

Prácticas Agronómicas para el Mejoramiento de Cultivos de Palma de Aceite para la Producción de Biocombustible

Agronomic Practices for Improving Oil Palm Crops for Biofuel Production

Ana Milena Salazar Beleño^{†a}, Jhonnatan Vásquez Díaz^b, Karen Julissa Marín Salazar^c, Kevin Martin Calderón Flórez, Leidy Andrea Carreño Castaño^e y Sandra Milena Montesino Rincón^f

Resumen: Este artículo de reflexión se elabora con base en estudios relacionados con prácticas agronómicas para el mejoramiento de cultivos de palma de aceite destinado para la producción de biocombustible. En esta ocasión, la información que veremos en este trabajo será relacionada con: identificación y eliminación de brechas de productividad en palma de aceite; buenas prácticas de manejo de palma de aceite en América Latina; su impacto en la agroindustria de la palma de aceite en América Latina; y perspectivas de la industria del biodiésel en Estados Unidos. El manejo del cultivo de la palma de aceite y su mejoramiento genético, procesos y productos; y panorama de la economía mundial y tendencias en su comercialización y desarrollo sostenible. En razón a lo anterior, la información correspondiente que se realizó fue recopilada para hacer parte de este artículo. Se puede alcanzar un mejoramiento en el área de la sostenibilidad ambiental en relación a los cultivos de palma de aceite para la producción de biocombustible; teniendo como resultados puntuales de las investigaciones tomadas, la importancia económica, social y cultural que tiene el aplicar correctamente las buenas prácticas agrícolas, y que lo sostenible va de la mano de la biotecnología.

Palabras claves: Palma de aceite, biocombustible, mejoramiento, cultivo, buenas prácticas agrícolas.

Summary: This reflection article is prepared based on studies related to agronomic practices for the improvement of oil palm crops intended for biofuel production. On this occasion, the information that we will see in this work will be related to: identification and elimination of productivity gaps in oil palm; good oil palm management practices in Latin America; its impact on the oil palm agroindustry in Latin America; and prospects for the biodiesel industry in the United States. The management of oil palm cultivation and its genetic improvement, processes, and products; and the panorama of the world economy and trends in its commercialization and sustainable development. Due to the above, the corresponding information that was collected was compiled to be part of this article. Improvement can be achieved in the area of environmental sustainability in relation to oil palm crops for biofuel production, having as specific results of the research carried out, the economic, social, and cultural importance of correctly applying good agricultural practices, and that sustainability goes hand in hand with biotechnology.

Keywords: Oil palm, biofuel, improvement, cultivation, good agricultural practices.

Recibido 21 de noviembre de 2023
Aceptado 15 de diciembre de 2023
www.unipaz.edu.co

a. Directora, Escuela Ingeniería Agroindustrial, Grupo de Investigación de Innovación, Desarrollo Tecnológico y Competitividad en Sistemas de Producción Agroindustrial - GIADAI. Instituto Universitario de la Paz- UNIPAZ.

b. Egresada, Escuela Ingeniería Agroindustrial. Instituto Universitario de la Paz- UNIPAZ.

c. Egresada, Escuela Ingeniería Agroindustrial. Instituto Universitario de la Paz- UNIPAZ.

d. Docente, Escuela Ingeniería Agroindustrial. Instituto Universitario de la Paz- UNIPAZ.

e. Docente, Escuela Ingeniería Agroindustrial. Instituto Universitario de la Paz- UNIPAZ.

f. Docente, Escuela Ingeniería Agroindustrial. Instituto Universitario de la Paz- UNIPAZ.

† dir.agroindustrial@unipaz.edu.co.

INTRODUCCIÓN

El plan nacional de desarrollo centra sus esfuerzos en los biocombustibles, ya que son bienes de alta generación de valor, los cuales diversifican la oferta de la agroindustria colombiana (Hevner et al., 2014).

La política de generación de biocombustible trae como efecto el aumento de la producción, dinamizando el trabajo en la cadena productiva de la palma de aceite, la cual es esencial para la generación del biodiésel por ejemplo (Hevner et al., 2014).

