

ISSN 0041-8811
DEPÓSITO LEGAL pp 76-654

Revista de la Universidad del Zulia

Fundada en 1947
por el Dr. Jesús Enrique Lossada



Ciencias
Exactas
Naturales
y de Salud

Año 4 N° 9

Mayo - Agosto 2013
Tercera Época
Maracaibo - Venezuela

Propuesta para el desarrollo integral y sostenible de comunidades rurales de clima árido al Nor-Oeste de Venezuela

*Alexis Faneite**
*José Luis Parra**
*Alexis Ferrer***

Resumen

Las zonas de climas áridos y semiáridos que comprenden los estados Falcón, Lara y Zulia, ubicados al Nor-Oeste de Venezuela, presentan comunidades rurales que por largo tiempo han estado muy deprimidas económica y socialmente. Se plantea, en este trabajo, una propuesta de una finca técnico productiva para clima árido de 2100 hectáreas, para cultivo de *Prosopis juliflora* (Algarroba o Cují) y para la producción de madera para construcción, etanol para uso vehicular, alimento para monogástricos, alimento de alta digestibilidad para rumiantes, miel, exudados gomosos para uso alimenticio y, como especialidades, producción de jarabes edulcorantes, harinas, jugos, carbón para ahumar o rostizar y taninos para curtiembres. Para hacer esta propues-

* Laboratorio de Ingeniería Química "Prof. Ydelfonso Arrieta". Escuela de Ingeniería Química. Facultad de Ingeniería. Universidad del Zulia. afaneite@fing.luz.edu.ve

** Instituto Zuliano de Investigaciones Tecnológicas. Sector Palmarejo Viejo, km 15 vía La Cañada de Urdaneta, estado Zulia, Venezuela.

ta sostenible, se incluye el uso de energías limpias, para consumo de la finca, como lo es un parque de concentración solar para generación de electricidad y vapor, celdas fotovoltaicas y concentradores solares para producción de agua potable e industrial.

Palabras clave: Biomasa, climas áridos y semiáridos, desarrollo sostenible, *prosopis juliflora*.

Proposal for the Integral and Sustainable Development of Rural Communities with Arid Climates in Northwestern Venezuela

Abstract

The zones of arid and semiarid climates that include the States of Falcon, Lara and Zulia in northwestern Venezuela, have rural communities that have been very depressed economically and socially for a long time. This study presents a proposal for a 2100-hectare technical productive farm for arid climates to cultivate *Prosopis juliflora* (Carob or Cují) and produce: timber for construction, ethanol for vehicle use, monogastric feed, highly digestible feed for ruminants, honey and gummy exudates for food use and as specialties, sweetening syrups, flours, juices, charcoal for smoking or roasting and tannin for tanneries. To make this proposal sustainable, the use of clean energy is included for consumption on the farm in the form of a solar concentration park to generate steam and electricity, photovoltaic cells and solar concentrators for producing drinking and industrial water.

Keywords: Arid and semiarid climates, biomass, *prosopis juliflora*, sustainable development.

Introducción

El cují (*Prosopis juliflora*) es un árbol perennifolio con hojas glabras bipinadas, con pínulas de 10 a 20 pares, inflorescencias axilares, racimos densos y cilíndricos de 5 a 10 cm de largo por 1 a 2 cm de ancho y legumbres de 5 a 15 cm de largo (Sharma, 1991), propio del Caribe venezolano.

El género de árboles *Prosopis* se conoce en el mundo más comúnmente como "Algarroba". Por ser leguminosas, son capaces de sintetizar altos niveles de proteínas de buena calidad, dado que poseen una amplia gama de aminoácidos esenciales que las hacen superiores a las gramíneas tropicales. Estas presentan una concentración considerable de nitrógeno en las hojas, y poseen bajos niveles de fibras, en relación al de las gramíneas. Se dice además que son plantas ricas en calcio (Clavero, 1998).

Las zonas áridas y semiáridas de Venezuela, definidas como aquellas que ubicadas por debajo de los 500 metros sobre el nivel del mar, tienen una precipitación media anual inferior a los 800 mm, se ubican en 4 regiones geográficas: a lo largo de la costa venezolana desde la Guajira hasta el Golfo de Cariaco; en la altiplanicie de Barquisimeto; en los Andes y en las islas del Caribe. La vegetación es baja de arbustos o matorrales desérticos a densos, con comunidades de *Prosopis juliflora*, *C. erecta* o *Cercidium praecox*. En los terrenos planos bien drenados crecen cardonales de *R. gri-seus* y *R. deficiens* (Centro de Investigaciones de Zonas Áridas, 1986).

La subutilización de los potenciales de estas regiones áridas, implica la migración de la población hacia las grandes ciudades, generando grandes extensiones de terrenos deshabitados y no explotados y, formándose en las ciudades, cordones de miseria, alrededor de los centros productivos o en los suburbios. Las poblaciones que subsisten y se mantienen en ellas, viven principalmente de la cría extensiva de caprinos, el cual constituye la fuente principal de proteínas de los pobladores y su fuente de ingreso más importante. Se realiza sin manejo de rebaños y sin control sanitario, con las consiguientes consecuencias de sobre-pastoreo, originando la eliminación de la vegetación de especies palatables, incluyendo sus plántulas y rebrotes. Los rebaños son pobres, de bajo índice de productividad y rentabilidad, sumado a las limitaciones para acceder a los servicios básicos; sólo aseguran a los productores una vida de miseria e incertidumbre. A esto se suma un alto nivel de cuatrismo, especialmente cerca de las vías principales. Otras actividades comerciales existentes son la pesca artesanal, ventas de artesanía, ganadería extensiva con muy baja productividad en carne y leche y algunos pocos productos lácteos.

A pesar del potencial del cují en cuanto al contenido de sustancias utilizables en una biorefinería, al igual que sucede con otros materiales vegetales, no es posible fraccionarlos y utilizarlos debido a que en forma na-

tural presentan una matriz compleja con elevado nivel de enlaces químicos y de barreras físicas. Para facilitar este trabajo, se utilizan diversos pretratamientos químicos como ácidos, alcalinos, agua caliente, ozono, y físico-químicos como explosión con vapor, tratamiento amoniacal (Ferrer et al., 2002), que han mostrado simplificar esta matriz en diferentes grados.

