



Soporte técnico Informe

Informe para: Nokian Tyres plc.
Título: Viabilidad técnica para el cultivo del guayule en Santa Cruz de la Zarza (TO, España)
Elaborado por: Manuel Carmona, PhD
A la atención de: Antonio Lorente, Miguel González 24
Fecha de entrega: 24 Enero 2017

Índice del Informe

	Página
Alcance	1
Objetivos	1
Estrategia	2
Breve resumen. Conclusiones y sugerencias	3

Elementos del análisis	8
Escenario	8
Semillas y Plantas de semillero	8
Suelo y agua	10
Clima	10
Cultivo	12
Plantación	12
Fertilización e irrigación	13
Cosecha	14
Procesamiento y logística	14
Viabilidad económica	15
Viabilidad agrícola	16
Viabilidad de toda la cadena	25

Anexos	
Anexo I. Documentos científicos	
40 artículos de la bibliografía científica relacionados con los principales problemas a enfrentar durante el desarrollo de la parcela experimental	
Anexo II. Patentes sobre maquinaria de guayule para cultivo y procedimientos de extracción de caucho / látex.	
Anexo III. Información del Proyecto Europeo de I + D	AIII_01/46
EU_PEARLS	
Taller Octubre 2010	AIII_01
Taller Septiembre 2012	AIII_24



Anexo IV. Datos adicionales no incluidos en los trabajos científicos generados durante el proyecto EU-PEARLS en la prueba in situ en El Molinar (Cartagena, España), relacionados con: prácticas agronómicas como riego y fertilización de parcelas de prueba, rendimiento de biomasa y caucho	AIV_01/62
Presentación de Van Loo E.N.	AIV_01
Presentación de Snoeck D.	AIV_28
Presentación de Visser P.	AIV_54
Anexo V. Protocolos de Riego y Fertilización en El Molinar	Excel
Anexo VI. Imágenes de la plantación desarrollada entre 2008-2011 proporcionados por José García (IMIDA)	Imágenes
Anexo VII. Entrevista video al investigador español involucrado en la prueba del cultivo preliminar en zonas secas de España (idioma español)	Video
Anexo VIII. Condiciones climáticas en Santa Cruz de la Zarza Régimen histórico de precipitaciones y temperatura desde la más cercana estación agroclimática de Castilla-La Mancha (Barajas de Melo, a 20 km)	Excel
Anexo IX. Hoja de Excel de cálculo de costes	Excel
Anexo X. Contactos con plantas piloto de extracción en la región de Castilla-La Mancha	AX_01/05
Respuesta negativa del Director de CLAMBER (IRIAF) dependiente directamente del gobierno regional	AX_01
Propuesta del Director de ITQUIMA perteneciente a la universidad regional (UCLM)	AX_03

Alcance

La empresa Nokian Tires plc. ha contratado a la Universidad Europea de Madrid para realizar un análisis de viabilidad técnica para el cultivo del guayule (*Parthenium argentatum*, Gray L.) en la zona de Santa Cruz de la Zarza (Toledo) y su posibilidad de explotación como fuente de caucho de alta calidad, en base a los datos bibliográficos y la información disponible. Este es el informe final que recoge toda la información analizada y las conclusiones obtenidas durante el período noviembre-diciembre de 2016.

Objetivos

- Determinar la viabilidad técnica para el cultivo de guayule en la zona con suelo SCDZ y las condiciones climáticas.
- Estimar la viabilidad económica de toda la cadena de producción para obtener látex de guayule.
 - Estimación del rendimiento esperado de las plantas y caucho en las condiciones que presenta Santa Cruz de la Zarza. Estimación de costes de manipulación de la planta (recolección, picado, secado y transporte a instalaciones de extracción cercanas).
 - Estimación del coste del proceso de extracción. Si es posible, basándose en la extracción libre de disolventes, siguiendo un proceso respetuoso con el medio ambiente.
 - Estimación de la contribución potencial de subproductos de guayule (resina, bagazo) para aumentar la rentabilidad del cultivo.
- El informe incluirá las principales conclusiones y recomendaciones técnicas para los siguientes pasos, tales como: desarrollar plantaciones piloto en varios lugares / tipos de suelo; o rechazar la idea de la explotación de guayule en SCDZ.



Estrategia

1. Se realizó una investigación sobre las bases de datos científicas, principalmente con el motor de búsqueda Scopus, y las bases de datos de patentes, utilizando principalmente el motor de búsqueda Espacenet apoyado por la Oficina Europea de Patentes. De la gran cantidad de bibliografía estudiada, y que se recoge más adelante, se destacan dos trabajos sobre el cultivo experimental de guayules localizado en el campo de Cartagena (España) dentro de un proyecto europeo denominado EU-PEARLS para la búsqueda de sustitutos de caucho natural de *Hevea brasiliensis*. Los interesantes resultados presentados en estos dos artículos no estaban del todo claros, por lo que nos animamos a ponernos en contacto con los investigadores que firmaron este artículo.
2. Comenzamos visitando a los investigadores españoles José García (Guayule) y María Jesús Pascual (Guayule + Diente de León) en su centro de trabajo en el Instituto IMIDA (Imida Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario) de Murcia al sureste de España.
3. Después contactamos con la persona que personalmente desarrolló la parcela experimental (Peter Visser, Bayer USA). Nos proporcionó información relevante no incluida en los trabajos científicos y nos ofreció su colaboración y la colaboración de su cuñado, que de hecho es el propietario del terreno donde se plantó el guayule en Cartagena (Murcia, España). La parcela experimental todavía existe pero está abandonada, no ha sido regada durante más de dos años. Dadas las dudas sobre la propiedad de las semillas que este campo genera, ya que tanto los socios franceses como los holandeses habían dejado de pagar por su mantenimiento, sugirió ponerse en contacto con los socios franceses (CIRAD).
4. Luego me puse en contacto con Serge Palu del CIRAD que nos ofreció su colaboración también para seguir adelante con la nueva parcela experimental.
5. Después de estudiar la bibliografía, quedó claro cuáles son las técnicas de cultivo a aplicar en SCDZ. Contacté a quien es quizás el mayor experto en Castilla-La Mancha en la introducción de nuevos cultivos, el Dr. Horacio López del ITAP (Instituto Técnico Agrónomo Provincial de Albacete), para realizar un estudio económico detallado.
6. Además, he visitado personalmente la SCDZ dos veces, la primera para conocer el interés potencial de los agricultores y su suelo y las condiciones climáticas, y una segunda vez para comparar los datos de la estimación del coste de la siembra llevada a cabo por el ITAP, con los agricultores de la zona.
7. Por último, me puse en contacto con los directores de dos plantas piloto para la extracción de productos naturales en la región, una directamente bajo control del gobierno regional (CLAMBER) y otra que tiene la universidad regional en ITQUIMA. En ambos casos tratando de obtener un coste estimado para la extracción en 2018 de entre 10 y 15 toneladas de material vegetal.



ESCENARIO Y ELEMENTOS



EL ESCENARIO

- Aumento de la demanda de caucho natural + aparición de riesgos de plagas
- Nicho de mercado existente para látex hipo-alérgico
- Información disponible de pruebas previas durante los últimos 100 años
- Gran interés de los agricultores locales de SCDZ para encontrar cultivos alternativos (3000 ha disponibles)
- Grandes iniciativas actuales:
 - o Estados Unidos. Bridgestone Americas. 100 ha. 20 M \$. Instalaciones propias de extracción industrial. Intentando cultivar en altitudes más elevadas y temperaturas más frías.
 - o Italia. Yulex. Versalis (Pirelli)
 - o CIRAD Montpellier. Fast Track Innovation Project presentado H2020 por 5-10 ha en Sevilla, España



LAS SEMILLAS Y LA SIEMBRA

- Baja disponibilidad de semillas, sólo para fines de investigación
- Variedad plantada en España AZ-2 de USDA
- El CIRAD ofrece semillas CO-1 o CO-2 para 0,25 ha en 2017
- Sin siembra directa, baja tasa de germinación
- 8-10 semanas de plántones en invernaderos
- Condiciones de, luz, irrigación, hormonas, etc, bien conocidas
- Entre 3 y 5 cc € / planta



