

Los Sistemas agroforestales para el ecodesarrollo del *Agave cocui* en Venezuela

La degradación y disminución de tierras arables, la acelerada desertificación y el cambio climático junto con el crecimiento de la población, demandan el desarrollo de cultivos de alto rendimiento en zonas áridas y semiáridas. El reto es diseñar y establecer plantaciones con especies adaptadas que presenten alto potencial para el desarrollo sostenible. Ante el crecimiento de la agricultura y su expansión a expensas del bosque, se plantea la agroforestería como sistema para el cabal aprovechamiento del bosque. Los agaves han sido utilizados desde épocas precolombinas, destacándose por su alta productividad y resistencia. En el estado Falcón (Venezuela), el *Agave cocui* es una de las especies silvestres más utilizadas, por lo que es esencial determinar los parámetros asociados a su potencial productivo. Se ha demostrado que los ambientes parcialmente sombreados conllevan a un mayor rendimiento. Se recomienda el establecimiento de sistemas agroforestales combinados con *Agave*.

Palabras clave:
Agavaceae, agroforestería,
desarrollo sostenible,
ecodesarrollo,
productividad.

ENILDETH GOTOPO^{1,3}, LIANETTE YEPEZ¹, MIRIAM DIAZ^{1,2}

¹Centro de Investigaciones en Ecología y Zonas Áridas-Universidad Nacional experimental Francisco de Miranda, Estado Falcón, Venezuela.

²Instituto Falconiano para la Investigación, Conservación y Desarrollo sostenible. Estado Falcón, Venezuela.

³egotopoc@gmail.com

Los cambios globales y los procesos de aceleración en la formación de nuevos desiertos a nivel mundial plantean retos a la sociedad, siendo la población rural quien se ve más afectada ya que son usuarios directos de los recursos naturales, y desempeñan un papel primordial en el aprovechamiento y manejo agroecológico de dichos recursos. Es de gran importancia para el logro del desarrollo sustentable de las comunidades asentadas en las regiones áridas y semiáridas a nivel mundial, cambiar los paradigmas de la agricultura intensiva y el monocultivo hacia la agroforestería y agricultura regenerativa entre otras prácticas, dando valor agregado a los frutos de los árboles y a otras especies herbáceas subutilizadas (Gotopo 2019).

La necesidad de cultivos que toleren las condiciones de sequía y calor existentes es especialmente importante en zonas áridas y semiáridas tropicales, las cuales cubren alrededor de 40 % de la superficie mundial (Borland *et al.* 2009). En estas regiones las bajas precipitaciones y alta evapotranspiración, son limitantes para el cultivo de especies con metabolismo C₃ (p. ej. yuca) y C₄ (p. ej. caña de azúcar) que son de alta importancia económica (Borland *et al.* 2009), por lo cual es importante promover cultivos alternativos con metabolismo CAM (ej. *Agave*, *Aloe*) compatibles con los árboles.

En las plantas terrestres se presentan diferentes tipos de metabolismo, los metabolismos C₃ y C₄, que realizan el proceso de fotosíntesis durante el día fijando carbono con los estomas abiertos y el metabolismo CAM, que fija el CO₂ durante la noche cuando



Figura 1. A. *Agave cocui* Trel. (Agavaceae) en sistemas agroforestales naturales en Falcón, Venezuela. **B.** Plantaciones agroforestales (Fotografía: Enildeth Gotopo).

abre los estomas para evitar pérdidas de agua. En el caso de la C_3 el primer producto estable es un ácido de 3 carbonos y en las C_4 es un ácido de 4 carbonos, son plantas que crecen en climas tropicales. Las vías C_4 y CAM involucran mecanismos especializados, con costo de energía, para la concentración y transporte del CO_2 a los sitios de fijación de la enzima rubisco, están adaptadas a zonas donde existe una limitada disponibilidad de agua. La eficiencia fotosintética de estos dos grupos de plantas es superior a la de las plantas C_3 bajo estas mismas condiciones, ya que evolutivamente han desarrollado estrategias para reducir el proceso de fotorespiración (Taiz & Zeiger 2002).

Las plantas del género *Agave* L. (Agavaceae) así como otras suculentas presentan Metabolismo Ácido de Crasuláceas (CAM) (Nobel 1988), se consideran las plantas más adaptadas a condiciones de estrés hídrico y térmico son las plantas, ya que la fijación de CO_2 permite una mayor eficiencia del uso de agua subsistiendo en sitios con severas limitaciones (Gotopo 2019).

