

Influencia de las variaciones climáticas en la producción de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.)



Influence of climatic variations on the production of sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.)

Núñez Rodríguez, José de Jesús; Carvajal Rodríguez, Julio César; Ramírez Novoa, Luisa Lorena; Editor Académico Prof. Dr. Carlos Alberto Zuniga-Gonzalez

José de Jesús Núñez Rodríguez

jo.nunez@mail.udes.edu.co

Universidad de Santander, Colombia

Julio César Carvajal Rodríguez

Universidad de Santander, Colombia

Luisa Lorena Ramírez Novoa

Universidad de Santander, Colombia

Editor Académico Prof. Dr. Carlos Alberto Zuniga-Gonzalez

Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua,

León. Escuela de Ciencias Agrarias y Veterinarias.

Departamento de agroecología., Nicaragua

Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático

Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León, Nicaragua

ISSN-e: 2410-7980

Periodicidad: Semestral

vol. 7, núm. 13, 2021

czuniga@ev.unanleon.edu.ni

Recepción: 18 Febrero 2021

Aprobación: 08 Abril 2021

URL: <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/394/3941760007/index.html>

DOI: <https://doi.org/10.5377/ribcc.v7i13.11269>

Autor de correspondencia: jo.nunez@mail.udes.edu.co

Resumen: La producción de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) en los países tropicales de América del Sur ha experimentado un rápido aumento por la alta calidad y aportes nutricionales del aceite en sus componentes Omegas 3, 6 y 9. Su potencial para el desarrollo de nuevos emprendimientos está llevando a numerosos agricultores a convertirse en sachicultores, reemplazando cultivos tradicionales y, en otros casos, siendo una alternativa para la sustitución de cultivos ilícitos. Al revisar la literatura disponible sobre sachá inchi se evidencia que la mayor cantidad de investigaciones realizadas sobre esta especie promisoría ha estado enfocada en el aceite y sus derivados, con una escasa atención sobre los procesos agronómicos, en los cuales se aplican modelos de transferencia tecnológica predeterminados y no adaptados a las condiciones medioambientales, culturales y económicas particulares de las zonas de producción. En este artículo se presenta una revisión de artículos e informes técnicos relacionados con la influencia de las variaciones climáticas en la producción de sachá inchi, abarcando las fases de germinación, crecimiento, floración y reproducción, presencia de plagas y enfermedades, cosecha, postcosecha y extracción del aceite. Se pretende poner a disposición de los lectores una mirada actualizada de las implicaciones que los aumentos o disminuciones de las temperaturas y precipitaciones tienen sobre el cultivo de sachá inchi, las cuales constituyen áreas de conocimiento poco exploradas en esta especie oleaginosa promisoría.

Palabras clave: Agricultura, cambio climático, *Plukenetia volubilis* L.

Abstract: The production of sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) in the tropical countries of South America has increased rapidly because of the high quality and nutritional value of the oil in its Omega 3, 6 and 9 components. A review of the available literature on sachá inchi shows that most research on this promising species has been focused on oil and its derivatives, with little attention to agronomic processes, in which predetermined technology transfer models are applied and not adapted to the particular environmental, cultural and economic conditions of the production areas. This article presents a review of articles and technical reports related to the influence of climatic variations on sachá inchi production,

covering the phases of germination, growth, flowering and reproduction, presence of pests and diseases, harvesting, post-harvest and oil extraction. The aim is to provide readers with an updated view of the implications of increases or decreases in temperature and rainfall for sacha inchi cultivation, which are areas of knowledge that have been little explored in this promising oilseed species.

Keywords: Agriculture, climate change, *Plukenetia volubilis* L.

1. INTRODUCCIÓN

La franja tropical de América del Sur es un gran reservorio de especies vegetales con gran potencial alimenticio, medicinal y agroindustrial, muchas identificadas y utilizadas en los sistemas alimenticios y de salud por los grupos indígenas que habitaron el Perú, Ecuador, Bolivia, Colombia y Venezuela. Recientemente, estas plantas nativas, ahora denominadas especies promisorias, comenzaron a llamar la atención de estudiosos y empresarios para ser desarrolladas como cultivos con interés comercial en la producción de materias primas y subproductos derivados destinados al consumo en el mercado global.

Dentro de la amplísima biodiversidad tropical emerge sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) como una planta oleaginosa adaptable a sistemas modernos de agricultura y de alta producción de aceite con componentes Omega 3, 6 y 9 (ácido α -linolénico; 50.8% y ácido linoleico: 33.4%) (Gutiérrez, Rosada y Jiménez, 2011); y un sinnúmero de derivados de interés para la alimentación humana y animal (Kodahl, 2020). Es una especie amazónica utilizada desde la antigüedad por los indígenas por su alto contenido nutricional y se distinguen 19 especies reconocidas dispersas en la Cuenca del Caribe, Mesoamérica, Perú, Bolivia, Colombia, Venezuela, México, entre otros países (Nusselder y Cloesen, s.f).

En el caso colombiano, la introducción del cultivo de sacha inchi, como especie promisorias, está orientada a ser una alternativa viable en la sustitución del cultivo de la coca en regiones vulnerables, en el marco del postconflicto, al presentar modelos similares de cultivo (Muñoz, 2019), adaptación a las condiciones ecológicas y alta rentabilidad del aceite (Revista Dinero, 2019). Dentro de este escenario el cultivo tiene interés nacional en los planes de desarrollo agropecuario, por lo que la superficie sembrada se incrementó de 191 hectáreas en el año 2015 a 987 hectáreas sembradas en el 2018; asimismo, se observan crecientes incrementos en el volumen de producción de almendras desde 150 toneladas/año en el 2015 a 2398 toneladas/año en el 2018 (Evaluaciones Agropecuarias, citado por MINAGRICULTURA, 2018).

