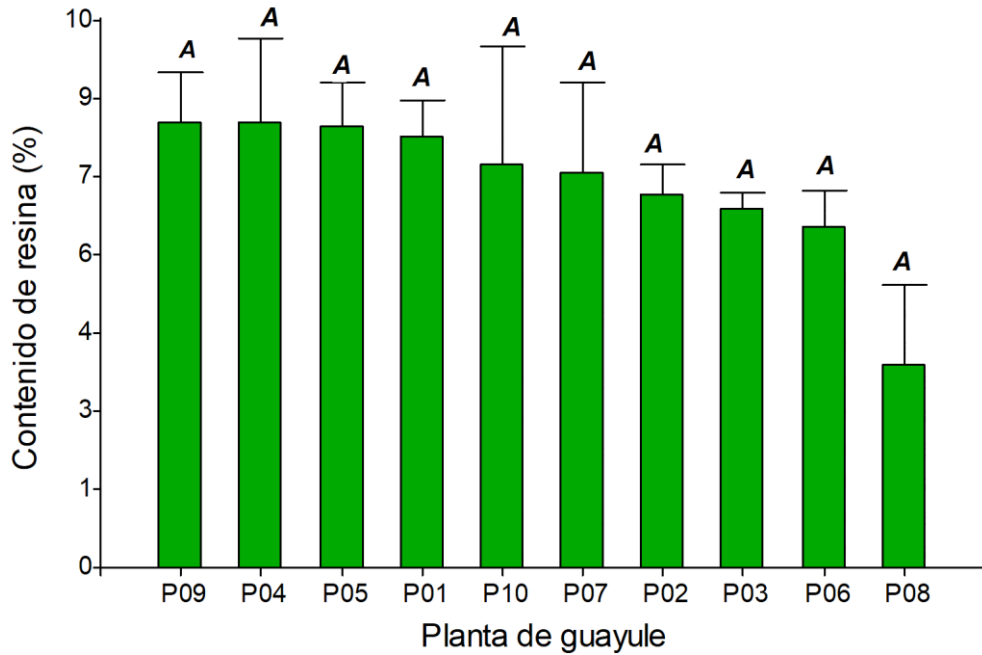


Figura 19. Concentración promedio de resina por planta (Barra con letra igual no tienen diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$))

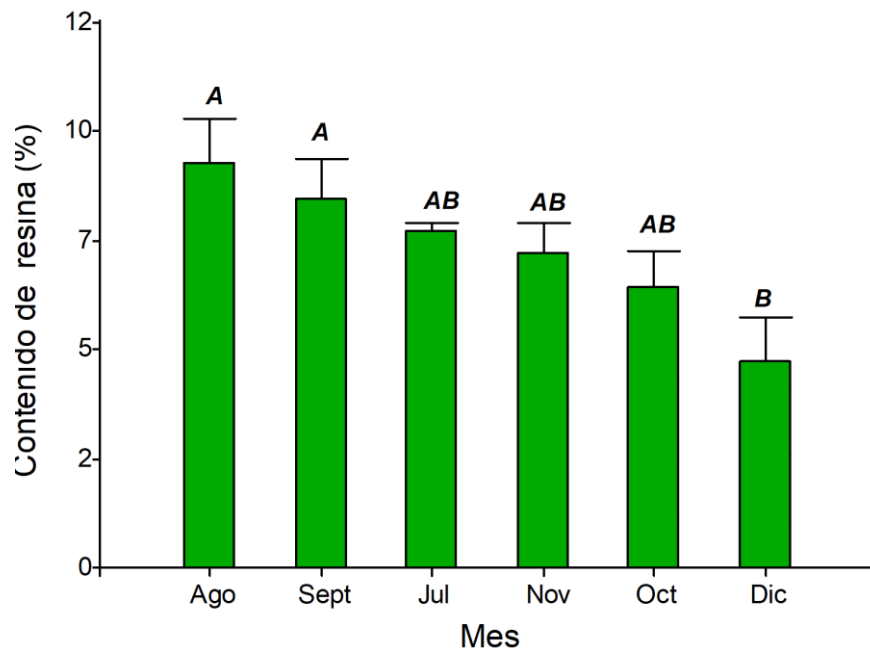


Figura 20. Concentración promedio mensual de resina (Barra con letra igual no tienen diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$))