La explosión por vapor, es un pre tratamiento físico químico, para la biorefinación de residuos del campo muy recalcitrantes, que combina alteraciones físicas (desagregación y ruptura de las fibras), y químicas (despolimerización y rotura de enlaces), en donde el efecto mecánico está causado por la rápida despresurización que provoca una evaporación del agua interna, creando fuerzas que producen la separación de las fibras, principalmente de las regiones más débiles (celulosa amorfa). El efecto químico se debe a la hidrólisis de los grupos acetilo de la hemicelulosa produciendo ácido acético, que a la temperatura del proceso, cataliza la hidrólisis de la hemicelulosa (auto-hidrólisis). Durante el tratamiento se destruyen parcialmente los enlaces lignina-carbohidratos. Como resultado, se obtiene un producto fibroso cuya celulosa es más accesible a la hidrólisis enzimática (Patrouilleau, 2006). La aplicación de este pretratamiento a subproductos madereros, tales como abeto (Söderström et al., 2003), álamo (Oliva et al., 2003), sauce (Benk? et al., 2008), abeto rojo, pino silvestre, abedul y álamo temblón (Li et al., 2009), demuestra su elevado potencial para la utilización exitosa en los subproductos madereros del cují.

Si bien la zona seca venezolana representa una superficie reducida del territorio nacional (4,5%), existen dos razones de peso para intensificar la investigación básica y aplicada y la implementación de propuestas de desarrollo sostenible: el significado ecológico de la franja semiárida y la existencia de una población pauperizada que no puede ser ignorada (Centro de Investigaciones de Zonas Áridas, 1986).

Tomando en cuenta los avances tecnológicos en la biorefinación de residuos madereros, en los potenciales del cují en cuanto a su fruto, madera, ramas, hojas y flores, sumado al hecho de que es un árbol que crece rápidamente, y en condiciones de baja precipitaciones, por lo que resiste largos periodos de sequía y suelos que en algunos casos pueden ser rocosos, se plantea como objetivo principal de esta propuesta, una unidad de producción, altamente tecnificada y sostenible en base al uso de la *prosopis juliflora* (frutos, madera, poda, flores, hojas y exudado gomoso) implementando es-

trategias de reutilización del agua y la maximización del uso de la energía solar (la humedad está entre 12 y 30%), con el diseño de calentadores de agua solares, calderas solares con un ciclo cerrado de agua para generar vapor, filtros y evaporadores con reciclo de agua y evaporadores de triple efecto. La unidad incluirá la producción de alimentos para caprinos y cerdos estabulados en la misma unidad, alimento para ganado vacuno, bioetanol, miel, espesantes para alimentos, materia prima para la petroquímica y energía eléctrica, entre tantos beneficios aprovechables de la *prosopis juliflora*, de tal manera de generar la mayor cantidad de empleo y auto sostenibilidad en las comunidades de estas áreas de clima árido y semiárido.

1. Descripción general de la propuesta

El proyecto consiste en el desarrollo de una unidad tecno productiva de clima árido de 2100 hectáreas para el aprovechamiento de la especie *prosopis juliflora*, con una siembra de 1200 hectáreas de plantas y 900 hectáreas para el desarrollo de: conjunto residencial con parques y aéreas comunes de distracción para las personas que harán vida en la unidad; estacionamiento y talleres; patio de secado al sol de madera, frutos, hojas y poda; un aserradero; planta de producción de alimentos para caprinos; planta para el aprovechamiento industrial de la fruta, de embotelladora de miel y cera (apicultura) y almacenamiento de exudados gomosos para la industria de alimentos; una planta biorefinadora para la producción de etanol; granjas para cría de cerdos, gallinas ponedoras caprinos estabulados y peces; un parque de concentración solar para la producción de energía eléctrica y vapor para los requerimientos industriales; tanque abierto de agua de mar y piscina de aguas servidas; y una unidad de concentración solar de tubos y espejos parabólicos, para generación de agua potable y salmuera para producción de sal. En la tabla 1, se muestran las estimaciones de áreas para cada uno de estos espacios.

2. Técnica de explotación del cují

El proyecto estima una plantación de 1200 hectáreas de *Prosopis juliflora* que a los 2 años ya podrán ser utilizadas para poda, generarán frutos hojas, y exudados gomosos y flores para apicultura. Se estiman 2 períodos al año de flores y dos períodos al año de frutos extendidos durante los 6

TABLA 1. Distribución de áreas y trabajadores en los distintos espacios de la unidad tecno-productiva

Unidades	Área (ha)	Trabajadores
Siembra de Cují, leñadores, recolección de frutos, hojas, ramas	1200	200
Edificios residenciales (guarderías, escuelas, mantenimiento)	25	28
Huertos Familiares*	6	N/A
Granjas (Cerdos, aves, peces y caprinos estabulados)	3	12
Tanque abierto de agua de mar	3	4
Piscina de Aguas servidas y recolección de leña	2	4
Planta UCSTEP	110	60
Planta PCS	647	200
Planta de procesamiento Frutas, Producto de Apicultura y exudados gomosos	1	14
Unidad de Madera	1	23
Planta de Bioetanol	1	14
Planta de Alimento para caprinos	1	7
Apicultura y exudados gomosos	N/A	12
Patio de Secado	50	10
Patio de Sal	50	20
Total:	2100	608

*Se estima el trabajo en los huertos familiares una actividad recreacional familiar para los fines de semana.

UCSTEP: Unidad de Concentración Solar de Tuberías con Espejos Parabólicos.

PCS: Parque de Concentración Solar.

Fuente: Elaboración propia (2014).

meses del año, ya que se implementará un sistema de riego con abono líquido proveniente de las vinazas producidas en la producción de etanol vehicular. La tala se llevará a cabo en 120 hectáreas al año, y se destinará una pequeña fracción de las semillas (menor al 1% en peso) a la germinación en viveros para la reforestación luego de la tala.