Por lo anterior, se recomienda que las Buenas Prácticas de Manejo (BPM), permitan que se cierren las brechas entre la productividad actual y la máxima productividad potencial, entendiendo los beneficios tanto económicos, como sociales, que puede tener aplicar este conjunto de prácticas, útiles para el cultivo (Paul, 2011).

Se parte, también, desde lo que afirma Cenipalma, relacionado con la productividad del cultivo de la palma en Colombia, la cual, según esta organización, no es la mejor. Ellos refieren que “Otros países del mundo, particularmente de la región, tienen rendimientos mucho mayores, en buena medida porque en Colombia existe una gran presión de plagas y enfermedades sobre el cultivo” (Verrdouw et al., 2010). Además, se les suma a las plagas, las condiciones climáticas en las que es sembrada la palma, en donde está frecuentemente expuesta a diferentes condiciones de estrés, por lo que puede verse afectado negativamente el rendimiento, lo que se considera también un decrecimiento y retroceso en el ámbito de la sostenibilidad de la agroindustria de la palma de aceite (Verrdouw et al., 2010).

El mejoramiento productivo de la palma de aceite ha sido trabajado anteriormente, teniendo en cuenta los requerimientos de esta, y este es el caso del trabajo de Lee y otros, en donde afirma que, en

su investigación, es importante el “entendimiento de la eficiencia de la nutrición de la palma en relación con los materiales de siembra y el riego en la etapa productiva principal⁴. Para finalmente encontrar que, en las condiciones favorables para el cultivo, las concentraciones de nutrientes no van a variar siempre y cuando también se contribuya al mantenimiento con factores externos como el control de riego (Supply-Chain, 2014).

Es importante entonces tener en cuenta para mejorar la productividad, varios factores que inciden tanto en la producción como en la sostenibilidad misma del cultivo, y para generar estos rendimientos es necesario implementar buenas prácticas de agricultura en los cultivos, y estos rendimientos es necesario tener en cuenta que vienen desde los requerimientos de la demanda de esta, por su participación en la producción de biocombustibles.

Sin embargo, es trascendental entrar en el tema de la sostenibilidad, ya que como menciona Rivera y Romero, “este cultivo ha estado en el centro de la controversia ambiental debido a los efectos de su reciente expansión. En Colombia, a diferencia del Sudeste Asiático, la expansión del cultivo de palma de aceite se ha producido en tierras previamente transformadas o utilizadas bajo otro sistema productivo, por lo que sus consecuencias ambientales son considerablemente menores” (Fletes, 2000). Gracias a estos artículos, puede darse cuenta de que con buenas prácticas, es posible que los cultivos de palma inclusive demanden un menor recurso hídrico que otros cultivos, lo cual impacta positivamente cuando se habla de sostenibilidad en la producción de biocombustibles, debido a que es un tema que genera varias perspectivas, tanto negativas como constructivas.

Además, el marco de los mejoramientos para que la producción de biocombustible sea eficiente y eficaz, incluye la innovación y la utilización de métodos complementarios que ayudan a generar

también sostenibilidad, y este es el caso de Salcedo y Carvajal, en donde se habla de la agricultura de precisión en el cultivo de aceite de palma, el cual afirma que “La agricultura de precisión está basada en el reconocimiento de la variabilidad espacial y temporal del clima, los suelos y los cultivos, y consecuentemente, de la importancia de proporcionar un manejo agronómico específico que tenga en cuenta esas diferencias” (Cortes, 2012). Encontrando que existen impactos positivos al utilizar estas alternativas, y estas se reflejan tanto en la parte fitosanitaria como en resolución de inconvenientes de las prácticas agrícolas que se dan normalmente.

Es por lo anterior que surge la necesidad de indagar cuál ha sido la importancia y desde que aspectos agronómicos, puede verse un mejoramiento a nivel de producción y eficiencia del cultivo de la palma de aceite para la producción de biocombustibles. Por lo que se mencionan a continuación los objetivos del presente trabajo.