Los contenidos de resina obtenidos en este estudio son menores que los obtenidos de hule, por lo que se puede decir que las muestras analizadas son de plantas adultas, ya que con la información reportada por Kuruvadi (1991) señala que las plantas jóvenes de guayule presentan altos contenidos de resina, con respecto al hule. (Luo y Abdel-Haleem, 2019) nos dicen que el contenido de resina se ve afectado por riego en plantas cultivadas bajo estrés hídrico en comparación con condiciones de crecimiento bien regadas, se observó una reducción en cuanto al contenido (%), por lo tanto si la resina se ve favorecida con temperaturas de 40°C, el contenido de hule se ve afectado, sin embargo con los datos obtenidos en este ensayo, el contenido de resina en las plantas evaluadas, tiene mayores porcentajes durante el mes de agosto y el hule durante el mes de noviembre, de acuerdo a este comportamiento Macrae *et al.*, (1986) concluyeron que la resina y hule se producen por la misma ruta biosintética del poliisopreno, por lo tanto cuando uno es más alto el otro es más bajo, de acuerdo a esto la mayoría de nuestro datos manifiestan este comportamiento, con esto se puede decir que en el verano la planta de guayule presenta los valores más altos de resina y látex, sin embargo se tiene que considerar también lo que mencionan los siguientes autores (Dierig *et al.*, 2001; Coffelt *et al.*, 2005; Dissanayake *et al.*, 2007) los cuales coinciden que el ambiente juega un papel importante en la determinación de los rendimientos de biomasa, látex, hule y resina en guayule (Coffelt y Ray, 2010).

5.4 Condiciones climatológicas en la zona de colecta (Mazapil Zacatecas)

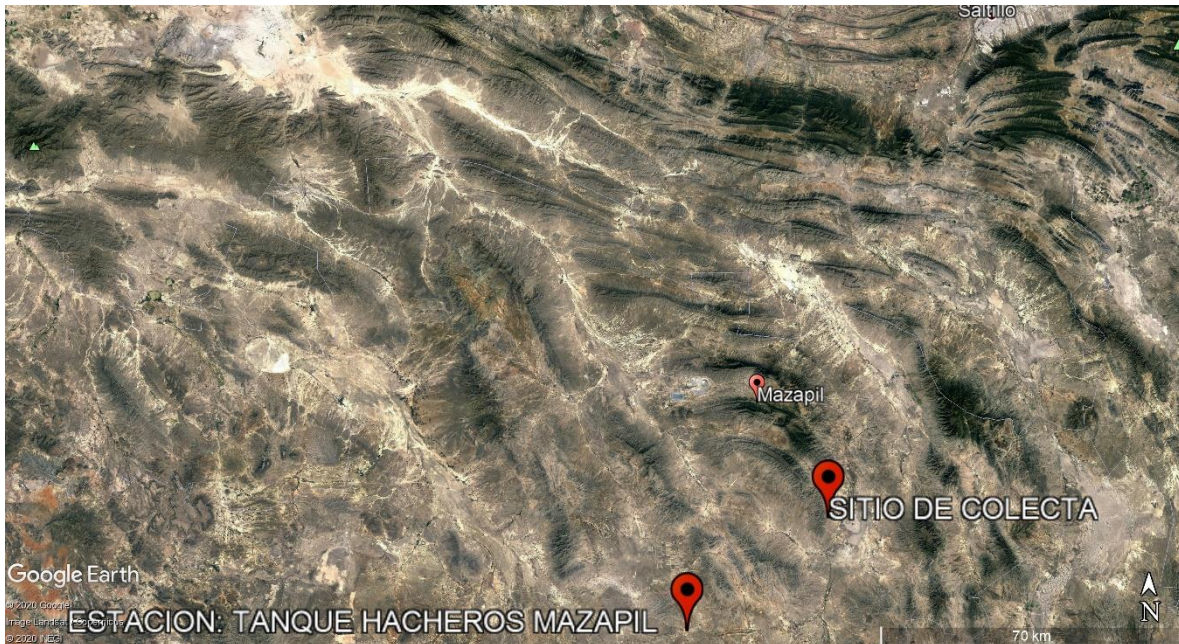


Figura 21. Ubicación de la estación meteorológica Tanque de Hacheros

La climatología predominante de este lugar es de 19°C a 25°C entre los meses de abril a octubre, encontrándose en condiciones áridas con bajas precipitaciones pluviales que se reportan entre los 400 milímetros anuales, con climas secos (b), semisecos B50 y climas secos 50; presentando este municipio al norte clima BW considerándose muy seco.

Como se puede ver en el cuadro 6 tomado de la estación meteorológica Tanque de Hacheros ubicada en Mazapil, Zacatecas a unos 47 km de la zona de colecta. Se presenta un breve resume de los promedios mensuales, datos tomado de la página Red de Monitoreo Agroclimático del Estado de Zacatecas con el siguiente link <http://www.zacatecas.inifap.gob.mx/index.php>.