LA CALIDAD DEL SUELO Y DEL AGUA

- 2 tipos de suelo en SCZ
 - o Norte: Suelo de mala calidad muy bien drenado
 - o Sur: Suelo fértil, baja capacidad de drenaje
- La calidad del agua es importante durante el periodo del plánton, no interfiere durante el crecimiento de la planta
- El riego es muy recomendable después del trasplante



EL CLIMA

- Planta muy rústica
- Resiste fácilmente alrededor de -5°C, incluso -12°C por períodos cortos
- El problema no es la temperatura ambiente, es el exceso de agua en el área de la raíz si la temperatura es baja
- SCDZ está cerca del límite de las condiciones climáticas, la precipitación es muy baja durante el invierno
- Según Angelete (SCDZ) y Serge Palu (CIRAD) es posible (aceptable el riesgo congelado una vez cada 7-10 años)



CULTIVO



LA PLANTACIÓN

- De acuerdo con los agricultores la adaptación de las técnicas de agronomía cultivarse en SCDZ
- Densidad alrededor de 30.000 plantas / ha
- Fecha: principios de abril (finales de marzo) dependiendo de las condiciones climáticas
- Plantación manual mediante la técnica "Pico pato"
- Coste aproximado 1cc € / planta



LA FERTILIZACIÓN Y LA IRRIGACIÓN

- Mucha bibliografía disponible
- Basadas en los datos del experimento de El Molinar (Cartagena, España), hemos diseñado nuestro propio protocolo de fertilización / irrigación
 - 3.000 m3 / ha y año (frente a 1.600)
 - 200 kg de urea / ha y año
 - 110 kg N-32 / ha y año



LA COSECHA

- Cosecha anual o semestral. Nuestra elección es la cosecha anual en junio
- Patentes de maquinaria para cosecha disponibles
- En SCDZ, con maquinaria adaptada de la industria de plantas aromáticas.
- Cosecha a 8-10 cm del suelo, planta entera



EL PROCESAMIENTO Y LA LOGÍSTICA

- Material vegetal mantenido húmedo mediante solución conservante que aumenta el pH (alcalino)
- Evitar altas temperaturas y entregar lo antes posible a la planta de extracción



VIABILIDAD ECONÓMICA



VIABILIDAD AGRÍCOLA

La evaluación de costes para el cultivo de guayule se realizó en 3 pasos:

1. Datos cruzados de dos fuentes diferentes (CIRAD + IMIDA versus WU) para asegurar la extrapolación a nuestras condiciones.
2. Evaluación de especialistas en la introducción de nuevos cultivos en la región de Castilla-La Mancha (ITAP)
3. Revisión de los datos consolidados por los agricultores de SCDZ

- Estas cifras se basan en los siguientes supuestos:

1. Reducción de la densidad de las plantas (Peter Visser), de 50.000 a 30.000 plantas / ha
2. Rendimiento, biomasa seca hasta 25 ton / ha año (Van Loo, E.N., WU)
3. Rendimiento mínimo de los agricultores: 250 €/tonelada de materia seca (CIRAD)
4. Coste por el alquiler de la terreno: 500 €/ha irrigado (agricultores SCZD)

- Los resultados del margen neto de 734 €/ha y año (ver más abajo) son mucho más altos que los 240 €/ha y año que produce la escasa tierra disponible en SCDZ que son rentables para la producción de alimentos con las subvenciones de la UE (por lo menos 50% de los 240 € estimados como beneficios)

	Margen Bruto	Margen Neto
Margen bruto promedio (€/ ha año)	1.520	734
VAN (€)	15.199	7.340
TIR (%)	207%	61%
Índice de recuperación (año)	2	3



VIABILIDAD DE LA CADENA COMPLETA

- Dificultad para calcular la viabilidad de toda la cadena ya que no hay mercado actual para los productos de guayule:

- Precio del caucho de guayule?
- Precio de la resina y otros co-productos de guayule

- Buenas aplicaciones potenciales para todos los productos de guayule, pero parece claro que sólo la explotación de látex de guayule, no es viable

- Los datos propuestos para los 4 productos potenciales de guayule por CIRAD son:

Productos resultados	Precio/tonelada de biomasa
Caucho → 9% de biomasa seca	
→ 50% como látex	(€ 6.00/kg) €270
→ 50% como caucho crudo	(€ 3.60/kg) €162
Resina → 9% de biomasa seca	(€ 3.00/kg) €270
Bagazo → 75% de biomasa seca	(€ 0.10/kg) € 75
	Total €777

- Según estos datos, toda la cadena sería viable. Para simplificar los cálculos, a partir de 1 tonelada DW hay 750 kg de tallos y 67,5 kg de látex (9%) lo que significa que cada kg se paga al agricultor a 3,7 € / kg (250 €/tonelada dividido por 67,5 kg). Aceptando que el coste de la extracción industrial podría cubrirse por la venta del resto de los productos, 3,7 € / kg no es muy alto.

- Teniendo en cuenta el precio del látex de Hevea: 1,2 €/kg en cantidades a granel y los otros 2 argumentos: la estimación de 3,7 €/kg no se optimiza industrialmente y el precio pagado al agricultor permite un gran margen de reducción, sugiere que podría ser rentable toda la cadena de producción en SCDZ.



CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS

CONCLUSIONES

- Cultivo potencialmente interesante para el área agrícola de SCDZ.
- Buen conocimiento y nicho de oportunidad para el desarrollo de este producto dentro de SCDZ.
- La interesante diversidad de suelos en SCDZ, al norte suelo de mala calidad muy bien drenado (muy importante para la planta), y otra, con suelo fértil pero baja capacidad de drenaje al sur, anima a llevar a cabo una prueba piloto experimental. Siguen habiendo algunas dudas sobre la resistencia vegetal bajo condiciones de frío.
- Debe realizarse un cuidadoso estudio de adaptación de variedades.
- El enfoque agrícola necesita una iniciativa conjunta para el proceso de extracción industrial, para ser realistas a medio plazo.
- Difícil implementación dentro de 2017 sin el fuerte apoyo de Nokian Tyres
(a finales del 1 de febrero las semillas deben estar en España)



Decisión de Nokian Tyres hasta diciembre de 2016

SUGERENCIAS

Se sugiere plantar en el municipio de Santa Cruz de la Zarza una única variedad de guayule en 3 hectáreas (en caso de disponibilidad de semilla), dividida entre los dos tipos de suelo existentes, en un proyecto de 24 meses. Los objetivos serían:

Primer Año:

- Conocer la viabilidad de la planta en las condiciones suelo-climáticas de SCDZ.
- Estudio del mercado del látex de guayule y sus co-productos.
- Establecer un precio de referencia que nos permita realizar cálculos precisos de rentabilidad.

Segundo Año:

- Establecer el rendimiento de la plantación.
- Caracterizar la calidad de los productos obtenidos.
- Probar alguna aplicación industrial en cooperación con otras empresas para el látex o la resina obtenida.



CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS

SUGERENCIAS

En caso de mala implantación del cultivo, el proyecto se abandonaría después de 18 meses.

En caso de buena implementación del cultivo después de 12 meses y el primer invierno, esta iniciativa debe complementarse con otros proyectos que no se abordan ni se presupuestan y que deberían ser:

- **Optimización agronómica.** Dentro de las 3 ha ya establecidas, se establecerían pequeñas parcelas experimentales para optimizar el manejo de los cultivos: riego, fertilización, cosecha, manejo, etc. (prueba adicional de 2 años)

- **Pruebas de variedades.** Debe haber un estudio de las variedades que fueron inicialmente evitadas debido a la falta de tiempo y recursos limitados. (Prueba adicional 3 años).

- **Extensión del cultivo.** Salto a escala para llegar a una fase de producción de látex que puede entrar en cualquier aplicación a nivel industrial, y no sólo de una manera testimonial.

- **Proyecto de incentivo para que los investigadores de la región** trabajen con la planta o sus productos. Además, se debe solicitar al gobierno regional, una línea de autoayuda, para apoyar a estos conjuntos de proyectos de empresas / investigadores, agricultores / investigadores o pequeñas empresas auxiliares / investigadores.

