

Trabajo de Intensificación del Ciclo Profesional de la carrera de Ingeniería Agronómica

## Seguimiento del desarrollo del guayule (*Parthenium argentatum*) en la región de Languedoc Rousillon (Occitania, Francia)



**Hugo Ignacio HENRIQUEZ**

**Tutora: Dra. Cecilia Pellegrini**

**Consejeras: Ing. Agr. Mag. Liliana Gallez  
Lic. Mariela Fioretti**

**Instructores externos: Dr. Serge Palu  
CUQ Bernard**

Departamento de Agronomía  
Universidad Nacional del Sur  
Octubre 2021



# AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, debo agradecer a Serge Palu, quien junto a sus colegas de la unidad de investigación de BioWooEB en CIRAD, me brindaron su confianza, accedieron a recibir un estudiante extranjero y compartieron de manera desinteresada sus conocimientos sobre el guayule. Debo destacar el buen ambiente de trabajo que existe en el laboratorio.

Asimismo, agradezco a Alejandro Valeiro, del LABINTEX INTA en Agrópolis Internacional, ya que fue quien me brindó su ayuda desinteresada e hizo de nexo al momento de conseguir esta pasantía.

También quiero agradecer a Cecilia Pellegrini, quien me incentivó a participar de la experiencia en Francia, y de quien recibí todo el apoyo en los momentos necesarios, además de su guía en la finalización de este trabajo.

Quiero agradecer también a la Universidad Nacional del Sur, por otorgarme la beca con la cual pude participar de la vida universitaria en Francia. Además, gracias a la Universidad Nacional del Sur, pude formarme no solo como agrónomo, sino también como persona, y tuve la oportunidad de estudiar otros idiomas y de representar a la casa de altos estudios en competencias deportivas.

Por último, quiero agradecer a mis amigos y a mi familia, por apoyarme sobre todo en los momentos en que mis ánimos decaían. En especial, quiero hacer mención de mi madre, que siempre estuvo ahí para darme libertad para desarrollar todas las actividades que tuviera interés en realizar, darme palabras de apoyo y un abrazo reconfortante para renovar energías.

*Merci beaucoup - Muchas gracias!!!*

# INDICE

RESUMEN.....	3
INTRODUCCIÓN.....	4
Estudiar Agronomía en Francia.....	4
¿Qué es el CIRAD?.....	6
UPR BioWooEB (biomasa, madera, energía, bioproductos).....	7
El caucho natural.....	8
Actualidad comercial del caucho.....	10
El guayule ( <i>Parthenium argentatum</i> ).....	11
Cultivo del guayule.....	13
Semillas.....	13
Genética.....	13
Implantación y calidad del agua.....	14
Cosecha.....	15
Productos y sub productos.....	15
Extracción de caucho.....	16
OBJETIVOS.....	17
EXPERIENCIA ADQUIRIDA.....	18
Trabajo en parcelas de guayule en campos experimentales.....	18
Lansargues.....	18
Autignac.....	20
Tarrassac.....	21
Coupe-roses/La Caunette.....	22
Corneilla la Rivière.....	23
Claira.....	24
Tareas realizadas, técnicas empleadas y resultados obtenidos.....	25
Evaluación del tamaño de las plantas.....	25
Registro de datos de altura y toma de muestras de plantas a campo.....	25
Análisis de datos.....	25
Extracción de poliisopreno y resina a partir del látex en ramas de guayule.....	28
Determinación de materia seca.....	28
Preparación de las muestras.....	30
Procedimiento de extracción de poliisopreno y resina por ASE.....	33
Datos obtenidos.....	34
Otras tareas realizadas en el CIRAD.....	35
Limpieza de semillas.....	35
Modelización de plantas de guayule.....	37
Análisis meteorológico en Lansargues.....	38
CONSIDERACIONES FINALES.....	41
Reflexión personal.....	42
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	43

# RESUMEN

En el marco del programa ARFAGRI, realicé una movilidad académica a la escuela de agronomía Montpellier SupAgro (Francia). La experiencia en esta institución se extendió entre enero y mayo de 2018, período en el que cursé y aprobé asignaturas de la orientación agroindustrial, además de los idiomas francés e inglés. Posteriormente, entre los meses de Junio y Julio, realicé una pasantía de investigación en el CIRAD, la que estuvo enfocada en el cultivo del guayule (*Parthenium argentatum*), arbusto de la familia de las Asteráceas, que desde hace más de 50 años y de manera intermitente, ha generado interés industrial por su contenido de látex.

Durante la pasantía, realicé tareas de seguimiento del cultivo en diversas parcelas ubicadas en seis localidades del suroeste de Francia. En las parcelas identifiqué las distintas variedades de guayule, en plantas tomadas de manera aleatoria medí la altura y recolecté muestras para procesar en el laboratorio.

En el laboratorio, calculaba el porcentaje de materia seca de las muestras obtenidas a campo y, finalmente, obtenía el polvo de guayule, que quedaba almacenado para ser utilizado eventualmente. En este lugar realicé otras actividades que atañen al proceso productivo del guayule. Tomé muestras de inflorescencias secas y las limpié hasta obtener solo las cipselas, con lo que calculé el porcentaje, en peso, de frutos en dichas muestras; realicé la siembra en plantineras que se desarrollaron en el invernadero. Además, sobre unas muestras tomadas previamente a mi pasantía, realicé una extracción de poliisopreno y resina a través de la técnica ASE.

Finalmente, analicé los datos meteorológicos de los últimos dos años registrados para la localidad de Lansargues para relacionarlos con el crecimiento del guayule; y di los primeros pasos en el desarrollo de una modelización tridimensional que permitirá conocer el contenido de materia seca de una planta de guayule utilizando únicamente los datos recolectados a partir de las mediciones realizadas a campo.

La temática me resultó sumamente interesante. Se trata de un tipo de producción que no está desarrollada en la formación de agrónomo en la UNS e incluye una especie y un producto final que desconocía hasta ese momento, que suma alternativas de producción que no son las tradicionales.

# INTRODUCCIÓN

## Estudiar Agronomía en Francia

En el marco del programa **Argentina-Francia Agricultura** (ARFAGRI), tuve la oportunidad de realizar un semestre de estudios en la escuela francesa Montpellier SupAgro, ubicada en la homónima localidad, en la región de Occitania al sur de Francia (Figura 1).



Figura 1. Ubicación geográfica de Montpellier.

Montpellier SupAgro es una escuela de gran renombre. Sus orígenes se remontan a 1848 cuando fue fundada la Escuela Nacional Superior de agronomía de Montpellier.

En la actualidad, Montpellier SupAgro posee tres campus: La Gaillarde y Lavalette (a los que asistí durante mi estadía) y Florac (situado en el Parque Nacional des Cévennes).

El campus de La Gaillarde (Figura 2 A) inaugurado en 1871, cubre una

superficie de 27 has y se encuentra en proximidad del centro histórico de la ciudad. Dentro de este campus, se encuentra el Centro INRA Occitanie-Montpellier desde su creación, en 1946. También alberga al Instituto de altos estudios de viñas y del vino (IHEV por sus siglas en francés), perteneciente a Montpellier SupAgro. (<https://www.montpellier-supagro.fr/campus-de-la-gaillarde-montpellier>).

En cuanto al campus Lavalette (Figura 2 B), está situado en un predio de 145 has, en la periferia norte de la ciudad. En él se fueron asentando, poco a poco, numerosos organismos de investigación y establecimientos de formación en ciencias agrícolas, como CIRAD, IRD, INRAE, Siheam-IAMM, AgroParisTech, Maison de la télédétection, Maison de la technologie, Lycée agricole Agropolis y la sede de la asociación Agropolis Internacional (<https://www.montpellier-supagro.fr/campus-de-lavalette-montpellier>).

Además, SupAgro posee tres residencias estudiantiles: Les Hameaux, Soleil y Les Cigales, siendo ésta última en la cual me alojé. Las residencias están ubicadas a 100 m del campus La Gaillarde, y a 5 km del campus Lavalette.



*Figura 2. A: Vista del Château de la Gaillarde, ubicado en el campus del mismo nombre. B: Vista aérea del edificio principal y alrededores del campus Lavalette.*

Montpellier SupAgro es una “Grande École”. Éstas, a diferencia de las universidades, se concentran en un área de estudio y, en ellas, la admisión de estudiantes se basa en el desempeño académico previo. Al finalizar el secundario, los estudiantes franceses deben realizar un ciclo intensivo llamado "Classes Préparatoires aux Grandes Écoles" (CPGE)

o “prépa”, el cual dura dos años y tiene una formación exclusivamente en matemática, física, química y biología. Una vez finalizado el curso, se realiza un examen de carácter nacional y, a partir de los resultados, los estudiantes son destinados a las Grandes Écoles de todo el país, según ese ranking nacional (<https://etudiant.lefigaro.fr/etudes/ecoles-ingenieurs/classement-agronomie-biologie-medical/>).

La experiencia de movilidad académica tuvo lugar entre los meses de enero y julio de 2018. El semestre de cursado se dividió en cuatro etapas obligatorias y una más opcional.

Los cursos que tomé fueron:

- Francés introductorio
- Unidad 1: Sistemas Alimentarios (Campus Lavalette)
- Unidad 2: Evaluación de ciclos de vida y consumo sustentable (Campus La Gaillarde)
- Unidad 3: Dinámicas y herramientas de control de procesos de transformación (Campus Lavalette)
- Paralelamente continué con los cursos de francés (obligatorio) e inglés (opcional).
- Finalmente, la pasantía de carácter opcional. Dado que mi intención era aprovechar la oportunidad de la movilidad y realizar una pasantía, de las ofertas recibidas, opté por la del Dr. Serge Palu, investigador del CIRAD.

## ¿Qué es el CIRAD?

El CIRAD (Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement) es una institución que se encuadra bajo la doble tutela del Ministerio de Enseñanza Superior, Investigación e Innovación, y del Ministerio de Europa y Asuntos Extranjeros (<https://www.cirad.fr/qui-sommes-nous/le-cirad-en-bref>).

Junto a otras instituciones asociadas de países en vías de desarrollo del hemisferio Sur, el CIRAD produce y transmite nuevos conocimientos para acompañar la innovación y el desarrollo agrícola. El CIRAD pone su experiencia científica e institucional al servicio de las políticas públicas de aquellos países y de los debates internacionales sobre los grandes desafíos de la agricultura. El CIRAD aporta también a la diplomacia científica de Francia. Junto con los países de América Latina, el CIRAD coopera, suma gran experiencia y enfoca sus acciones sobre las prioridades compartidas.

El objetivo prioritario del CIRAD es alimentar a 10 mil millones de seres humanos en 2050, bajo el cuadro de protección del medio ambiente y del cambio climático a partir de

una agricultura sustentable. La formación, difusión de la información, el uso compartido de conocimientos y de innovaciones completan la misión de investigación del CIRAD, dando a las instituciones copartícipes y a los actores del desarrollo, la capacidad de hacer la elección que corresponda.

Este organismo de investigación está formado por 800 investigadores, divididos en tres departamentos. Cada uno de ellos desarrolla su actividad en una temática de investigación global e incluyen 33 unidades de investigación (UR) distribuidas según sus objetivos:

- Sistemas biológicos (Bios)
- Rendimiento de sistemas de producción y de transformación tropical (Persyst)
- Medioambiente y sociedad (ES).

Para ello, la institución administra un presupuesto anual de unos 200 M€, destinando cerca de 5 M€ a la formación doctoral.

El CIRAD cuenta con una red de socios en tres continentes y oficinas regionales, desde las que colabora con más de 100 países. Su asociación a largo plazo está estructurada por sistemas de investigación y enseñanza que comprenden 200 instituciones de países del hemisferio Sur, a las que están asignados 200 de sus investigadores (50% en África, 25% en Asia y 25% en Sudamérica).

En Francia, el CIRAD está emplazado en uno de los polos de investigación más grandes de Europa ubicado principalmente en Montpellier, que incluye a Agrópolis internacional, y en los territorios franceses de ultramar. Desde allí ofrece a la comunidad científica nacional e internacional un importante sistema de investigación y formación.

Agrópolis internacional es una plataforma innovadora para el diálogo y la interacción constructiva que reúne a más de 40 instituciones miembro, autoridades públicas y actores de la sociedad civil. Su fortaleza principal recae en su base científica de diversas regiones que es reconocida internacionalmente por su investigación en agricultura, alimentos y medioambiente, haciendo foco en las problemáticas de los países del hemisferio Sur (<https://www.agropolis.org/about/>).

### UPR BioWooEB (biomasa, madera, energía, bioproductos)

Esta UPR (Unidad Propia de Investigación) lleva a cabo actividades de investigación sobre la valorización de biomasa lignocelulósicas mediterráneas y tropicales bajo la forma de materiales, energía o de bioproductos (de allí su sigla BioWooEB).



Figura 3. Fachada de la Maison de la technologie, en Montpellier.

Esta unidad se apoya en sus competencias, conocimiento y caracterización de la biomasa, e incorpora la variabilidad de los recursos, así como los impactos en el medioambiente ocurridos durante la optimización de procesos a escala local en países en vías de desarrollo ([www.cirad.fr/nos-recherches/unites-de-recherche/biomasse-bois-energie-bioproducts](http://www.cirad.fr/nos-recherches/unites-de-recherche/biomasse-bois-energie-bioproducts)).