Como objetivo general, se tiene el explicar desde investigaciones previas, cuáles son las principales prácticas agronómicas que contribuyen al mejoramiento de cultivos de palma de aceite para la producción de biocombustible.

Como objetivos específicos, se está analizando los beneficios de la implementación de buenas prácticas agrícolas en el cultivo de palma de aceite para la producción de biocombustible. También se tiene que determinar la actualidad y los principales aspectos socioeconómicos más importantes respecto a la producción de biocombustible a partir de la palma de aceite.

Métodos

Existen los indicadores agroambientales, que fueron propuestos por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos, OCDE (1998), para evaluar y monitorizar el impacto de la agricultura sobre el medio ambiente, con el

objetivo de lograr una agricultura sostenible, lo cual es una importante preocupación pública. Se incluyen diversos componentes medioambientales, como la calidad del suelo, la calidad del agua, la biodiversidad y la emisión de gases de efecto invernadero. Se están desarrollando indicadores para la agricultura de clima templado; por ejemplo, el método índigo. La estrategia es crear un conjunto de indicadores que sean simples, comprensibles, que brinden una imagen representativa de la situación, y que permitan hacer diagnósticos, predicciones, monitorización del progreso, que faciliten la toma de decisiones y en algunos casos, que ayuden en la comunicación.

Figura 1. Matriz agroambiental del método índigo.

| Matriz agroambiental | Preparación y manejo de la tierra | | | | | | Irrigación | Fertilización | | | | Pesticidas | Extractora | | Indicador ecológico | | |
|-------------------------|-----------------------------------|---|------------------------------------|--|-------------------------------------|---------------------------------|------------|---------------|-----------|---------|---------|------------|------------|---------------------------|---------------------|------------|--------------------------------|
| | Limpieza del terreno | Preparación del suelo (Primer generación) | Preparación del suelo (renovación) | Adecuación del entorno (terrazas, ...) | Cultivo de cobertura de leguminosas | Materia orgánica (MGAT biomasa) | | Plantación | Nitrógeno | Fósforo | Potasio | | Magnesio | Micronutrientes (Ca, ...) | | Herbicidas | EFB |
| Agua | Superficie | ** | ** | * | ** | ** | * | ** | ** | * | * | * | * | ** | ** | | Calidad de aguas superficiales |
| Agua | Aguas subterráneas | ** | * | * | * | * | * | ** | ** | * | * | * | * | ** | ** | | |
| Aire | | * | * | * | * | * | * | ** | * | * | * | * | * | ** | ** | | Calidad del aire |
| Suelo | Químico | ** | ** | * | ** | ** | * | * | * | * | * | * | * | ** | * | | Fertilidad química del suelo |
| | Físico | ** | ** | ** | * | ** | ** | * | * | * | * | * | * | ** | * | | Fertilidad física del suelo |
| | Biológico | * | * | * | * | ** | ** | * | * | * | * | * | * | ** | * | | Fertilidad biológica del suelo |
| Recursos no renovables | | * | * | * | * | ** | * | ** | ** | ** | ** | * | * | * | * | | Valores del recurso natural |
| Biodiversidad | | ** | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | ** | * | | |
| Paisaje | | ** | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | * | | |
| Indicador agroambiental | | | | | | IOM | | IN | IP | IK | IMg | | IPHY | | | | |

Fuente: Fedepalma.org.