PRESUPUESTO

El presupuesto estimado para el desarrollo de este proyecto de cultivo de dos años podría ser de unos 50.000 €. Incluye:

- Los costes de cultivo de las plantas durante 2 años (3 ha), incluyendo la cosecha.
- Manejo y transporte a la planta de extracción.
- Extracción de 10 toneladas de materia seca para obtener una cantidad suficiente de resina y látex para realizar pruebas piloto.
- Apoyo técnico de un experto en agronomía a los agricultores involucrados en el proyecto.
- Caracterización de la calidad del látex y co-productos.

	Año 1	Año 2	Total (€)
Costes de cultivo (3 ha)	9.105	2.569	11.674
Infraestructura de riego	5.000		5.000
Supervisión de agronomía	4.000	4.000	8.000
Manejo y transporte		1.000	1.000
Extracción de material vegetal seco de 10 toneladas		20.000	20.000
Visita a los expertos de Montpellier (CIRAD)	1.500		1.500
Caracterización química de látex y co-productos	2.000		2.000
	21.605	27.569	49.174

Esta estimación no incluye la gestión de proyectos ni los estudios de mercados potenciales para los productos de guayule ni el seguimiento de las sugerencias del informe actual.

Escenario

Guayule, *Parthenium argentatum* Gray, es un pequeño arbusto, perenne, de color gris plateado perteneciente a la tribu Heliantheae de la familia Asteraceae. De las 16 especies del género, el guayule es la única especie que produce caucho de alto peso molecular, de interés comercial. Los rodales naturales de guayule muestran una variabilidad genética considerable por el contenido de caucho (del 5 a 17%), pero con una media de aproximadamente el 10%. A diferencia del caucho de *Hevea brasiliensis*, el caucho de guayule no está contenido en los conductos de la planta, sino que está suspendido en células de pared delgada (células del parénquima cortical) de los arbustos, con dos tercios o más en el tallo y las ramas y el resto en las raíces.

Una planta con una semilla muy pequeña y una forma de reproducción sexual y asexual al mismo tiempo (incluso en la misma planta) da lugar a una gran heterogeneidad (A1_00). Se ha estudiado mucho en los últimos 100 años coincidiendo con momentos cruciales de la historia, especialmente durante la Segunda Guerra Mundial y en los años 70 con el exorbitante aumento del precio del petróleo (A1_01). Por lo tanto, la literatura sobre la planta es extensa, tanto en el cultivo como en el análisis y la utilización de la goma, pero también en los usos potenciales de la resina y otros derivados que la planta también contiene.

Recientemente ha vuelto a recibir la atención de los investigadores y empresas por el constante crecimiento de la demanda de látex natural y la aparición de ciertas plagas que pueden amenazar la fuente habitual *Hevea brasiliensis*. Ha despertado el interés de los investigadores europeos tras el proyecto UE-PEARLS financiado por la Unión Europea y la formación de un consorcio denominado EUNARS-G (A1_02). También porque el látex de guayule es hipo-alérgico y por lo tanto adecuado para producir productos de látex de alto valor, especialmente para personas sensibles al látex.

Semillas

El establecimiento de los estantes para siembra directa ha sido ineficaz debido a problemas con la germinación de las semillas. La inactividad de las semillas se ha atribuido, como una de las principales razones de la baja germinación. Se han probado muchos tratamientos de germinación sin buenos resultados, entre ellos: el remojo en agua durante 5-6 h; Lavado con NaOCl al 2,5% durante 2,5 minutos, seguido de un enjuague con agua; remojo en agua durante 5-6 horas seguido de lavado con NaOCl al 2,5% durante 2,5 minutos, seguido de un enjuague con agua; remojo en una solución que contenía 0,0450 g / L de GA3 durante 5-6 horas; remojo en una solución que contenía 0,6499 g / L de KNO3 durante 5-6 horas; remojo en una solución que contenía 0,0450 g / l de GA3 y 0,6499 g / L de KNO3 durante 5-6 horas; remojo en una solución



que contiene 0,0060 g / L de Captan durante 5-6 horas; remojo en una solución que contenía 25% en peso de PEG 8000, 0,5 mg / ml KNO₃, 10-4 MGA3 y Tirama al 0,1% durante 4 días (A01_03).

Un tratamiento estándar para tratar nuestras semillas podría ser el siguiente: las semillas se lavan y se empapan en agua destilada durante 8 horas seguido de un tratamiento de 2 horas con una solución a partes iguales de ácido giberélico (200 ppm) y 0,25% de NaOCl (A1_04). La temperatura de germinación más adecuada se considera 20°C (A1_05) y se sugiere irrigar con soluciones que contengan boro (5 a 40 mg / L) (A1_06). Tanto la luz de longitud de onda amarilla o roja junto con el ácido giberélico han demostrado su capacidad para mejorar la germinación (A1_08).

El Servicio de Investigación Agrícola (ARS) del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) ha obtenido nuevas variedades (AZ-1, AZ-2, AZ-3, AZ-5 y AZ-6) en las que el rendimiento de la goma ha aumentado considerablemente con respecto a las variedades silvestres, aumentando proporcionalmente el contenido de resina (A1_04). ARS ha publicado estas variedades para la investigación, pero no para uso comercial. Por lo tanto, la disponibilidad de semillas es reducida (A1_04). De todas las líneas, AZ-1 y AZ-2 fueron los mejores para ambas condiciones ambientales. Produjeron un crecimiento vigoroso temprano, un aumento de la materia seca, un aumento de los rendimientos de caucho y resina. También pueden cosecharse en un plazo más corto (uno-dos años) en suelos buenos y condiciones ambientales. De estas dos líneas, se prefirió AZ-1 a la AZ-1 debido a su uniformidad comparativamente alta (A1_10).

Desde una semilla muy pequeña en un año de cultivo en condiciones favorables la planta puede alcanzar 1 metro de altura y 80 cm de diámetro (A1_04). El color de la semilla también se puede utilizar para descartar las semillas amarillas, porque el análisis de rayos X reveló una ausencia de estructuras internas esenciales para la germinación (A1_07). La mejor madurez de la semilla se alcanza 28 días después de la floración (A1_09).

La escasez o exceso de agua más allá de la capacidad de campo, afecta la germinación de las semillas y la supervivencia de las plántulas jóvenes sembradas directamente y los trasplantes jóvenes (A1_10). Según Peter Visser (comunicación personal), el secreto para conseguir una buena germinación en el vivero es regar las semillas muy poco, muy por debajo de lo que están acostumbradas las empresas que se dedican a ello.

La floración de Guayule tiene lugar en períodos de crecimiento activo cuando se dispone del agua adecuada. Se requiere un mínimo de 9,5 horas al día para estimular la floración. La floración es más abundante en primavera pero también tiene lugar durante el verano y el otoño si hay suficiente agua disponible. El Guayule se poliniza tanto mediante el viento como por los insectos. Las semillas son muy pequeñas y se producen a un ritmo prolífico (A1_10). Se han desarrollado algunas máquinas para la recolección de semillas (A1_11).



Suelo y agua

En los hábitats naturales, el guayule aparece en una serie de lugares, pero le favorecen las colinas pedregosas, las colinas coluviales y los depósitos fluvioglaciares bien drenados. Los fondos del valle se evitan. Los mejores emplazamientos de guayule se encuentran en los depósitos fluvioglaciares en suelos calcáreos, de textura media a fina, en el extremo inferior del rango de altitud. Se ha informado de que la guayule requiere suelos moderados a bien drenados sin arcilla u otras características que restringen la penetración de agua y aire. El Guayule no puede tolerar el encharcamiento (A1_10).

En SCDZ existen dos tipos de suelo, un pobre moldeo en el norte, que es de mala calidad no solo por su baja materia orgánica, sino también por su baja capacidad de retención de agua, y otro más fértil en el sur, más arcilloso, y por lo tanto con mejor capacidad para retener agua. Sería necesario un estudio detallado de ambos suelos, algo que no ha dado tiempo hacer a lo largo de este breve estudio, pero la existencia de esta diversidad dentro de un área geográficamente pequeña, junto con:

- los datos antes mencionados de la bibliografía y
- la decisión de comenzar a utilizar el riego incluso si es sólo para la etapa de establecimiento del cultivo, anima a realizar la prueba, y hacerlo en ambos tipos de suelo.

