

CONTROVERSIA EN LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL. CASO: JATROPHA EN TAMAULIPAS

*Controversy in biofuel production.
Case: Jatropha in Tamaulipas*

Nohemí Niño-García*, Gerardo Sánchez-Ramos, Arturo Mora-Olivo y Luis Manuel Pérez-Quilantán, Universidad Autónoma de Tamaulipas, Instituto de Ecología Aplicada.

*Autora para correspondencia:
Universidad Autónoma de Tamaulipas.
Instituto de Ecología Aplicada, Av. División del Golfo No. 350, Col. Libertad, Cd. Victoria, Tamaulipas, México, C.P. 87019. mimi2326@hotmail.com

Fecha de recepción: 14 de agosto de 2012.
Fecha de aceptación: 16 de noviembre de 2012.

RESUMEN

Este artículo permite ampliar el panorama sobre la basta información existente en la controversia sobre el cultivo de *Jatropha curcas* y sus posibilidades de producción de aceite para la generación de biodiesel. Se destacan sus múltiples bondades y se discute la falta de estudios básicos científicos que sustenten la implementación de cultivos no solo para el estado de Tamaulipas, sino a nivel nacional, lo que establece restricciones mayores para que esta especie sea un cultivo exitoso para la producción de biocombustibles. Finalmente, se plantean las perspectivas del estudio de otras especies silvestres emparentadas (i.e. *Jatropha sotoi-nunyezii*), discutida en esta investigación, que en su momento aporten información sobre aspectos fundamentales tales como son: genéticos, ecológicos, ecofisiológicos, sanitarios y agroecológicos, entre otros. Con lo resultante se esperaría contribuir al conocimiento básico necesario, anterior a cualquier propagación vegetal masiva, tanto de ésta, como de otras especies.

Palabras Clave: *Jatropha curcas*, biodiesel, *Jatropha sotoi-nunyezii*.

FIGURA 1

Invernadero con plantas de *Jatropha curcas* en González, Tamaulipas, México (kilómetro 25 de la carretera Estación Manuel-Ébano).

Figure 1. Greenhouse with plants of Jatropha curcas in Gonzalez, Tamaulipas, Mexico (kilometer 25 of the highway Manuel-Ebano Station).

ABSTRACT

This paper can extend the view about the rough information available in the controversy about the crop of *Jatropha curcas* and the oil produc-

tion possibility for the generation of biofuel. Highlights their many benefits and discusses the lack of basic scientific studies that support the implementation of crops not only to the state of Tamaulipas, but nationally that establishing major constraints in order for this species be successful cropping for production of biofuels. Finally, it presents the perspectives of the study of other species and wild relatives (ie. *Jatropha sotoi-nunyezii*), discussed in this research which at the time provide information on key aspects such as: genetic, ecological, eco-physiological, agro-ecological and sanitary, among others. With the resulting it would be expected to contribute to the basic knowledge needed before any massively vegetative propagation as much for this, as other species.

Keywords: *Jatropha curcas*, biofuel, *Jatropha sotoi-nunyezii*.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, ante el inminente agotamiento de las fuentes de combustibles fósiles que demandan las diversas actividades de la sociedad, tanto industriales como de transporte, se han considerado alternativas de origen vegetal en la producción de fuentes de energía. Algunas materias primas importantes en la producción de biocombustibles son: la caña de azúcar, el sorgo, la palma de aceite, el maíz, el piñoncillo (figura 1), entre otros. Este último denominado científicamente *Jatropha curcas*, es una especie de origen tropical, sobre la cual se han realizado múltiples estudios alrededor del mundo (Heller, 1996; Basha y Sujanta, 2007; Sunil y col. 2009; Achten y col. 2010).

En los últimos años en varios países del mundo, el cultivo de *Jatropha curcas* se ha manejado como una panacea en la producción de biodiesel debido a las múltiples bondades atribuidas a la especie. Sin embargo, existen discrepancias entre la comunidad científica



FIGURA 2

Plantación comercial de *Jatropha curcas* en González, Tamaulipas.

Figure 1. Comercial orchard of *J. curcas* at Gonzalez, Tamaulipas.

sobre la sustentabilidad del recurso, tomando en cuenta algunas problemáticas surgidas sobre el rendimiento de las plantaciones, la presencia de plagas, la poca variabilidad genética, entre otras (Loyola-Vargas, 2011; Ovando-Medina y col. 2009, 2011). Por esta razón, el uso y producción de esta planta no ha sido consistente en algunas de las entidades de México.

Particularmente en Tamaulipas se implementaron plantaciones con fines comerciales, mismas que no han cumplido siempre con las expectativas esperadas, a pesar de que éstas han sido impulsadas por el gobierno. Es posible que la principal causa que se atribuye al escaso éxito de los cultivos de *Jatropha* en el estado, sea el desconocimiento de aspectos elementales sustentados en evidencia científica. Debido a esto, es importante contemplar nuevas opciones que permitan contar con elementos adecuados para el futuro aprovechamiento de recursos vegetales como energías alternativas, como es el caso de otras especies o parientes silvestres de *Jatropha curcas*.

Tomando en cuenta que en

muchos casos las especies introducidas pueden presentar mayores problemas en su adaptación, desarrollo y rendimiento, se consideró importante estudiar el potencial de *Jatropha sotoi-nunyezii*, una planta nativa de esta región. Por lo anterior, los objetivos planteados para el presente artículo son ampliar y discutir la información sobre el tema *Jatropha*, además de proponer alternativas viables para su cultivo en el estado de Tamaulipas.

Antecedentes

El género *Jatropha* fue descrito por Carlos Linneo en 1753. La etimología de la palabra *jatropha* proviene del griego cuyo significado es "*iatros*"= médico y "*trophe*"= comida, esto por el uso medicinal que se les puede dar a las semillas, las hojas, el látex y la raíz de algunas especies (Makkar y Becker, 1999; Conafor, 2008; Maya y Agudelo, 2010).