Los datos meteorológicos se muestran en el cuadro 6, donde la temperatura máxima se presentó en el mes de agosto de 2019 con una temperatura de 34.6 °C en lo que

respecta a la temperatura mínima (-5.0 °C) fue en el mes de enero, así mismo en el mes de agosto se presentó la mayor precipitación con 87.8 mm.

Cuadro 6. Parámetros meteorológicos estación Tanque de Hacheros

Mes	Temperatura (°C)			Precipitación (mm)	Humedad relativa (%)	Radiación (W/m)	Evapotranspiración (mm)
	Max	Min	Med	Acumulada	Med	Total	Acumulada
Julio	33.3	10.2	21.7	34	62	768303	159.9
Agosto	34.6	11.4	22.8	87.8	62	780162	163
Septiembre	30.5	10.0	20.2	34	71	657782	126.6
Octubre	32.1	3.8	19.2	13.8	63	640928	125
Noviembre	28.7	1.5	15.6	29.4	71	467621	84.1
Diciembre	28.6	-3.2	11.8	19.4	61	459920	80.7
Enero	26.4	-5.0	11.4	41	68	471671	78.7
Febrero	30.9	-2.4	14.5	0.8	50	553517	107.4

Los datos de temperatura y precipitación se presentan en la figura 21, temperaturas mínimas por debajo de cero las cuales fueron observadas durante el invierno, los valores de precipitación son relativamente bajos, con un valor pico de 87.8 mm en el mes de agosto, y el mes de febrero con el valor más bajo (0.8 mm). Los datos de humedad relativa, radiación y evapotranspiración se presentan en la figura 22, el mes de agosto presentó los valores más altos de radiación con un valor de 780162 (W/m).

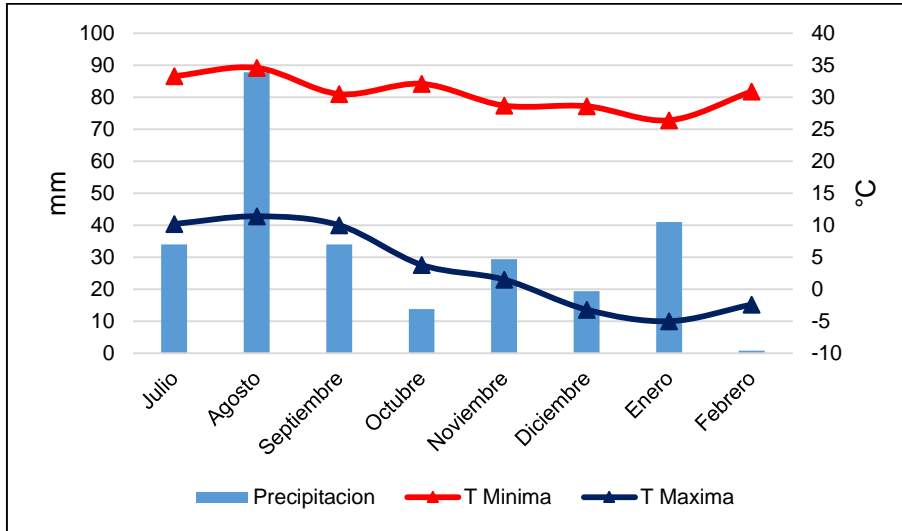


Figura 22. Temperatura y precipitación registradas durante el tiempo transcurrido de la investigación de guayule

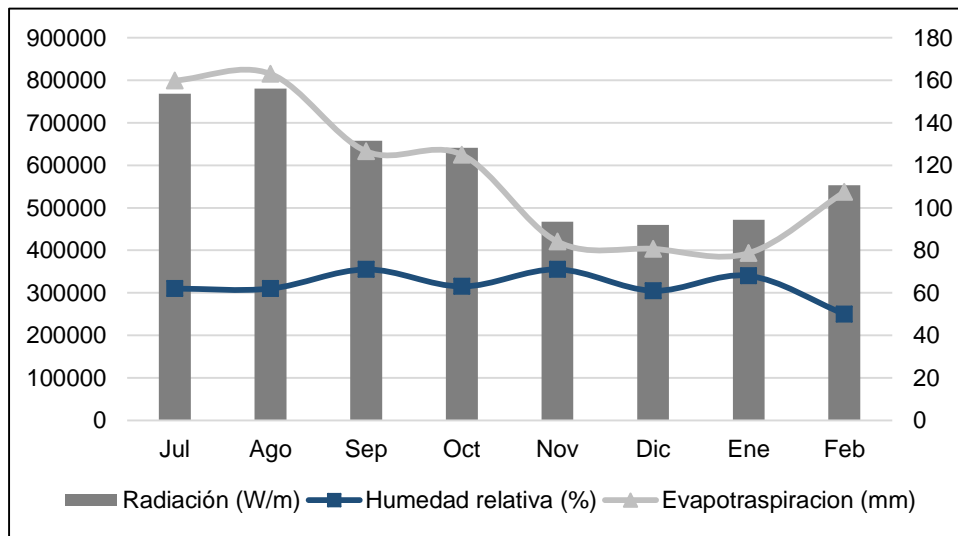


Figura 23. Radiación, humedad relativa y evapotranspiración registradas durante el tiempo transcurrido de la investigación de guayule