El Guayule tolera bien la salinidad una vez que ha salido, durante la etapa de siembra y brote es muy sensible a la calidad del agua (A1_13). Como se ha decidido no plantar semillas directamente en el campo (debido a la baja tasa de germinación antes mencionada), sino germinar bajo un invernadero y luego trasplantar, no se espera que haya problemas con la calidad del agua de la zona. Algunos autores sugieren que si se reducen a tasas de crecimiento aceptables, son aceptables y la acumulación de sal es minimizada, entonces la salinidad de agua de hasta 1,0 dS / m podría ser usada para el establecimiento de la planta y hasta 4,5 dS / m para el crecimiento de la planta sin arriesgar una mortalidad significativa (A1_13).

Clima

En su hábitat natural, el guayule se encuentra dentro de un rango latitudinal de 23 ° 39 'N a 30 ° 00' N y un rango altitudinal de 700 m a 2340 m. El Guayule no es una especie dominante de la región y está esparcida por 337.000 km² del desierto de Chihuahua y en las regiones circundantes. Se limita



a pendientes calcáreas y suelos bien drenados. La precipitación en la región varía de 140- 500 mm concentrados en los meses más cálidos y los meses más fríos están secos. La temperatura media anual en su entorno natural está entre 17 a 23 °C y los extremos de temperatura son de -23 °C a 49 °C. Sin embargo, el guayule ha sido cultivado y crecido con éxito bajo condiciones experimentales en ambientes climáticos bastante diferentes, en los Estados Unidos, Australia, Israel, México, Sudáfrica e India. Muchas de las plantaciones experimentales han utilizado riego para modificar los regímenes de agua, aunque los regímenes térmicos y de radiación permanecieron sin cambios. El Proyecto de Emergencia del Caucho (ERP) y la posterior investigación en los Estados Unidos han demostrado que el guayule puede crecer exitosamente en climas que se desvían (inviernos húmedos) de su distribución natural (A1_10).

Como se puede ver a continuación este es el caso de SCDZ que tiene sus precipitaciones concentradas en el otoño y primavera en lugar de en el verano. Siempre y cuando se disponga de riego para el verano, sólo es necesario si se desea tener una cosecha abundante pero no para la supervivencia de la planta, una vez que la planta se estabiliza, es positivo porque el exceso de agua, especialmente durante los meses calurosos de verano, es perjudicial para la planta de Guayule en todas las edades. Las plantas jóvenes son más susceptibles al exceso de agua que puede causarles problemas con enfermedades en las raíces, la aireación del suelo y la competencia de malas yerbas.

El clima en SCDZ es duro, con inviernos muy fríos como se puede ver en la siguiente tabla tomada de una estación meteorológica ubicada en Barajas de Melo a unos 20 km de la zona de cultivo en SCDZ. El Anexo VIII muestra las series históricas completas de los últimos 12 años para los registros de esta estación, para lo cual se presenta un breve resumen en la tabla siguiente.

Mes	Valores												
	Promedio de Tm (°C)	Máx. de TMA (°C)	Mín. de tma (°C)	Promedio de Hr (%)	Máx. de Hrmax (%)	Mín. de Hrmin (%)	Promedio de RS (MJ/m ²)	Promedio de V (m/s)	Máx. de VMA (m/s)	Promedio de HS (horas)	Promedio de P (mm)	Promedio de ET _o (mm)	
1	4,9	20,4	-13,0	79	100	14	7,5	2,3	17,3	6,8	1,1	1,0	
2	5,8	21,2	-11,5	71	99	9	10,9	2,7	24,0	8,3	1,3	1,7	
3	9,2	27,4	-8,3	64	98	0	15,7	2,8	19,1	9,7	1,3	2,7	
4	12,0	29,9	-3,3	63	100	0	20,4	2,6	16,0	11,2	1,7	3,7	
5	16,2	37,0	-2,1	56	100	0	24,1	2,1	14,2	12,3	1,4	4,9	
6	22,4	39,4	0,0	43	98	-1	27,7	2,2	27,0	13,1	0,8	6,7	
7	25,5	40,1	0,0	34	95	0	28,7	2,5	56,8	13,0	0,2	7,6	
8	25,0	40,9	0,0	38	94	0	25,0	2,6	20,2	12,1	0,2	6,7	
9	20,2	39,3	0,0	49	98	0	19,4	2,4	16,4	10,6	0,8	4,7	
10	14,8	30,9	-3,3	64	99	0	12,9	2,5	16,8	9,0	1,6	2,7	
11	8,4	24,2	-8,3	75	100	0	8,6	2,3	20,1	7,4	1,4	1,4	
12	5,2	19,2	-12,1	78	100	0	7,1	2,3	20,3	6,7	1,1	0,9	
Total gen	14,2	40,9	-13,0	59	100	-1	17,3	2,4	56,8	10,0	1,1	3,7	

Existe una estación mejor ubicada en relación con las parcelas de suelo malo del norte de SCDZ, en el municipio de Villamanrique de Tajo, pero no hemos podido acceder a los datos climáticos



porque pertenece a la Comunidad Autónoma de Madrid. A principios del próximo año 2017, esta comunidad se unirá a la plataforma web sigAgroasesor y tendremos acceso a estos datos que pueden estar más cerca de la realidad de las parcelas consideradas, en la zona norte.

El frío en invierno es quizás el mayor problema al que se enfrenta el cultivo en SCDZ, donde se alcanzan en determinados momentos de algunos días hasta $-13\text{ }^{\circ}\text{C}$ en el mes de enero. La ventaja es que no hay mucha agua disponible en ese momento, porque en caso de temperatura atmosférica muy fría, la planta puede llegar a tirar las hojas pero sobrevive mientras no haya exceso de agua en el suelo que congele las raíces. Según la experiencia de los investigadores Serge Palu (CIRAD) y Peter Visser (Bayer), la opinión de un agricultor con un buen conocimiento del clima en SCDZ (Angelete) y algunos estudios en los que la planta ha soportado bien hasta $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ (A1_12). La planta de guayule podría soportar las bajas temperaturas de esta zona sin sufrir demasiado.

El Guayule bajo cultivo exhibe un patrón cíclico estacional distinto del crecimiento alterno y acumulación de caucho. La producción de biomasa es mayor en los meses de primavera, verano y otoño, y la acumulación de caucho es más alta en los meses de invierno. Una característica sobresaliente de la formación de caucho en el guayule es la estimulación de la biosíntesis del caucho mediante la exposición de las plantas a bajas temperaturas nocturnas (A1_10). Las diferencias de temperatura día / noche en SCDZ son muy amplias, algo por lo tanto muy adecuado.

Cultivo

Plantación

La siembra directa podría reducir el coste del establecimiento a menos de US \$ 400 / ha frente a US \$ 900-1200 / ha para el trasplante de acuerdo con la experiencia de Bridgestone en EE.UU. Los costes recientes del trasplante de guayule en Arizona se estiman en US \$ 1600 / ha. Esta cifra incluye tanto los costes de trasplante de invernadero como los de campo. Además, la siembra directa es un desafío debido al pequeño tamaño de la semilla (1 mg de peso seco por semilla) y la necesidad de tener poca profundidad. La humedad del suelo debe mantenerse lo suficientemente larga como para permitir la germinación y el establecimiento (A1_10). Definitivamente, y también debido a la escasez de semillas, vamos a optar por hacer una plántula y el trasplante de la planta joven una vez pasadas 8-10 semanas. Aunque esto aumentará en coste, aumentará mucho las posibilidades de supervivencia en el frío invierno.