A las plantas de este género se les clasifica como hierbas, arbustos o árboles, glabros o con pubescencia variable (sobre todo en las partes jóvenes o en las inflorescencias), monoicos o dioicos, con látex; hojas alternas o fasciculadas, pecioladas o

sésiles, simples, enteras o frecuentemente palmatilobadas; estípulas pequeñas, o grandes y disectas, a veces endurecidas como espinas; flores pequeñas, dispuestas en cimas dicótomas o en fascículos; cáliz y corola bien diferenciados en las flores de ambos sexos, corola formada por 5 pétalos libres o unidos en un tubo, disco entero o formado por 5 glándulas; estambres generalmente 8 a 10, en 2 verticilos para las especies mexicanas, monadelphos, al menos los de la serie interna estaminodios filiformes o ausentes; ovario uni a trilobular, rara vez tetra a pentalobular, estilos variadamente unidos en la base, enteros o bifidos, óvulo solitario en cada lóculo; fruto capsular; semillas carunculadas o sin carúncula y raíces tuberosas axonomorfas leñosas o tuberosas, algunas especies son rizomatosas (como *J. dioica*). Se les conoce comúnmente como "piñoncillo", "piñón o pistache mexicano" por la forma de sus semillas, o "sangre de grado" aludiendo al abundante exudado que generalmente pinta de color rojo oscuro (Linneo, 1753).

Las especies del género *Jatropha L.* se encuentran distribuidas principalmente en las regiones tropicales y subtropicales del mundo, especialmente en América y África (Webster, 1994). Pertenece a la fami-

lia Euphorbiaceae y cuenta con más de 175 especies a nivel mundial, 46 de ellas se encuentran en México, donde más del 77% son endémicas (Jiménez, 1985, 1986; Jiménez y Martínez, 1994; Jiménez y Torres, 1994) y viven en selvas bajas y matorrales xerófilos.

Algunas especies se han estudiado debido al uso potencial en la medicina tradicional en diferentes partes de África, Asia y América, destacando *J. cathartica*, *J. curcas* y *J. dioica* (Silva y col., 2004). Esto ha motivado a la comunidad científica a direccionar estudios sobre ecología química y fitoquímica aplicada, con el fin de obtener sustancias (metabolitos secundarios) con acción antibacteriana, antimicrobiana, antimicótica, anticancerígena e insecticida (Canales y col., 2005 y Hamza y col., 2006). Entre las especies del género destaca *Jatropha curcas*, debido a que sus semillas son ricas en aceite y se utilizan en la elaboración de biodiesel (Foild y col., 1996; Bassam, 1998; Heller, 1996; Henning, 2007), también se emplean en algunos lugares de México para consumo humano, ya bien sea solas, tostadas en comal o combinadas con otros ingredientes para la preparación de diferentes platillos (Schmook y Sánchez, 2000; Martínez y col., 2006; Martínez-Herrera, 2007). Para el estado de Tamaulipas se han reportado cinco especies dentro de este género de acuerdo a una revisión bibliográfica: *Jatropha cathartica*, *Jatropha dioica*, *Jatropha gossypifolia*, *Jatropha curcas* y *Jatropha sotoi-nunyezii*. Las dos últimas muy similares entre sí, por lo que inicialmente su gran parecido creó confusión.

La especie *Jatropha curcas* L. (1753)

El centro de origen de la especie *J. curcas* aún no está definido y se discute de manera controversial. Sin embargo, se sabe que es nativa del sur de México y Centroamérica, donde además se cultiva ampliamente, al igual que en África y Asia (Schmook y Serralta-Peraza, 1997).

En México se ha registrado en los estados de Chiapas, Guerrero, Hidalgo, Morelos, Oaxaca, Puebla, Quintana Roo, Sonora, Sinaloa, Tamaulipas, Veracruz y Yucatán (Zamarripa y Díaz, 2008).

Se le conoce bajo diferentes nombres comunes, dependiendo del lugar donde se encuentre. Así, tenemos por ejemplo: "peaó branco" en Portugal, "higo del infierno" en Bolivia, "purga de fraile" en Colombia, "tua-tua" en Venezuela, "sket'noto" en Surinam (Inversiones San Martín y Serna, 2006), "piñón de leche", "piñoncillo", "pistache mexicano" y "xuta" en Veracruz (Martínez-Herrera, 2007; Lozoya, 2009). En Tamaulipas se le conoce como "pipián" o "llora sangre" (Niño, 2011; Mora-Olivo, inédito).

En un principio se consideró que la especie se distribuía en poblaciones naturales en el estado, actualmente se ha determinado que no existen dichas poblaciones silvestres en Tamaulipas (Mora-Olivo, inédito). Durante el sexenio 2006-2012 se incentivó el cultivo de *J. curcas* bajo el sistema de plantaciones con fines comerciales (figura 2). En el año de 2011, la Comisión Nacional Forestal (Conafor-Región Golfo-Norte) y la Dirección Forestal del Estado de Tamaulipas (DFET) fomentaron el cultivo de esta especie dentro del estado, asignando recursos económicos por el orden de los dos millones 59 mil pesos para la siembra de las primeras 252 hectáreas, acción que se realizaría dentro del programa de plantaciones agroforestales (Molina, 2011).

Bondades de *Jatropha curcas*

De esta especie se pueden aprovechar casi todas sus partes vegetativas. El jugo extraído de las hojas es un colorante natural que tiñe de color rojo, al utilizarlo en telas presenta un color negro indeleble; la corteza tiene 37% de taninos que proporcionan un color azul oscuro. El látex contiene un 10% de taninos y puede ser usado también como tinta. Diversos preparados de la planta, incluyendo las semi-

llas, hojas y corteza (frescas o en decocción), se usan en medicina tradicional y como medicamentos veterinarios por sus efectos anti-sépticos, coagulantes, diuréticos, y para evitar estreñimiento, fiebres y dolores reumáticos (Conafor, 2008).

La cáscara del fruto se le utiliza en la obtención de biofertilizante o biogás. Las semillas mediante un proceso de tostado y molienda, dan origen a un aceite que puede ser utilizado en la elaboración de jabones, insecticidas, lubricantes, combustibles para cocinas y faroles de alumbrado y para la obtención de biodiesel. La pasta residual resultante de la molienda de extracción del aceite, también tiene un uso como biofertilizante por su alto contenido de nitrógeno; después de un proceso de desintoxicación puede ser utilizada como alimento balanceado para ganado, ya que cuenta con un 50% a 60% de proteína (Martínez-Herrera, 2007).