Las investigaciones desarrolladas en la UPR BioWooEB tienen en cuenta los contextos económicos regionales y locales, e integran medidas y análisis de sus impactos económicos y ambientales. Se dividen en tres grandes grupos de aplicación:

- materiales para construcciones sustentables
- energía descentralizada sobre un gran espectro de potencias y de tecnologías
- bioproductos resultado de la extracción y participación en la mejora de rendimientos de diversas familias de producción.

Las instalaciones de la UPR BioWooEB se encuentran en la ciudad de Montpellier, dentro de la “Maison de la technologie” (Figura 3). La unidad, donde fui recibido, está compuesta por 36 agentes, y acoge una veintena de doctorandos y post-doctorandos.

## El caucho natural

El caucho natural es un hidrocarburo de gran importancia que se obtiene del látex producido por varias especies de las familias Moráceas y Euforbiáceas intertropicales. El látex se encuentra en forma de suspensión coloidal acuosa, de aspecto lechoso, y contiene alrededor de 30% de caucho (Jalani y Ramli, 2003).

El látex circula por una red de canales laticíferos inmersos en el tejido parenquimático y se extrae practicando una incisión en la corteza, que secciona dichos canales y provoca su secreción durante unas horas. Dicho proceso, llamado *sangrado*, puede interrumpirse por coagulación espontánea, en cuyo caso, la incisión ha de ser renovada en días alternos.

El caucho es una materia prima ideal para la fabricación de gran cantidad de productos, gracias a sus excelentes propiedades de elasticidad y resistencia ante los ácidos y las sustancias alcalinas. Su uso se popularizó en su aplicación para los neumáticos y se lo utiliza para la fabricación de artículos impermeables y aislantes. Es repelente al agua, aislante de la temperatura y de la electricidad, pero hoy en día se utiliza en la fabricación de una gran variedad de productos.

Actualmente, sólo tres especies producen látex de interés comercial (Tabla 1): *Hevea brasiliensis*, de donde proviene la mayoría del látex, y otras que están en vías de estudio y desarrollo como el guayule (*Parthenium argentatum*) y el diente de león de Kazajistán (*Taraxacum kok-saghyz*) (George *et al.*, 2005).

Tabla 1: Características de las fuentes de caucho natural (Fuente: CIRAD/CTTM).

	<i>Hevea brasiliensis</i>	<i>Parthenium argentatum</i>	<i>Taraxacum kok-saghyz</i>
<b>Clima</b>	Tropical	Semi árido y mediterráneo	Continental
<b>Localización</b>	SE Asia (93%)	EEUU, Europa, Sur de África, Australia	Kazajistán, EEUU, Canadá, Europa
<b>Competencia de cultivos</b>	Palma aceitera	-----	Maíz, cereales
<b>Producción</b>	11 M ton año <sup>-1</sup>	< 100 ton año <sup>-1</sup>	< 500 K año <sup>-1</sup>
<b>Cosecha</b>	Manual, labor intensiva	Mecánica	Mecánica
<b>Rendimiento</b>	800-2000 Kg/Ha año <sup>-1</sup>	Caucho 500-1000 kg/Ha año <sup>-1</sup> Resina 1000-1200 kg/Ha año <sup>-1</sup>	250-1500 kg/Ha año <sup>-1</sup>
<b>Extracción</b>	A partir de 6-8 años	después de 1-3 años	después de 1 año
<b>Duración</b>	30-40 años	12 años	1-2 años

En la actualidad, más de la mitad del caucho del mundo no proviene de los llamados “árboles que lloran”, sino que es fabricado de manera sintética. Desarrollado durante la segunda guerra mundial, el caucho sintético es más barato y a veces mejor que el natural. Tal es el caso, por ejemplo, de su aplicación en neumáticos de bicicletas. Sin embargo, hay industrias en las que el látex de *Hevea brasiliensis* sigue siendo insustituible, ya que cerca de tres cuartos de la cosecha de estas plantas es empleada para la fabricación de neumáticos para vehículos pesados. Así, en la medida en que se precisan más autos, camiones y aviones, también se precisa más caucho natural, con los problemas ambientales que ello conlleva.

Otro problema del látex producido por *Hevea brasiliensis* es que puede producir alergias causadas por la presencia de una proteína.

El rápido aumento de la demanda de productos elaborados con caucho natural (3% anual) pone de manifiesto la necesidad de tener un complemento del látex obtenido de *Hevea brasiliensis* (Sfeir *et al.*, 2014). Sin embargo, es importante que este recurso se obtenga de forma sostenible y con cuidado tanto para el medioambiente como para sus productores.

## Actualidad comercial del caucho

El suministro global de caucho natural (alrededor de 20 M ton año<sup>-1</sup>) es producido casi en su totalidad por pequeños agricultores que trabajan con el árbol *Hevea brasiliensis* en bosques tropicales ubicados en Tailandia, Indonesia, China y África Occidental. Esta especie ya no se cultiva comercialmente en Brasil debido al Mal Sudamericano de la Hoja del Caucho (SALB, por sus siglas en inglés), causado por *Microcyclus ulei*. Esta enfermedad causa la caída prematura de las hojas jóvenes y ,en condiciones ambientales favorables, puede llegar a causar la defoliación total de los árboles (Gasparotto, *et al.*, 1984).

Durante el último año, el caucho ha jugado un papel clave en la pandemia, en los equipos de protección personal que utilizaron médicos y enfermeros en todo el mundo. Pese a ésto, y debido a que el precio del caucho está cayendo, los agricultores están pasando de producir caucho a vender la madera para obtener ganancias a corto plazo, y cultivar palma aceitera en su lugar. Ambos cultivos rinden el mismo dinero por unidad de superficie, pero la necesidad de mano de obra es mayor para el caucho.

En éste contexto, donde la demanda de caucho natural aumenta, los precios internacionales (fijados por el Mercado de Futuros de Shanghái) se mantienen estables y aparecen cultivos que resultan mas rentables o menos laboriosos que el de *Hevea*, se presentan condiciones propensas para la búsqueda y utilización de alternativas que puedan complementar la producción de caucho natural.

El látex sintético no provoca alergias, pero ese tipo de látex se desarrolla a partir de petróleo, por lo tanto, su precio es muy variable y puede llegar a ser muy alto (Ray *et al.*, 2004).

Actualmente, solo dos compañías producen caucho del guayule con fines comerciales. Una de ellas es Yulex, que ofrece un traje de neopreno que es fabricado en parte en base al guayule y que comercializa a través de la empresa textil Patagonia. La otra es Bridgestone, el fabricante de neumáticos, que mantiene una parcela experimental de 114 ha de guayule en Arizona. Esta empresa recibió asistencia del gigante petrolero italiano Eni, que mantiene otra parcela de guayule de pruebas en Sicilia (Swaine, 2021).

El grupo Bridgestone produjo en 2015 la primera rueda hecha a partir de caucho de guayule, lo que renueva el interés en conocer la potencialidad de esta especie ([https://www.bridgestone.com/technology\\_innovation/natural\\_rubber/guayule/](https://www.bridgestone.com/technology_innovation/natural_rubber/guayule/)).

## El guayule (*Parthenium argentatum*)

Esta especie, perteneciente a la familia Asteráceas, es un arbusto perennifolio, longevo, de 0,30 a 1,5 m de altura, muy ramificado, originario del desierto de Chihuahua, al norte de México y de Trans Pecos, y al sureste de Texas, en los Estados Unidos (Figura 4).



Figura 4. Planta de guayule.

Sus hojas son largamente pecioladas, plateadas, espatuladas a estrechamente oblanceoladas, agudas, aplanadas, enteras o ligeramente dentadas. Las hojas son de 1 a 7 cm de largo y de 2 a 7 mm de ancho, largas a ovadas. Las flores están en cabezuelas o capítulos de 5 mm de diámetro, dispuestas en pequeños corimbos, cortamente pedicelados (Figura 5) (Rasutis *et al.*, 2015).

El guayule es reconocido como una fuente de caucho desde la época precolombina, cuando los pueblos originarios de México lo utilizaban para producir las bolas para sus juegos (Bonner, 1991).



Figura 5. Flores y hojas de guayule.

A diferencia del látex de *H. brasiliensis*, que puede ser recolectado de una manera simple gracias a la existencia de canales lactíferos que se comunican entre sí, el guayule almacena las partículas de poliisopreno (PI) en el citoplasma de células de la corteza (Figura 6) (Amor, 2013). Esta especie produce caucho de buena calidad siempre y cuando se elimine la fracción de resina y del látex que contiene una muy baja cantidad de una proteína responsable de producir alergias. La posibilidad de producir látex de guayule hipoalérgico de manera comercial sería una solución para el mercado, principalmente el de insumos médicos (Ray *et al.*, 2010).

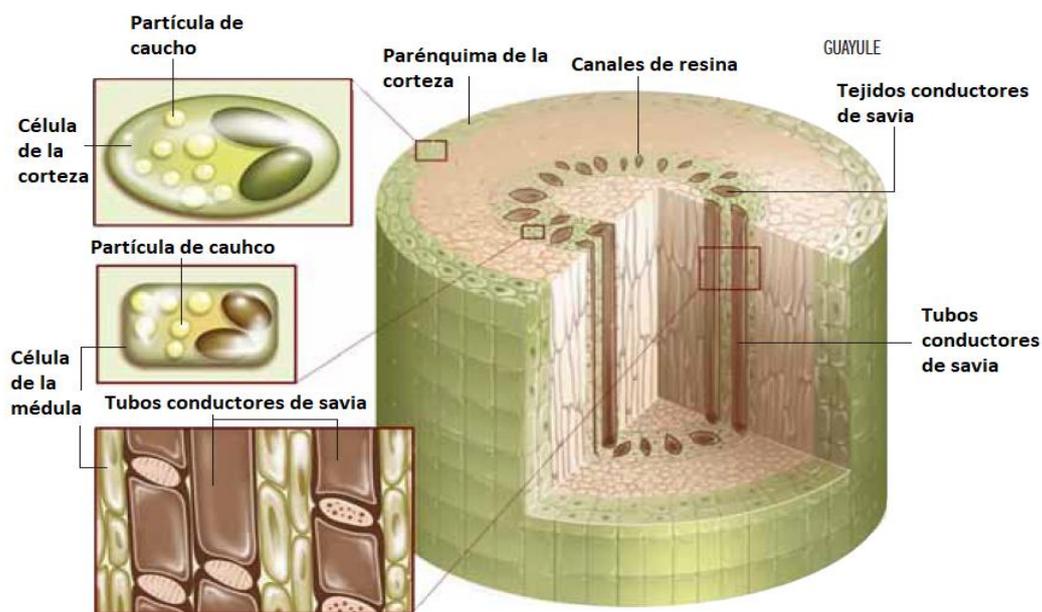


Figura 6. Localización del látex dentro de la rama del guayule (adaptado de Palu y Pioch, 2010).

Por otra parte, la obtención de caucho natural a partir del guayule constituye una importante oportunidad productiva si se tiene en cuenta que esta especie crece en regiones secas (semiáridas), que representan el 41% de superficie del planeta tierra.

Durante la segunda guerra mundial, se hizo un esfuerzo colectivo que involucraba a más de mil científicos y técnicos y 9000 trabajadores, para producir caucho natural con más de 13000 has plantadas de guayule. Sin embargo, dicho esfuerzo terminó al culminar la guerra, y el desarrollo del guayule fue pausado (Huang, 1991).

## Cultivo del guayule

### Semillas

El tamaño de las semillas de guayule es pequeño (1000-1500 semillas  $g^{-1}$ ) (Figura 7).

La técnica más utilizada para la implantación de guayule consiste en producir plántulas en invernaderos. La siembra directa no ha dado buenos resultados de acuerdo a los ensayos realizados en el CIRAD, sin embargo, es una práctica que se realiza a gran escala en Arizona (Estados Unidos) (Ray *et al.*, 2010).

El guayule produce una gran cantidad de semillas, pero la mayoría se encuentran vacías (55-90%). Además, las semillas producidas suelen tener una dormancia de dos tipos: una impuesta por la capa interna de la semilla y una dormancia del embrión. Esta dormancia puede ser disminuida por la exposición a la luz y por tratamientos con giberelinas.

Además, la inhibición de la germinación puede ser suprimida gracias a una limpieza con una solución de agua y 0,5% NaClO (George *et al.*, 2005).

Por dichas razones, la calidad de las semillas es muy importante para obtener una buena germinación y asegurar la emergencia del guayule.



Figura 7. Semillas de guayule vistas con microscopio estereoscópico.

### Genética

La mejora genética en el guayule ha tenido impacto, principalmente en el aumento en el rendimiento promedio de caucho, desde 220 Kg  $ha^{-1}$ , informado durante un proyecto de

desarrollo de emergencia en la década de 1940 (Hammond y Polhamus, 1965), hasta más de 900 Kg ha<sup>-1</sup> en plantas de sólo 21 meses (Estilai *et al.*, 1988).