3. Conjunto habitacional comunal, parques y aéreas comunes de distracción

Dentro del marco de la propuesta se estima que por cada familia habrá dos miembros laboralmente activos trabajando en las labores de la unidad tecno-productiva, acompañado de 2 miembros más de la familia que pueden ser niños, niñas, adolescentes y/o personas de la tercera edad, con lo que se requerirá 4 edificios de 4 pisos con 4 apartamentos en cada piso, para un total de 1.216 personas (ver tabla 1). Los edificios estarán orientados en sentido Noroeste para aprovechar al máximo el frescor de la brisa, paneles solares ubicados en los techos de los edificios los aislarán térmicamente y producirán energía para la iluminación y para el funcionamiento de los electrodomésticos de bajo consumo, como ventiladores, neveras, televisores, entre otros. Las familias tendrán facilidades para cocinar con gas proveniente de las plantas de tratamiento de aguas servidas y residuos pecuarios, donde se realizarán digestiones anaeróbicas, así como con carbón y astillas de madera de cují en cocinas adecuadas para tal fin y parrilleras. En las caminerías, áreas comunes y estacionamientos, se tendrá iluminación autónoma mediante la utilización de celdas fotovoltaicas en los postes de iluminación. Toda la iluminación de la unidad tecno-productiva será a través de bombillas tipo LED.

La electricidad para los electrodomésticos de alto consumo, tales como: aires acondicionados, cocinas eléctricas y lavadoras, será suplido por el Parque de Concentración Solar (PCS). Se proponen paredes hechas principalmente bajo la técnica autóctona del bahareque para producir un efecto "buffer" (aislamiento térmico en el día y mantenimiento del calor en las noches frías) y usar al máximo recursos locales. Se utilizarán calentadores de agua solares para uso doméstico. Se construirán para el esparcimiento, campos deportivos y canchas de uso múltiple. Se prevé la construcción de escuelas, guarderías, parques recreacionales y canchas deportivas, y dentro de la fuerza laboral de la unidad tecno-productiva se estiman 28 personas para las labores de docencia y mantenimiento de infraestructuras (ver tabla 1).

4. Patio de secado de productos del cují

El fruto, las hojas y la madera de la *Prosopis juliflora* deben ser secadas para su adecuado almacenaje desde sus humedades iniciales a valores alrededor o por debajo del 10% en base húmeda, así como algunas pro-

ductos, sub-productos y productos intermedios de las distintas plantas de procesamiento, por lo cual se destinará de un patio de secado, el cual tendrá unas dimensiones aproximadas de 50 hectáreas, para la utilización adecuada de la energía solar y el ahorro en secadores industriales y gastos asociados. El secado al sol de otras plantas ya se ha estudiado con anterioridad en la zona y es factible su utilización (Faneite *et al.*, 2013)

5. Unidades de producción

5.1. Unidad de producción de maderas para construcción de viviendas

Con una densidad poblacional estimada de 1450 árboles/ha (promedio del rango reportado por Maghembe *et al.*, 1983, de 1400 a 1500 árboles/hectárea), estimando una rotación de árboles de 10 años con lo cual se talarán 120 hectáreas/año, y estimando 330 días de labor por año se talará un promedio de 17400 árboles/año (527 árboles/día) (Maghembe *et al.*, 1983). Con un volumen por árbol estimado de 0,708 m³/árbol (Chaturvedi, 1985) se tendría una producción volumétrica de 123192 m³ de madera húmeda por año (373 m³ de madera húmeda por día) tomando en cuenta que la madera de la *Prosopis juliflora* tiene una densidad real de 1123 es de 1123 kg/m³ (Sekhar y Rawat, 1960), se tendría una producción másica de 243304 ton/año de madera húmeda (y tomando en 373 ton/día de madera). Considerando que el corazón del tronco el cual es utilizado para madera representa el 44,5 % del total de madera producida (Abohassan *et al.*, 1988) y que para fines prácticos la madera debe secarse a un 12% (Pandey *et al.*, 1990, Shukla *et al.*, 1990), se tendría una producción de 74260 ton/año de madera secada al 12%, con una cantidad de hombres en la actividad de tala y poda estimada en 44 trabajadores (Warkotsch, 1987). Toda la madera será enviada al patio de secado y luego enviada a un pequeño aserradero en donde se separará la madera para construcción de vivienda y la madera para etanol, en la que se contará con 23 personas con capacitación técnica en cada una de las labores de un aserradero y en las normas de seguridad, higiene y ambiente que deben cumplirse (Gamondes y Martínez, 2005).

5.2. Unidad de valorización del fruto de la *Prosopis juliflora*.

Las partes del fruto del cují tienen diferentes usos. La pulpa, que representa el 56%, tiene potencial para producción de infusión tipo café, jarabe, alcohol, proteína enriquecida, productos para panadería y alimento animal. La cáscara, que representa el 35%, tiene potencial para producción de aditivos para alimentos dietéticos (fibra) y biocombustibles y, la semilla tiene potencial para producción de goma y proteína concentrada (Pasicznik, 2001).

Tomando en cuenta el rango estimado de producción del fruto del cují de entre 2 y 10 ton/ha/año (Otsamo y Maua, 1993), asumiendo un promedio de 6 ton/ha/año, y que habrán disponibles 1080 ha/año, se tendrá una producción estimada de 6480 ton/año de fruto seco. La producción de frutos al año con 12,51% de humedad (Gámez y Salones, 2009), equivalente 7407 ton/año de material húmedo se pasará al patio de secado y en dos días se llevará la humedad a 6,56% en base húmeda. La unidad contará con una máquina especializada en la separación de los frutos, la cual separará la pulpa, la cascarilla y la semilla, cuya distribución en peso es 56, 35 y 9%, respectivamente (Grados y Cruz, 1996).

Un total de 4200 ton/año de materia seca será la base para la producción de los alimentos para animales monogástricos, especialidades y taninos y fenoles la cual es la suma de la producción de pulpa y semillas, el material será sometido a un proceso de extracción supercrítica con CO₂ para la separación de los taninos y polifenoles, con lo cual se tendrá una producción de 374 ton/año que serán vendidos para curtiembres en Venezuela y así disminuir las importaciones que ascendieron en el año 2012 a USD 120 millones (incluyendo en este monto: extractos curtientes o tintóreos; taninos y sus derivados; pigmentos y demás materias colorantes; pinturas y barnices; mastiques; tintas), puesta en barco (TRADE, 2012).