Esta especie también se utiliza como cerca viva y para reforestar zonas erosionadas (Makkar y col., 1998; Martínez-Herrera y col., 2006), ya que una sola planta de *Jatropha curcas* a los siete años produce aproximadamente 200 kg de biomasa. Adicionalmente, puede proveer unos 9 kg de oxígeno (O₂) y capturar cerca de 6 kg de bióxido de carbono (CO₂) (Sotolongo y col., 2007).

Producción de *Jatropha*

Algunas investigaciones señalan que *Jatropha curcas* puede crecer en suelos pobres y arenosos, en climas tropicales y semitropicales, en altitudes que van desde 0 a 1,500 m snm (Semarnat y col., 2008). Se adapta muy bien a los climas áridos y semiáridos, mediante mecanismos moleculares de resistencia a la sequía (Zhang y col., 2008). En realidad se puede desarrollar en una amplia gama de suelos, siempre que sean bien drenados y aireados (Kumar y Sharma, 2008). Por lo general, prospera en un rango térmico entre 15 y 40°C, con precipitación de 250 a 3,000 mm, su desarrollo es afectado por

temperaturas bajas $\leq 5^{\circ}\text{C}$ (Foild y col., 1996) (tabla 1).

La especie *Jatropha curcas* se ha empleado en prácticas de reforestación y retención de suelos, pero el principal interés es la producción de semilla, debido a sus propiedades oléicas, como fuente potencial de biocombustible y como bioreductor de petróleo (Heller, 1996; Henning, 2007). En general existen dos variantes o quimiotipos de *J. curcas* para México: i) una tóxica, que contiene elevadas concentraciones de ésteres de forbol (EF > 0.130 mg/g) y, ii) otra no tóxica o de muy baja concentración (EF < 0.040 mg/g) (Heller, 1996; Becker y Makkar, 2008; Bermejo y col., 2008). El cultivo de ambos quimiotipos es difundido por parte del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias -Inifap (Zamarripa y Díaz, 2008), y la Comisión Nacional Forestal (Conafor), otorgando apoyos para su siembra mediante el programa ProÁrbol (Conafor, 2010; Sener, 2012). Durante el periodo comprendido entre 2007 y 2011 fueron cultivadas 8,113 hectáreas de *Jatropha curcas*, distribuida en diversos estados de la República, como: Veracruz, Chiapas, Oaxaca, Michoacán, Sinaloa y Tamaulipas, entre otros (Sener, 2012). Estos incentivos gubernamentales, aunados a la promesa de una producción masiva y ampliamente redituable fomentaron a muchos productores hayan iniciado su cultivo en varias regiones del país, con consecuencias tales como: la sustitución de cultivos básicos e incluso la apertura de nuevas zonas de cultivo en áreas boscosas (Gómez, 2010; Valdés y col., 2011).

Aspectos de su producción

El piñón mexicano empieza a producir al primer año y se consolida a los cinco años, por un periodo total de vida de 25 años. Alcanza una altura de entre tres y ocho metros, y produce cinco toneladas de semilla por hectárea a una densidad de 2,500 plantas por hectárea anualmente (Martínez-Herrera, 2007). El rendi-

miento de semilla reportado para *J. curcas* varía de 0.5 a 12 ton/año/ha, dependiendo del tipo de suelo, fertilización y condiciones de riego. El arbusto de *J. curcas* tiene un periodo productivo de más de 40 a 50 años. Además, que desde el primer año (9-10 meses) se obtiene semilla. Un promedio anual de producción de semilla alrededor de 5 Ton/ha puede esperarse en excelentes tierras y precipitaciones de 900-1200 mm (Francis y col., 2005).

De acuerdo a estudios realizados con plantaciones piloto de *J. curcas* en Morelos, se puede obtener un rendimiento de 5/ton/año/ha al quinto año con una densidad de 2,500 plantas (tabla 2). Las semillas de la especie mexicana tienen un contenido de aceite entre 55-60% en promedio, (Martínez-Herrera, 2007) (tabla 2 y 3).

Problemática actual

La mayor parte del cultivo de *Jatropha curcas* en México, está planeado o está ocurriendo en plantaciones con semilla importada legal o ilegalmente de la India, Brasil, Tailandia, y otros países. Estos obtuvieron la semilla de su área original y luego adaptaron las poblaciones a las condiciones locales; ahora exportan las semillas resultantes a otras partes del mundo. Este proceso conlleva una pérdida de la variabilidad genética en esta especie, por lo que estudiar el comportamiento de parientes cercanos silvestres es una alternativa para ayudar a disminuir el riesgo fitosanitario que se está dando en México (Espinosa y Riegelhaupt, 2010).

Así mismo, la especie aún se considera como no domesticada (Achten y col., 2010), lo que implica que las prácticas de reproducción, manejo y control de plagas, requieren desarrollarse. En adición, el desconocimiento de las interacciones y los requerimientos ecológicos de las especies forestales, que son fundamentales para lograr un manejo adecuado que permita incrementar la productividad y los beneficios económicos derivados



Fuente: Nohemí Niño García.

FIGURA 3

Fruto en planta de *Jatropha sotoi-nunyezii*.

Figure 2. Fruit on *Jatropha sotoi-nunyezii* plant.

de éstas (Nájera y Bermejo, 1999). Lo que en ocasiones deriva en el éxito o no, de las especies.

Una compilación realizada por Loyola-Vargas en 2011 agrupa los diferentes estudios genéticos que a esta especie se le han direccionado, destacando lo siguiente...“A pesar de que los últimos años se ha estudiado la diversidad genética de *J. curcas* utilizando marcadores del tipo RAPD, ISSR y AFLP (Sunil y col., 2009; Vijayanand y col., 2009). Inicialmente la gran mayoría habían sido sólo realizados en accesiones disponibles en la India, posteriormente un par de estudios exceptuaron esta situación: Uno, realizado por Basha y Sujatha en 2007, en el cual incluyeron una accesión proveniente de México y otro, llevado a cabo en una plantación de China por Sun y col. en el 2008”.

Un estudio posterior de revisión reciente, sobre las investiga-

ciones de la diversidad genética de *Jatropha curcas* (Ovando-Medina y col. 2011), los autores destacan el incremento de publicaciones (más de 50) en los últimos seis años, utilizando principalmente marcadores de DNA de Amplificación Aleatoria de DNA polimórfico (RAPD, por sus siglas en inglés), estos son marcadores moleculares que se basan en la reacción en cadena de la polimerasa, son rápidos, confiables y requieren poco ADN, además no necesita estar muy puro, ni presuponen conocimientos previos sobre la secuencia, pudiéndose distinguir rápida y simultáneamente.