Angulo y Sánchez (2002) en sus experimentos observó que los bajos niveles de lluvia mejoraron la acumulación de hule, mientras que los altos niveles de lluvia no lo hicieron a pesar de la alta precipitación, sin embargo se vio un incremento en la producción de biomasa, con los datos obtenidos en este trabajo en el mes de agosto se presentó una alta precipitación con respecto a los demás meses de colecta, en

consecuencia las plantas de guayule acumularon mayor cantidad de látex, por tales características (Rodríguez y Jasso, 2001) indican que un buen manejo de agua puede promover acumulación de biomasa durante primavera – verano, permitiendo producción de hule en los ciclos de invierno. Esto apoya la propuesta de que el guayule como cultivo, puede ser incorporado a los sistemas de producción de las regiones semiáridas, como complemento de los cultivos anuales, sin embargo durante el invierno recabamos valores de hule inferiores que durante el verano.

McGinnes (1979), describe que la planta del guayule se desarrolla mejor entre 30 y 38°C, con restricción de crecimiento por debajo de los 15°C. Las flores y frutos son producidos de acuerdo a las condiciones favorables y por lo tanto la planta no sigue un patrón temporal definitivo. La floración de la planta nativa ocurre en cualquier tiempo dependiendo de la cantidad de lluvia y duración de la misma. Con irrigación continua las plantas florecerán de principios de la primavera a finales de otoño (Parras, 1999).

De acuerdo a los datos recabados por la estación meteorológica en el mes de agosto la radiación solar fue superior a los demás meses de colecta, así mismo, se sabe que la radiación solar es importante para estimar la acumulación de materia seca. Por otra parte, en un estudio realizado por Eranki *et al.*, (2017) encontraron que la aplicación de agua por un sistema de goteo generó rendimientos significativamente mayores de caucho y materia seca; Burt *et al.*, (2002) con la información citada, el hecho de que en el mes de agosto las plantas de guayule acumularon una cantidad de látex significativa puede deberse a que: por un lado existió mayor radiación y por el otro mayor precipitación pluvial, es decir que en el mes de agosto posiblemente las variables del clima favorecieron la acumulación de látex en la planta.

CAPITULO II. PRODUCCION DE PLÁNTULAS A PARTIR DE SEMILLAS DE ARBUSTOS SILVESTRES DE GUAYULE.

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 Selección de semillas

Las semillas de guayule fueron colectadas en una población silvestre ubicada en zacatecas, las inflorescencias secas se cosecharon a mano, esta se efectuó en el mes de julio colectando semillas de 5 plantas (P01, P02, P03, P04 y P05). Una vez colectadas las semillas en bolsas de papel, se llevaron a laboratorio manteniéndose a temperatura ambiente para que se eliminara la humedad presente, se retiraron las impurezas de vegetación y se almacenaron en frascos de plástico debidamente etiquetados y sellados para evitar contaminaciones con otras semillas y microorganismos.

6.2 Procesamiento de semilla

Para la limpieza, se utilizaron tamices de distintas medidas, así como pinzas de disección para evitar el manejo de las semillas con las manos. Para escarificar, se utilizó un tamiz del #8 de 2.38 mm, MICS 2380 marca alsa, y #10 para las impurezas. De manera aleatoria se seleccionaron la planta 2, 4 y 5 para hacer la prueba de germinación.

Pesado y conteo: una vez las semillas limpias se contaron y pesaron 10 veces para conocer un promedio aproximado del peso y poder estimar la cantidad de semillas en un gramo.

6.3 Germinación de semillas

Para romper la latencia interna del recubrimiento de la semilla de acuerdo con el procedimiento modificado, utilizado por Naqvi y Hanson (1980). Las semillas se

lavaron y se remojaron en agua destilada durante 8 h seguido de un tratamiento de 2 h en NaClO al 2% finalmente se lavarón con agua destilada hasta eliminar el olor del cloro. Las semillas tratadas se sembraron en bandejas que contenían un sustrato de 100% de peatmoss estas se colocaron en un área oscura manteniendo la humedad del sustrato a capacidad de campo aplicando una solución nutritiva Fahraeus (Fahraeus, 1957).