Las zonas áridas y semiáridas son consideradas muy frágiles, poco productivas y de bajo potencial agrícola, sin embargo, pueden ser altamente productivas si son manejadas de forma adecuada (Díaz 1987, 2001). El papel fundamental de los árboles no es solo captura de carbono sino disminuir la incidencia de la alta radiación y sus efectos sobre la productividad de los cultivos.

El género *Agave* es de gran importancia social y económica para las poblaciones del continente americano, debido a que es una planta conocida y apro-

vechada por los indígenas tanto en México, Estados Unidos de América, Venezuela y Ecuador quienes utilizaban sus jugos y fibras en rituales y elaboración de enseres y textiles u otros elementos útiles (Díaz *et al.* 2018, García-Herrera *et al.* 2010). El uso y aprovechamiento del *Agave cocui* Trel. se remonta a la época prehispánica ya que las pencas de cocuy horneadas eran utilizadas tanto como alimento, como para la elaboración de bebidas fermentadas por las etnias Caquetias, Ayamanes, Jiraharas, Ajaguas y Gayones, que poblaron la región centro-occidental de Venezuela. La planta es extraída de su hábitat natural para proceder al procesamiento, cocinando el cormo a la leña en hornos artesanales, utilizando principalmente *Neltuma juliflora* (Sw.) Raf. (= *Prosopis juliflora* (Sw.) DC.) y *Cercidium praecox* (Ruiz & Pav. ex Hook.) Harms (González-Batista 2001); el cocuy ocupaba un lugar preponderante en su alimentación que complementaban con maíz y yuca (Díaz *et al.* 2018).

Aunado a la situación de extracción de la especie en las poblaciones naturales y las características ambientales de las zonas áridas y semiáridas ameritan una transformación de los sistemas de producción agrícola tradicionales hacia otros más resilientes y menos agresivos con el ambiente (Gotopo 2019).

El cambio climático ha hecho evidente la necesidad de la reforestación y conservación de los árboles ya existentes a fin de minimizar los impactos biológicos y ecológicos que ha ocasionado el desarrollo de la agricultura intensiva y los macroproyectos urbanísticos, los cuales incrementan el proceso de desertificación. Ante la tendencia de crecimiento de

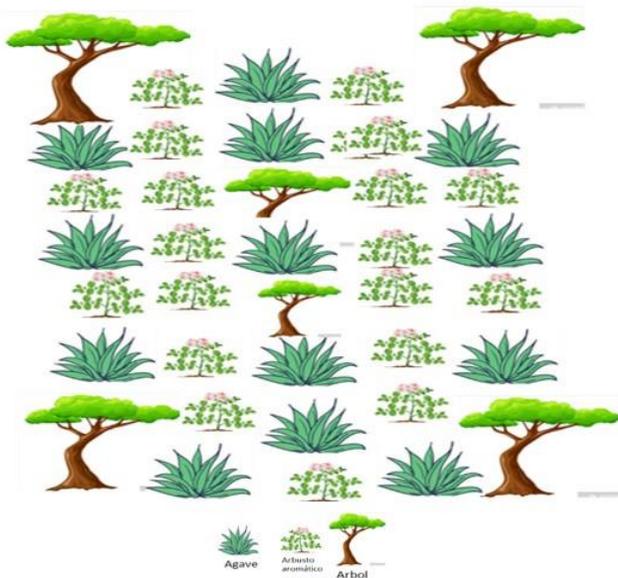


Figura 2. Modelo de Sistema agroforestal que incluye siembra simultánea de *Agave cocui*, *Malpigia glabra* L. y *Prosopis juliflora* (Sw.) DC. o *Libidibia coriaria* (Jacq.) Schlttd. junto a *Croton heliaster* S.F. Blake y *Lippia origanoides* Kunth. (Ilustración: Miriam Díaz y Enildeth Gotopo).

la agricultura y expansión de su frontera a expensas del bosque, la agroforestería es planteada como sistema para el cabal aprovechamiento de los recursos, dándole el uso biológico, ecológico y económicamente adecuado (Gotopo 2019) garantizando la sostenibilidad y resiliencia del sistema de producción.