El hecho de que *Jatropha curcas* se ha adaptado a un extenso rango de condiciones edáficas y ecológicas sugiere que está presente una gran variabilidad genética que puede ser explotada para el mejoramiento genético (Rao y col., 2008). Uno de los reflejos de la variabilidad es observable en la

diversidad del contenido de aceite de sus semillas (Kaushik y col., 2007), en su rendimiento, tamaño, peso y forma de la semilla (Rao y col., 2008; Kaushik y col., 2007), así como en el tiempo de floración (Sunil y col., 2009) y en la relación del número de flores femeninas y masculinas (Rao y col., 2008). Lo anterior aunado a la dificultad y alto costo de la recolección de los frutos, lo que representa una desventaja a nivel de manejo del cultivo para fines industriales.

Otro aspecto relevante es lo que la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos contempla, en términos de la producción de biocombustibles y que se expresa textualmente en el Capítulo I (Artículo 1, Fracción primera): ...“Promover la producción de insumos para Bioenergéticos, a partir de las actividades agropecuarias, forestales, algas, procesos biotecnológicos y enzimáticos del campo mexicano, sin poner en riesgo la seguridad y soberanía alimentaria del país de conformidad con lo establecido en el artículo 178 y 179 de la Ley de Desarrollo Rural

CRITERIO	CONDICIONES NATURALES	CULTIVO ÓPTIMO	ALTO*	MEDIO*
Precipitación anual (mm)	300-800	250-1250	600-1200	1200-1800
Altitud en m snm	0-1500	0-800	0-1000	1000-1500
Pendiente (%)	Plana, ondulada	0-8	0-20%	
No. de heladas al año	1	< 25	N/H	N/H
Suelo	Liviano		Agrícola	
Temperatura media anual	18-28		18-28 °C	28-34 °C

*Requerimientos agroecológicos del piñón *Jatropha curcas* L. (Henning, 1998; Zamarripa y Díaz, 2008).

TABLA 1

Crterios utilizados para el establecimiento de cultivos de *Jatropha curcas* (Semarnat, 2008).

Table 1. Criteria used for the establishment of *Jatropha curcas* crops (Semarnat, 2008).

Sustentable"... Asimismo, esta Ley menciona que la producción de biocombustibles debe estar basada en el conocimiento científico y tecnológico, desarrollado exprofeso por las instituciones pertinentes (Capítulo II, Artículo 19).

Ante los retos actuales de conseguir que las fuentes renovables de energía vayan sustituyendo paulatinamente los combustibles fósiles; surgen alternativas, una de ellas puede ser la biomasa vegetal, en especial aquella que puede convertirse en fuentes productoras de aceite vegetal, principalmente en tierras abandonadas no comprometidas con la alimentación humana (Sotolongo y col., 2007). La investigación sobre biocombustibles no debe solo centrarse en un taxón con posibilidades energéticas -tal es el caso del cultivo de *Jatropha curcas*-, ante este escenario, se plantea la posibilidad de estudiar parientes cercanos o nativos en la región de Tamaulipas, que mejor se ajusten a la región que se pretende sembrar.

Estudios actuales en Tamaulipas, una nueva especie de piñón:

Jatropha sotoi-nunyezii

En un intento por iniciar la búsqueda de individuos silvestres de *Jatropha curcas*, se inició en el Instituto de Ecología Aplicada de la Universidad Autónoma de Tamaulipas, un proyecto sobre ecología de la especie y sus parientes genéticos cercanos. Como resultado de ese

estudio se encontraron cinco poblaciones naturales de lo que se creía era *Jatropha curcas*. Sin embargo, la revisión taxonómica del material demostró que se trataba de *Jatropha sotoi-nunyezii* (figura 3), una nueva especie para la ciencia descrita recientemente por Fernández y Martínez (2008) distribuida en Tamaulipas y Veracruz. Sobre esta especie se vislumbra la gran oportunidad de llevar a cabo estudios genéticos, ecológicos y evolutivos que pudieran reforzar de manera ulterior la producción sostenible de

aceite para biodiesel. Actualmente se llevan a cabo investigaciones sobre aspectos ecológicos en relación a la luz, la adaptación, las interacciones ecológicas (i.e. herbivoría) y la actividad biológica, ligados a la producción y calidad de aceite de esta nueva especie.

En la tabla 4 se comparan las principales características morfológicas promedio de *J. sotoi-nunyezii* obtenidas en poblaciones naturales y de *J. curcas* en una plantación comercial en el estado de Tamaulipas.

Estas fueron identificadas en un estudio sobre herbivoría dirigido a *J. sotoi-nunyezii* y *J. curcas*, la primera en condiciones naturales y la segunda en una plantación, donde el resultado pareciera paradójico o contradictorio, pues la primera especie fue atacada poco más del doble que la segunda por herbívoros (*Jatropha curcas* 1.6% herbivoría) (Niño, 2011). Esto pudiera obedecer a que *J. sotoi-nunyezii* (2.5% herbivoría) en su hábitat está rodeada y convive con sus enemigos naturales. A diferencia de *J. curcas* la cual por ser un monocultivo de poco tiempo de establecido, pudiera no contar con enemigos naturales propios de la especie en la región (Niño, 2011). No obstante, en los últimos años se ha estado documentando la susceptibilidad de *J. curcas* a diferentes enfermedades y plagas. Un importante hecho ha sido que al incrementarse las extensiones del cultivo de *Jatropha curcas*, el problema de la salud de las plantas ha aumentado exponencialmente. Alrededor del mundo se ha determinado que *Jatropha* es atacada por diferentes plagas, bacterias, hongos y virus (Loyola-Vargas, 2011).

AÑO DE PRODUCCIÓN	1	2	3	4	5	
Rendimiento (plantas/ha)	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	*400
Producción de semilla (ton/ha)	1.2	2.6	3.1	4.3	5	2.5
Producción de aceite (litros/ha)	600	1,300	1,550	2,050	2,500	750
Biodiesel obtenido (litros/ha)	582	1,261	1,504	1,989	2,425	750
Glicerol (litros/ha)					255	77
Pasta residual (kg/ha)	600	1,300	1,550	2,050	2,500	1,000
Biomasa (ton/ha)					500-125	20-5
Captura de CO ₂ (kg/ha)					15,000	2,400
O ₂ (kg/ha)					22,500	3,600

TABLA 2

Rendimiento de *Jatropha curcas* por hectárea, reportado en Morelos México y en *Guantánamo Cuba (Martínez-Herrera, 2007; Sotolongo y col., 2007).