El objetivo principal de los indicadores es desarrollar una herramienta para evaluar el impacto de la producción de aceite de palma sobre el medio ambiente. Esta herramienta debe estar fundamentada de forma científica para ser creíble, pero a la vez debe ser simple y comprensible para todos, desde los plantadores hasta los consumidores, y debe dar un panorama representativo de la situación. Además, su implementación no debe ser costosa. En consecuencia, una herramienta de este tipo podría emplearse para hacer el diagnóstico, para monitorizar el progreso, y debe ser una

herramienta de decisión con el fin de elegir la mejor opción en términos de prácticas. Por último, los resultados se utilizarán para la comunicación interna y externa. Tales indicadores no pretenden medir, controlar o verificar el nivel de un parámetro específico, sino evaluar el nivel probable de dicha variable en comparación con un valor de referencia, que se reconoce como un valor representativo de las prácticas sostenibles. El método índigo fue desarrollado con este fin y varios de sus indicadores han sido o están siendo adaptados al cultivo de la palma de aceite. El método índigo fue propuesto por el Instituto Nacional de Investigación Agronómica (Institut National de la Recherche Agronomique, INRA) en Francia, con el fin de caracterizar el efecto de las prácticas de campo sobre la agricultura de tierra templada, en cada parámetro específico del medio ambiente. El concepto se presenta como una matriz de doble entrada que cruza las prácticas agrícolas y los componentes ambientales del agroecosistema. Una celda de la matriz representa el impacto de una práctica agrícola sobre un parámetro específico del medio ambiente. Representa la unidad básica (módulo) sobre la cual se basará el indicador agroambiental. La agregación "vertical" de todos estos módulos en una columna específica representa el impacto de una práctica sobre todos los parámetros del medio ambiente; este es el indicador agroambiental. Por otra parte, la agregación horizontal de cada módulo da la posibilidad de construir un indicador de impacto ecológico, es decir, la evaluación de cómo un parámetro específico del medio ambiente se ve afectado por la producción de aceite de palma.

En 2006 se propusieron varios indicadores dedicados al cultivo de palma de aceite, se presentaron dos indicadores en la XV Conferencia Internacional sobre Palma de Aceite de Cenipalma. Sin embargo, la validación no estaba terminada para ese momento. Ambos indicadores evalúan el riesgo de las prácticas agrícolas sobre la calidad de las aguas superficiales, las aguas subterráneas y la atmósfera.

En correlación con el autor Garardin, el autor Paul Nelson (Paul, 2011) habla sobre el alto rendimiento y la rentabilidad de las inversiones en palma de aceite que dependen de la fijación de carbono producto de la fotosíntesis en las hojas, la cual está limitada por la radiación, la temperatura y la disponibilidad de agua y nutrientes, en particular el nitrógeno. Los ciclos de carbono y nitrógeno también son factores determinantes para la condición del suelo (en particular, la materia orgánica, la acidez y la actividad biológica), la salud de los ecosistemas acuáticos y las emisiones de gases de efecto invernadero. Aunque la productividad y los efectos ambientales del cultivo se han estudiado extensamente, es difícil predecir cómo podrían verse afectados por los cambios en el genotipo, en las condiciones ambientales o en las prácticas de manejo. Dada la complejidad de las interacciones entre los ciclos de carbono y nitrógeno, y los factores antes mecánicos, la integración de nuestro conocimiento a modelos mecanicistas predictivos es esencial para avanzar. Dicha integración se ha logrado recientemente para la palma de aceite utilizando el marco APSIM (www.apsim.info), el cual integra modelos de fisiología de cultivos y de ciclos de agua, carbono y nitrógeno. El modelo ha demostrado tener la capacidad de predecir el crecimiento vegetativo y el rendimiento apropiadamente, y de manera consistente en Papúa Nueva Guinea, en donde fue desarrollado. Ahora debe ser ensayado en un mayor rango de entornos. APSIM Oil Palm (Supply – Chain, 2014) tiene un potencial considerable como herramienta para predecir el rendimiento y generar eficiencia al explorar escenarios cuya evaluación experimental no es plausible, tales como los efectos probables de una gestión de fertilizantes distinta, los efectos del tipo de clima y suelo en la productividad, la condición del suelo y el entorno.