Con una base cromosómica de 18, las poblaciones silvestres de guayule consisten en series naturales de poliploides que van desde diploides hasta pentaploides (Kuruvadi *et al.*, 1997). Sin embargo, Thompson y Ray (1989) determinaron que el rango de plantas de guayule poliploides va desde triploides hasta octaploides. En general, los diploides se reproducen sexualmente y son autoincompatibles, mientras que los poliploides tienen reproducción apomíctica facultativa (Gore *et al.*, 2011).

### **Implantación y calidad del agua**

Las plántulas crecidas en viveros (“guarderías”) (Figura 8) se desarrollan lentamente a campo. Por lo tanto, es muy importante tener una buena cantidad de agua disponible para asegurar el crecimiento de las plántulas durante las primeras 4 semanas (el tiempo necesario para desarrollar un buen sistema de raíces). Sin embargo, en situaciones de suelos arcillosos o de estancamiento del agua, las plantas de guayule mueren rápidamente debido a que son muy sensibles a la falta de oxígeno en la zona radical.



*Figura 8. Plantas cultivadas en viveros.*

El agua de riego no debe ser salina. Durante los primeros estadios de desarrollo, el guayule es sensible a la presencia de sal en el agua. La salinidad alta afecta también la producción de materia seca y la producción de caucho. Los estudios indican que, para regar durante el establecimiento de las plántulas, el agua debe tener una concentración salina menor a 1.0 dS m<sup>-1</sup> y, para una planta desarrollada, una concentración de hasta 4.5 dS m<sup>-1</sup> (van Beilen y Poirier, 2007). Por otra parte, Estilai *et al.* (1988) reportaron que las

plantas obtenidas por siembra directa son mucho más sensibles a los niveles de sal en el agua, a causa de daños sufridos en el hipocótilo.

### **Cosecha**

El procedimiento recomendado para la cosecha del guayule consiste en el corte y la recolección de ramas desarrolladas dejando, por ende, una cantidad suficiente de tejidos como para que la planta rebrote. Este tipo de cosecha originó el desarrollo de nuevas variedades que presentan un rebrote vigoroso (Ray *et al.*, 1999).

Estudios realizados en Arizona han permitido relacionar una mayor producción de biomasa con bajas cantidades aplicadas de nitrógeno y bajos niveles de irrigación (Ray *et al.*, 2010).

Después de la cosecha, el guayule pierde el látex extraíble a causa de la deshidratación. Esta problemática postcosecha impide el manejo de grandes volúmenes de material, requeridos para alcanzar un nivel industrial y, por lo tanto, han sido desarrollados diferentes métodos para tratar el material luego de su cosecha. Uno de los procedimientos más utilizados es el desarrollado por Ray *et al.* (2010) que consiste en mantener las ramas húmedas con el objetivo de proteger el látex contenido en las mismas.

### **Productos y sub productos**

El caucho natural es el elastómero más buscado en el mercado. En buenas condiciones de irrigación y de suelos con buen drenaje, es posible obtener un rendimiento de 1000 Kg ha<sup>-1</sup> de caucho y un valor similar de resina (Miyamoto y Bucks, 1985). Es necesario destacar la necesidad de respetar los requerimientos concernientes al suelo (buen drenaje) para llegar a estos resultados.

Por su parte, la resina producida por el guayule tiene un gran potencial dada la gran variedad de usos posibles. Existen estudios que evaluaron a la resina como protector de la madera contra el ataque de distintas plagas. Para ello, se realizaron diferentes pruebas en barcos ubicados en la bahía Limón (Panamá). En una de ellas, que tuvo una duración de 45 meses, la madera tratada apenas recibió un ataque leve de insectos del género *Limnoria*, mientras que las muestras testigo fueron gravemente atacadas. Después de 19 meses, las muestras tratadas no sólo no recibieron ataques de moluscos de la familia Teredinidae sino que, además, permanecieron inmunes al ataque de insectos *Coptotermes* y *Heterotermes*; y mostraron menor daño causado por hongos de pudrición blanca y pudrición marrón (Bultman, 1991).

Otros sub productos, como ceras y bagazo (residuo material de la extracción), podrían tener un valor comercial interesante.

### **Extracción de caucho**

Existen muchas formas diferentes de extracción, aunque la más utilizada es la extracción de resina mediante acetona. La resina se compone de lípidos, terpenos, pigmentos y de diversos compuestos solubles en este solvente. Posteriormente a la extracción por acetona se utiliza hexano para la extracción de caucho (Pearson *et al.*, 2013).

En el método de extracción acelerada por solvente (accelerated solvent extraction-ASE) se fija la temperatura, el tiempo de extracción y el volumen de extracto.

# OBJETIVOS

## **General**

Describir y analizar la producción y extracción de látex a partir de plantas de guayule (*Parthenium argentatum*) en Languedoc Rousillon – Francia.

## **Específicos**

- Reconocer las variedades del cultivo de guayule sembradas en parcelas experimentales en distintas localidades del sur de Francia
- Cuantificar el tamaño de las plantas y tomar muestras para determinar variables de importancia para la industrialización del cultivo.
- Adquirir experiencia en los distintos pasos del proceso de extracción del poliisopreno en laboratorio en las instalaciones del CIRAD.
- Determinar el porcentaje de semillas a partir de muestras secas.
- Participar en tareas de gabinete analizando datos meteorológicos y de modelización teórica para relacionar la biomasa de las plantas de guayule y su contenido de látex.

## **De formación**

- Analizar la experiencia de investigación realizada en el CIRAD que fue ofrecida por Montpellier SupAgro en el marco de la movilidad académica.
- Adquirir nuevos conocimientos y fortalecer la búsqueda de información.
- Fortalecer habilidades de comunicación escrita y oral.

# EXPERIENCIA ADQUIRIDA

La pasantía de investigación que realicé en la UPR BioWooEB transcurrió entre los meses de mayo y junio de 2018, y consistió en realizar numerosas actividades de toma de datos y muestras a campo de plantas de guayule, así como procesamiento en el laboratorio de las mismas y de otras muestras recogidas previamente, además de otras tareas de gabinete. Para todas las actividades que llevé a cabo, conté con el asesoramiento y supervisión del Dr. Serge Palu, investigador del CIRAD.

## Trabajo en parcelas de guayule en campos experimentales

Las parcelas sobre las que realicé el trabajo estaban ubicadas en Lansargues, Autignac, Tarrassac, Coupe-roses, Corneilla y Clairá, en el sur-oeste de Francia, entre Montpellier y Perpignan aproximadamente (Figura 9).



Figura 9. Ubicación geográfica de las diferentes parcelas parte del estudio

### Lansargues

Estas parcelas eran las que estaban ubicadas más cerca de Montpellier, aproximadamente a 23 Km en dirección al Este. En este sitio, además de la parcela principal sobre la que trabajé, había otras con plantaciones nuevas de guayule, las que aún no alcanzaban la edad productiva y, por lo tanto, no eran parte del estudio (Figura 10).

La parcela principal constaba de 7 líneas de plantas que fueron plantadas en octubre de 2016. Se utilizaron cinco variedades (CL1, CL1A, CL2, CL3 y CL6), algunas de cuales se ubicaron en la misma línea (Figura 11). Por ser este sitio el más cercano a Montpellier y, por lo tanto, el más visitado, se llevaba un control más exhaustivo de la plantación.



*Figura 10. Parcelas de guayule en Lansargues. A: Vista de la parcela principal y de las instalaciones; B: Plantas desarrolladas de la parcela principal y vista de la parte trasera de un subsolador marca Maschio; C: Parcela secundaria recién sembrada; D: Parcela nueva con plantas de guayule en desarrollo.*

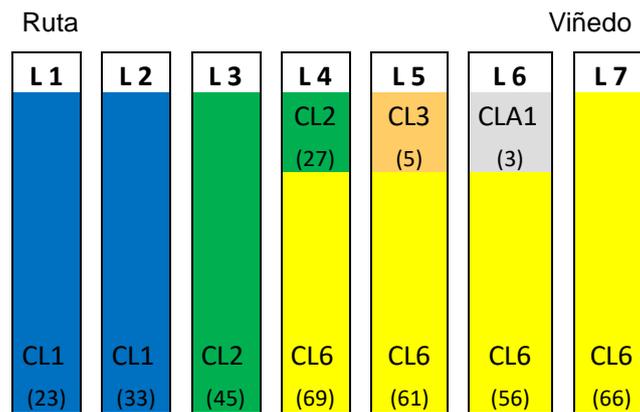


Figura 11. Esquema de la distribución de las variedades y número (entre paréntesis) de plantas de guayule por hilera plantados en la parcela de Lansargues.

### Autignac

En la parcela ubicada en la zona de Autignac (Figura 12), aproximadamente a 80 Km de Montpellier, en dirección Oeste, el guayule fue plantado en abril de 2017, completando 12 líneas y utilizando cuatro variedades (CL1, CL2, CL3 y CL6). En 2018 se agregaron cinco líneas más (de la 13 a la 17) con la variedad CLA1 (Figura 13). En la visita de muestreo que realicé el 8 de junio, las plantas de las líneas 13 a la 17 no fueron contadas por haber sido recientemente sembradas.



Figura 12. Parcela ubicada en Autignac.

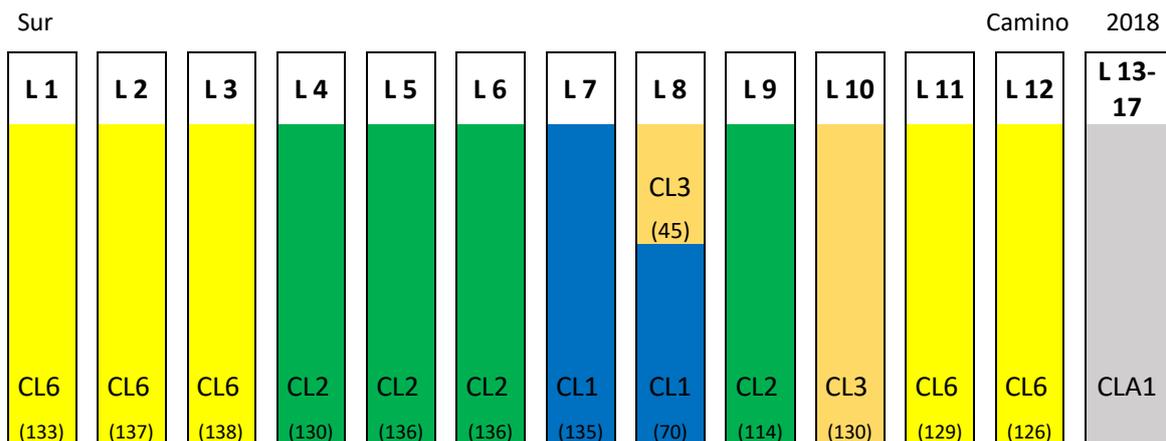


Figura 13. Esquema de distribución de las variedades y número (entre paréntesis) de plantas de guayule por hilera plantados en la parcela de Autignac.

### Tarrassac

Ubicada al noroeste de Autignac y en la comuna de Mons (Figura 14), aproximadamente a 93 Km de Montpellier, esta parcela constaba de 11 líneas de guayule plantadas en abril de 2017 (Figura 15). Sin embargo, debido a la cantidad de plantas muertas, las faltantes y las plantas pequeñas de reposición, durante la visita de muestreo realizada el 8 de junio, solo pudimos trabajar en nueve líneas de tres variedades (CL6, CL1 y CL2) y no fueron contabilizadas las plantas de la línea 17 a la 22.



Figura 14. Planta de guayule y parcela en Tarassac (Mons).

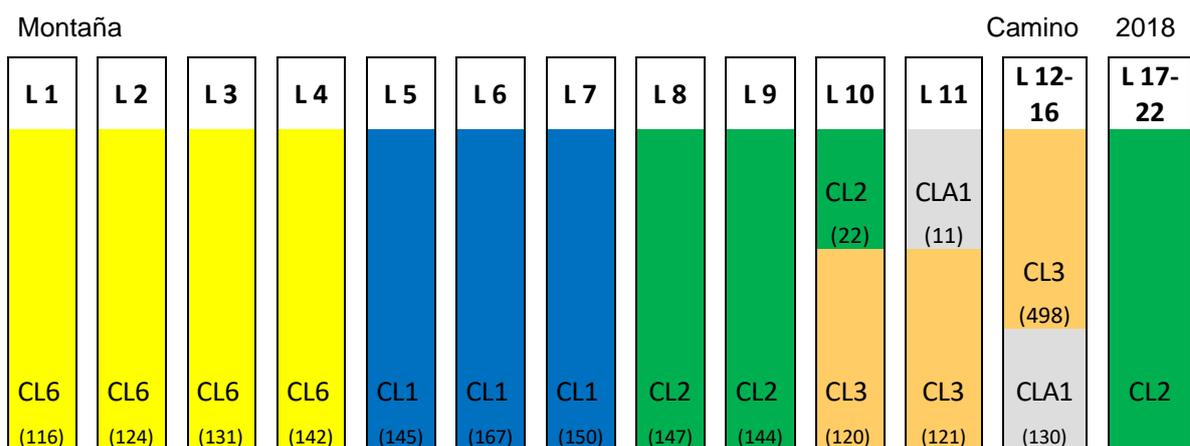


Figura 15. Esquema de distribución de las variedades y número (entre paréntesis) de plantas de guayule por hilera plantados en la parcela de Tarrassac.