Table 2. Yield per hectare of *Jatropha curcas*, reported in Morelos Mexico * Guantánamo Cuba (Martínez-Herrera, 2007; Sotolongo y col., 2007).

CONTENIDO DE LA SEMILLA	100 G	1000 G	1 TON
Agua	6.6 g	66 g	66 kg
Proteína	18.2 g	182 g	182 Kg
Aceite vegetal	38 g	380 g	380 kg
Hidratos de carbono	33.5 g	335 g	335 kg
Fibra	15.5 g	155 g	155 kg
Ceniza	4.5 g	45 g	45 kg

TABLA 3

Contenido nutricional de la semilla de *Jatropha curcas* (Duque y Atchley, 1983; Martínez-Herrera, 2007).

Table 3. Nutritional content of *Jatropha curcas* seed (Duque y Atchley, 1983; Martínez-Herrera, 2007)

CONCLUSIONES

Jatropha curcas aunque es una especie aparentemente con muchas bondades y atributos, sobre todo por su virtud de producir aceite para generar biodiesel a partir de sus semillas es recomendable tomar ciertas precauciones. Es pertinente mencionar que existen diversos puntos de vista en cuanto a considerar una limitación y/o ventaja la amplitud de la diversidad presente en el germoplasma de *J. curcas* para la selección y mejoramiento (Loyola-Vargas, 2011). A pesar de los múltiples proyectos que se están realizando en diferentes países, hasta la fecha no hay datos científicos confiables disponibles, sobre la agronomía básica de *Jatropha* y los efectos climáticos sobre su productividad no han sido investigados (Atchen y col., 2008). Ciertamente, las supuestas bondades atribuidas a *Jatropha*, tales como: altos rendimientos de aceite, bajos requerimientos nutrimentales, bajo uso del agua, mano de obra barata, la no existencia de competencia con la producción de alimentos y la tolerancia a plagas y enfermedades no son apoyadas del todo por la comunidad científica, pues los resultados no son los mismos de una región a otra.

La información sobre las relaciones entre rendimiento y variables

tales como suelo, clima, manejo y material genético en el cual se basan las decisiones de inversión están pobremente fundamentadas. La evidencia actual muestra un amplio rango de rendimiento que no pueden relacionarse con parámetros tales como la fertilidad del suelo y la disponibilidad del agua (Jongschaap y col., 2007; FAO, 2008). Las condiciones que mejor satisfacen su crecimiento no están bien definidas y los potenciales impactos ambientales de su cultivo en gran escala son confusos (Fairless, 2007).

También, el que la especie pueda desarrollarse en ambientes secos no garantiza la misma producción de semillas. La polémica se incrementó a partir de la publicación de que *Jatropha* requiere más agua que otros cultivos empleados para producir la misma cantidad de aceite que otros biocombustibles (Gerbens-Leenes, 2009). La escasa producción de frutos debido a la pobre floración producto del bajo número de flores femeninas y la inadecuada polinización, son factores importantes que llevan a rendimientos bajos e inconsistentes (Abdelgadir, 2008; Ghosh, 2010). Por si fuera poco, la ruta de biosíntesis de los ácidos grasos en *J. curcas* que se almacenan en los cotiledones de sus semillas es desconocida (Li y col., 2008), aunque se sugiere que hay un fuerte control

genético sobre el perfil de ácidos grasos en las poblaciones de *J. curcas* (Ovando-Medina y col., 2011b).

En la actualidad es insuficiente el conocimiento que se tiene sobre *J. curcas* en términos de: i).- su variabilidad genética, ii).- su limitada ramificación y por consecuencia limitada producción de semillas, iii).- su vulnerabilidad a insectos y enfermedades, iv).- los altos costos de su recolección y/o cosecha para su procesamiento, v).- la infraestructura operativa del biodiesel y los usuarios, vi).- el mercado cautivo y por tanto el costo de producción y venta, entre otros. Todo lo anterior, genera un escenario contradictorio, que establece medidas restrictivas de gran importancia para lograr que *J. curcas* sea un cultivo exitoso en la producción de biocombustibles (Openshaw, 2000).

Estudios futuros

La riqueza y el nivel de endemismo del género *Jatropha* en México permiten la reflexión sobre el potencial existente de esta biodiversidad, por lo que habría que considerar la posibilidad de iniciar investigación básica sobre aspectos fundamentales tanto de *Jatropha curcas* como de parientes silvestres que en su momento puedan sustentar cono-

cimientos para su uso en la producción de biocombustibles. Otros aspectos, no menos importantes son la necesidad de llevar a cabo estudios sobre el contenido y calidad de aceite de *J. sotoi-nunyezii*, considerando el rendimiento que esta especie puede alcanzar, para evaluar su aprovechamiento. Así como, el proponer estudios futuros que ayuden a la identificación de los aspectos fundamentales, tales como: las situaciones ecológicas, las posibilidades genéticas, agroecológicas, energéticas y las biológicas. Todo lo anterior deberá estar ligado a los aspectos ecológicos (ecofisiológicos u ontogénicos), con la finalidad de evitar riesgos (e.g. fitosanitarios, genéticos y de inversión, entre otros). ||

AGRADECIMIENTOS

Al personal del Instituto de Ecología Aplicada de la Universidad Autónoma de Tamaulipas, pues este artículo divulgativo es parte de la Tesis de Maestría intitulada: "Patrones de herbivoría en *Jatropha sotoi-nunyezii* y *Jatropha curcas* en Tamaulipas, México". Al corporativo GEO-ESTRATOS, S.A. de C.V., por permitir el acceso a la plantación de *Jatropha curcas* de su propiedad.

Parámetro	* <i>J. sotoi-nunyezii</i>	* <i>J. curcas</i>
1. Tamaño de Plantas (m)	4.2 ± 1.9	2 a 8
2. Tamaño de hojas (cm ²)	86.3 ± 41.1	53.3 ± 28.6
3. Longitud de frutos (cm)	2.1 ± 0.1	2.4 a 4
4. Número de semillas por fruto	3	2 a 3
5. Longitud de semillas (cm)	1.1 ± 0.1	2

TABLA 4

Características morfológicas promedio (ffl ± DE) de *J. sotoi-nunyezii* y *J. curcas* en el estado de Tamaulipas (Tomada de Niño-García, 2011).