El cambio climático es un tema de interés mundial, por eso cuantificar el impacto ambiental de los sistemas de producción se ha convertido en un hito para las cadenas de productos agrícolas. El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) es una metodología

estandarizada ISO única para estimar el impacto ambiental de las actividades humanas a lo largo de una cadena productiva. En la última década, el ACV se ha convertido en el estándar mundial para las declaraciones ambientales de producto y el modelo de base detrás de varias calculadoras de gases efecto invernadero (GEI) y certificaciones (por ejemplo, CE, 2009, RSPO PalmGHG) (Fletes, 2000). Varios ACV de productos de aceite de palma han demostrado que la fase agrícola es un contribuyente muy importante a la mayoría de los potenciales impactos medioambientales, como, por ejemplo, calentamiento global, la eutrofización y la acidificación. Este gran aporte se debe a una combinación de la entrada de niveles de nitrógeno (N) en el campo y los bajos niveles de entrada en planta extractora, y la refinería. La fase agrícola sigue siendo un colaborador crítico, incluso cuando el límite del sistema se extiende a la producción de biocombustibles con base en palma. Enfocándose en el impacto sobre el calentamiento global, los principales contribuyentes son las emisiones relacionadas con N-GEI en las plantaciones y las emisiones de metano provenientes de los efluentes de la planta extractora de aceite de palma (POME). El impacto de la plantación es abrumador cuando los bosques o las áreas pantanosas se convierten en plantaciones de palma. Mientras tanto, el impacto de (POME) puede reducirse drásticamente si el biogás es capturado con recuperación de electricidad. Mientras que los N-insumos son críticos, la mayoría de los modelos ACV aún dependen de factores de emisión global (IPCC, 2006). Un mejor modelamiento del equilibrio, N incluyendo una mejor contabilidad de procesos del suelo, permite un diagnóstico más preciso de los impactos ambientales y control de los mecanismos en la gestión de la plantación (Cortes, 2012).

La industria del biodiésel en Estados Unidos dedicó su primera década, que comenzó alrededor de 1994, a la investigación y el desarrollo. En la siguiente, a partir de 2004, inició la fase de comercialización. El biodiésel percibió un crecimiento importante durante esta década y

aumentó hasta llegar a ser aproximadamente 5 % del suministro de diésel para 2013, con lo que se cumplió la visión de la industria de 5 x 15. Ahora la industria comienza su tercera década y tiene una nueva visión, 10 x 22; llegar a ser 10 % del suministro de combustible diésel en 2022. Esta visión utiliza como referencia la oferta de diésel para transporte vehicular, que es de 40 mil millones de galones, pero se utilizará en todos los mercados de destilados en diversos niveles de mezcla. El Comité Nacional del Biodiésel o National Biodiésel Board (NBB, por sus siglas en inglés) sigue siendo la voz unísona de la industria del biodiésel en EE.UU., compuesta por los productores y procesadores de materias primas, los productores y comerciantes de biodiésel, los distribuidores mayoristas y minoristas de combustibles y los prestadores de servicios de la industria. NBB amplió sus afiliados en 2013 anexando a las empresas que producen diésel de hidrocarburos renovables. Asimismo, se ha asociado con la industria del aceite para la calefacción con el fin de promover un mercado sólido de BioHeat. En esta presentación se revisa el pasado, presente y futuro de las políticas federales y estatales en EE.UU., y de los temas relacionados con la técnica, la sostenibilidad y el mercado, que han contribuido al desarrollo del diésel de biomasa en Estados Unidos.

Para finalizar este artículo de reflexión, en la actualidad Colombia se ha posicionado como el primer productor de palma de aceite y palmiste en Latinoamérica, y el cuarto a nivel mundial. Según la Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite Fedepalma, entidad que se ocupa de apoyar a los palmicultores, el cultivo de palma de aceite (*Elaeis Guineensis*) representa el 3.9% del PIB agropecuario en el país, destacándose el monocultivo de la palma africana como eje transversal en la economía agroindustrial y consolidándose como la principal materia prima en la producción nacional de aceites, grasas animales y vegetales según el Ministerio de Ambiente (Ditschar, 2026).