La Intercontinental Rubber Company utilizó una población de 18.500 plantas por ha con un espaciamiento de 90 por 60 cm para lograr el máximo rendimiento de materia seca en cuatro años después del trasplante en



en condiciones de tierras secas. El espaciamiento de la planta adoptado durante el Proyecto de Emergencia de Caucho (ERP) fue de 71 x 61 cm bajo condiciones de tierras secas (23.000 plantas / ha). Un espaciamiento más estrecho de 71 x 51 cm (27.600 plantas / ha) aumentó la producción de materia seca bajo riego después de 2 a 3 años. Se informó que el rendimiento de caucho aumentó a 135 kg / ha con un espaciamiento de 71 x 25 cm (56.300 plantas / ha) en 21 meses comparado con un espaciamiento de 71 x 51 (rendimiento de caucho producido de 113 kg / ha) bajo riego. Recientes pruebas de campo en los Estados Unidos utilizaron un espaciado de filas y plantas de 1 x 0,36 m (27.500 plantas / ha). Sin embargo, no hay disponibles recomendaciones adecuadas sobre las densidades óptimas de plantas para guayule (A1_10).

En la parcela experimental del proyecto EU_Pearls en el sudeste de España (área de Cartagena) se utilizó una densidad de 50.000 plantas / ha. Si bien los investigadores del CIRAD (Francia) recomiendan incluso aumentarla hasta 55.000 plantas / ha, la persona a cargo (Peter Visser, en una comunicación personal) sugirió lo contrario, para facilitar el manejo del cultivo, no más de 40.000 plantas / ha. Decidimos estimar un coste para 30.000 plantas / ha.

Todas las pruebas disponibles indican que el guayule no es un competidor fuerte contra malas hierbas u otras especies vegetales, especialmente durante la fase de establecimiento temprano (A1_10). Se ha diseñado una estrategia de control de malas hierbas y se ha estimado su coste.

Fertilización e irrigación

El Guayule es tolerante a las variaciones extremas de agua de larga duración, lo que permite cierta flexibilidad en el sistema de riego. Con el fin de obtener una producción aceptable, se deben aplicar cantidades suplementarias de agua, acelerando también el ciclo de crecimiento y acumulación de látex (A1_14). Las plantas establecidas experimentan una inactividad parcial pero pueden recuperarse muy rápidamente cuando el agua está disponible. El riego es uno de los principales factores que influyen en el rendimiento del caucho y la humedad del suelo tiene un efecto dominante. El riego acorta el período para la cosecha y aumenta el rendimiento del caucho. En ambientes áridos, los aumentos de rendimiento del guayule estaban estrechamente relacionados con la cantidad de agua aplicada. Se estimó que el requerimiento anual de agua para el guayule estaba en el rango de 520 mm para la zona costera fría hasta 910 mm para la zona árida caliente. Las aplicaciones de agua hasta 2850 mm maximizaron el rendimiento de materia seca para un período de crecimiento de las plantas, de dos años (A1_10). Hemos estimado 3000 mm / año para nuestro cálculo de costes de acuerdo con: las prácticas habituales en Castilla-La Mancha, las sugerencias del experto ITAP y la baja eficiencia hídrica de esta planta sugerida por algunos autores (A1_13). El riego podría incrementar el rendimiento de biomasa hasta los 9-10.000 m³ (A1_15).



Aunque la fecha de trasplante parece tener menos influencia después de al menos un año, sobre el tamaño y la producción de la planta, intentaríamos plantar en abril, antes de las fechas habituales de siembra de junio (A1_16), para tratar de tener una planta muy resistente para el primer invierno.

Cosecha

La planta puede ser cosechada cada año, cada 2 años o 4 años (A1_17), sin diferencias significativas en el material de peso seco. Es mejor cosecharla completamente dejando la raíz en el suelo para el rebrote en el próximo año. El rendimiento de látex es mayor cuanto menos se cosecha. Por el contrario, los mismos autores sugieren que un envejecimiento menor de la planta, y por lo tanto la lignificación, es más adecuada para la cosecha y el posterior proceso de manipulación y extracción, y cosechar la planta a 5 cm del suelo (A1_17).

También se debe analizar el tiempo de cosecha para asegurar que con la cosecha anual todas las plantas broten al año siguiente. Un hecho importante que debe estudiarse es la fecha óptima de la cosecha en la gestión anual y plurianual. En cualquier caso, el rendimiento aumenta, al cosechar cultivos completos en comparación con parciales, al 50% de la altura de la planta (A1_17).

Existen patentes sobre máquinas recolectoras desarrolladas por la Bridgestone Corporation (A2_01 / A2_04). En vista de la información recogida anteriormente, no se prestará atención a este aspecto (aunque se adjunta la información obtenida en el anexo correspondiente), ya que para el proceso de recolección se utilizará maquinaria compatible que ya existe en Castilla-La Mancha y se utiliza en la cosecha de plantas aromáticas que, también se cultivan en esta región. En principio, para los primeros ensayos, las plantas se cosecharan a una altura de entre 5 y 8 cm del suelo.

Procesamiento y logística

El proceso de manipulación de la materia vegetal, separación de las hojas de los tallos, picado y secado podría hacerse en Santa Cruz de la Zarza. Hay disponibilidad de edificios industriales en el municipio, sin uso.

En la primera opción, se seca el material vegetal antes de ser transportado a la planta de extracción, el proceso debe llevarse a cabo por debajo de los 50 °C para no degradar el látex (A1_18). El proceso debe ser estudiado para determinar las mejores condiciones de una maquinaria de secado de madera existente



en la zona industrial mencionada y que podría utilizarse para este fin. También para el mantenimiento de la materia prima una vez cosechada, deben evitarse altas temperaturas hasta el momento del procesamiento (A1_19), evitando asimismo la deshidratación que conlleva la precipitación del látex en forma de caucho insoluble, perdiendo calidad y rendimiento (A1_20, A1_21).

En caso de que no sea posible el procesamiento inmediato de la planta cosechada, la planta puede homogeneizarse con una solución líquida de amonio (NH_4OH) al 0,2% y Na_2SO_3 al 0,1% de pH10, lo que permite mantener estable el contenido del látex durante más de 3 meses a una temperatura ambiente de 24 °C (A1_22). La mejor protección contra la degradación del látex la ofrecen las ramas entre 0,5 y 1 cm diámetro (A1_21). Se ha probado una máquina para arrancar la corteza de los tallos, que es donde se encuentra la proporción más alta de látex en la planta de guayule (A1_23). Será una posibilidad para estudiar más adelante, pero no en estos momentos.

El transporte del campo a la planta de pre-procesado podría ser realizado por el propio agricultor y una vez tratado el material vegetal (seco o húmedo, picado o no), sería transportado a la planta de extracción por empresas de transporte de la localidad. En la actualidad, la opción identificada para las primeras pruebas a nivel aún semi-industrial sería Ciudad Real, el Instituto ITQUIMA de Tecnología Química y Ambiental, que tiene una planta piloto de extracción, una vez descartada por cuestiones técnicas la bio-refinería CLAMBER del Gobierno regional establecida en Puertollano. ITQUIMA es también un instituto que puede colaborar en el desarrollo futuro del proyecto, por sus conexiones con la industria y su capacidad analítica para certificar la calidad del producto obtenido. Aunque todavía no han desarrollado las técnicas analíticas para su determinación, podrían hacerlo fácilmente una vez que hayan sido adecuadamente formados.

Viabilidad Económica

El Guayule necesita ser competitivo con la Hevea para convertirse en una fuente comercial de caucho natural. Las bajas tasas anuales de caucho (600 - 900 kg ha⁻¹) y los altos costes de establecimiento (alrededor de A\$1800 en Australia y US\$1600 en Estados Unidos) son dos de las principales limitaciones para la comercialización del guayule. Se han llevado a cabo programas de investigación que incluyen el desarrollo de líneas de alto rendimiento con un crecimiento más rápido para abordar estas importantes cuestiones. También es necesario explorar la utilización comercial de co-productos de guayule. Los principales co-productos que se producen en grandes cantidades en el procesamiento de guayule son caucho de bajo peso molecular, resinas y bagazo. La utilización de estos productos es crucial para mejorar el potencial comercial del guayule (A1_10).



Comencemos por separar la evaluación de la rentabilidad económica del cultivo del rendimiento potencial económico global del proceso completo, que incluye el proceso de transformación y colocación en el mercado internacional tanto de látex como de resinas. Hacemos esto para facilitar el análisis y por dos razones adicionales:

- No tenemos una cotización internacional de látex de guayule, no hay mercado internacional para este producto.
- No tenemos una aplicación definida y por lo tanto una cotización de los co-productos de la planta: caucho extraído con disolventes orgánicos, resina y bagazo.