El sistema agroforestal es un sistema complejo (Figura 1) donde se asocian árboles, arbustos, cultivos, pastos y animales en áreas determinadas, con el fin de producir bien sea carne, leche, madera u hortalizas, de forma sostenible aprovechando las condiciones del ambiente lo que genera mayor seguridad alimentaria y económica. Es por ello que diversos investigadores plantean el desarrollo agroforestal como un recurso importante para el futuro de la humanidad y la seguridad agroalimentaria (Altiery 2007), en especial en las zonas secas de América Latina donde los recursos son limitados.

Los resultados obtenidos en trabajos realizados por nuestro equipo indican que los sistemas agroforestales combinados con aplicación de riego, manejo de la sombra y fertilización orgánica pueden optimizar la eficiencia de los sistemas de producción en las zonas áridas y semiáridas (Díaz 1984, Mussett 1999, 2005, Gutiérrez 1999, García 1999, Díaz y Granadillo 2005).

La conversión máxima de la radiación solar a la energía bioquímica se ve afectada por condiciones de nubosidad, sin embargo, en las zonas áridas tropicales el efecto de la nubosidad es beneficioso porque al disminuir la intensidad de la luz se reduce también la temperatura foliar, ya que en general la radiación está muy por encima de los niveles óptimos requeridos. Se ha comprobado el efecto beneficioso del dosel de los árboles en la productividad del *Agave cocui* al disminuir la transpiración y la temperatura foliar, evitando la pérdida de agua a través de las hojas. Además, otro efecto beneficioso de los árboles es el aporte nutricional de la hojarasca y si es con leguminosas el incremento en la disponibilidad de nitrógeno (Díaz 2004, Peña 1998, Naranjo *et al.* 2012).

Estudios experimentales realizados en tres localidades de Venezuela (Pecaya, estado Falcón; Carapa, estado Anzoátegui y Urucure, estado Lara), muestran la respuesta del *A. cocui* en relación a los parámetros productivos, la acidez titulable (mol/cm²) que es la acumulación de carbono y la concentración de azúcares que se presentan en términos de °BRIX en los cormos. Estos son parámetros importantes para predecir la productividad y rendimiento en alcohol luego del proceso fermentativo para la producción del licor de agave. En el cuadro 1 se puede observar que la mayor concentración de azúcares se registró en Pecaya y esto debe estar relacionado con suelos más ricos en calcio, ya que este se mueve a través de la vía del xilema y ejerce una fuerte influencia en la translocación de los azúcares hacia los cormos. En todos los casos se observó mayor concentración de azúcares en plantas creciendo bajo el dosel, lo cual está relacionado con una menor inhibición de la fotosíntesis en plantas bajo el dosel que en las expuestas (Gotopo 2019). Los valores registrados en la oscilación de acidez titulable fueron mayores en plantas bajo el dosel en Pecaya y Carapa (Cuadro 1).

Durante otras investigaciones, pudimos constatar que el *A. cocui* mejora su productividad y condición fisiológica al estar asociada a árboles principalmente de la familia de las Leguminosas (Figura 1), lo cual representa actualmente una ventaja; debido a que el proceso de desertificación aunado a los cambios globales ha disminuido el potencial productivo de los recursos naturales y muy especialmente de los bosques xerófitos, los cuales son muy afectados por es-

Cuadro 1. Respuesta en plantas de *Agave cocui* Trel. (Agavaceae) a plena exposición y bajo el dosel en Urucure, edo. Lara, Carapa, edo. Anzoátegui y Pecaya, estado Falcón.

Sitio	Condición	PSI	D Acidez □ mol/cm ²	° BRIX
Pecaya	Plena Exposición	0,52	29,5	12
	Bajo el Dosel	0,70	56,8	14
Urucure	Plena Exposición	0,58	34,44	7
	Bajo el Dosel	0,66	33,48	7,2
Carapa	Plena Exposición	0,58	50,48	7,8
	Bajo el Dosel	0,69	47,58	9,6

tos cambios y a las acciones antrópicas que implementan sistemas intensivos de producción y eliminan los componentes arbóreos provocando mayor fragilidad de los recursos de fauna y flora asociados.