Table 4. Morphological characteristics average (ffl ± SD) of *J. sotoi-nunyezii* and *J. curcas* in Tamaulipas state (from Niño-García, 2011).

1. Medida en metros, utilizando un clisímetro (Vertex Laser), considerando de la base del tallo al ápice de la planta (n= 23 en *J. sotoi-nunyezii*). 2. Medido con un medidor de área foliar (CI 202 Leaf area meter, CID, Inc.) en cm² (con n= 600 en *J. sotoi-nunyezii*, n= 800 en *J. curcas*). 3, 4 y 5. Medido con un vernier en cm Marca Foy Tools (n= 67 frutos y n= 194 semillas de *J. sotoi-nunyezii*, n= 23 plantas). *Los datos para *J. curcas* fueron tomados de Martínez-Herrera (2007) y los datos de *J. sotoi-nunyezii* de Niño-García (2011).

REFERENCIAS

- Abdelgadir, H.A., Johnson, S.D. and Vanstaden, J. (2008). "Approaches to improved production of *Jatropha curcas* L". *South African Journal Botanical*, 74 (2): 359-359.
- Achten, W.M.J., Verchot, L., Franken, Y.J., Mathijs, E., Singh, V.P., Aerts, R., and Muys, B. (2008). "Jatropha bio-diesel production and use". *Biomass and Bioenergy*, 32(12): 1063-1084.
- Achten, W. M. J., Nielsen, L. R., Aerts, R., Lengkeek, A. G., Kjær, E. D., Trabucco, A., Hanse, J. K. Maes, W.H., Graudal, L., Akinnifesi, F. K. and Muys, B. (2010). "Towards domestication of *Jatropha curcas*". *Biofuels*, 1: 91-107.
- Basha, S.D. and Sujatha, M. (2007). "Genetic analysis of *Jatropha* species and interspecific hybrids of *Jatropha curcas* using nuclear and organelle specific markers". *Euphytica*, 168 (1): 197-214.
- Bassam, N. (1998). *Energy plant species*. James y James Editores. UK 166 pp.
- Bermejo, M.E., Chel, L.A., Evangelista, L.S., Félix, G.J. y Martínez, A.L. (2008). *Cuantificación de esteres de forbol en semillas de *Jatropha curcas* L. silvestres y cultivadas en México*. XXVII Congreso Sociedad Mexicana de Bioquímica. Mérida, Yuc.
- Canales, M., Hernández, T., Caballero, J., Romo de Vivar, A., Ávila, G., Duran, A. and Lira, R. (2005). "Informant consensus factor and antibacterial activity of the medicinal plants used by the people of San Rafael Coxcatlán, Puebla, México". *Journal of Ethnopharmacology*, 97(3): 429-439.
- Conafor (Comisión Nacional Forestal) (2008). *Jatropha curcas* el motor del bosque. 78. [En línea]. Disponible en: http://www.mexicoforestal.gob.mx/nuestros_arboles.php?id=83. Fecha de consulta: 13 de junio de 2012.
- Conafor (Comisión Nacional Forestal) (2010). A3. Plantaciones Forestales Comerciales.- Municipios elegibles para las plantaciones de *Jatropha curcas*. En: Convocatoria de Reglas de Operación 2010. [En línea]. Disponible en: http://www.conafor.gob.mx/portal2/index.php?option=com_content&task=view&id=454&Itemid=527 [15 de noviembre del 2010]. Fecha de consulta: 15 de junio de 2012.
- Espinosa, G. F. y Riegelhaupt, F. (2010). "La fiebre de plantaciones para biodiesel de *Jatropha*". La Jornada en la Ciencia, en *La Jornada*. Lunes 20 de septiembre. [En línea]. Disponible en: <http://ciencias.jornada.com.mx/ciencias/investigacion/ciencias-quimicas-y-de-la-vida/investigacion/la-fiebre-de-plantaciones-para-biodiesel-de-jatropha>. Fecha de consulta: 5 de junio de 2012.
- Fairless, D. (2007). "Biofuel: the little shrub that could – maybe". *Nature*, 449: 652-655.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) (2008). *The State of Food and Agriculture 2008 - Biofuels: Prospects, Risks and Opportunities*. Rome, Italy: pp. 1-138. [En línea]. Disponible en <http://www.fao.org/publications/sofa/en/>. Fecha de consulta: 15 de junio de 2012.
- Fernández, C.F.J. y Martínez S.E.M. (2008). *Jatropharum notulae* (Euphorbiaceae), 5 *Fontqueira*, 55(62): 571-480.
- Foild, N., Foild, G., Sánchez, M., Mittelbach, M. y Hackel S. (1996). "*J. curcas* L. as a source for the production of biofuel in Nicaragua". *Bioresource Technology*, 58(1): 77-82.
- Francis, G., Edinger R. and Becker, K. (2005). A concept for simultaneous wastewater reclamation, fuel production, and socio-economic development in degraded areas in India: Need, potential and perspectives of *Jatropha* plantations. *Res Nat. Forum*, 29: 12-24.