6.4 Conteo de semillas

Para conocer el número aproximado de semillas puestas a germinar fue necesario hacer un conteo, donde el peso de las 50 semillas es el promedio de 10 conteos, por lo tanto se hace un resumen en el cuadro 7, en la figura 25 se observa que la planta P04 tuvo un porcentaje mayor de sobrevivencia a comparación de las otras dos plantas.

El porcentaje de germinación final se calculó como el número total de semillas que germinaron en 7 días dividido por el número total de semillas contenido en los gramos que se pusieron a germinar tomando en cuenta el peso de 50 semillas, multiplicado por 100.

Cuadro 7. Conteo de semillas por planta

Planta	P02	P04	P05
Peso de 50 semillas	0.0655 g	0.0713 g	0.0737 g
Peso de muestra	12.8884 g	15.5965 g	12.8884 g
Numero de semillas	9838.47	10934.16	8512.81
Semillas germinadas	490	600	542
Germinación (%)	4.98	5.48	6.36
Plantas sobrevivientes	111	463	88
Sobrevivencia (%)	22	77	16

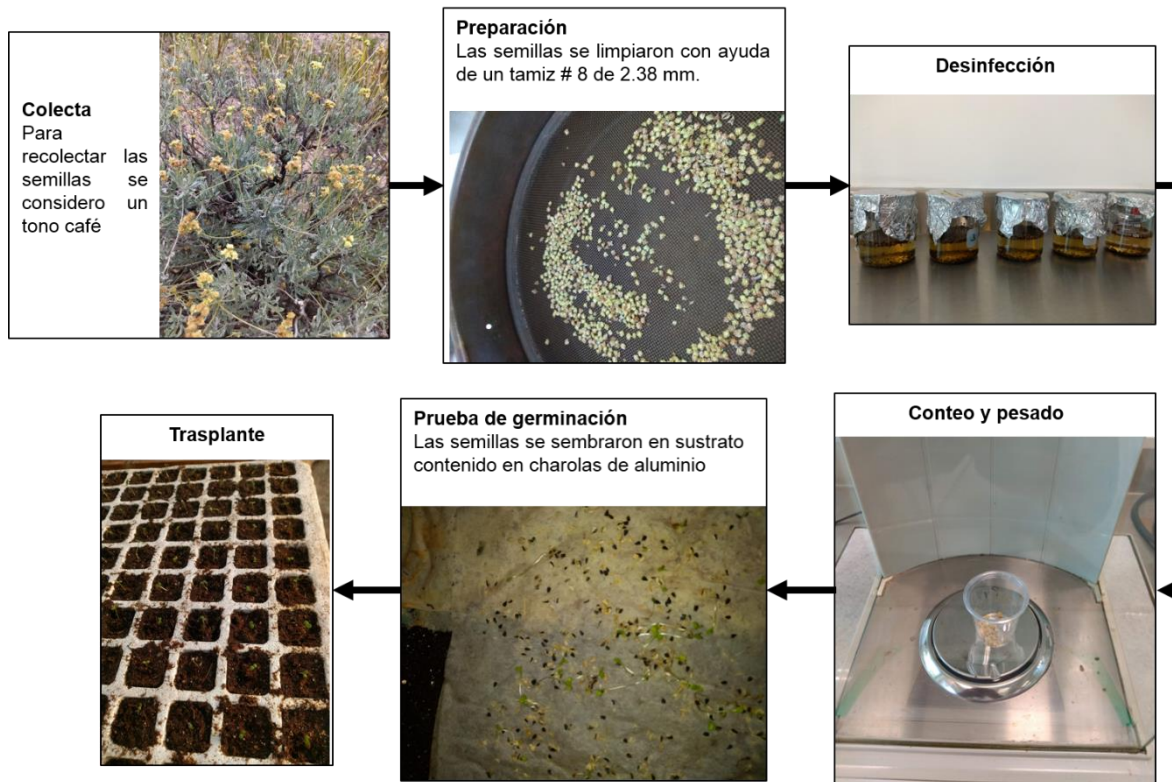


Figura 24. Procesamiento de semillas para germinación y crecimiento de plántulas a partir de guayule silvestre

6.5 Producción de plántulas

Para la preparación del sustrato se realizaron mezclas de perlita/peatmoos en relación 1:1. El llenado de macetas consistió en llenar las macetas con capacidad de 4 litros, dejando un espacio en la parte superior de 5 centímetros para el riego, se llenaron 72 macetas por tratamiento dando un total de 288 macetas , finalmente se aplicó un riego pesado a cada maceta antes del trasplante.