### Coupe-roses/La Caunette

El día 14 de junio visité la parcela de La Caunette, la cual está ubicada dentro del Château Coupe-roses. El château está emplazado aproximadamente a 115 km de Montpellier, hacia el suroeste (Figura 16). Dentro de las tierras pertenecientes al viñedo se implantó una parcela de guayule, la cual estaba constituida por 9 líneas. En mayo de 2018, las líneas 6 a 9 fueron replantadas, por lo que solo tomamos medidas y muestras de las primeras 5 líneas (Figura 17), que incluyeron ejemplares de todas las variedades.



Figura 16. A-B: Parcelas de guayule ubicadas en el viñedo del château Coupe-roses; C: Algunos vinos producidos en el mismo sitio.

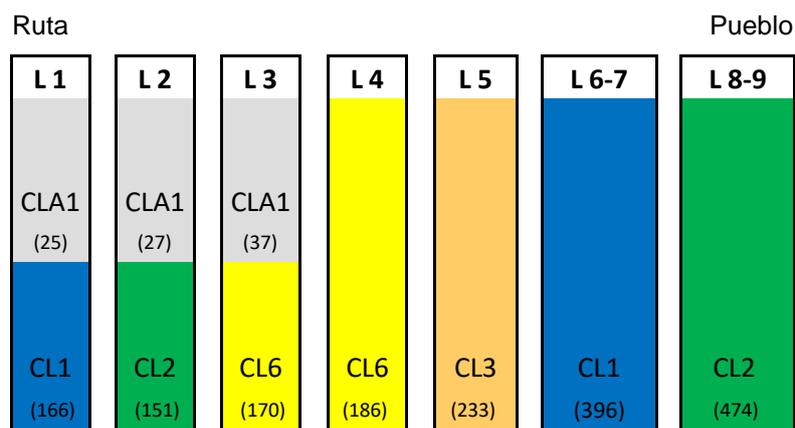


Figura 17. Esquema de distribución de las variedades y número (entre paréntesis) de plantas de guayule por hilera plantados en la parcela de La Caunette.

### Corneilla la Rivière

La localidad de Corneilla la Rivière era la más alejada ya que esta ciudad se encuentra a 170 Km de Montpellier, hacia el suroeste, y a 18 Km al oeste de Perpignan, a 35 Km de la frontera con España (Figura 18). En esta parcela, el guayule fue plantado entre abril y mayo de 2017, utilizando todas las variedades distribuidas en 10 líneas (Figura 19). La visita de muestreo fue el día 27 de junio.



Figura 18. Parcela ubicada en Corneilla la Rivière, con detalle de la línea 1.

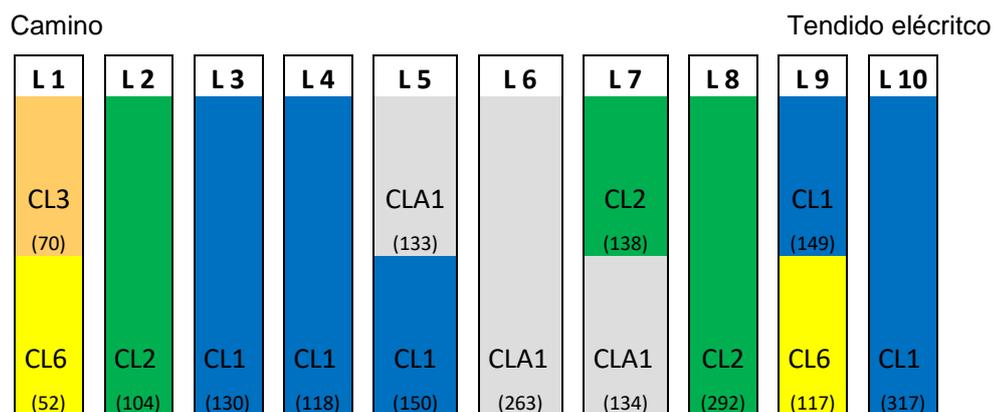


Figura 19. Esquema de distribución de las variedades y número de plantas (entre paréntesis) de guayule por hilera plantados en la parcela de Corneilla.

## Claira

El 27 de junio, luego de la visita a Corneilla, realicé el muestreo en la parcela ubicada en la localidad de Claira, a 151 Km al suroeste de Montpellier, y a 12 Km al norte de Perpignan. En esta parcela (Figura 20), el guayule fue plantado en 7 líneas entre abril y mayo de 2017. Las muestras tomadas correspondieron a plantas de todas las líneas que incluyeron las cuatro variedades de guayule allí plantadas (CL1, CL2, CL6 y CLA1) (Figura 21).



Figura 20. Parcela de guayule ubicada en Claira.

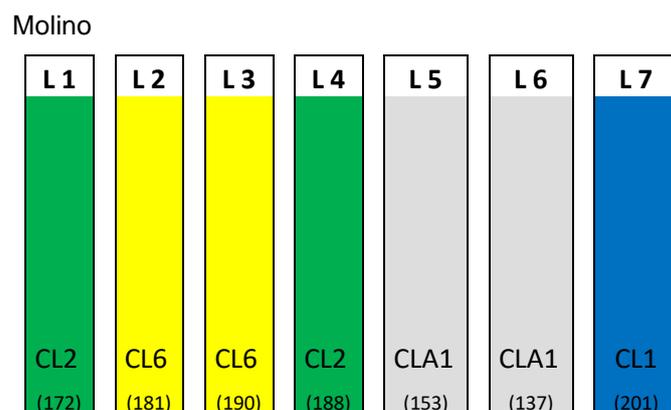


Figura 21. Esquema de distribución de las variedades y número (entre paréntesis) de plantas de guayule por hilera plantados en la parcela de Clairra.

## Tareas realizadas, técnicas empleadas y resultados obtenidos

### Evaluación del tamaño de las plantas

#### Registro de datos de altura y toma de muestras de plantas a campo

Una vez en los lotes experimentales, para realizar los muestreos, primero identificaba las plantas por parcela, línea y posición en la línea. Contaba tanto las plantas vivas en cada línea como las muertas. No tenía en cuenta las plantas de reemplazo para el registro de datos ya que eran plantas jóvenes y, por lo tanto, de menor tamaño.

Las tareas que realicé en cada uno de los campos fueron:

- Lansargues: en este sitio identifiqué todas las plantas en cada línea y, además de la altura, registré el diámetro de las plantas, valores que usamos luego en la construcción de un modelo teórico para calcular el volumen de la planta y relacionarlo con la proporción de caucho. Además de esa tarea, corté tres (3) plantas enteras de cada línea, para procesar en el laboratorio.
- Autignac, Tarrassac y Coupe-roses: a partir de la mitad de cada línea registré la altura de 20 plantas por línea, tomadas al azar, sin identificar su posición sobre la misma. El muestreo para procesar en el laboratorio fue de una rama por planta.
- Corneilla y Clairra: igual que en las ubicaciones precedentes, aunque sobre 30 plantas.

#### Análisis de datos

De un total de 1468 plantas medidas en las seis localidades visitadas, prácticamente la mitad (47,07%) se encontraban en el rango entre 16 y 25 cm de altura (Figura 22). Sin embargo, la distribución de esta variable separada por localidad mostró diferencias ya que

Autignac, Clairá y Coupe Roses tuvieron el pico en el rango de 16-20 cm; Corneilla en el rango 21-25 cm y Lansargues en el rango 26-30 cm (Figura 23). Si bien todas las parcelas estaban ubicadas en localidades con clima mediterráneo, se presentaron algunas diferencias en la altura, las cuales pueden responder a diferencias en la fertilidad de los suelos, los cultivos antecesores o el ataque de plagas.

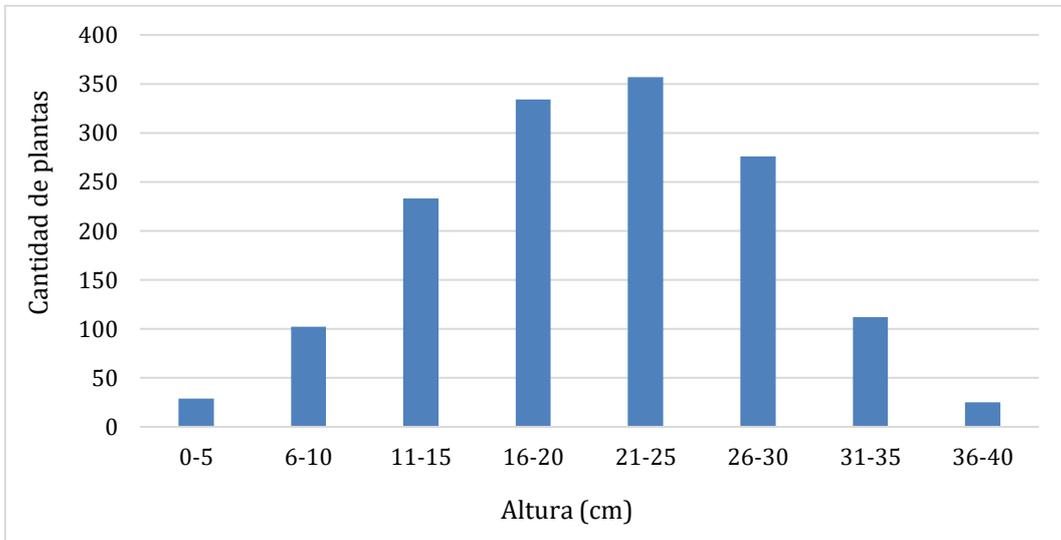


Figura 22. Distribución de altura promedio (en cm) de las plantas medidas en las seis localidades.

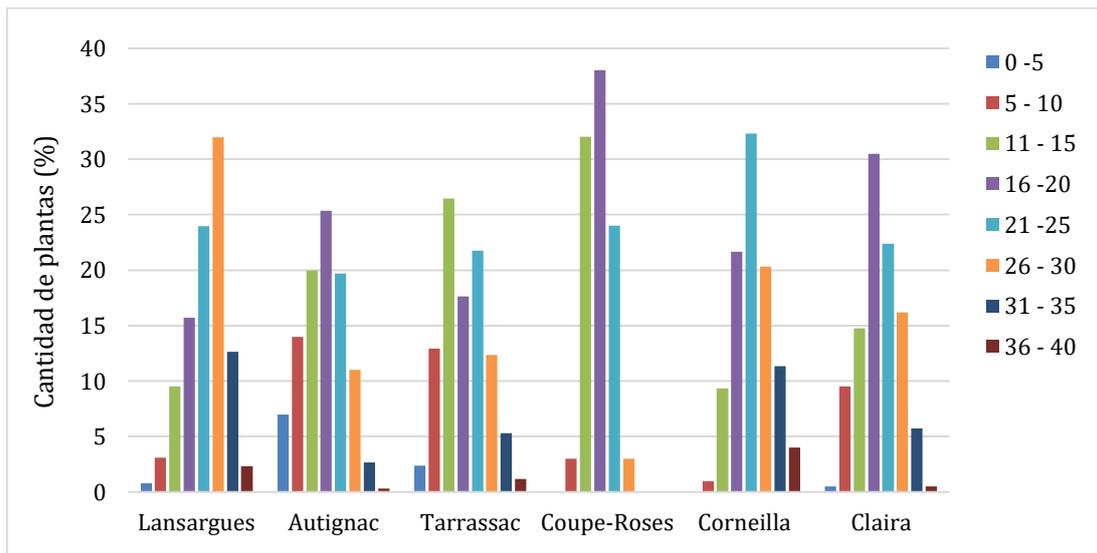


Figura 23. Distribución de altura (en cm) de las plantas medidas en cada localidad.

Lansargues fue el sitio en el que registré más datos, sumando en total 388 plantas. Si bien la altura promedio de las plantas fue de 24,76 cm, la distribución por rangos mostró gran heterogeneidad. Probablemente, esto pudo deberse a que en la parcela había gran cantidad de malezas muy desarrolladas (*Sonchus oleraceus*, *Cynara cardunculus*, *Papaver rhoeas*)

que podían competir con el crecimiento de las plantas de guayule. Otra causa posible pudo ser que las cinco variedades distintas de guayule existentes en el lote pudieran presentar diferencias en la velocidad de crecimiento y en la talla final de la planta madura. Por último, debería considerarse la gran cantidad de caracoles que actuaban como plaga, ya que se alimentaban de las hojas.

Las parcelas de Autignac y Tarrassac fueron plantadas en la misma época, y en ambas quedó en evidencia la heterogeneidad de la altura de las plantas. En la primera, medí un total de 300 plantas y la altura promedio fue de 18,3 cm. En la segunda, la muestra fue de 170 plantas debido a los problemas de implantación que mencioné previamente, y la altura promedio de las plantas fue de 19,47 cm. Cabe destacar que en 4 de las 9 líneas no se tuvieron en cuenta plantas muy pequeñas que, de haberlas tenido en cuenta, el promedio daría un valor aún más bajo.