Además:

- Los datos sobre la producción agrícola y su posterior rendimiento en látex presentan ciertas dificultades para su interpretación, como veremos más adelante.
- Los resultados del análisis deben ser fácilmente interpretados por los agricultores de la zona.

a) Viabilidad económica del cultivo de guayule

Existe mucha bibliografía sobre esta planta, pero la selección de nuevas semillas ha cambiado completamente el comportamiento de la planta, produciendo un mayor crecimiento vegetativo, pero al mismo tiempo cambiando la relación habitual en las plantas de resina silvestre / plantas de látex. El comportamiento de estas nuevas variedades disponibles en el mercado es completamente diferente y debemos manejar cuidadosamente los resultados de los antiguos cultivos de guayules, incluso los que encontramos realizados en España en los años 60 (A1_24 y A1_25).

Por lo tanto, centraremos nuestro interés en los estudios realizados dentro del proyecto UE-PEARLS en el Campo de Cartagena, Murcia, entre 2008 y 2012 con las variedades actuales disponibles en el mercado.

Realizaremos un análisis económico basado en 2 artículos científicos publicados por los miembros involucrados en este proyecto (A1_26 & A1_27), pero también sobre la información interna del proyecto al que hemos tenido acceso. Este grupo de científicos franceses del CIRAD-Investigación Agronómica para el Desarrollo junto con científicos holandeses (Wageningen UR Food & Biobased Research / Plant Research International) también participaron en el proyecto europeo EU-PEARLS y algunos socios más:



- Asociación Europea de Neumáticos y Fabricantes (ETRMA) de Bélgica,
- Centro de Tecnología y Transferencia de Le Mans (ATTM) de Francia,
- Instituto Agrónomo Mediterráneo de Chania (AICH / CIHEAM) en Grecia

Han formado un grupo de trabajo denominado EUNARS-G para la promoción del cultivo y la explotación del guayule a nivel europeo. Es un grupo al que es recomendable unirse en caso de que se decida implantar el cultivo.

En principio, nos basamos en la información de estos dos artículos científicos (A1_26 & A1_27) publicados por estos investigadores en una prestigiosa revista del sector (Cultivos Industriales y Productos) en los años 2014 y 2015, a partir de los trabajos del mencionado proyecto. Pero como veremos más adelante hay alguna inconsistencia de los datos que nos llevaron a visitar al investigador español del IMIDA (José García, economista agrario) y tenemos dos conversaciones mediante Skype con la persona que realmente estableció la plantación Peter Visser (actualmente trabajando en los EEUU) y los investigadores franceses (Serge Palu). Peter Visser, que había estudiado en los Países Bajos (Universidad de Wageningen) atendió a la petición de su amigo E.N. Robert Van Loo (WU), responsable de la parte agrónoma de los estudios. Peter acudió a su cuñado, que tenía una parcela libre, para establecer la cosecha y, junto con su esposa, hacer todo el seguimiento de la plantación durante 3 años. La plantación que desarrolló todavía existe aunque no está atendida, pero podría recuperarse para la variedad AZ-2, con la intención de proveer semillas a nuestra plantación en Santa Cruz de la Zarza. Resumen de trabajos:

2014

- Sobre la base de un período de cultivo de 10 años, el punto de equilibrio para el agricultor se alcanzó en 214 € / tonelada de biomasa seca con un coste medio de cultivo de campo de 1924€/año. Al comprar la biomasa en el punto de equilibrio del agricultor y considerar el látex como el único producto final, el proceso o el punto de equilibrio se alcanzó a un precio de venta de látex de 8,16 €/kg de caucho seco. De lo contrario, al agregar la producción paralela de caucho crudo, resina y bagazo a través del proceso de bio-refinería, el punto de equilibrio del látex puede ser menor, 2,46 €/kg de caucho seco (más caucho bruto a 2,15 €, resina a 2,10, bagazo a 0,10D)
- A nivel de explotación, los costes de cultivo (1924 € / ha y año).
- La producción de caucho de Guayule comienza después del segundo año y el punto de equilibrio está en el cuarto año.
- Límite del precio rentable para el agricultor 250 €/tonelada.



2015

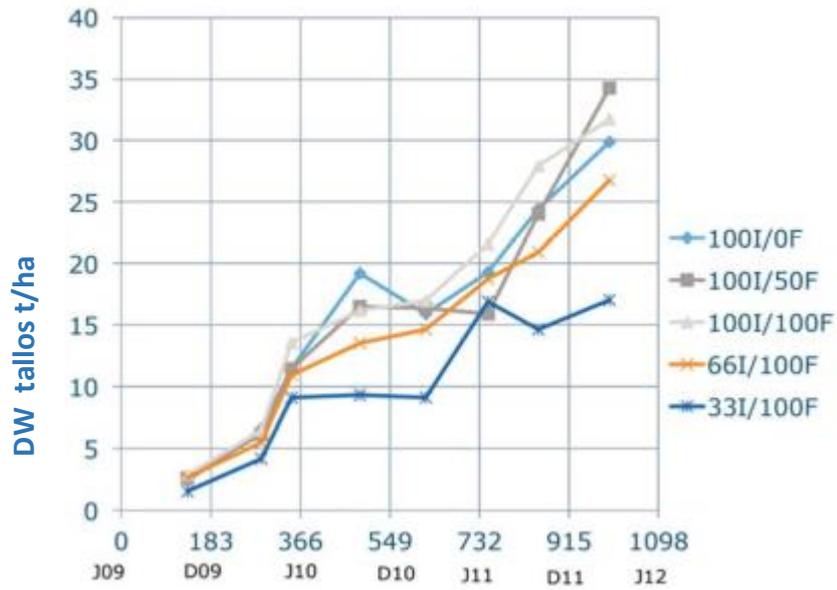
- Un agricultor puede producir 8,9 toneladas de biomasa de tallo seco por hectarea y año durante un ciclo de cultivo de 10 años.
- El contenido de caucho en los arbustos es del 9%: 801 kg /ha año.
- El coste de producción para el agricultor fue de 147 € tonelada.
- El precio de venta a la industria extractiva 300 € / tonelada.
- El beneficio neto para el agricultor 153 € / tonelada.

Estos valores, difíciles de interpretar e integrar entre los dos artículos, no coinciden con los valores sobre los que se basan (A4_01) y aquellos a los que también hemos tenido acceso. Este último documento, de los autores holandeses, pero también firmado por Peter Visser y los autores franceses, dice lo siguiente:

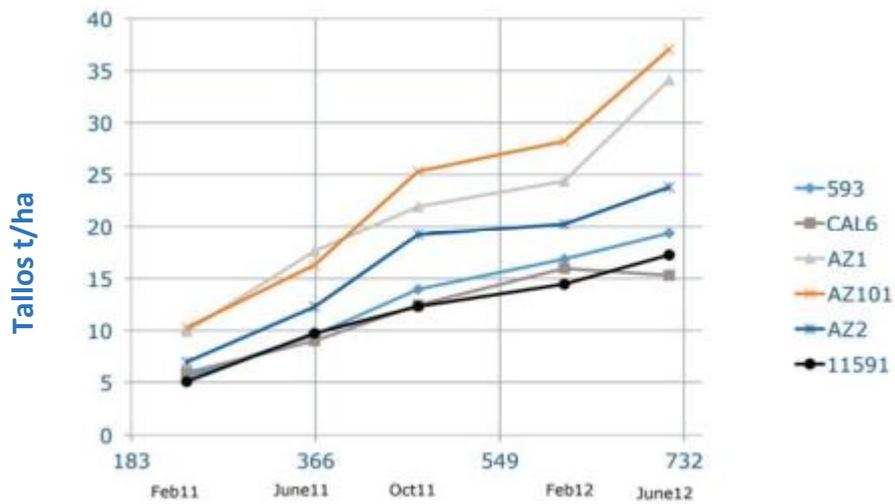
Prueba de fertirrigación. Biomasa total



Prueba de fertirrigación. Biomasa de tallos

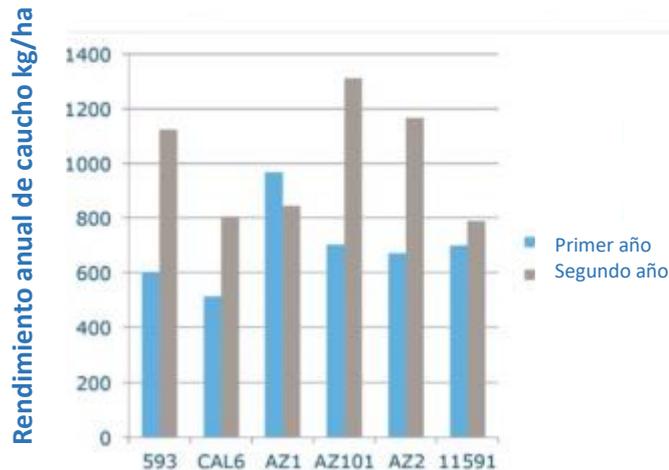


Prueba de cultivo. Producción de tallos



Días después de la siembra (26 de junio 2010)