El trasplante se realizó con todo el cepellón cuando las plantas tenían 7 semanas de crecimiento, la fecha de trasplante fue el 18 de octubre de 2019 en un invernadero del CIQA. Al momento del trasplante, se aplicó un riego y posteriormente dos riegos por semana siempre manteniendo un porcentaje de humedad arriba del 80% de retención del sustrato.



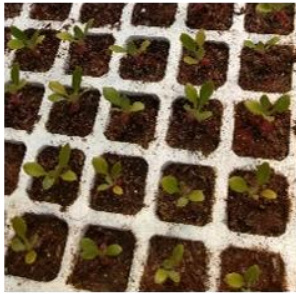
26/08/2019



04/09/2019



09/09/2019



20/09/2019



27/09/2019



01/10/2019



18/10/2019



08/11/2019



26/11/2019



14/01/2020



07/02/2020

Figura 25. Desarrollo de plántulas de guayule silvestre bajo invernadero

7. RESULTADOS

Las semillas comenzaron a germinar al quinto día extendiéndose en algunos casos hasta los 15 días, sin embargo la siembra en charolas se efectuó cuando germinaron el mayor número de semillas entre los días 6 y 8.

7.1 Porcentaje de germinación

Si bien se observa que el porcentaje de germinación por planta oscila de 4.98 – 6.36 %, McGinnies y Haase (1975) señala que el establecimiento de la siembra es el mayor obstáculo en la comercialización de guayule. La germinación de semilla, la emergencia, así como el iniciar el establecimiento de plántulas es difícil bajo siembra directa porque el porcentaje de embriones viables varía de 0 a 70%, en especies mejoradas la germinación normal más alta fue para 11591 con 54%, en Yuma Mesa fue 56% y en Yuma Valley AZ-4 fue 59%, contrario a esto las plantas usadas aquí son de guayule silvestre, pues bien el bajo porcentaje puede atribuirse a factores como plagas, enfermedades, humedad deficiente durante la floración, extremas deficiencias nutricionales y los restos de estructuras florales, así mismo (Castillo, 2000), no dice que manera cualitativa se puede decir que las semillas que son producidas durante los meses más calientes tienen bajos porcentajes de emergencia, cabe mencionar que la colecta de semillas se realizó durante el verano especialmente en el mes de julio.

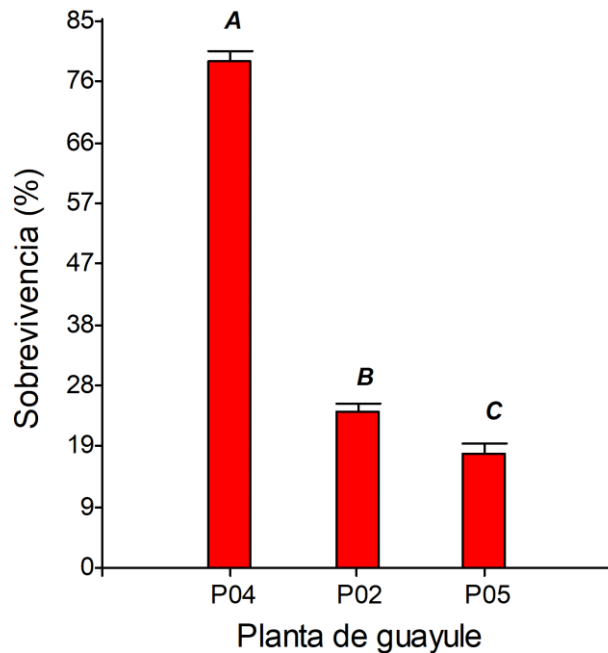


Figura 26. Germinación y supervivencia de las semillas de guayule silvestre (Barra con letra igual no tienen diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$))

Por los valores reportados de acuerdo con la supervivencia de las semillas germinadas de guayule, si existe diferencia estadísticamente significativa la planta P04 tiene un valor superior con respecto a la P02 y P05, sin embargo las tres plantas presentaron un porcentaje de germinación que oscila entre 4.5 – 6.5 %, por lo tanto las mejores semillas fueron de la planta P04, fue así como se eligieron las plantas que se trasplantaron a macetas de 4 litros para continuar con el experimento, el cual consiste en aplicar 4 tratamientos de riego y finalmente cuantificar el contenido y rendimiento de látex, hule y resina.

7.2 Plántulas en invernadero

Las plantas se mantuvieron en las charolas germinadoras 2 meses antes de su trasplante a macetas de 4 litros, durante este tiempo se aplicó ácidos húmicos y fúlvicos con un pH de 6 a 7. Este trabajo continuó como una segunda parte del proyecto el cual consiste en el “Crecimiento y desarrollo de plantas de guayule regadas con aguas residuales tratadas”.