La parcela de Copue-Roses, a pesar de estar muy invadida por malezas, sobre todo entre líneas, presentaba plantas de guayule en buenas condiciones generales, con pocas plantas muertas/faltantes. Por ello, las 100 plantas que medí tuvieron una altura más uniforme en comparación con las otras parcelas, promediando 19,6 cm.

Dos días antes de la finalización de mi pasantía, visitamos con el Dr. Palu la parcela de Corneilla la Rivière y la parcela situada en Clair. En la primera, tomé medidas en 300 plantas de guayule, cuya altura promedio fue de 22,3 cm mientras que, en la última, el promedio de altura fue de 21,48 cm, en 210 plantas medidas.

Para finalizar con la evaluación del tamaño de plantas, realicé una comparación de la distribución de altura de las plantas según la variedad (Figura 24), donde se vio que las plantas de la variedad CL3 fueron las de menor altura promedio, aunque esto pudo estar afectado por el bajo número de muestras tomadas de esta variedad (n=80).

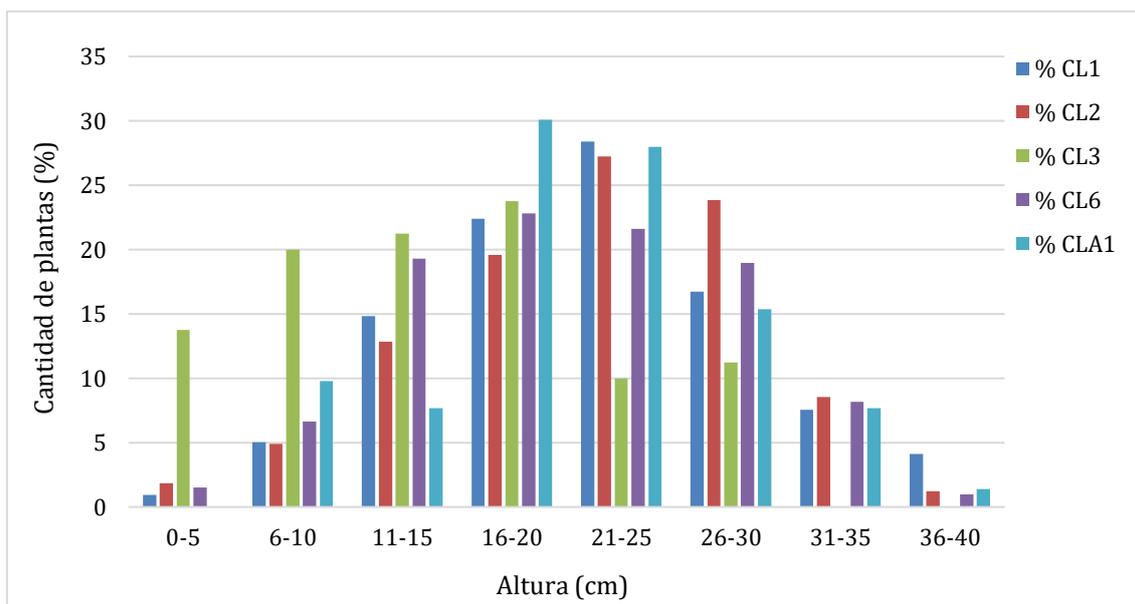


Figura 24. Proporción de las plantas de cada variedad de guayule según la altura (cm).

### Extracción de poliisopreno y resina a partir del látex en ramas de guayule

La extracción acelerada por solvente (ASE) es un método automatizado relativamente rápido para extraer compuestos de interés de materiales vegetales. Pearson *et al.* (2013) pusieron a punto la técnica para el caso del guayule. Dado que este método asume que la muestra se ha secado en condiciones adecuadas, la primera tarea que realizaba era deshidratar las muestras, pesarlas y molerlas.

#### Determinación de materia seca

Una vez recogidas las muestras en cada sitio, las llevé al laboratorio donde las procesé para determinar el porcentaje de materia seca (%MS). Para ello, coloqué las ramas defoliadas en recipientes cerámicos y los pesé. Luego, llevé las muestras a una estufa a 70°C por, al menos, 48 hs (Figura 25). Posteriormente repetí el pesaje, lo que me permitió calcular el %MS de las ramas. De un total de 43 muestras tomadas en 4 localidades distintas, ya que no llegué a procesar las muestras tomadas en Corneilla y Clairá, obtuve un valor promedio de 50,51% de MS (Figura 26).



Figura 25. Vista de las estufas de secado.

Debo aclarar que el muestreo realizado en Lansargues consistió en cortar plantas enteras por lo cual, en primer lugar, separé los capítulos de las ramas. Coloqué ambas fracciones en recipientes cerámicos y los pesé para obtener el peso fresco. Luego, llevé las muestras a la estufa a 70°C por 48 hs y repetí el pesaje, lo que me permitió calcular el %MS. Las muestras de flores quedaron guardadas en el depósito de muestras del Dr. Palu. Por otro lado, separé las hojas de los tallos en las muestras del resto de la planta y los pesé nuevamente con el fin de calcular la proporción de MS de cada uno.

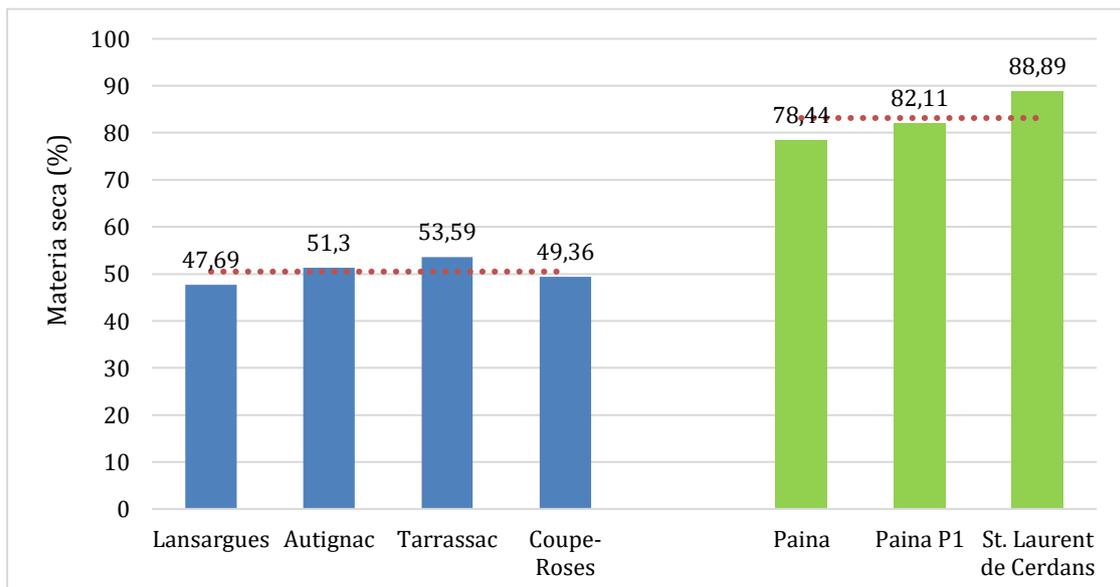


Figura 26. Porcentaje de materia seca (%MS) promedio de muestras de ramas de guayule.

En el marco del estudio de tenor de resina y PI en las ramas de guayule, junto con estas muestras, procesé otras recolectadas en mayo de 2018 de parcelas ubicadas en Paina

(plantadas en 2011 y 2012) y St. Laurent de Cerdans (2017). El objetivo era realizarles el ASE y comparar los resultados con las plantas jóvenes, ya que las de Paina eran muestras de plantas de más de 6 años de edad. Los resultados arrojados después del secado indicaron que el %MS en estas muestras fue mayor, con un promedio de 83,15%, respecto a las muestras recolectadas en las otras parcelas (Figura 26). La Tabla 2 muestra el %MS de las hojas y de las ramas en las tres variedades muestreadas en Lansargues.

*Tabla 2. Porcentaje de peso seco de ramas y hojas según la variedad de guayule, en Lansargues.*

	<i>%MS hojas</i>	<i>%MS ramas</i>
<b>CL1</b>	49,64	50,37
<b>CL2</b>	55,65	44,36
<b>CL6</b>	51,67	48,33

### **Preparación de las muestras**

Después de secar y cortar las ramas en trozos homogéneos, los colocaba en una licuadora para achicar el tamaño de las partículas hasta que quedaran reducidas a fragmentos uniformes de  $\pm 2$  cm de longitud.

Luego, guardaba estas muestras en potes plásticos identificados con la variedad de guayule, la fecha de cosecha y, cuando se conocían los datos, la época de siembra y/o la ubicación de la planta en la parcela (Figura 27).

Posteriormente, llevaba las muestras a un freezer a  $-80^{\circ}\text{C}$  por, al menos, 24 hs para asegurar que cada muestra alcance la temperatura adecuada, la cual facilita la molienda y permite el almacenaje del polvo por largos períodos (alrededor de un año). Luego molía las muestras con un molinillo Retsch ZM 200, a 18000 rpm.

Para ello, también me ocupaba de ensamblar las piezas del equipo: el “disco laberinto”, el plato recolector, encastrado en el rotor (utilizaba uno con 12 dientes), el anillo tamiz y la tolva por donde vertía el material (Figura 28). Una vez armado el quipo, lo encendía y esperaba a que se estabilice.

Debía tener cuidado de no verter muy rápido el material de los recipientes plásticos porque podrían disminuir las vueltas (rpm) del equipo y provocar una molienda despareja. De esta manera, los trozos de ramas de guayule quedaban reducidas a partículas de  $< 1\text{mm}$  (Figura 29).

Finalmente, colocaba el polvo de guayule en los mismos pots plásticos rotulados y así las muestras quedaban listas para el proceso de ASE.

Cabe aclarar que, entre el molido de cada muestra, limpiaba el molinillo

cautelosamente, con ayuda de cepillos, aire comprimido y una aspiradora para evitar la contaminación de las mismas.



Figura 27. A: Licuadora donde molía las ramas de guayule; B: muestra procesada; C: recipientes con muestras identificadas.

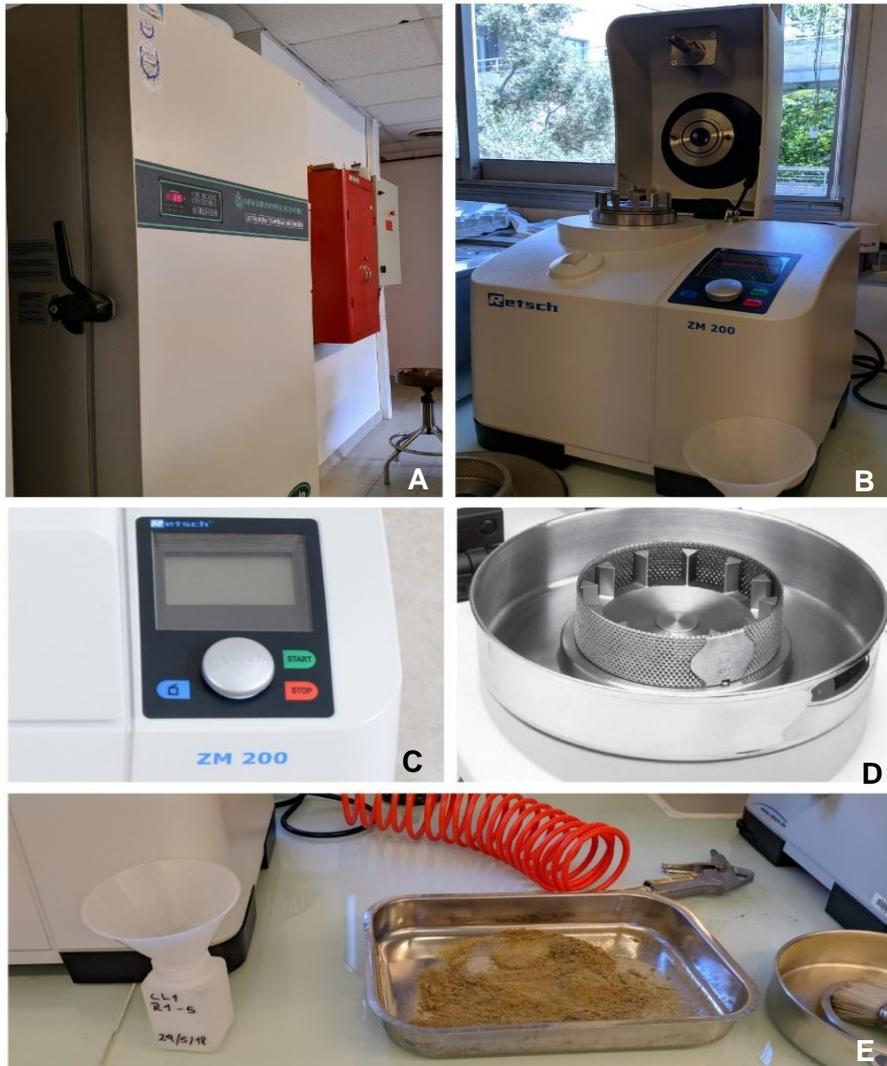


Figura 28. Instrumental utilizado para procesar las ramas de guayule. A: Congelador; B: molinillo; C: panel de control del molinillo; D: plato de dientes y tamiz; E: polvo de guayule de las ramas molidas.