Tomando en cuenta el análisis proximal de la tabla 2 y, haciendo un promedio ponderado, la materia seca base libre de taninos tendrá un contenido (bs) de 17,00% de proteínas, 29,88% de fibra dietética, 1,88% de grasa, 47,18% de azúcares solubles y 4,06% de minerales y vitaminas (tabla 2). Tomando en cuenta que se estima un 21,13% de fibra cruda (tomado de la tabla 3), y que se tiene la fibra dietética de las partes del fruto (tabla 2), dentro de la cual está contenida la fibra cruda para el fruto completo, se hace una ponderación y se obtiene 13,45% de fibra cruda para la pulpa, 38,55% para la cascarilla y 1,17% para la semilla.

TABLA 2. Análisis químico (base seca) de las partes del fruto de la *Prosopis juliflora*

	Partes de la Fruta			Ponderado (pulpa y semillas libres de taninos)
	Pulpa	Cascarilla	Semillas	
Proporción de las partes (bs)	56%	35%	9%	
Contenido másico de componentes químicos (bs)				
Proteína cruda	8,1	2,3	65,2	17,00
Fibra dietética	32,2	92,3	2,8	29,88
Grasa	0,8	1,3	7,8	1,88
Azúcares solubles	48,5	1,6	19,0	47,18
Ceniza	3,6	1,3	5,2	4,06
Otros (taninos, polifenoles, etc.)	6,8	1,2	0,0	
Sumatoria	100,0	100,0	100,0	100,0

Fuente: Datos tomados de Pasiiecznik (2001). Contenido Ponderado (pulpa y semillas, libres de taninos) calculado como el producto de las proporciones de las partes por el contenido másico de los componentes químicos (bs), de la pulpa y la semilla y luego dividiendo por la sumatoria de todos los componentes químicos a excepción de los otros (taninos, polifenoles, etc.).

TABLA 3. Análisis proximal del frutode *Prosopis juliflora*

Componente	Contenido (base seca)			
	máximo	mínimo	Promedio	Caso estudio
Proteína cruda	21,8	7,1	14,45	14,17
Fibra cruda (C+H+L)	32,2	10,9	21,55	21,13
Ext. Etéreo (Grasa)	4,9	0,4	2,65	2,60
Ext. Libre de N	75,2	39,9	57,55	56,42
ceniza	8,4	3,2	5,80	5,69
Sumatoria	142,5	61,5	102,00	100,00

Fuente: Contenidos máximo y mínimo tomados de Pasiiecznik (2001). Caso estudio es la ponderación del contenido promedio.

La diferencia de estos valores con la fibra dietética mas los azuceres solubles (tabla 2), dará los carbohidratos digeribles mas pectina en donde tenemos 67,25% para la pulpa, 55,35% para la cascarilla y 20,63% para la semilla. La distribución de los componentes de la fibra reportada por (Zolfaghari et al., 1986) para la pulpa, es de 58,14% de celulosa, 25,58% de hemicelulosa y 16,28% de lignina; a falta de mayor información en la literatura se asumirá la misma distribución en los demás componentes del fruto.

El alimento para animales no rumiantes producido, por lo tanto, tendrá además 7,49% de celulosa, 1,91% de hemicelulosa, 0,31% de lignina 17% de proteína cruda, 4,06% de minerales y vitaminas y 66,62% de carbohidratos digeribles no estructurales más pectina. La unidad producirá un total de 3908 ton/año al 6,56% (b.h.) de alimento balanceado para cerdos, pollos, gallinas ponedoras (para las que hay que disminuir el contenido de fibra en 4% aumentando la proporción de pulpa) y peces, de los cuales se destinará una parte para las granjas propias del desarrollo y otra parte para la venta, además 225 ton/año se destinará a la manufactura de especialidades alimenticias: café de algarrobo, jarabes, harina de pulpa, jugo, licor, galletas y dulcerías para consumos internos y ventas. 2268 ton/año de cascarilla se enviarán a la planta de producción de etanol, con una estimación de 14 trabajadores para estas actividades dentro de la unidad.

6. Planta de alimento para caprinos

Asumiendo un valor conservador de producción de hojas de 0,5 ton/ha/año (Pasiiecznik, 2001) y tomando en cuenta las 1080 ha destinadas anualmente a poda, fruto, miel y exudados gomosos, se tendría una producción total de 1408 ton/año de hojas húmedas al 61,9% de humedad (b.h.), la cual se llevará al patio de secado para llevarla hasta 10% de humedad. Tomando en cuenta los datos presentados en la tabla 4, y haciendo una ponderación de los promedios por componente al 100%, las hojas de este caso de estudio tendrían un análisis proximal de 23,98% de proteína cruda, 22,47% de fibra, 5,45% de grasa, 37,5% de carbohidratos no estructurales, 8,60% de cenizas y 2% de taninos. La planta producirá 221 ton/año de un concentrado proteico al 45% con 10% de humedad (b.h.), 40 ton/año de minerales que se destinarán al medio de cultivo de producción de levaduras en la planta de etanol, 10,8 ton/año de ta-

TABLA 4. Análisis proximal (base seca) de las hojas
de la *Prosopis juliflora*

Lugar derealización del Análisis	Materia Seca %	Proteína Cruda %	Fibra Cruda %	Extracto Etéreo %	Ceniza %	Extracto libre de Nitrógeno %
Brasil	-	18,5	21,2	5,6	-	-
Brasil	-	17,8	23,3	6,1	-	-
India	-	26,3	24,8	8,5	1,4	31,8
S. África	-	19,0	21,6	2,9	8,5	29,7
Níger	38,1	13,7	22,9	4,8	15,9	42,7
Kenia	-	21,7	21,0	4,8	-	45,8
Promedio	38,1	19,5	22,5	5,5	8,6	37,5

Fuente: Datos tomados de Pasiecznik (2001). El extracto libre de Nitrógeno en base seca, mide el contenido de carbohidratos no estructurales o solubles, se calcula restando 100 menos la proteína cruda, la fibra cruda, el extracto etéreo y la ceniza.

ninos del sobrenadante de la precipitación de las proteínas(para curtiembre) y 322 ton/año de alimentos para caprinos al 10% de humedad con un análisis proximal de 6,72% de proteína cruda, 31,46% de fibra cruda, 7,63% de grasa, 52,52% de carbohidratos no estructurales y 1,67% de minerales, con una estimación de 7 trabajadores en esta planta de la unidad.