8. CONCLUSIONES

- 1- La concentración de látex de guayule mostró un incremento en el mes de agosto, así mismo la planta P06 mantuvo una concentración constante, lo cual puede tomarse en un futuro para mejora genética.
- 2- Las plantas de guayule colectadas en su hábitat natural presentaron contenido de hule de 8.2% como la media de los valores mensuales y de resina un 7%.
- 3- El contenido de resina en la mayoría de las muestras, fue inferior al contenido de hule; la mayor concentración de resina se presentó en el mes de agosto coincidiendo con la mayor concentración de látex.
- 4- La mayor concentración de hule se presentó en el mes de noviembre con 11.43%.
- 5- El mayor contenido de látex hule y resina obtenido de las muestras posiblemente es debido a la variabilidad intrínseca de las mismas plantas y no a los factores climatológicos.
- 6- El porcentaje de germinación de las semillas de guayule silvestre sigue siendo bajo sin embargo se alcanzó un porcentaje por arriba del 5%.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Abdel-Haleem, H., Waltz, Q., & Leake, G. (2019). Tolerance of transplanted guayule seedlings to post-emergence herbicides. *Industrial Crops and Products*, 133, 292–294. <https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2019.03.041>
- Arroyo, G. V. 1999. Evaluación de arbustos de guayule (*Parthenium argentatum*) en una población silvestre regenerada naturalmente. Tesis de Licenciatura. UAAAN. Saltillo, Coahuila. 68 p.
- Barrera, C. S., & Cornish, K. (2016). High performance waste-derived filler/carbon black reinforced guayule natural rubber composites. *Industrial Crops and Products*, 86, 132–142. <https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2016.03.021>
- Baylon, P. M. B. 2015. *Análisis transcriptómico de plantas silvestres de Guayule (Parthenium argentatum Gray) nativas de México*. Tesis de Maestría. CIQA. Saltillo, Coahuila. 109 p.
- Bedane, G. M., Gupta, M. L., & George, D. L. (2009). Effect of plant population on seed yield, mass and size of guayule. *Industrial Crops and Products*, 29(1), 139–144. <https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2008.04.020>
- Bekaardt, C. R., Coffelt, T. A., Fenwick, J. R., & Wiesner, L. E. (2010). Environmental, irrigation and fertilization impacts on the seed quality of guayule (*Parthenium argentatum Gray*). *Industrial Crops and Products*, 31(3), 427–436. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2009.12.008>
- Brasero, J. (2017b). *Desarrollo de nuevas formulaciones de látex de caucho natural libres de n-nitrosaminas, hipoalérgicas y ecológicas, y su caracterización por RMN de campo bajo*. Tesis de doctorado. UCM. Madrid, España. 201 p.

- Castillo, J. (2000). *Parthenium argentatum* Gray. In *Vitro*, 1(June), 215–219. Retrieved from <http://www.springerlink.com/index/645466M038Q03644.pdf>
- Coffelt, T. A., & Nakayama, F. S. (2010). Determining optimum harvest time for guayule latex and biomass. *Industrial Crops and Products*, 31(1), 131–133. <https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2009.09.015>
- Coffelt, T. A., Nakayama, F. S., Ray, D. T., Cornish, K., & McMahan, C. M. (2009). Post-harvest storage effects on guayule latex, rubber, and resin contents and yields. *Industrial Crops and Products*, 29(2–3), 326–335. <https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2008.06.003>
- Coffelt, T. A., Nakayama, F. S., Ray, D. T., Cornish, K., McMahan, C. M., & Williams, C. F. (2009). Plant population, planting date, and germplasm effects on guayule latex, rubber, and resin yields. *Industrial Crops and Products*, 29(1), 255–260. <https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2008.05.010>
- Coffelt, T. A., & Ray, D. T. (2010). Cutting height effects on guayule latex, rubber, and resin yields. *Industrial Crops and Products*, 32(3), 264–268. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2010.04.018>
- Foster, M. A., Coffelt, T. A., & Petty, A. K. (2011). Guayule production on the southern high plains. *Industrial Crops and Products*, 34(3), 1418–1422. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.04.019>
- de Rodriguez, D. J., Angulo-Sánchez, J. L., Rodríguez-García, R., & Díaz-Solis, H. (2005). Recent data on guayule from natural stands in Mexico. *Industrial Crops and Products*, 22(1), 87–93. <https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2004.07.005>
- E. W. Brandes. 1942. EL CAUCHO (pp. 436–440). <https://docplayer.es/51970735-El-caucho-traducido-de-agriculture-in-the-americas-de-mayo-adelante->

guayule-e-ta-clos-unidos-y-la-america-llltina.html. (31, agosto, 2020).