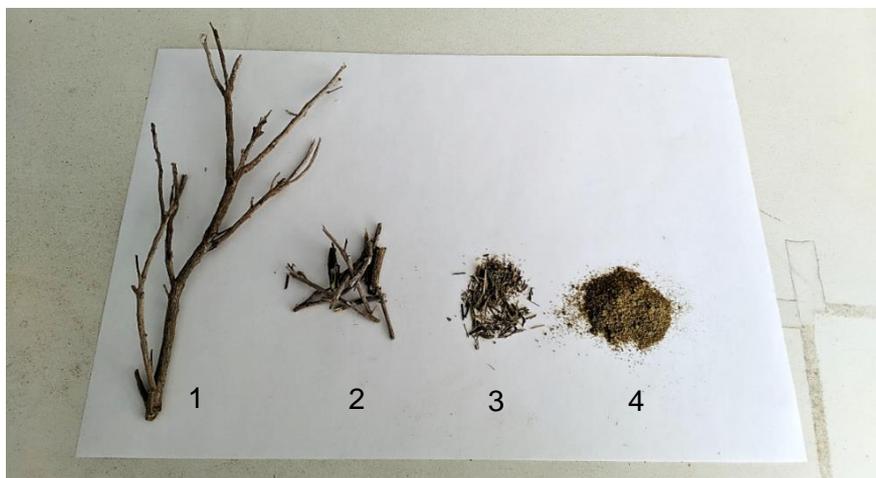


Figura 29. Ramas de guayule según el grado de procesamiento: 1- material obtenido a campo y defoliado. 2- trozos de 5 cm secados a estufa. 3- fragmentos de tallos después de pasar por la licuadora. 4- polvo obtenido después del molido.

### Procedimiento de extracción de poliisopreno y resina por ASE

Para realizar esta técnica utilicé un equipo de ASE Dionex 350 (Figura 30 A). Una vez obtenido el polvo de guayule, pesaba muestras de entre 2,2 y 2,3 gr y las colocaba dentro de “celdas” de acero inoxidable a las que previamente le había colocado un microfiltro de celulosa en el fondo. El equipo contaba con un carrusel que tomaba las muestras de manera automática, y estaba conectado a una garrafa de nitrógeno. Por último, pesaba los tubos de vidrio en una balanza de precisión, y los colocaba en el carrusel inferior, donde se recogían los extractos (Figura 30 B-C). Posteriormente, programaba y encendía el equipo para proceder con la extracción del caucho.

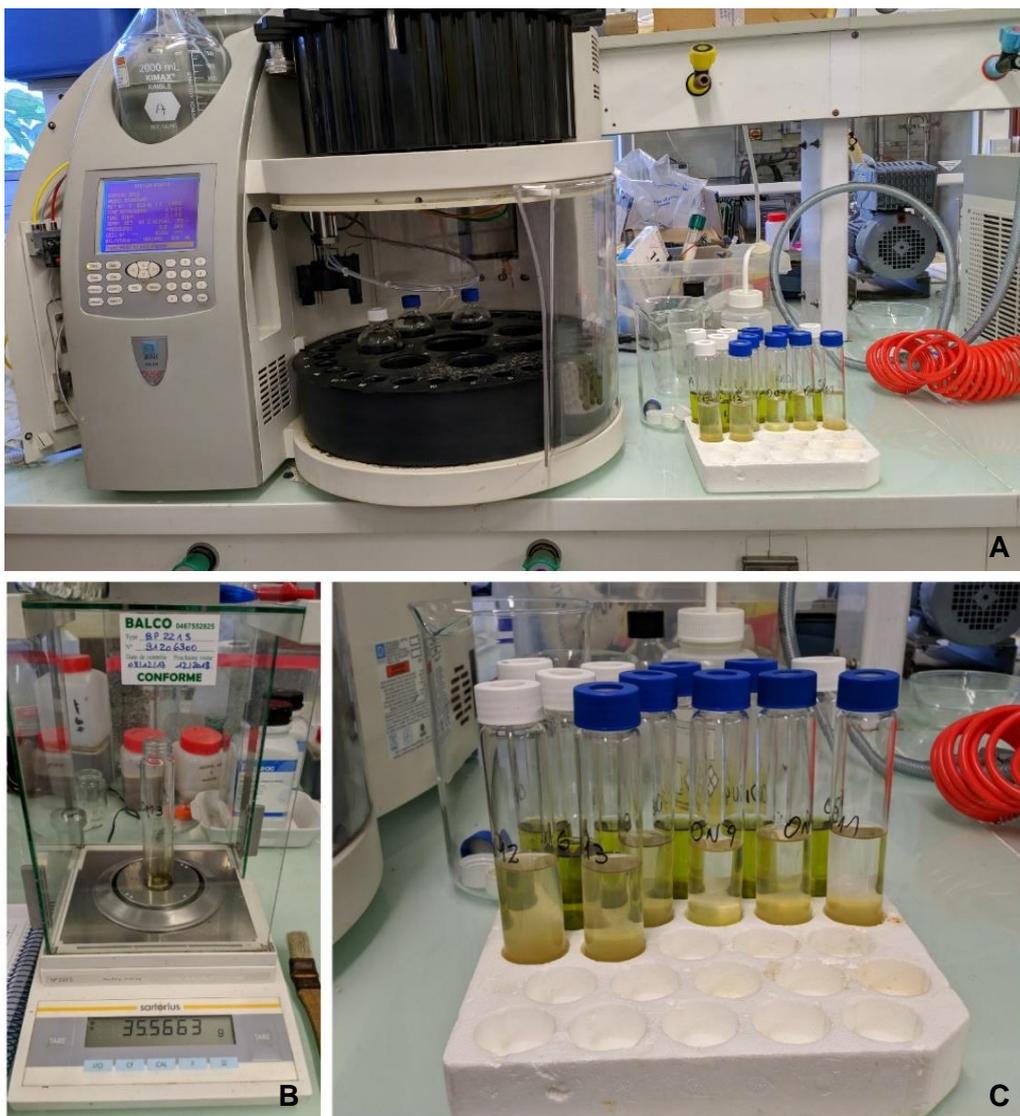


Figura 30. **A:** Equipo de extracción acelerada por solventes ASE350; **B:** Balanza de precisión; **C:** tubos de vidrio con la extracción ya realizada.

El proceso realizado por el equipo consistía en rellenar las celdas con el solvente, proseguía con un tiempo de calentamiento de 5 minutos, un período de extracción por acetona de 20 minutos, continuado por 20 minutos de extracción por hexano, y una purga de 90 segundos. La temperatura de extracción era de 40°C para la acetona y de 120°C para el hexano. El procedimiento se completaba efectuando tres ciclos de extracción estática consecutivos por solvente, para cada celda. Con la acetona se realizaba la extracción de la resina mientras que, con el hexano, se obtenía el PI contenido en el polvo del guayule.

Durante mi pasantía realicé tres veces el análisis de ASE sobre muestras de ramas secas molidas. Cada análisis lo hice con 7 celdas. De las 21 muestras que analicé, descarté 4 ya que al momento de retirar los tubos de la máquina 2 celdas estaban tapadas y otras 2 presentaron resultados extraños, probablemente por errores de manipulación.

### Datos obtenidos

Una vez terminados los procesos en el equipo, realicé los cálculos de porcentaje de resina y de PI de las muestras viables. Los resultados que obtuve del contenido de resina fueron acordes a los esperados, entre 5,5 y 8,12% con promedio de 6,87%, y respecto al PI, los valores obtenidos rondaron en torno a 4,6 y 6,4%, con promedio 5,9 % (Figura 31). Para tener en cuenta, los valores obtenidos en las muestras tomadas en los meses previos, rondan 8% para resina y 7% para PI.

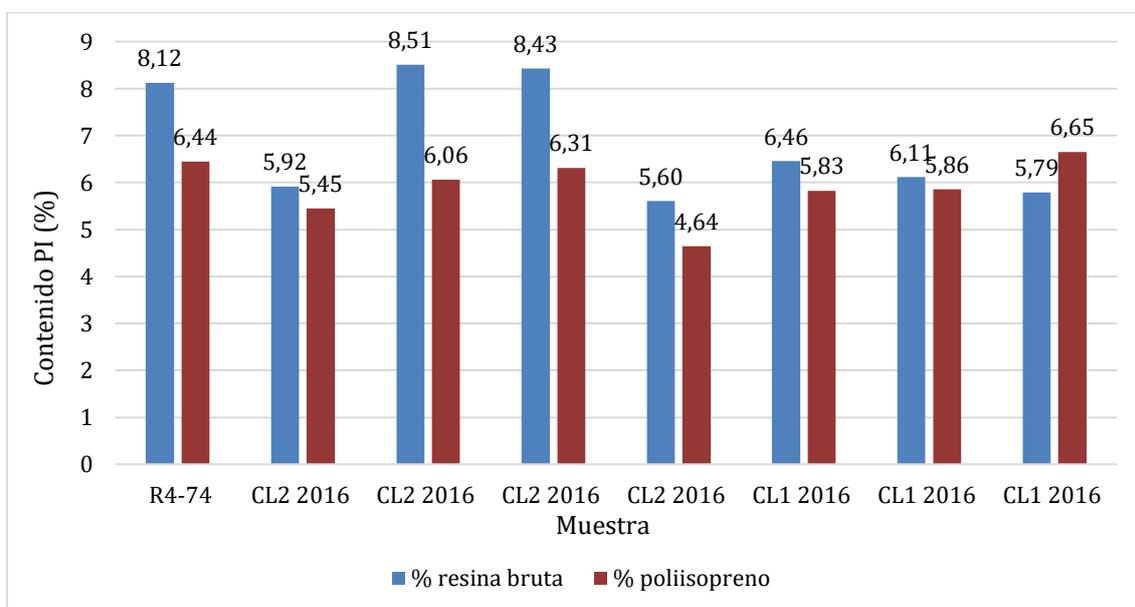


Figura 31. Valores promedio de resina y PI (en %) obtenidos de muestras de ramas de guayule por ASE.

## Otras tareas realizadas en el CIRAD

### Limpieza de inflorescencias

El objetivo de esta tarea fue obtener, a partir de una muestra inicial de capítulos secos, los frutos producidos lo más limpios posibles, eliminando toda la contaminación, para poder calcular el porcentaje de semilla aproximado que contienen dichas muestras.

Para ello, desparramaba los capítulos secos sobre una superficie de caucho de textura rugosa, debajo de un extractor (Figura 32). Con otra porción de caucho, que utilizaba a modo de lija, frotaba las flores realizando una presión intermedia hasta romperlas. Seguidamente, tamizaba el material utilizando tres tamices de diferente diámetro de poro (3,15 mm, 1,40 mm y 0,5 mm). En caso que quedara mucho material en el tamiz de 1,4 mm o el superior, realizaba un segundo frotado con el elemento de caucho, para evitar pasar por alto frutos que posiblemente quedarán dentro de las inflorescencias. Desechaba las partículas que eran menores a 0,5 mm.

La totalidad de lo obtenido la pasaba por un tamiz de 1 mm de abertura y, a continuación, se realizaba una inspección visual para detener el tamizado en el momento en que las semillas pasan a través del tamiz. Seguidamente, pesaba el material, lo guardaba en sobres de papel madera y anotaba su peso en él (Figura 32).

Posteriormente, tomaba las muestras y las terminaba de procesar en una mesa densimétrica, que elimina las partículas más livianas gracias a un movimiento oscilante, ayudado por un sistema de aspiración (Figura 33).



Figura 32: A: Alfombra y tamices utilizados en la limpieza de inflorescencias de guayule para obtener los frutos (cipselas); B: sobres con muestras de cipselas.

Primero, colocaba cinco recipientes metálicos debajo de los tubos de recolección de la mesa densimétrica, en los que caerían las partículas clasificadas por su peso. La muestra obtenida en el primer recipiente contenía las partículas más pesadas, por lo que la examinaba a ojo desnudo a fin de recuperar las cipselas de ramas pequeñas. Debía pasar cada muestra, al menos, cuatro veces por la mesa densimétrica para lograr una limpieza eficaz. Colocaba el material obtenido (Figura 34) dentro de un sobre de papel, que sería conservado por el Dr. Palu.

Para finalizar, realizaba un último tamizado con el tamiz de 1 mm de poro. Pesaba la muestra obtenida con el objetivo de calcular el porcentaje de frutos contenido en la muestra inicial de capítulos secos.



*Figura 33. Mesa densimétrica utilizada para limpiar completamente las muestras de cipselas de guayule.*



*Figura 34. Muestra de cipselas limpias de guayule.*

Durante la pasantía, realicé la limpieza de 19 muestras distintas de 50 gramos, tres de las cuales debí dividir en submuestras (para calcular la media y el desvío estándar). Con el peso de las semillas limpias y junto con el peso inicial de las muestras, pude calcular el porcentaje de semilla que contenía cada una.

Los promedios fueron de unos 8 gr de semillas cada 100 gr de muestra (con desvíos estándar entre 0,72 y 1,73) y coincidieron con los resultados previstos.