Estos resultados son importantes para el establecimiento y manejo de los sistemas de producción del *A. cocui* en el trópico seco, ya que el crecimiento y la productividad guardan una relación sinérgica con el óptimo de radiación, la disponibilidad hídrica, la oscilación de la temperatura y la disponibilidad de nutrientes. Se puede concluir que los ambientes parcialmente sombreados conllevan a un mayor rendimiento en las plantas de *Agave*, esto permite desarrollar modelos para el establecimiento de plantaciones agroforestales con fines de producción de *Agave* más eficientes y donde se aprovechen otras especies nativas como alternativa para la restauración de los bosques xerofíticos degradados, la adaptación al cambio climático y su utilización en la agricultura regenerativa, que con seguridad conllevarán a un mayor beneficio para las comunidades locales (Figura 2) (Díaz 2022, Gotopo 2019).

El modelo propuesto constituye una alternativa viable para reemplazar los procesos extractivos utilizados actualmente, donde se cosechan plantas silvestres de *Agave* y árboles para leña para la producción de licor de cocuy de penca, bebida artesanal de características similares al mezcal, al tequila y raicilla, cuyos aromas, composición de alcoholes superiores y características organolépticas, aunado a la forma de elaboración artesanal, manual y orgánica, le valieron el otorgamiento en el año 2001, de la primera “Denominación de Origen” que se le otor-

ga a una bebida elaborada en Venezuela y que ha sido ratificada en 2016 (SAPI 2006, Díaz *et al.* 2018, SAPI 2016).

Referencias

- Altiery M.A y Nicholls C.I. 2007.** Conversión agroecológica de sistemas convencionales producción: teoría, estrategias y evaluación. *Ecosistemas* 16: 3-12.
- Borland A., Griffinths H.; Hartwell J. y Smith A. 2009.** Exploiting the potential of plant with crassulacean acid metabolism for bioenergy production on marginal lands. *Journal of Experimental Botany* 60 (10): 2879-2896. <https://doi.org/10.1093/jxb/erp118>
- Díaz M. 1984.** Estudios Ecofisiológicos de cactáceas bajo condiciones naturales. Trabajo Especial de Grado Magister Scientiarum. Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas, Caracas.
- Díaz M. 1987.** Las zonas áridas el norte de Venezuela: Hacia el aprovechamiento racional de sus recursos renovables. En: publicación de la Fundación para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología. Maracaibo, Zulia. 143 pp.
- Díaz M. 1994.** Evaluación de la productividad y Rendimiento de *Agave cocui* en respuesta a cambios en las condiciones de crecimiento. *Informe Fondo para la Investigación Regional (FIR)*. Coro. 18 pp.
- Díaz M. 2001.** Ecología Experimental y Ecofisiología: Bases para el Uso Sostenible de los Recursos Naturales de las Zonas Áridas Neotropi-