Eranki, P. L., El-Shikha, D., Hunsaker, D. J., Bronson, K. F., & Landis, A. E. (2017). A comparative life cycle assessment of flood and drip irrigation for guayule rubber production using experimental field data. *Industrial Crops and Products*, 99, 97–108. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.01.020>

Evanoff, T. (2018). Bridgestone hopes to harvest desert shrub for rubber tires in cars, trucks. <https://www.usatoday.com/story/money/2018/02/21/bridgestone-hopes-harvest-desert-shrub-rubber-tires-cars-trucks/359139002/>. (30, agosto, 2020).

Foster, M. A., Coffelt, T. A., & Petty, A. K. (2011a). Guayule production on the southern high plains. *Industrial Crops and Products*, 34(3), 1418–1422. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.04.019>

Foster, M. A., Coffelt, T. A., & Petty, A. K. (2011b). Guayule production on the southern high plains. *Industrial Crops and Products*, 34(3), 1418–1422. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.04.019>

Furbank, R. T., Quick, W. P., & Sirault, X. R. R. (2015). Improving photosynthesis and yield potential in cereal crops by targeted genetic manipulation: Prospects, progress and challenges. *Field Crops Research*, 182, 19–29. <https://doi.org/10.1016/J.FCR.2015.04.009>

Luo, Z., & Abdel-Haleem, H. (2019). Phenotypic diversity of USDA guayule germplasm collection grown under different irrigation conditions. *Industrial Crops and Products*, 142, 111867. <https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2019.111867>

Manuel Carmona, P., & Antonio Lorente, M. G. 24. (2017). Viabilidad técnica para

el cultivo del guayule en Santa Cruz de la Zarza (TO, España) (p. 30). https://www.castillalamancha.es/sites/default/files/documentos/pdf/20180102/a_nexo_07_estudio_de_viabilidad_del_guayule.pdf. (31, agosto, 2020).

Parras, S. R. 1999. *Crecimiento Estacional y Características de Rendimiento de Hule y Resina del Cultivo de Guayule (Parthenium argentatum, Gray) Bajo Condiciones de Temporal*. Tesis de Licenciatura. UAAAN. Saltillo, Coahuila. 70 p.

Pearson, C. H., Cornish, K., & Rath, D. J. (2013). Extraction of natural rubber and resin from guayule using an accelerated solvent extractor. *Industrial Crops and Products*, 43(1), 506–510. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.06.052>

Pulido-Sierra, S. I. (2012). Análisis del caucho natural en el mundo. *Spanish Journal of Rural Development*, 57–64. <https://doi.org/10.5261/2012.esp3.09>

Rasutis, D., Soratana, K., McMahan, C., & Landis, A. E. (2015). A sustainability review of domestic rubber from the guayule plant. *Industrial Crops and Products*, 70, 383–394. <https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2015.03.042>

Ray, D. T., Coffelt, T. A., & Dierig, D. A. (2005). Breeding guayule for commercial production. *Industrial Crops and Products*, 22(1), 15–25. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2004.06.005>

Rodríguez, R., & Jasso, D. (2001). Producción de guayule: respuesta de hule y biomasa al riego. *Zonas Áridas*, 301–308. http://www.uaaan.mx/DirInv/Avances_2002/Zaridas/Rguayule.pdf

Sabaini, P. S., Boateng, A. A., Schaffer, M., Mullen, C. A., Elkasabi, Y., McMahan, C. M., & Macken, N. (2018). Techno-economic analysis of guayule (*Parthenium argentatum*) pyrolysis biorefining: Production of biofuels from guayule bagasse

via tail-gas reactive pyrolysis. *Industrial Crops and Products*, 112, 82–89. <https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2017.11.009>

Salvucci, M. E., Coffelt, T. A., & Cornish, K. (2009). Improved methods for extraction and quantification of resin and rubber from guayule. *Industrial Crops and Products*, 30(1), 9–16. <https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2008.12.006>

Sanchez, P. L., Chen, M., Pessarakli, M., Hill, H. J., Gore, M. A., & Jenks, M. A. (2014). Effects of temperature and salinity on germination of non-pelleted and pelleted guayule (*Parthenium argentatum* A. Gray) seeds. *Industrial Crops and Products*, 55, 90–96. <https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2014.01.050>

Vilela, A. E., González-Paleo, L., & Ravetta, D. A. (2011). Metabolismo secundario de plantas leñosas de zonas áridas: Mecanismos de producción, funciones y posibilidades de aprovechamiento. *Ecología Austral*, 21(3), 317–327.