Partiendo de la base de 39 ton/ha/año de ramas (El Fadl, 1997), para las 120 a que se están talando y 10 ton/ha/año de ramas en las 1080 ha restantes se tendrá una productividad de biomasa de 15480 ton/año seca de las cuales se producirán 250 ton/año de carbón, para uso de cocina gourmet (de 3 a 6 kg de madera producen 1 kg de carbón, reportado por Pasiecznik, 2001), y 14355 ton/año de biomasa para la producción de etanol; los mismos trabajadores dedicados a la recolección de hojas y frutos recogerán también las ramas.

7. Planta de producción de biocombustibles

Para los subproductos del aprovechamiento forestal de la madera del cují, así como la biomasa de la poda, destinadas para la producción de etanol, se asumirá una distribución de 48,25% de celulosa, 17,75% de hemicelulosa, 22,5% de lignina, 3% de extractos y 8,68% de ceniza (b.s.), según el rango de valores reportados por Patel y Safaya (1986). Del total de holocelulosa (celulosa mas hemicelulosa) en donde 75% pertenece a hexosas y 25% a pentosas (Goldstein y Villarreal, 1972), se estima una producción teórica de 0,718 litros de etanol por kg de hexosas y 0,738 litros de etanol por kg de pentosas (Sassner y Zacchi, 2008), la planta utilizará un pre-tratamiento de explosión con vapor catalizado con 1.25% de SO_2 , posterior a un proceso de molienda, a unas condiciones de 205°C por 5 minutos (Sassner y Zacchi, 2008), seguido de una hidrólisis y fermentación simultánea con una concentración de 10% de sólidos con 2 g/l de levaduras y una dosis de enzimas de 15 FPU/g de sólidos insolubles (Sassner y Zacchi, 2008). El caldo de cultivo ya fermentado se enviará a un sistema de 2 torres de destilación atmosférica y una al vacío que producen etanol al 99,8% y vinazas con 40% de sólidos suspendidos (Sassner y Zacchi, 2008). La producción de etanol mediante la hidrólisis y fermentación de otros substratos similares, tal como el bagazo de caña, han sido estudiados previamente (Urribarrí, 2011) en el estado Zulia. El condensador de las torres será tipo ventilador para minimizar el consumo de agua de enfriamiento. Las vinazas se filtran y la torta se secará al sol aportando lignina para producción de aditivos antioxidantes de polímeros o para cogeneración en una caldera auxiliar en temporadas de poco sol, y mucha pluviosidad (ver Figura 1). El proceso propuesto produce el 69,4% del etanol teórico en donde las pérdidas y los azúcares hidrolizados con el pre tratamiento usadas para la producción de levaduras generan la diferencia.

Las 83.653 ton/año de madera más las 14.355 ton/año de ramas de poda y más las 2.268 ton/año de cascarilla de la fruta, producirán un total de 30.852.710 l/año de etanol y 24.526 ton/año de lignina al 10% de humedad. Parte del etanol producido se intercambiará por combustible Diesel para la maquinaria y vehículos utilizados en la unidad tecno-productiva y el resto se venderá a PDVSA como componente antidetonante oxigenado de gasolina oxigenada. Las vinazas se mezclarán con las excretas de los cerdos, gallinas y caprinos y se enviarán a un reactor de digestión anaeró-

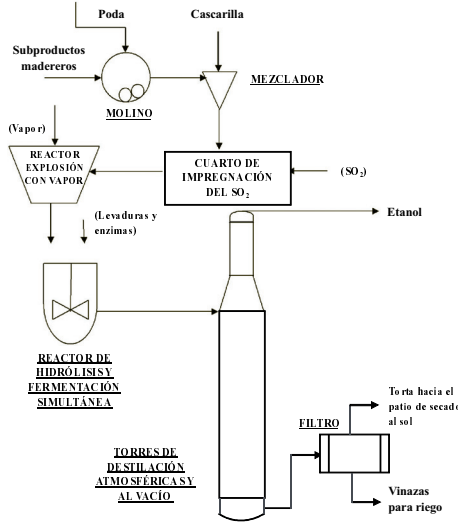


FIGURA 1. Esquema propuesto para los procesos principales de la planta de producción de biocombustibles.

Fuente: Elaboración propia (2013).

bico para producir gas metano para uso doméstico. El líquido remanente con bajos niveles de DBO y DQO se usará como abono líquido y riego; se tendrá una cantidad estimada de 14 trabajadores, para esta planta (Sassner y Zacchi, 2008).

8. Sistema de producción de miel, cera (apicultura) y exudados gomosos dentro de la unidad tecno productiva.

La flor de la *Prosopis juliflora* por su característica melífera (apicultura) produce un néctar valioso para la producción de miel de alta calidad. Se tiene un estimado de producción de entre 100-400 kg/ha/año (Buckhart, 1943). Siendo conservadores, la producción de la unidad se asumirá en 200 kg/ha/año, y teniendo 1080 ha disponibles para miel, poda, frutos y goma, se tendría una producción total de 216 ton/año de miel. En base a datos obtenidos en la India de 3 ton/año de cera partiendo de una producción anual de miel de 60 toneladas (Varshney, 1996), se tendría una producción de 10,8 ton/año de cera para su comercialización como subproducto de la unidad tecno-productiva.

Para la producción de exudados gomosos se tiene un estimado de producción de 0,25 a 2,5 kg/árbol/año (Tewari, 1998), siendo bastantes conservadores y tomando como estimado de producción 0,25 kg/árbol/año de exudado gomoso y teniendo disponible 1080 ha con una densidad de 1450 árboles/ha se tendría una producción de 391,5 ton/ha/año de exudado gomoso. La producción de exudados gomosos del cují ya ha sido estudiada con anterioridad en el estado Zulia (Clemens *et al.*, 1998). Se estima una cantidad de 12 personas para realizar las labores para la producción de miel y cera (apicultura), así como también para la producción de exudado gomoso como aditivo para la formulación de alimentos, entre otros usos.