Resultados y discusión

En respuesta a la necesidad de indagar sobre la importancia y desde qué aspectos agronómicos se puede lograr una mejora significativa en los niveles de producción y eficiencia del cultivo de palma para la producción de biocombustibles, se presenta a continuación una tabla que enuncia las prácticas y condiciones adecuadas para lograr el objetivo anteriormente descrito.

Cuadro 1. Condiciones agronómicas para mejoramiento del cultivo.

| Prácticas agronómicas para el mejoramiento del cultivo | Condiciones |
|---|---|
| Condiciones del suelo | <ul style="list-style-type: none"> - Deben ser franco arenoso. - Contar con un buen drenaje natural. - No deben ser muy profundos. - No generar encharcamientos. - No generar excesos de agua en el suelo. |
| Estas son las condiciones adecuadas para el cultivo de palma de aceite. | |
| Cruzamientos | <ul style="list-style-type: none"> - Aislar la flor femenina. - Colocando una bolsa de terylene (material que permite que la flor femenina transpire y no se pudra). - Cuando la flor entra en la etapa de antesis, se procede hacer una etapa de polinización con polen de pisifera traído de papúa nueva guinea. |
| Este cruzamiento se realiza con el fin de poder reunir las mejores características de ambos materiales. | |
| Cobertura con leguminosas | <ul style="list-style-type: none"> - Suministra materia seca. - Ofrece protección al suelo. - Fijan nitrógeno. |
| La cobertura permite que el suelo no se caliente tanto y una reducción de la evaporación del suelo. | |
| Riego por aspersión | <ul style="list-style-type: none"> - Se es más eficiente con el uso del agua. - Se suministra la cantidad de litros que la palma exige y por ende se ayuda con la conservación de medio ambiente. |
| La palma de aceite requiere de 5 a 7 milímetros de agua por día. | |
| Programas de nutrición | <ul style="list-style-type: none"> - Análisis de suelo – 3 veces al año. - Análisis poliares – 1 vez al año. - Fertilizantes - químicos. - Fertilizantes - orgánicos (por medio de compostos). |
| Mantenimiento | <ul style="list-style-type: none"> - Plateo. Mantener el área limpia para recoger los frutos sueltos, ya que estos cuentan con un mayor contenido de aceite. - Control de maleza. Alrededor y entre palma y palma para acceder con facilidad. - Poda. Eliminación de ramas que ya no aportan nada a la palma, y de lo contrario afectan al no dejar que los nutrientes como tal lleguen a las ramas que si están en buen estado, y esto sirve también para tener una mejor visibilidad del fruto (racimo). |

| Prácticas agronómicas para el mejoramiento del cultivo | Condiciones |
|--|--|
| Cosecha | <ul style="list-style-type: none"> - Cortador. Visualiza el racimo bajo el criterio de uno o más frutos sueltos que indica el potencial de aceite contenido en el fruto. - Bufalero. Toma el racimo cortado y corta el pedúnculo en forma de v o a ras para que este no llegue a la planta extractora. |

Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

El desarrollo de los indicadores agroambientales está alcanzando una nueva etapa que se enfoca en la validación. También se están desarrollando enfoques adicionales que buscan identificar no solo el impacto de las prácticas de cultivo de la palma de aceite sobre el medio ambiente, sino a su vez, el impacto que estas modificaciones del medio ambiente tienen sobre la productividad de las palmas; en otras palabras, los servicios que se ven afectados por tal impacto.

Los conocimientos sobre los ciclos del agua, del carbono y del nitrógeno en el sistema de palma de aceite están actualmente integrados en un marco de modelación. El modelo Apsim Oil Palm puede permitir una investigación más específica y una mejor toma de decisiones en el futuro. Sin embargo, primero es necesario probarlo en una mayor variedad de situaciones, lo que requerirá la recopilación de conjuntos de datos adecuados y la colaboración entre agrónomos, ingenieros agroindustriales y modeladores.

A pesar de los pasos metodológicos intuitivos y las directrices bien documentadas, la implementación del ACV plantea algunos problemas debido a la escasez de información o de conocimientos científicos, lo que da lugar a una serie de incertidumbres, sobre todo cuando se hace el inventario de las emisiones en campo y se caracterizan los impactos finales.