Rendimiento promedio anual de caucho kg/ha



- Sólo datos del primer año y segundo año
- En la prueba de fertirrigación AZ2: 1300 kg/ha en el segundo año y 2500 kg/ha en el tercer año

Estos datos son mucho más parecidos a los datos de rendimiento de otras plantaciones, donde entre 10-15.000 plantas por hectárea producen rendimientos en seco similares a los propuestos en los 2 primeros artículos (entre 12-14 toneladas/ha). Esto también está de acuerdo con los estudios relevantes de otros científicos estadounidenses (Cornish K.) en este dominio, que establecen que después de un año el peso seco por planta puede alcanzar alrededor de los 0,85 kg.

En este caso, una siembra de 50.000 plantas / ha y la de El Molinar fácilmente podrían sobrepasar las 25 toneladas / ha, incluso con un número mucho menor de plantas (alrededor de 30.000 plantas / ha).

De hecho, y como ya se mencionó, en la conversación con Peter Visser se recomendó reducir el número de plantas por hectárea. Por lo tanto, para llevar a cabo una estimación económica del cultivo, además de hablar con todas las personas involucradas en la plantación de El Molinar, se ha seguido la siguiente estrategia:

- Se ha realizado una evaluación independiente del coste agronómico, adaptándola a las técnicas de cultivo que creemos que deberían ser utilizadas en Santa Cruz de la Zarza y a las que están acostumbrados los agricultores de la zona. Para tal fin, nos hemos puesto en contacto con el experto líder en la introducción y desarrollo de nuevos cultivos en Castilla-La Mancha, el Dr. Horacio Lopez Corcoles, Director de Investigación del Instituto Técnico Agronómico Provincial de Albacete (ITAP). Nos ha ayudado en la evaluación económica del cultivo. Además, junto con otros investigadores e instituciones a nivel nacional, ha sido responsable de la creación de la herramienta sigAgroasesor, que la ha puesto a nuestra disposición para gestionar el cultivo adaptado a las condiciones agro-meteorológicas que se desarrollan

durante el ciclo de crecimiento. Se recomienda tener a este experto en un futuro próximo en caso de que el proyecto siga adelante.

- Los números estimados con la ayuda del ITAP han sido revisados y conformados con Angelete, agricultor y co-promotor de la iniciativa.

Además de esta estrategia, ha sido necesario hacer algunas aproximaciones, aceptar algunos de los datos propuestos en los estudios previos, y hacer algunas estimaciones pendientes. Hemos hecho las siguientes afirmaciones que no tienen que ser ciertas cuando se aplican en Santa Cruz de la Zarza, y tratamos de ser conservadores en nuestras estimaciones:

- Realizaremos los cálculos para la variedad AZ-2, sin importar si es la más adecuada para la adaptación a nuestras condiciones, ya que es la información más actual en España.
- Hemos reducido de 50.000 a 30.000 plantas / ha para el cálculo de costes, siguiendo la recomendación de P.V.
- Hemos aumentado la demanda de agua del cultivo hasta 3.000 m³ / año.
- A pesar de la reducción, hemos mantenido el nivel de producción sugerido en los documentos, es decir, 12 toneladas / ha de materia seca al año. Estos números siguen siendo conservadores dados los resultados de la plantación de Robert Van Loo y Peter Visser.
- El pago a los agricultores se calculará en función de la masa seca de la planta (12 toneladas /ha y año) y no de tallos secos (8,9 toneladas / ha y año) que complicarían el cálculo y la interpretación de la rentabilidad de los mismos.
- Hemos aceptado la menor retribución al agricultor, propuesta por el grupo francés = 250 € / tonelada de materia seca.
- Hemos considerado las estimaciones hechas por el agricultor SCDZ para el alquiler más caro del terreno (terreno de regadío y de buena calidad) por 500 € / ha y año; y el rendimiento de una hectárea de cereal estimado en 240 € / ha y año, que incluye las subvenciones de la política agrícola común de la UE.

Y los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Guayule (año 0 de plantación)	2016	Guay R				
	Grupo	Fecha	Cantidad	Precio	Ud	Total (€/ha)
Operaciones de cultivo						
Preparación terreno						
Labor de semitopos (0,5 m)	LB	ago-16	1	50,00	€/ha	50
Gradas	LB	oct-16	1	40,00	€/ha	40
Cultivadores	LB	nov-16	1	20,00	€/ha	20
Abonado fondo						
Abonadora centrífuga (<500 kg/ha)	LB	feb-17	1	20,00	€/ha	20
12-24-12	AB	feb-17	0,3	171,29	€/t	51
Cultivadores	LB	feb-17	1	20,00	€/ha	20
Plantación						
Producción planta en vivero (pot pequeño)	SM	mar-17	34,5	40,00	€/millar	1.380
Guayule	SM	mar-17	34,5	5,00	€/millar	173
Plantación con pico pato	LB	mar-17	30	18,00	€/millar	540
Abonado cobertera						
Abonadora centrífuga (<500 kg/ha)	LB	abr-17	1	20,00	€/ha	20
Urea 46%	AB	abr-17	0,2	354,00	€/t	71
Solución N-32	AB	abr-17	0,11	272,00	€/t	30
Herbicidas						
Distribución fitosanitarios (<300 L/ha)	LB	mar-17	1	10,00	€/ha	10
Glifosato (36%) (Roundup)	FT	mar-17	3	6,50	€/L	20
Riego						
Agua	EN	jun-17	3000	0,12	€/m3	360
Recolección						
Siega-hilerado-empacado (alquiler)	LB	oct-17	12,8	18,03	€/t	231
Seguro						
Total operaciones cultivo						3.035
INGRESOS						
Guayule (biomasa seca)	VE	oct-17	8	250,00	€/t	2.000
Total ingresos						2.000
Precio medio producción ponderada				250,00	€/t	
Resumen						
Gastos						3.035
Ingresos						2.000
Margen bruto						-1.035
Rendimiento umbral (ref. margen bruto, t/ha)					t/ha	12,1
Distribución de gastos						
Labores	LB			31%		951
Fertilizantes	AB			5%		152
Siembras	SM			51%		1.553
Fitosanitarios	FT			1%		20
Energía	EN			12%		360
Seguros	SG			0%		0
Margen bruto						-1.035
Amortizaciones contables:						
Maquinaria agrícola: ya computadas, en este caso.				0,0	€/ha	
Sistema de riego:				200,0	€/ha	
Instalaciones:				30,0	€/ha	
Valor de la tierra:				500,0	€/ha	
Interés del capital circulante:	5%		193	81,2	€/ha	
Gastos generales:	6%		2.000	120,0	€/ha	
Margen neto						-1.966
Rendimiento umbral (ref. margen neto)					t/ha	15,9