9. Economía familiar y producción pecuaria

Cercanos a las áreas de viviendas, se podrá tenerse tanques para cría de cachama, tilapia y/o camarones y, huertos familiares con cultivos de cebolla, tomate, pimentón, plátano, banano, yuca, ayuama, entre otros, para consumo de las familias de la unidad tecno-productiva. Parte de la producción de alimentos de la unidad tecno-productiva se intercambiarán por alimentos y otros productos de limpieza y aseo personal, que serán distribuidos entre las familias de la unidad. Se dispondrá de granjas para cría estabulada de caprinos, ovinos, cerdos y aves, con producción de huevos y leche y un matadero de mediano tamaño para el beneficio de estos animales, cuya alimentación será con alimentos formulados a partir del procesamiento de las hojas y el fruto del cují. La producción pecuaria será principalmente para consumo interno y/o intercambio por otros productos básicos, y de haber excedentes, se destinará a la venta para los ingresos de las familias de la unidad.

10. Manejo integral del agua

Gracias a la cercanía con el mar, se traerá agua de mar por tuberías y se almacenará en un tanque abierto, tipo represa pero adecuadamente impermeabilizado. Esta agua se bombeará hasta la Unidad de Concentración Solar de Tuberías con Espejos Parabólicos (UCSTEP) (Müller-Steinhagen y Trieb, 2004; y Viebahn *et al.*, 2010), en donde el agua de mar se calentará hasta 400 °C a presiones por encima de la atmosférica, para luego

generar vapor el cual se condensará con condensadores tipo ventilador, lo cual surtirá de agua potable tanto para uso doméstico como para uso industrial y, una salmuera que se enviará a un patio especial de secado en donde se producirá para consumo de las familias de la unidad tecno-productiva o para la venta o intercambio. La UCSTEP tendrá un área aproximada de 110 ha, y en ella trabajarán 60 trabajadores, cifras tomadas de la planta "Helioenergy 1", en España, construida para 50 MW de generación eléctrica, y que usa la misma tecnología propuesta para dicha Unidad (NREL, 2012).

Las aguas servidas se enviarán a una piscina en donde se tratarán con plantas acuáticas de la especie *Lemnaceae*, la cual se retirará cada cierto tiempo para suplir los requerimientos proteicos de los cerdos y peces (Ferrer et al., 2012). Esta agua tratada, luego se podrá usar para riego de las áreas verdes, de los huertos familiares y limpieza de las áreas de animales de granja estabulados.

11. Autogeneración eléctrica

La radiación solar promedio, directa y difusa, en la región Nor-Occidental de Venezuela, está alrededor de 2226,5 Kw-h/m²·año (Bruzual, 2010), estando por encima del de países con alto desarrollo de generación por concentración solar, como España (entre 1850-2000 kW-h/m²·año) (Müller-Steinhagen y Trieb, 2004), lo que hace factible su implementación.

El Parque de Concentración Solar (PCS) aprovechará la intensidad de los rayos solares para calentar una sal fundida hasta 1000°C en una torre por medio de espejos estacionarios. La sal fundida se almacenará en tanques especiales de concreto y cerámica, para luego ser enviada hacia unos generadores de vapor de circuito cerrado (Müller-Steinhagen y Trieb, 2004; y European Academies Science Advisory Council, 2011), con respaldo de vapor generado en la UCSTEP, para generar el vapor requerido en el calentamiento del CO₂ supercrítico para el proceso de extracción de taninos de los frutos, para el pre-tratamiento de explosión con vapor, para los rehervidores de las torres de destilación de etanol, y para cualquier fuente de calor requerido en las plantas de la unidad tecno-productiva.

Este vapor, a su vez, se usará para generar electricidad a razón de 110 MW, para la potencia requerida en las instalaciones industriales, y los exce-

dentes se venderán a la Corporación Eléctrica Nacional, la cual podrá surtir a la inversa, a la unidad tecno-productiva en caso de alguna falla eléctrica interna. El almacenaje de sal, fundida a 1000 °C, estará dimensionado para 16 h de generación eléctrica, con lo que se convertirá en una fuente autónoma de energía eléctrica al caer la noche. El PCS tendrá un área de 647 ha y contará con 200 trabajadores, aproximadamente. Estos datos fueron tomados del proyecto: "Crescent Dunes Solar Energy Project" (NREL, 2013), de un parque en fase de planeación, en Estados Unidos de Norteamérica, con las mismas características del PCS propuesto en este trabajo. El sistema contará además con un respaldo de calderas a base de las tortas de filtrado de la vinaza, para surtir de electricidad exclusivamente a la unidad tecno-productiva en caso de temporadas de mucha nubosidad y pluviosidad.

Conclusiones

El beneficio de la aplicación de esta propuesta en el desarrollo social y económico endógeno de las comunidades rurales de las zonas áridas y semiáridas de la región Noroccidental del país sería de un gran impacto, al ofrecer vivienda dignas, contribuir con el plan de construcción nacional de viviendas, mediante la producción de madera, garantía de trabajo estable, generación de mayor número de productos y fuentes alimenticias, ingresos justos, y la posibilidad de estrechar lazos culturales al poder interactuar más de cerca sus habitantes, debido a que en la actualidad, la densidad poblacional de estas zonas es bastante baja. También se podría disminuir la migración hacia las grandes ciudades. El uso del bioetanol como sustituto parcial o total del combustible fósil (gasolina) en el parque automotor, implicaría una disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero, con el beneficio a la economía de disminuir las importaciones de etanol desde Brasil, lo cual, sumado a la disminución de las importaciones de carne, leche, huevos y sus derivados, contribuirían con el ahorro de divisas, con el impacto positivo en la economía nacional.

El otro beneficio corresponde a la mejora en el clima de la zona y recuperación de suelos, al tener una gran área arborizada y explotada de forma sostenible, lo que aumentaría la pluviosidad y disminuiría los niveles de acidez de los suelos, creando posibilidades futuras de siembra de otros rubros alimenticios como leguminosos, hortalizas y frutas.

La biorefinación de la *Prosopis juliflora* para sustentar el desarrollo endógeno de fincas tecno-productivas de clima árido y semiárido es una propuesta novedosa, que luce atractiva como solución tecnológica al bajo nivel de vida de las poblaciones rurales que subsisten en estos climas.