### Modelización de plantas de guayule

El objetivo de este trabajo era desarrollar un modelo predictivo que permitiera calcular el contenido de PI y de resina de la planta. La propuesta del Dr. Palu consistía en calcular, de forma indirecta, dichas concentraciones a partir de variables morfológicas tomadas a campo con las que podría conocer el contenido aproximado de materia seca de una planta y, con ese dato, correlacionarlo con el porcentaje de PI y de resina.

Para ello, como primer paso, utilicé los datos de altura y diámetro por planta que tomé a campo en Lansargues, siendo tres plantas por línea, excepto la línea cinco, de la cual tomé datos de cuatro plantas. Con esos datos, calculé el volumen de cada planta según los dos modelos tridimensionales testeados (cilindro o esfera, Figura 35). Posteriormente, con los datos de peso seco por planta determinados previamente, realicé una correlación con los datos de volumen para los dos modelos (Figura 36).

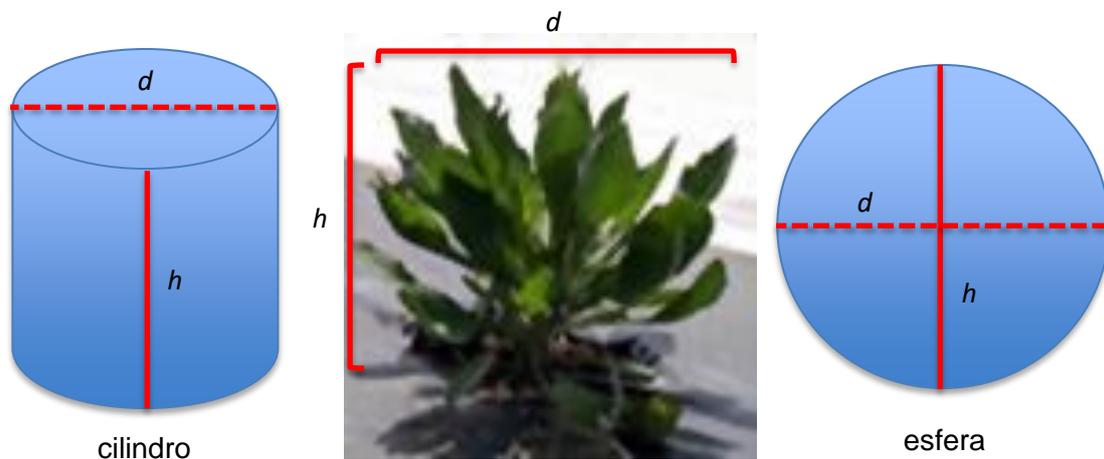


Figura 35. Modelos tridimensionales evaluados sobre las plantas de guayule. *h*: altura; *d*: diámetro.

Los resultados obtenidos fueron poco consistentes ya que las relaciones entre el volumen del cilindro o de la esfera y el peso seco fueron muy variables. No obstante, siendo una

primera aproximación a desarrollar el modelo, la actividad es promisoriosa, aunque es necesario aumentar el número de réplicas para hacer ajustes precisos.

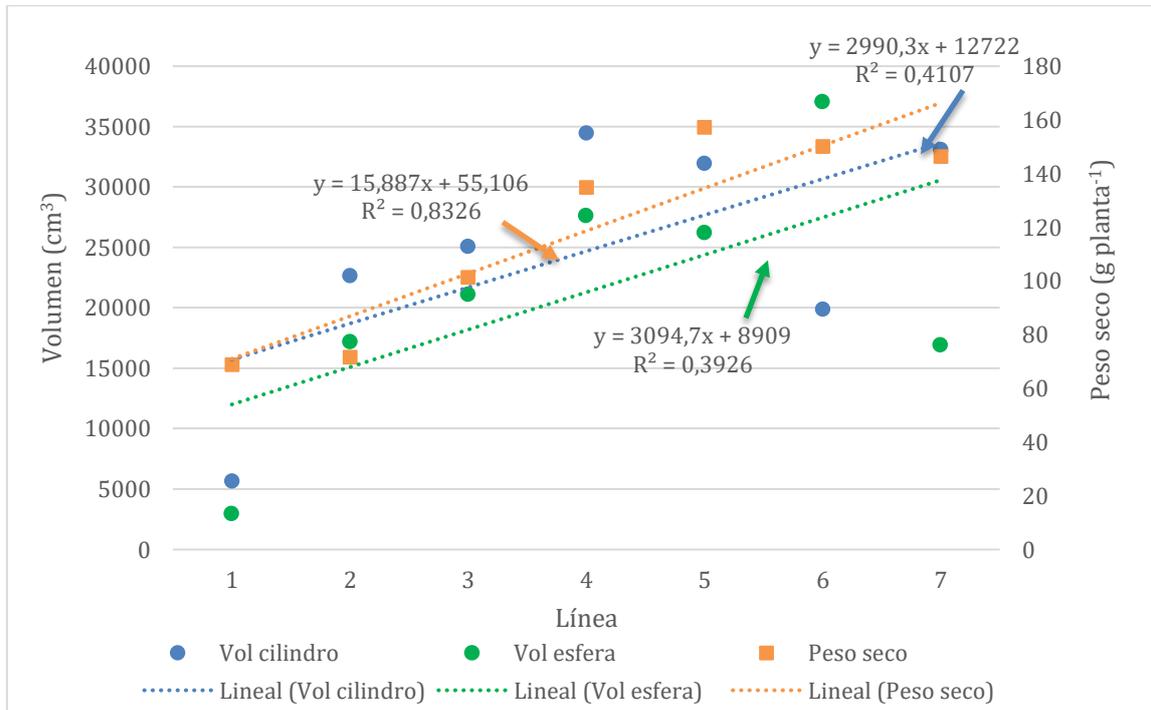


Figura 36. Relación entre el volumen de los cuerpos (cilindro y esfera) calculados con las variables morfológicas medidas a campo en plantas de guayule en Lansargues y el peso seco correspondiente. n= 22 plantas.

### Análisis meteorológico en Lansargues

El objetivo de este trabajo fue relacionar las condiciones climáticas con la producción y crecimiento de las plantas de guayule en Lansargues, el principal campo experimental.

A partir de los datos de precipitación (mm) y de temperaturas media, mínima y máxima (°C), que tomé desde la web (<https://w3.avignon.inra.fr/carto/>), de la estación de Mauguio, ubicada a 8 km de Lansargues, aproximadamente. Procedí a hacer un resumen de los datos anuales, comenzando en marzo 2016 y finalizando en diciembre 2017 (Figuras 37 y 38).

Si bien el total de precipitaciones acumuladas en ambos años están dentro del rango entre 300 y 500 mm, estos valores son inferiores con respecto a los años anteriores, ya que fueron registradas precipitaciones que rondan los 650 mm.

Tal como puede verse en la Figura 37, el año 2016 se caracterizó por ser un año con una buena distribución de las precipitaciones a pesar de que faltan los datos de enero y febrero, con un fuerte aporte de agua al perfil del suelo en el mes de octubre.

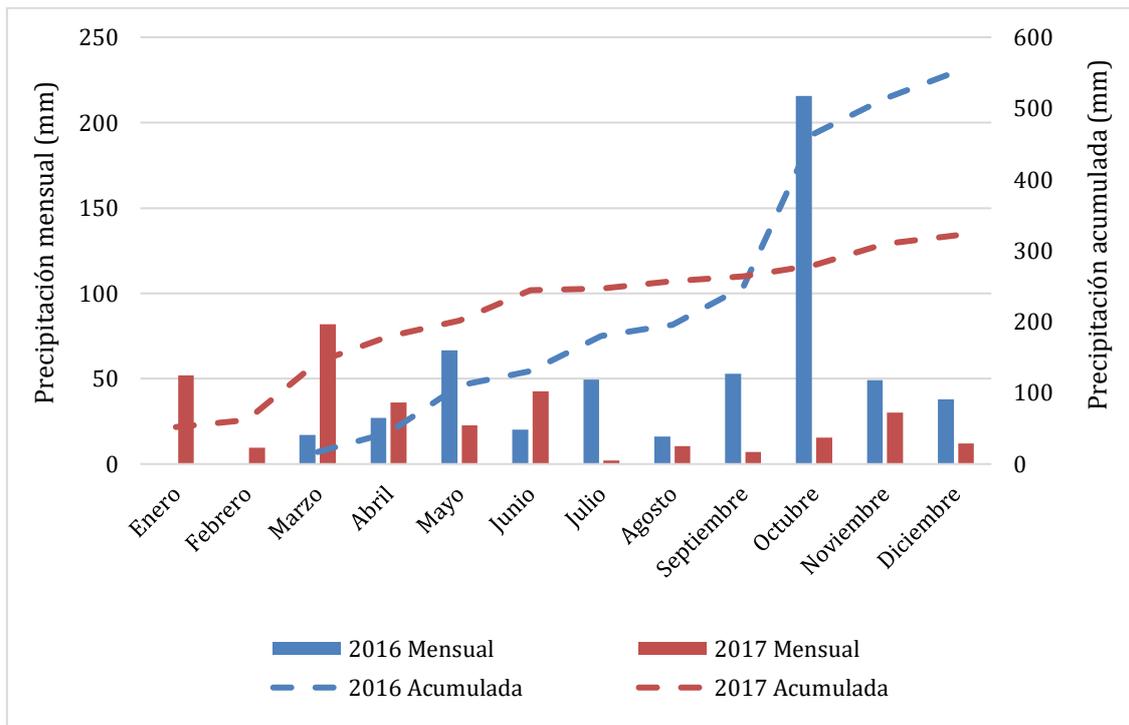


Figura 37. Precipitaciones mensuales y acumuladas (mm) registradas en Lansargues en 2016 y 2017.

A pesar de haberse producido precipitaciones inferiores a las registradas en años anteriores, incluso menores a la media histórica (ubicada en 629 mm, <https://www.annuaire-mairie.fr/ensoleillement-lansargues.html>); la evolución del cultivo, y en especial su desarrollo radical, no se vieron amenazados. Las causas de este crecimiento normal, a pesar de tener aparentemente condiciones adversas, son principalmente dos: la primera es que el guayule es plantado en la parcela como plantín, habiendo superado la etapa más sensible en invernadero. La segunda fue la fecha de siembra, en el mes de octubre de 2016, para las parcelas donde realicé las mediciones de biomasa en Lansargues. A partir de ese mes comienza la temporada de lluvias, siendo octubre de ese año un mes particularmente lluvioso, llegando a duplicar la precipitación media histórica.

Por otra parte, las precipitaciones registradas en 2017 fueron aún más escasas, lo que pudo haber impactado en el establecimiento y desarrollo de las plantas de guayule en Lansargues.

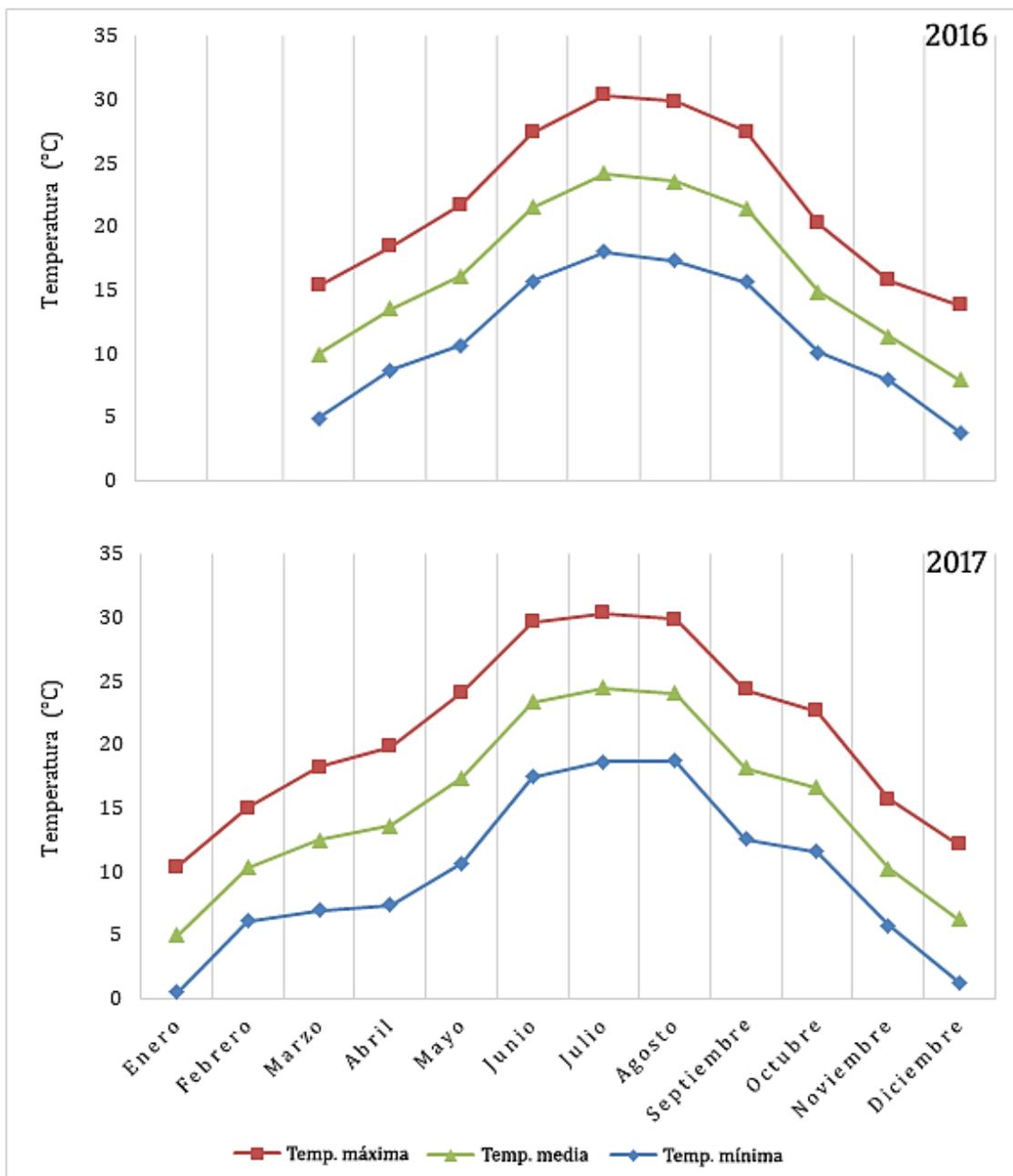


Figura 38. Temperaturas máximas, medias y mínimas mensuales (°C) registradas en Lansargues en 2016 y 2017 (fuente: <https://w3.avignon.inra.fr/carto>).