Si bien es cierto que Asia representa el 89 % de la producción mundial de aceite de palma, bajo el liderazgo de Indonesia y Malasia, también es claro que América actualmente ya contribuye con el 6 % de la misma, como resultado de la dinámica que ha tenido este renglón productivo en los 12 países en los que se adelanta esta actividad, siendo Colombia el líder en su producción.

El progreso exige un mayor nivel de educación y un diálogo constructivo. La participación en una política ambiental sostenible trae consigo la pesada responsabilidad de demostrar la custodia del medio ambiente.

Referencias

- CASTILLO Edgar. Biocombustibles avanzados a partir del aceite de palma. 2016. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/11935/11928>
- CENIPALMA. Hacia la obtención de materiales más productivos, resistentes a enfermedades y adaptados a las condiciones colombianas. 2017.
- CORTES VILLAFRADEZ Raúl Alberto, MORENO Daniela, ALBARNOZ Danna, POVEDA Angie. Análisis del impacto de la política de Biocombustibles en la producción del aceite de palma y la estabilización del precio interno en Colombia. 2012. <http://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/bitstream/handle/20.500.12010/9624/1024.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- DITSCHAR Bernd. Asesoría de las Buenas Prácticas de Manejo (BPM) en Palma de Aceite y prácticas de manejo en el cultivo de palma de aceite en América Latina. 2016. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/11888/11881>.
- FLETES OCÓN, H. Coordinación territorial en las cadenas de producción de la agroindustria de mango en dos regiones de Colima. 2000.
- GONZÁLEZ CÁRDENAS Andrea. La agroindustria de la palma de aceite en América. *Revista Palmas*, 37, 215-228. 2017. Recuperado a partir de <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/11938>
- HEVNER, et al. Design Science in Information Systems Research, *MIS Quarterly*. 2004. Vol. 28. p. 75-105.
- LEE Tui y otros. Mejoramiento en la eficiencia de la nutrición de la palma de aceite mediante el riego y los materiales de siembra. *Revista Palmas*, 34, 280-293. 2013. Recuperado a partir de <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/10687>
- LIZARAZO SALCEDO Iván Alberto, ALFONSO CARVAJAL Oscar Alberto. Aplicaciones de la agricultura de precisión en palma de aceite "Elaeis Guineensis" e híbrido O x G". *Revista de Ingeniería*, n.o 33. 2011: 124-130. <https://doi.org/10.16924/revinge.33.12>
- MILLA CONSTAIN Felipe. Determinantes de la competitividad del sector de la palma de aceite, aceites, grasas vegetales, oleoquímica y biocombustibles en Malasia. 2015. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/11060/11045>
- Paul Nelson. Performance analysis of conjoined supply chains, *International Journal of Production Research*. 2001. Vol. 39. No 14. p. 3195-3218.
- RIVERA MÉNDEZ Yurany Dayanna, ROMERO ÁNGULO Hernán Mauricio. Los mitos ambientales de la palma de aceite. *Revista Palmas*, 39(4), 58-68. 2018. Recuperado a partir de <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/12711>

SANZ SCOVINO Jose Ignacio. Las mejores prácticas agroindustriales para una excelente palmiticultura colombiana, 2016.
<https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/11964>

SOH KHEANG Loh. Biocombustibles de segunda generación de la biomasa de palma de aceite. 2016.
<https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/11929/11922>

SUPPLY-CHAIN COUNCIL. Supply-Chain Operations Reference-model SCOR Versión 9.0. 2004.

VERDOUW, C, et al. Process modelling in demand-driven supply chains: A reference model for the fruit industry,» Computers and Electronics in Agriculture. 2010. Vol. 73. p. 174-187.

VERRDOUW, C, et al. Process modelling in demand-driven supply chains: A reference model for the fruit industry,» Computers and Electronics in Agriculture. 2010. Vol. 73. p. 174-187.