Una profundización en las investigaciones tecnológicas de unidades de producción de este tipo, pudiera llevar a la implementación de plantas termoquímicas de residuos madereros del cují, producir de una gama de biocombustibles para distintos usos de la sociedad, adicionales al etanol, incluyendo aeroplanos y combustible diesel. así como también, aumentar la oferta de especialidades tales como productos terminados a base de lignina, charcutería, bebidas, productos lácteos, alimentos procesados a base de harina de cují, entre otros.

Referencias

- Abohassan, A. A., Kherallah, I. E., and Kandeel, S. A. (1988). Effect of sewage effluent irrigation regimes on wood quality of *Prosopis juliflora* grown in Riyadh Region. *Arab Gulf Journal of Scientific Research*. B6: 45-53.
- Benkő, Z., Siika-aho, M., Viikari, L., and Rçczey K. (2008). Evaluation of the role of xyloglucanase in the enzymatic hydrolysis of lignocellulosic substrates. *Enzyme and Microbial Technology*. Vol. 43: 109-114.
- Bruzual, S. (2010). Estudio de factibilidad técnico– económica para la implementación de energía eólica y solar, en el edificio técnico-administrativo “Leona”, PDVSA Petroritupano, Municipio Freites - Anzoátegui. Trabajo de grado presentado ante la Universidad de Oriente como requisito parcial para optar al Título de Ingeniero Electricista. Barcelona, Estado Anzoátegui. p. 102.
- Burkart, A. (1943). *Las leguminosas argentinas*. Editorial Agencia Acme. Buenos Aires Argentina.
- Centro de Investigaciones de Zonas Áridas (1986). *Zonas áridas*. Universidad Nacional Agraria, La Molina, Lima, Perú. p. 41-57
- Chaturvedi, A. N. (1985). Firewood farming on degraded lands. *Uttar Pradesh Forest*. Forest Department, Uttar Pradesh, India. *Bulletin* 50.
- Clavero, T. (1998). Cuadernos técnicos. Serie: Árbo les forrajeros El Cují (*Prosopis juliflora*). Centro de Transferencia y Tecnología. Facultad de Agronomía. Universidad del Zulia. Maracaibo, Venezuela. p. 5

- Clemens, C., León de Pinto, G., Rincón, F., y Vera, A. (1998). Exudados gomosos de plantas localizadas en Maracaibo, Venezuela. *Revista Facultad Agronomía, La Plata* Vol. 103 (2): 119-125.
- Colina, A., Ferrer, A., Urribarrí, L., y Parra, P. (2009). Producción de celulasas por *Trichoderma reesei* Rut C-30 en diferentes substratos celulósicos. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería*. Universidad del Zulia. Maracaibo, Venezuela. Vol. 32: 152-159.
- Colina, A., Sulbarán de Ferrer, B., Ferrer, A., and Dale, B. E. (2003). Xylanase production by *Trichoderma reesei* on rice straw. *Applied Biotechnology and Biochemistry Journal*. Vols. 105/108: 715-724.
- El Fadl (1997). Management of *Prosopis juliflora* for use in agroforestry systems in the Sudan. Tropical Forestry Reports. University of Helsinki, Finland. Vol. 16: 135.
- European Academies Science Advisory Council (2011). Concentrating solar power: its potential contribution to a sustainable energy future. German Academy of Sciences Leopoldina. ISBN 978-3-8047-2944-5.
- Faneite, A., Ferrer, A., Tudare, J. y Cardozo, R. (2013). Biorefinación de la Lemna oscura del Lago de Maracaibo. Parte I. Acondicionamiento de Materia Prima. Eutrofización del Lago de Maracaibo: Pasado, Presente y Perspectivas. Comisión permanente para el estudio de la cuenca del Lago de Maracaibo y gestión integral del agua. 225- 255. Depósito legal lfi18520135744193. ISBN: 978-980-402-147-3. DOI: 10.13140/2.1.4474.1449.
- FAO (1980). Genetic resources of tree species in Arid and Semiarid areas. Roma, Italy. FAO Forestry series Nº 16.
- Felker, P., G. H., Cannell, and P. R., Clark (1981) Variation in growth among 13 *Prosopis* (mesquite) species. *Experimental Agriculture*. Vol. 17: 209-218.
- Ferrer, A., Byers, M., Sulbarán, B., Dale, B., and Aiello, C. (2002), Optimizing Ammonia Processing Conditions to Enhance Susceptibility of Legumes to fiber Hydrolysis. *Appl. Biochem. Biotechnol.* Vols. 98/ 100: 123-134.
- Ferrer, A., Ríos, J. y Urribarrí, L. (2013). Biorefinación de la Lemna oscura del Lago de Maracaibo. Parte II. Producción de alimento para animales y bioetanol. Eutrofización del Lago de Maracaibo: Pasado, Presente y Perspectivas. Comisión permanente para el estudio de la cuenca del Lago de Maracaibo y gestión integral del agua. 257- 286. Depósito legal lfi18520135744193. ISBN: 978-980-402-147-3. DOI: 10.13140/2.1.4474.1449.
- Gámez, J. y Salones, G. (2009). Biorefinación del fruto del cují (*Prosopis juliflora*) para la obtención de alimento para animales y combustible automotor. Trabajo especial de grado presentado ante la ilustre Universidad Nacional Ex-

perimental "Francisco de Miranda" para optar al título de Ingeniero Químico. Coro, Venezuela.

Gamondes y Martínez (2005). Higiene y Seguridad Laboral. <http://www.ambiente.gov.ar/archivos/web/PBVyAP/File/A3/PIARFON%20BAP/HigSegLaboral%20lenga.pdf>.

Grados, N. y Cruz, G. (1996). New approaches to industrialization of *Albaborro (Prosopis pallida)* pods in Peru. Center for Semi-Arid Forest Resources, Kingsville, Texas.

Lezcano, P. y Mora, L. (2006). Las vinazas de destilería de alcohol. Contaminación ambiental o tratamiento para evitarlo. VIII Encuentro de Nutrición y Producción de Animales Monogástricos. Universidad Experimental delos Llanos Occidentales "Ezequiel Zamora". Guanare, Venezuela.