En cuanto a los registros de temperatura, los valores fueron similares para ambos años y se encontraban dentro de los rangos históricos para Lansargues y para casi todos los parámetros de temperatura, con excepción de la temperatura máxima media del 2017, que resultó 1,2 °C menor que la temperatura máxima media histórica.

## CONSIDERACIONES FINALES

Bajo el marco de una pasantía de investigación, participé en algunas tareas de un estudio agronómico sobre la producción de guayule para la extracción de látex y sub productos, proyecto de la UPR BioWooEB en el CIRAD (Montpellier, Francia).

El estudio que realicé se basó principalmente en el seguimiento, toma de muestras y relevamiento de datos a campo de las plantas de guayule, en distintas parcelas de producción ubicadas en varias localidades del sur de Francia.

Recolecté muestras de todas las parcelas con el objetivo de determinar el contenido de materia seca y si el mismo varía según la ubicación de la parcela y la variedad de guayule. Los resultados que obtuve fueron consistentes, aunque en esta instancia faltaron los análisis estadísticos que permitirían hacer afirmaciones fundadas al respecto.

Por otro lado, a partir de los datos morfológicos recolectados a campo, realicé los primeros cálculos tendientes a obtener un factor de conversión por el cual, con sólo determinar el volumen de la planta a campo, se pudiera estimar el porcentaje de materia seca y el consiguiente contenido de PI. Los resultados que obtuve fueron muy variables. De cualquier manera, éstos sirven de referencia para estudios ulteriores. Además, para llegar a obtener resultados confiables es necesario realizar una mayor cantidad de muestreos a lo largo del tiempo. Ésta fue una experiencia preliminar sobre la cual mi instructor, el Dr. S. Palu, seguirá trabajando.

También realicé tareas de limpieza de inflorescencias, en las que pude ver que, a pesar de las diferencias en tamaño de las cipselas según las distintas variedades, el porcentaje de frutos de una muestra de inflorescencias de cierto peso es aproximadamente el mismo, aunque para afirmarlo sería necesario llevar a cabo un análisis estadístico.

Durante esta pasantía tuve la oportunidad de entrenarme en el uso de un equipo específico para la extracción de resina y de poliisopreno, el ASE, y estuve a cargo del procesamiento de las muestras recogidas a campo hasta la obtención de los resultados.

Como conclusión del estudio del guayule, principalmente en la parte agronómica, creo que sería necesario realizar una mayor cantidad de muestras en un periodo de tiempo un

poco más prolongado con el objetivo de poder hacer un análisis estadístico acorde y tener una cantidad de muestras lo suficientemente amplia como para obtener un factor de conversión seguro que nos pueda ayudar a determinar de manera aproximada el contenido de PI en plantas a campo a partir de su altura y su diámetro. Además, para llevar a cabo este objetivo, es necesario establecer un procedimiento estricto de toma de medidas a campo (para evitar diferencias de criterio en los parámetros de muestreo) y elegir el modelo tridimensional que represente de la mejor manera el volumen de una planta de guayule.

Para culminar con la modelización tridimensional, y después de tomar cursos de programación, decidí realizar una calculadora en el lenguaje Python. Esta calculadora permite ingresar un dato de altura y otro de diámetro, y se obtiene como resultado el volumen de la planta y el peso. Para realizarla tomé los datos de volumen y peso que mas se ajusten a la realidad según éste trabajo.

Finalmente, la búsqueda y procesamiento de los datos meteorológicos de Lansargues me sirvió para aprender a usar motores de búsqueda en sitios web que no eran de uso habitual para mí.

### Reflexión personal

La temática de los cultivos industriales me resultó sumamente interesante, ya que se trata de un tipo de producción que no está desarrollado en la formación de agrónomo en la UNS. Asimismo, desconocía a la especie estudiada como a su relevancia en la producción de caucho.

Teniendo en cuenta la importancia del sector agropecuario en nuestro país, creo que es fundamental explorar nuevas producciones y tecnologías de procesos para potenciar al sector. Es fundamental también la innovación. Hay que adaptarse, y lo que es innovador hoy, dentro de unos años dejará de serlo. La globalización y la tecnología hacen que tengamos que estar adaptándonos constantemente. El sector agropecuario no es la excepción y, con el paso de los años, los profesionales deberán dejar de “encontrar” un empleo, sino que tendrán que “inventar” un empleo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amor, A. 2013. Procédé d'extraction en phase aqueuse du polyisoprène de *Parthenium argentatum*, Universiy Montpellier II, école doctorale SP-SA Science des procédés- Sciences des aliments UR BIOWOOEB / CIRAD.
- Bonner, J. 1991. The history of rubber. En: Whitworth, J.W., Whitehead, E.E. (Eds.), Guayule Natural Rubber. Office of Arid Lands Studies, University of Arizona, Tucson, AZ, pp 1-16
- Bultman, J. D. 1991. The efficacy of guayule resin as a pesticide. *Bioresource technology*, 35(2), 197-201. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/0960-8524\(91\)90030-N](https://doi.org/10.1016/0960-8524(91)90030-N)
- Estilai, A.; Naqvi H.H. y Waines, J. G. 1988. Developing guayule as a domestic rubber crop. *California agricultura*, 42, (29-30). Disponible en: [http://calag.ucanr.edu/download\\_pdf.cfm?article=ca.v042n05p29](http://calag.ucanr.edu/download_pdf.cfm?article=ca.v042n05p29)
- Gardner, E.J. 1946. Sexual plants with high chromosome number from and individual plant selection in a natural population of guayule and mariola. *Genetics*, 31, 117-124. Disponible en: <https://www.genetics.org/content/genetics/31/2/117.full.pdf>
- Gasparotto, L; Lieberei, R.; Trindade, D. 1984. In vitro conidia germination of *Microcyclus ulei* and its sensitivity to fungicides. *Fitopatología Brasileira*. 9: 505-511. Disponible en: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/679673>
- George, D.; Gupta, M. y Dissanayake, P. 2005. Evaluating new guayule varieties for low-allergenic rubber production: A report for the Rural Industries Research and Development Corporation. RIRDC 05/147. ISBN 1741512107. Disponible en: <https://www.agrifutures.com.au/wp-content/uploads/publications/05-147.pdf>
- Gore, M. A.; Coyle, G.; Friebe, B.; Coffelt, T. A. y Salvucci, M. E. 2011. Complex Ploidy Level Variation in Guayule Breeding Programs. *Crop Science*. 51: 210–216. Disponible en: <https://doi.org/10.2135/cropsci2010.05.0283>
- Hammond, B. L. y Polhamus, L.G. 1965. Research on Guayule (*Parthenium argentatum*). U.S. Department of Agriculture, Washington D.C. Boletín Técnico 1327. Disponible en: [https://books.google.com.ar/books?hl=es&lr=&id=asIXAAAAYAAJ&oi=fnd&pg=PA11&dq=Hammond+B.L.+and+Polhamus+L.G.,+1965.+Research+on+Guayule+\(Parthenium+argentatum\).&ots=7gZaTwrnD8&sig=VCngQsbn6Fyvtgk12Ubb4\\_X\\_5lc#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ar/books?hl=es&lr=&id=asIXAAAAYAAJ&oi=fnd&pg=PA11&dq=Hammond+B.L.+and+Polhamus+L.G.,+1965.+Research+on+Guayule+(Parthenium+argentatum).&ots=7gZaTwrnD8&sig=VCngQsbn6Fyvtgk12Ubb4_X_5lc#v=onepage&q&f=false)

- Huang, H.T. 1991. Introduction, In: Whitworth, J.W., Whitehead, E.E. (Eds.), *Guayule Natural Rubber*. Office of Arid Lands Studies, University of Arizona, Tucson, AZ, pp xv-xix
- Jalani, B.S. y Ramli, O. 2003. *Sistemas de Producción y Agronomía: Goma*. Pp 970-978, en *Enciclopedia de Ciencias Vegetales Aplicadas*, Thomas B. (ed.), Elsevier. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B0-12-227050-9/00247-7>
- Miyamoto, S. y Bucks, D.A. 1985. Water quantity and quality requirements of guayule: Current assessment. En: Fangmeier, D. D. y Alcorn, S. M. *Proceedings of the fourth international research and development conference*. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/0378-3774\(85\)90012-5](https://doi.org/10.1016/0378-3774(85)90012-5)
- Kuruvadi, S.; Rodriguez, M. E. A. y Lopez-Benitez, A. 1997. Guayule ploidy levels in a native population. *Ind. Crops Prod.* 6:83–87. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0926-6690\(96\)00163-X](https://doi.org/10.1016/S0926-6690(96)00163-X)
- Palu, S. y Pioch, D. 2010. Du caoutchouc naturel en Europe. *Pour La Science*, 394. Disponible en: <https://www.pourlascience.fr/sd/biologie-vegetale/du-caoutchouc-naturel-en-europe-6119.php>
- Pearson, C. H.; Cornish, K. y Rath, D. J. 2013. Extraction of natural rubber and resin from guayule using an accelerated solvent extractor. *Industrial Crops and Products*, 43, 506-510. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.06.052>
- Rasutis, D.; Soratana, K.; McMahan, C. y Landis, A. E. 2015. A sustainability review of domestic rubber from the guayule plant. *Industrial Crops and Products*, 70, 383-394. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.03.042>
- Ray, D. T.; Coffelt T. A. y Dierig, D. A. 2004, Breeding guayule for commercial production. *Industrial Crops and Products*, 22, 15-25. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2004.06.005>
- Ray, D.T.; Dierig, D.A.; Thompson, A.E. y Coffelt, T.A. 1999. Registration of six guayule (*Parthenium argentatum* Gray) germplasms with high yielding ability. *Crop Science*, 39, 300. Disponible en: <https://doi.org/10.2135/cropsci1999.0011183X003900010073x>
- Ray, D. T.; Foster, M. A.; Coffelt, T. A. y McMahan, C. 2010. *Guayule: Culture, Breeding and Rubber Production*. En: Singh B. *Industrial Crops and Uses*. Fort Valley State University: CAB International, pp. 382-410. ISBN 9781845936167.

- Sfeir, N.; Chapuset, T.; Palu, S.; Lançon, F.; Amor, A.; García, J. y Snoeck, D. 2014. Technical and economic feasibility of a guayule commodity chain in Mediterranean Europe. *Industrial Crops and Products*, 59, 55-62. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.04.043>
- Swaine, F. 2021. Por qué se está acabando el caucho, el asombroso material que todos necesitamos. BBC Future. Disponible en: <https://www.bbc.com/mundo/vert-fut-56410358>
- Thompson, A.E. y Ray, D.T. 1989. Breeding guayule. *Plant Breeding Reviews*, 6, 93-165. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/9781118061039.ch4>
- van Beilen, J. y Poirier, Y. 2007. Guyaule and Russian Dandelion as alternative sources of Natural Rubber. *Critical Reviews in Biotechnology*, 27(4), 217-231. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/07388550701775927>

#### Páginas web

- <https://etudiant.lefigaro.fr/etudes/ecoles-ingenieurs/classement-agronomie-biologie-medical/>
- <https://www.agropolis.org/about/>
- [https://www.bridgestone.com/technology\\_innovation/natural\\_rubber/guayule/](https://www.bridgestone.com/technology_innovation/natural_rubber/guayule/)
- <https://www.cirad.fr/nous-connaître/unites-de-recherche/biomasse-bois-energie-bioproducts>
- <https://www.cirad.fr/qui-sommes-nous/le-cirad-en-bref/>
- <https://www.montpellier-supagro.fr/campus-de-la-gaillarde-montpellier>
- <https://www.montpellier-supagro.fr/campus-de-lavalette-montpellier>