Guayule (años 1-9)	2016	Guay R				
Operaciones de cultivo	Grupo	Fecha	Cantidad	Precio	Ud	Total (€/ha)
Abonado cobertera						
Abonadora centrífuga (<500 kg/ha)	LB	abr-18	1	20,00	€/ha	20
Urea 46%	AB	abr-18	0,2	354,00	€/t	71
Solución N-32	AB	abr-18	0,11	272,00	€/t	30
Herbicidas						
Distribución fitosanitarios (<300 L/ha)	LB	mar-18	1	10,00	€/ha	10
Glifosato (36%) (Roundup)	FT	mar-18	3	6,50	€/L	20
Riego						
Agua	EN	jun-18	3000	0,12	€/m3	360
Recolección						
Siega-hilerado-empacado (alquiler)	LB	oct-18	19,2	18,03	€/t	346
Seguro						
Total operaciones cultivo						856
INGRESOS						
Guayule (biomasa seca)	VE	oct-18	12	250,00	€/t	3.000
Total ingresos						3.000
Precio medio producción ponderada				250,00	€/t	
Resumen						
Gastos						856
Ingresos						3.000
Margen bruto						2.144
Rendimiento umbral (ref. margen bruto, t/ha)					t/ha	3,4
Distribución de gastos						
Labores	LB			44%		376
Fertilizantes	AB			12%		101
Semillas	SM			0%		0
Fitosanitarios	FT			2%		20
Energía	EN			42%		360
Seguros	SG			0%		0
Margen bruto						2.144
Amortizaciones contables:						
Maquinaria agrícola: ya computadas, en este caso.				0,0	€/ha	
Sistema de riego:				200,0	€/ha	
Instalaciones:				30,0	€/ha	
Valor de la tierra:				500,0	€/ha	
Interés del capital circulante:		5%	84	10,0	€/ha	
Gastos generales:		6%	3.000,00	180,0	€/ha	
Margen neto						1.224
Rendimiento umbral (ref. margen neto)					t/ha	7,1

		Año										Total
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
GASTOS de cultivo												
Labores	LB	951	376	376	376	376	376	376	376	376	376	4.336
Fertilizantes	AB	152	101	101	101	101	101	101	101	101	101	
Siembras	SM	1.553	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Fitosanitarios	FT	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	
Energía	EN	360	360	360	360	360	360	360	360	360	360	
Seguros	SG	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Total gastos		3.035	856	10.743								
INGRESOS de cultivo												
Producción (t/ha)		8	12	12	12	12	12	12	12	12	12	
Total ingresos		2.000	3.000	29.000								
MARGEN BRUTO		-1.035	2.144	18.257								
Saldo		-1.035	1.109	3.252	5.396	7.539	9.683	11.827	13.970	16.114	18.257	
MARGEN NETO		-1.966	1.224	9.046								
Saldo		-1.966	-743	481	1.705	2.928	4.152	5.375	6.599	7.822	9.046	

	Margen Bruto	Margen Neto
Margen bruto medio (€ /ha año)	1.520	734
VAN (€)	15.199	7.340
TIR (%)	207%	61%
Tasa de recuperación (año)	2	3

b) Viabilidad económica de toda la cadena

Prácticamente todos los autores coinciden en que es difícil hacer que el cultivo sea competitivo sin explotar más productos del guayule además del látex (A1_28 & A1_29). Las aplicaciones de los otros productos pueden ser múltiples. Debido a que el látex se puede extraer mediante un proceso basado en agua, el residuo de bagazo contendrá la mayor parte de triglicéridos de ácidos grasos, terpenos, sesquiterpenos y ceras. El bagazo que contiene resina 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. El material resinoso puede extraerse con disolvente de la planta entera o del bagazo y puede usarse sin purificación. 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. Las resinas y polímeros epoxi a base de guayule se han combinado para fabricar revestimientos desprendibles que se pueden utilizar para protección de almacenamiento de equipamiento. El bagazo se puede comprimir en troncos de chimenea, briquetas o pellets para la producción de energía. Dicho material combustible 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 pirólisis, 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 (A1_29).

El caucho se encuentra en todos los órganos de las plantas, pero el tallo y la raíz contienen la mayor parte del caucho de interés económico. La corteza es el sitio principal de la presencia de caucho y contiene 75 a 80 por ciento del peso total de caucho en la planta. El caucho en el guayule se suspende en las células de parénquima y debe ser liberado durante el procesamiento. El método más primitivo utilizado para extraer el caucho fue la flotación de agua. Este método fue ampliamente utilizado desde el inicio de la comercialización de guayule. Se descartó debido a las dificultades para encontrar grandes cantidades de agua de calidad en las zonas semiáridas donde se cultivaba guayule, a la eliminación de aguas residuales (A1_30) con alto contenido de sodio, a la eficiencia de extracción variable y el control de calidad. Recientes esfuerzos de investigación fueron exitosos en el desarrollo de un método de extracción simultáneo para superar las dificultades con el método de flotación de dos maneras: mejorar el proceso de agua mediante el uso de vapor (A2_05, Yulex Patente); o una mezcla de disolventes, usualmente acetona y hexano o pentano, se usaron en este método para extraer caucho y resinas (A1_31 y A1_32). Después de la extracción inicial,



se añadió más acetona para coagular el caucho de alto peso molecular. Este método se ha utilizado con éxito a una escala experimental para extraer caucho por Texas A & M University y Bridgestone / Firestone Corporation en Arizona (A1_33). Existen varios métodos para el control de calidad del caucho obtenido por diferentes metodologías de extracción y determinaciones analíticas (A1_34 / A1_38), incluso comparando métodos basados en agua y basados en disolventes (A1_39).

De acuerdo con los datos de A1_27 mostrados en la tabla que sigue a continuación, la cadena completa sería viable. Para simplificar los cálculos, a partir de 1 tonelada de biomasa seca resultan 750 kg de tallos y 67,5 kg de látex (9%). Esto significa que cada kg de látex dentro de la planta se paga al agricultor a 3,7 € / kg (250 € / t dividido por 67,5 kg). Aceptando que el coste de la extracción industrial podría ser pagado por la venta del resto de los productos, 3.7 € / kg no es muy alto.

Tratamiento	Precio / tonelada de biomasa	
Extracción de látex (Paso 1)	€ 171	
Extracción con disolvente (Paso 2)	€ 79	
La biomasa seca comprada del agricultor	€ 300	Total = € 550
Productos resultantes	Precio/tonelada de biomasa	
Caucho → 9% de biomasa seca		
→ 50% como látex	(€ 6.00/kg)	€270
→ 50% como caucho crudo	(€ 3.60/kg)	€162
Resina → 9% de biomasa seca	(€ 3.00/kg)	€270
Bagazo → 75% de biomasa seca	(€ 0.10/kg)	€ 75
		Total €777
→ Beneficio para el biorefinador =	€ 227/ tonelada de biomasa	

Teniendo en cuenta el precio del látex de Hevea (1,2 € / kg en cantidades a granel) y otros 2 argumentos:

- la estimación de 3,7 € / kg no está optimizada industrialmente y
- el precio pagado al agricultor permite un gran margen de reducción,

Parece que podría ser rentable toda la producción de la cadena en SCDZ.

Por otra parte, y como parte de este estudio, se han contactado a 2 de las plantas piloto existentes en la región con el objetivo de estimar un coste preliminar para la extracción de entre 10 y 15 toneladas del material vegetal que sería obtenida. También con el objetivo de comenzar a vincular el proyecto a entidades de la región dependientes del gobierno regional o de universidades. Estas plantas son:



- **Proyecto Clamber (Puertollano)**, dependiente del IRIAF (Instituto Regional de Investigación y Desarrollo Agroalimentario y Forestal de Castilla-La Mancha) y, por tanto, de la Consejería de Agricultura de la Comunidad de Castilla-La Mancha. Se trata de una bio-refinería instalada recientemente pero que aún no está en funcionamiento. Después de conversaciones con su Director, el Dr. Esteban García Romero descartó la capacidad del equipo para llevar a cabo la extracción.
- **ITQUIMA** (Ciudad Real), Instituto de Tecnología Química y Ambiental de la Universidad de Castilla-La Mancha, que en este caso consideran poder hacerlo pero con un precio de coste excesivamente elevado, para ser considerados en la evaluación de la Proyecto conjunto (ambas respuestas están adjuntas, IRIAF e ITQUIMA en el Anexo correspondiente).

En la actualidad, los desafíos que una persona interesada en el procesamiento de guayule debería tratar son el aumento de la viscosidad en masa del polímero de caucho, reduciendo el nivel de resina arrastrada y asegurando la estabilidad térmica y oxidativa (A1_40).