- Gerbens-Leenes, W., Hoekstra, A. and Van der Meer, T.H. (2009). The water footprint of bioenergy. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106: 10219-10223.
- Ghosh, A., Chikara, J., Chaudhary, D., Prakash, A., Boricha, G. and Zala, A. (2010) Paclobutrazol arrests vegetative growth and unveils unexpressed yield potential of *Jatropha curcas*. *J. Plant Growth Regul.*, 29:307-315.
- Gómez, G. (2010). *Da inicio Sedarpa a plantaciones con *Jatropha curcas**. Orizaba. Nota No. 79147: Publicada 29/03/2010. [En línea]. Disponible en: <http://www.orizabaenred.com.mx/cgi-bin/web?b=VERNOTICIA&%7Bnum%7D=79147>. Fecha de consulta: 15 de junio de 2012.
- Hamza, J.M.O., van den Bout-van den Beukel, C.J.P. Matee, I.N.M, Moshi, J.M., Mikx, H.M.F., Selemani, O.H., Mbwambo, H.Z., Van der Ven, J.A.M.A. and Verweij, E.P (2006). "Antifungal activity of some Tanzanian plants used traditionally for the treatment of fungal infections". *Journal of Ethnopharmacology*, 108(1): 124-132.
- Heller, J. (1996). *Physic nut *Jatropha curcas*, promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops*. I. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Gatersleben, International Plant Genetic Resources Institute Rome.
- Henning, R.K. (1998). Use of *Jatropha curcas* L. (JCL): A household perspective and its contribution to rural employment creation. Regional Workshop on the Potential of *Jatropha curcas* in Rural Development & Environmental Protection. Harare, Zimbabwe.
- Henning, R.K. (2007). "Identification, selection and multiplication of high yielding *Jatropha curcas* L. plants and economic key points for a viable *Jatropha* oil production". *The Jatropha Journal*. [En línea]. Disponible en: <http://www.jatropha.de/>. [22 de octubre del 2008]. Fecha de consulta: 6 de junio de 2011.
- Inversiones San Martín y Serna (Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente) (2006). Cultivo de *Jatropha* sp y construcción de una planta de biodiesel en San Esteban, Olancho, Honduras. [En línea]. Disponible en: <http://appext.sica.int/eepbiWEB/files/1220544522929.pdf>. Fecha de consulta: 10 de octubre de 2012.
- Jiménez, R.J. (1985). "Dos especies nuevas del género *Jatropha* en México". *Cactáceas y Suculentas de México*, 30(4): 80-84.
- Jiménez, R.J. (1986). "Una especie de *Jatropha* del estado de Guerrero". *Cactáceas y Suculentas de México*, 31(1): 3-5.
- Jiménez, R.J. y Martínez., M. (1994). "Redescripción de *Jatropha andrieuxii* Muell. Arg. (Euphorbiaceae), una especie endémica del sur de México". *Acta Botánica Mexicana*, 26: 27-32.
- Jiménez, R. J. y Torres, R. (1994). "Especie nueva del género *Jatropha* (Euphorbiaceae) de la sección Mozinna (Ortega)". *Pax. Anales del Instituto de Biología, UNAM, Serie Botánica*, 65(1):21-29.
- Jongschaap, R.E.E., Corré, W.J., Bindraban, P.S. and Brandenburg, W.A. (2007). *Claims and Facts on *Jatropha curcas* L.: Global *Jatropha curcas* Evaluation, Breeding and propagation programme*. Report 158 (Plant Research International BV, Wageningen, The Netherlands and Stichting Het Groene Woudt, Laren, The Netherlands), 42 Pp.
- Kaushik, N., Kumar, K., Kumar, S., Kaushik N. and Roy, S. (2007). "Genetic variability and divergence studies in seed traits and oil content of *Jatropha* (*Jatropha curcas* L.) accessions". *Biomass and Bioenergy*, 31:497-502.
- Kumar, A. and Sharma, S. (2008). An evaluation of multipurpose oil seed crop for industrial uses (*Jatropha curcas* L.): a review. *Industrial Crops and Products*, 28: 1-10.
- Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos (2008). Diario Oficial de la Federación. Secretaría de Energía de los Estados Unidos Mexicanos, México D.F. a 1 de febrero de 2008.
- Li, J., Li, M., Wu, P., Tian, Ch., Jiang, W. and Wu, G. (2008). "Molecular cloning and expression analysis of a gene encoding a putative -ketoacyl-acyl carrier protein (ACP) synthase III (KAS III) from *Jatropha curcas*". *Tree Physiology*, 28: 921-927.
- Linneo, C. (1753). *Species Plantarum*, 2: 1006-1007.
- Loyola-Vargas, V.M. (2011). Mejoramiento genético de *Jatropha curcas* mediante técnicas biotecnológicas. Centro de Investigación Científica de Yucatán.