Li, J., Gellerstedt, G. y Toven, K. (2009). Steam explosion lignins, their extraction, structure and potential as feedstock for biodiesel and chemicals. *Bioresource Technology* Vol.100: 2556-2561.

Maghembe, J. A., Kariuki, E. M. y Haller, R. D. (1983). Biomass and nutrient accumulation in young *Prosopis juliflora* at Mombasa, Kenya. *Agroforestry Systems*. Vol. 1:313-321.

Müller-Steinhagen, H. y Trieb, E. M. y Haller, R. D. (2004). Concentrating solar power. A review of the technology. Quarterly of the Royal Academy of Engineering. *Ingenia* 18: 43-50.

NREL (2012). Helioenergy 1. Concentrating Solar Power Projects. Fecha de la última actualización: 24 de agosto de 2012. Disponible en: http://www.nrel.gov/csp/solarpaces/project_detail.cfm/projectID=210.

NREL (2013). Crescent Dunes Solar Energy Projects. Concentrating Solar Power Project. Fecha de la última actualización: 26 de febrero de 2013. Disponible en: http://www.nrel.gov/csp/solarpaces/project_detail.cfm/projectID=60.

Oliva, J. M, Sáez, F., Ballesteros, I., González, A., Negro, M. J., Manzanares, P., y Ballesteros, M. (2003). Effect of lignocellulosic degradation compounds from steam explosion pretreatment on ethanol fermentation by thermotolerant yeast *Kluyveromyces marxianus*. *Applied Biochemistry and Biotechnology*. Vols. 105/108: 141-153.

Otsamo, A, y Maua, J. O. (1993). Observation on pod production of planted *Prosopis juliflora*. *East African Agriculture and forestry Journal* 58, p. 111-114

Pandey, C. N., Gandhi, B. L., y Kannoji, H. C. (1990). Kiln drying schedule for *Prosopis juliflora*. *Journal of the Indian Academy of Wood Science*. Vol. 21: 29-34.

Pasiecznik, N. M. (2001). The *Prosopis juliflora-Prosopis pallida* Complex: A Monograph. Coventry, UK. p. 172.

- Patel, R. R., y Safaya, V. (1986). Value added chemical from biomass in: The role of *Prosopis* in wasteland development. Javrajbhai Patel Agroforestry Center, Surendrabag, Gujarat, India. p. RRP1-RRP4.
- Patrouilleau, R. (2006). Etanol ligno-celulésico. Informe Final. Documento disponible en https://www.google.co.ve/?gfe_rd=cr&ei=irbkVMTrDuecgQP-N4YDIDw&gws_rd=ssl#q=obras+de+Ruben+Dario+patrouilleau++ (2006).
- Ribaski, J., y Lima, P.C. (1997). Especies Arbóreas y Arbustivas para las zonas áridas y semiáridas de América Latina. Publicación en el marco del programa FAO / PNUMA. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Santiago, Chile.
- Sassner, P., y Zacchi, G. (2008). Integration options for high energy efficiency and improved economics in a wood-to-ethanol process. Department of Chemical Engineering, Lund University. *Biotechnology for Biofuels* Lund- Sweden. Vol. 1:4.
- Sekhar, A. C., y Rawat, N. S. (1960). A note on mechanical properties of *Prosopis juliflora*. *Indian Forester*. Vol. 86: 485-487.
- Sharma, I. (1991). Ecological and economic importance of *Prosopis juliflora* in the Indian Thar desert. *Journal of Economic and Taxonomic botany*. Vol. 2: 245-248.
- Shukla, N. K., Khanduri, A. K., Lal, K., y Lal, M. (1990). Physical and mechanical properties of some exotic species. *Indian Forester*. Vol. 116:140-147.
- Söderström, J., Pilcher, L., Galbe, M., y Zacchi, G. (2003). Combined use of H₂SO₄ and SO₂ impregnation for steam pretreatment of spruce in ethanol production. *Applied Biochemistry and Biotechnology*. Vols. 105/108: 141-153.
- Tewari, J. C., y Harsh, L. N. (1998). Forestry research in arid tract of India. In: Fifty Years of Arid Zone Research in India. Jodhpur, India. p. 307-322.
- TRADE (2012). Comercio Exterior de Venezuela de NCE Extractos curtientes o tintoreos; taninos y sus derivados; pigmentos y demás materias colorantes; pinturas y barnices; mastiques; tintas. Fecha de la última actualización: junio de 2012. Disponible en: <http://trade.nosis.com/es/Comex/Importacion-Exportacion/Venezuela/Extractos-curtientes-tintoreos-taninos-derivados-pigmentos-materias-colorantes-pinturas-barnices-mas/VE/32>.
- Urribarrí Lauris (2011). Sacarificación y fermentación simultánea de bagazo de caña de azúcar tratado con amoníaco. Tesis doctoral en Química. Departamento de Química, Facultad Experimental de Ciencias, Universidad del Zulia.
- Varshney, A. (1996). Overview of the use of *Prosopis juliflora* for livestock feed, gum, honey, and charcoal, as well as in combating drought and desertification: a regional case study from Gujarat, India. In: *Prosopis: Semiarid*

fuelwood and forage tree; Building consensus for the disenfranchised. (Eds.) P. Felker and J. Moss. Center for Semi-Arid Forest Resources, Kingsville, Texas, USA. p. 6.35-6.4.

Viebahn, P., Lechon Y., y Trieb, F. (2010). The potential role of concentrated solar power (CSP) in Africa and Europe-A dynamic assessment of technology development, cost development and life cycle inventories until 2050. *Energy Policy*, doi:10.1016/j.enpol.2010.09.026.

Warkotsch, W. (1987). Harvesting of pine and eucalypt in South Africa. In: Simpósio sobre exploração transporte, ergonomia e segurança em reflorestamentos rede viária florestal (1987: Curitiba). Anais... Curitiba: FUPEF/IUFRO, 1987. P.55-109.

Zolfaghari, R., Harden, M., y Huffman, L. (1986). Some physical and chemical-properties of honey Mesquite pod (*Prosopis glandulos*) and applications in foods-products. *Cereal Chemistry*. Vol. 63:104-108.