- cales. *Interciencia* 26 (10): 472-478.
- Díaz M. y Yépez L. 2004.** Proyecto Biodiversidad del Género *Agave* en Venezuela. *Monografía*. CIEZA UNEFM, Coro. 75 pp.
- Díaz M. 2004.** El Programa *Agave*, Ciencia y Tecnología al servicio del hombre de las zonas áridas. Fundacite Falcón. 31 pp.
- Díaz M. y Granadillo E. 2005.** The significance of episodic rains for reproductive phenology and productivity of trees in semiarid regions of northwestern Venezuela. *Trees* 19: 336-348.
- Díaz M., Yépez L. y Gotopo E. 2018.** *Agave cocui*: Un noble de las zonas áridas de Venezuela. *Desde el Herbario CICY*. 10: 137-143.
- Díaz M. 2022.** Manual de restauración del Bosque xerofítico en Venezuela. *Editor FAO*. 150 pp.
- García I. 1999.** Crecimiento y comportamiento ecofisiológico de *Agave cocui* y *Sorghum bicolor* asociados al *Prosopis juliflora* en un sistema agroforestal simultáneo de la zona semiárida del estado Falcón. Tesis de Pregrado UNEFM. 71 pp.
- García-Herrera J., Méndez-Gallegos S. y Talavera-Magaña D. 2010.** El Género *Agave* spp. En México: principales usos de importancia Socioeconómica y agroecológica VIII Simposium-Taller Nacional y 1er Internacional "Producción y Aprovechamiento del Nopal" RES-PYN *Revista Salud Pública y Nutrición*, Edición Especial No. 5
- González-Batista C. 2001.** Noticia Histórica sobre el Cocuy (*Agave cocui*) en Falcón. *Croizatia*. 26 pp.
- Gotopo E. 2019.** Caracterización Ecofisiológica y productividad de especies del género *Agave* asociado a Sistemas Forestales naturales en zonas áridas de Venezuela. *Tesis de Postgrado*. UNEFM, Coro, Falcón. 128 pp.
- Gutiérrez B. 1999.** Evaluación del Crecimiento y Comportamiento Ecofisiológico de *Aloe vera* y *Sorghum bicolor* asociados al *Prosopis juliflora* en un sistema agroforestal simultáneo de la zona semiáridas del Estado Falcón. *Tesis de Pregrado*. Programa de Agronomía. UNEFM. Coro. 70 p.
- Mussett S. 1999.** Efecto de la Densidad de Siembra sobre el Crecimiento del *Agave cocui* Trelease, en asociación con la *Erythrina velutina* Willd, durante la fase inicial de un sistema agroforestal simultáneo en zonas semiáridas del Estado. *Tesis de Pregrado*. Programa de Agronomía. UNEFM, Coro, Falcón.
- Mussett S. 2005.** Ecofisiología y productividad del *Agave cocui* Trelease, en un sistema agroforestal simultáneo: Respuesta al incremento en la disponibilidad del agua. *Tesis de Postgrado*. UNEFM, Coro, Falcón.
- Naranjo L., Granadillo E. y Díaz M. 2012.** Fertilización Biológica y Orgánica del *Agave cocui* Trelease. *Editorial Académica Española*. 113 pp.
- Nobel P. 1988.** Los incomparables Agaves y Cactus. *Editorial Trillas*, D.F, México. 211 pp.
- Olivares E. 1984.** Metabolismo de carbohidratos y Fijación de CO₂ en Agavaceae. *Trabajo de Grado Magister Scientiarum* en Biología, Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas. Caracas.
- Peña A. 1998.** Efecto de la intensidad de la luz y del incremento de nitrógeno y disponibilidad de agua sobre el CAM de *Agave cocui* Trelease. *Tesis Ing. Agrónomo*. UNEFM. Coro. 87 pp.
- SAPI (Servicio Autónomo de Propiedad Intelectual). 2006.** Resolución No. 287. Denominación de origen Cocuy Pecayero. Ministerio para la Producción y el comercio. Servicio Autónomo para la protección de la propiedad Intelectual. *Boletín de la propiedad industrial* No 445. Tomo IV. pp 208-210.
- SAPI (Servicio Autónomo de Propiedad Intelectual). 2016.** Resolución No. 238. Ratificación de la Denominación de origen Cocuy Pecayero. Ministerio para la Producción y el comercio. Servicio Autónomo para la protección de la propiedad Intelectual. *Boletín de la propiedad industrial* No. 568. Tomo XIX. pp 8-25.
- Taiz L. y Zeiger E. 2002.** Plant physiology. 3rd. ed. Sunderland: Sinauer Associates, cop. 690 pp.

Desde el Herbario CICY, 16: 105-110 (30-mayo-2024), es una publicación semanal editada por el Herbario CICY del Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C., con oficinas en Calle 43 x 32 y 34 No. 130, Col. Chuburná de Hidalgo, C.P. 97205, Mérida, Yucatán, México. Tel. 52 (999) 942-8330 Ext. 110, www.cicy.mx/Sitios/Desde_Herbario/, webmas@cicy.mx. Editores responsables: Rodrigo Duno de Stefano, Patricia Rivera Pérez y Lilia Lorena Can Itzá. Reserva de Derechos al Título Exclusivo No. 04-2016-041413195700-203, otorgado por el Instituto Nacional del Derecho de Autor, ISSN: 2395-8790. Responsable de la publicación: José Femely Aguilar Cruz, Calle 43 x 32 y 34 No. 130, Col. Chuburná de Hidalgo, C.P. 97205, Mérida, Yucatán, México. Fecha de última modificación: 30 de mayo de 2024. Las opiniones expuestas por los autores no necesariamente expresan la postura del editor de la publicación. De la misma manera, la responsabilidad sobre la veracidad y la precisión de los contenidos, le corresponde totalmente a los autores de los ensayos.