- [En línea]. Disponible en: http://www.cicy.mx/Posgrado/Doc_ER/6.%20vinculaci%C3%B3n/18.2%20Convenios/Conv8_Conacyt.PDF. Fecha de consulta: 5 de junio de 2012.
- Lozoya, X. (2009). Una antigua medicina. En: Gómez-Pompa A. Cuellar I, Martínez M. Editores. *La xuta se come (A kin xuta tawuay)*, Diprocafe (Diversificación de cafetales de baja altitud). Universidad Veracruzana. Veracruz México. 30 Pp.
- Makkar, H.P.S., Becker, K. y Schmook, B. (1998). "Edible provenances of *J. curcas* from Quintana Roo state of México and effect of roasting on antinutrient and toxic factors in seeds". *Plant Food for Human Nutrition*, 52, 31-36.
- Makkar, H.P.S. y Becker K. (1999). "Nutritional studies on rats and fish (carp *Cyprinus carpio*) fed diets containing unheated and heated *Jatropha curcas* meal of a non-toxic provenance". *Plant Foods for Human Nutrition*, 53: 183-192.
- Martínez, H.J., Siddhuraju, P., Francis, G., Davila, G. y Becker, K. (2006). "Chemical composition, toxic/antimetabolic constituents, and effects of different treatments on their levels, in four provenances of *Jatropha curcas* L. from Mexico". *Food Chemistry*, 96:80-89.
- Martínez-Herrera, J. (2007). "El Piñón Mexicano: Una Alternativa Bioenergética para México. Departamento de Biotecnología del Centro de Desarrollo de Productos Bióticos del Instituto Politécnico Nacional". *Revista digital universitaria*, 8:12. [En línea]. Disponible en: <http://www.revista.unam.mx/vol.8/num12/art88/int88.htm>. Fecha de consulta: 8 de diciembre de 2009.
- Maya, L.C.A. y Agudelo, H.C.A. (2010). "Lista anotada de las especies de Euphorbiaceae para el Quindío". *Revista Investigación Universitaria de Quindío*, 20: 126-136.
- Molina, V. (2011). "Quieren sembrar *Jatropha* en Tamaulipas". *El espectador*. Publicado el Lunes, 22 de agosto de 2011. [En línea]. Disponible en: <http://www.elspectador.com.mx/2011/08/quieren-sembrar-%E2%80%9Cjatropha%E2%80%9D-en-tamaulipas/>. Fecha de consulta: 15 de junio de 2012.
- Mora-Olivo, A. *Catálogo de nombres comunes de plantas tamaulipecas*. Universidad Autónoma de Tamaulipas. Inédito.
- Nájera, C.F.J. y Bermejo V.B. (1999). Efecto de la intensidad de luz sobre el crecimiento en altura y Producción de materia seca en plántulas de *Pinus ayacahuite var. veitchii*. *Foresta Veracruzana*, 1:2 25-30.
- Niño, G.N. (2011). Patrones de herbivoría en *Jatropha sotoi-nunyezii* y *Jatropha curcas* en Tamaulipas, México. Tesis de Maestría. Instituto de Ecología Aplicada de la Universidad Autónoma de Tamaulipas. 99 p.
- Openshaw, K. (2000). *A review of Jatropha curcas*: an oil plant of unfulfilled promise. *Biomass and Bioenergy*, 19(1): 1-15.
- Ovando-Medina, I., Espinosa-García, F.J., Núñez-Farfán J., Salvador Figueroa, M. (2009). Does biodiesel from *Jatropha curcas* represent a sustainable alternative energy source? *Sustainability*, 1: 1035-1041.
- Ovando-Medina, I., Espinosa-García, F.J., Núñez-Farfán, J. y Salvador-Figueroa, M. (2011). State of the art of genetic diversity research in *Jatropha curcas*. *Scientific Research and Essays*, 6: 1709-1719.
- Ovando-Medina, I., Espinosa-García, F.J., Núñez-Farfán, J. y Salvador-Figueroa, M. (2011). "Genetic variation of *Jatropha curcas* L. estimated with seed oil fatty acids". *Journal of Oleo Science*, 60:301-311.
- Rao, G.R., Korwar, G.R., Shanker, A.K. y Ramakrishna, Y.S. (2008). "Genetic associations, variability and diversity in seed characters, growth, reproductive phenology and yield in *Jatropha curcas* (L.) accessions". *Trees*, 22: 697.
- Schmook, B., y Seralta-Peraza, L. (1997). *J. curcas*: Distribution and uses in the Yucatan Peninsula of Mexico. In G. M. Gübitz, Mittelbach M., and Trabi M. Editores. *Biofuels and industrial products from Jatropha curcas*. DBV Graz. Austria. pp. 53-57.
- Schmook, B. y Sánchez, S.O. (2000). Uso potencial de *Jatropha curcas* L. En la península de Yucatán México. *Foresta Veracruzana*, 2 (2): 7-11.
- Semarnat (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales), INE (Instituto Nacional de Ecología), UNAM (Universidad Nacional Autónoma de México) y Ciego (Centro de Investigaciones en Ecosistemas). (2008). *Análisis integrado de las tecnologías, el ciclo de vida y la sustentabilidad de las opciones y escenarios para el aprovechamiento de la bioenergía en México*. Reporte Final. 99 Pp.
- Sener (Secretaría de Energía). (2012). *Estrategia Nacional*, 2012-2016.
- Silva, B.S.Y., Rivas M.C., Oranday, C.A., Verde, S.M.J., Cruz, V.D.E. y Carranza, R.P. (2004). "Determinación de la actividad antimicrobiana y citotóxica de las fracciones obtenidas de extracto hexánico de la raíz de *Jatropha dioica*". *Revista de la Facultad de Salud Pública y Nutrición*, Edición Especial 3-2004. [En línea]. Disponible en: <http://www.respyn.uanl.mx/especiales/ee-3-2004/02.htm>. Fecha de consulta: 29 de mayo de 2011.
- Sotolongo, P.J.A., Beatón. D.P.A., Díaz, G.A., Montes de Oca, L.S., Del Valle, A.Y. y García, P.S. (2007). *Potencialidades energéticas y medioambientales del árbol Jatropha curcas L. en las condiciones edafoclimáticas de la región semiárida de la provincia de Guantánamo*. Centro de Aplicaciones Tecnológicas para el Desarrollo Sostenible (Catedes), del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (Citma), Guantánamo, Cuba. Citma, Santiago de Cuba, Cuba. Facultad de Ingeniería Química, Universidad de Oriente, Cuba.
- Sun, Q.B., Li, L.F., Li, Y., Wu, G.J. and Ge, X.J. (2008). "SSR and AFLP Markers reveal low genetic diversity in the biofuel plant *Jatropha curcas* in China". *Crop Science*, 48 (5): 1865-1871.
- Sunil, N., Sivaraj, N., Anitha, K., Abraham, B., Kumar, V., Sudhir, E., Vanaja M. and Varaprasad, K.S. (2009). "Analysis of diversity and distribution of *Jatropha curcas* L. germoplasm using Geographic Information System (DIVA-GIS)". *Genetic Resources Crop Evolution*, 56:115-119.
- Valdés, R.O.A., García, E.R., Sánchez, S.O. y Pérez V.A. (2011). Isolation and pathogenicity of a possible *Pythium aphanidermatum* in *Jatropha curcas* L. non toxic. Universidad Autónoma de Yucatán, Yucatán, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14(2):649-660.
- Vijayanand, V., Senthil, N., Vellaikumar, S. and Paramathma, M. (2009). Genetic diversity of Indian *Jatropha* species as revealed by morphological and ISSR markers. *Journal of Crop Science and Biotechnology*, 12 (3): 115-120.
- Webster, G.L. (1994). Classification of the Euphorbiaceae. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 81: 3-32.
- Zamarripa, C.A., y Díaz, P.G. (2008). Áreas de potencial productivo de piñón *Jatropha curcas* L., como especie de interés bioenergético en México. Proyecto de Biocombustibles del Inifap. Campo Experimental Rosario Izapa. Cirpas. Alternativas para el desarrollo. Sistema Nacional Sistema Producto – Oleaginosas. [En línea]. Disponible en: www.oleaginosas.org. Fecha de consulta: 29 de mayo de 2012.
- Zhang, L., Jacob, D.J., Boersma, K.F., Jaffe, D.A., Olson, J.R., Bowman, K.W., Worden, J.R., Thompson, A.M., Avery, M.A., Cohen, R.C., Dibb, J.E., Flock, F.M., Fuelberg, H.E., Huey, L.G., McMillan, W.W., Singh, H.B., and Weinheimer, A.J. (2008). "Transpacific transport of ozone pollution and the effect of recent Asian emission increases on air quality in North America: an integrated analysis using satellite, aircraft, ozonesonde, and surface". *Atmospheric Chemistry and Physics*, 8: 6117-6136.