En tal sentido, la estrategia nacional de involucrar a los agricultores de las zonas del postconflicto en el cultivo de sacha inchi, impulsada por programas de desarrollo rural está dando resultados positivos; no obstante, estos nuevos emprendimientos se enfrentan a las incertidumbres de las variaciones climáticas y de la adaptación de las líneas genéticas a diferentes pisos altitudinales, a un incipiente desarrollo agroindustrial, dependencia del comportamiento del mercado de los aceites y lento empoderamiento de los modelos de cultivos por los agricultores, acostumbrados al manejo de rubros tradicionales.

Sacha inchi, además de la producción de aceite rico en omegas, de uso alternativo para la salud en la sustitución de las fuentes derivadas de los peces, es una planta totalmente aprovechable para elaborar productos con gran valor nutricional, como fuentes de proteínas para alimentación humana y animal (torta de sacha, galletas, confiterías, ensaladas, cosméticos), por lo que el desarrollo de esta especie promisorias es de suma importancia regional, especialmente para poblaciones asentadas en territorios vulnerables. Su

NOTAS DE AUTOR

jo.nunez@mail.udes.edu.co

reciente aparición como especie de interés comercial, escasa formación técnica de los agricultores, incipiente aprovechamiento agroindustrial y desconocimiento de los consumidores de los productos y subproductos, conforman factores limitantes que están presentes en el desarrollo de este cultivo.

En este artículo se presenta un estado del arte sobre las implicaciones de las variaciones climáticas en el crecimiento y producción de *sacha inchi*, y constituye uno de los pocos materiales que reúne y sistematiza las escasas publicaciones científicas disponibles sobre esta especie vegetal de gran potencialidad socioeconómica, por lo que es un campo de acción investigativa con muchas aristas y horizontes por estudiar.

Metodológicamente la construcción de este trabajo se inscribe dentro de la investigación documental por la consulta de bases de datos especializadas (Scopus, Google Académico, Scielo, Pubindex y Repositorios de universidades) para analizar las publicaciones relacionadas con el clima y *sacha inchi*, sin tomar un período temporal específico. En la búsqueda se crearon 7 categorías para ubicar los estudios en las fases fenológicas y agronómicas del cultivo: germinación, crecimiento, floración y reproducción, presencia de plagas y enfermedades, cosecha, postcosecha y extracción del aceite.

2. EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA AGRICULTURA

La crisis climática es una realidad que afecta la biosfera terrestre, bajo las denominaciones de cambio climático, calentamiento global y variabilidad climática. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), precisa que el cambio climático es un “cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables” (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático; IPCC, 2013, p. 188). Asimismo, dentro de las acepciones del comportamiento climático el IPCC (2013) establece que la variabilidad climática ocurre por “variaciones del estado medio (...) del clima en todas las escalas espaciales y temporales más amplias que las de los fenómenos meteorológicos (p. 202), Germanwatch y Munich Re NatCatSERVICE (2020).

Met Office (2021) pronostica que la temperatura media global para el 2021, en promedio, será 1,03 °C superior al período preindustrial de 1850-1900, pero más baja que algunos años anteriores desde 2015, por la presencia del fenómeno de La Niña que se origina en el Pacífico Tropical (Figura 1)

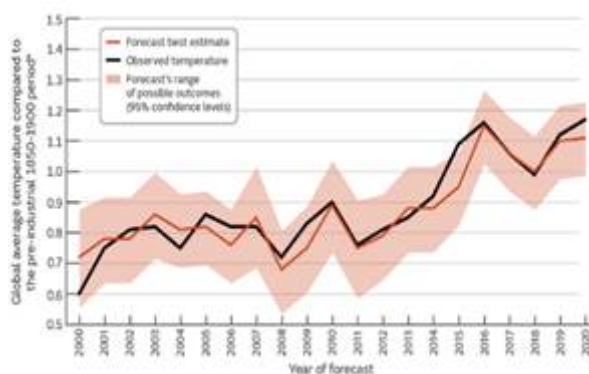


FIGURA 1
Pronóstico del incremento global de la temperatura
Met Office (2021)

Las repercusiones del cambio climático sobre los países se miden a través del Índice de Riesgo Climático (Figura 2) y denotan las pérdidas ocasionadas por el clima por la presencia de fenómenos atmosféricos extremos (sequías, inundaciones, huracanes, tormentas, olas de calor, etc).

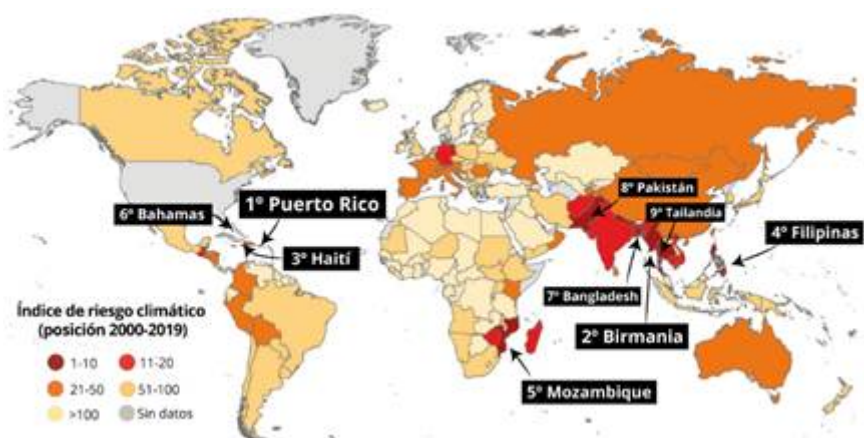


FIGURA 2
Efectos del cambio climático sobre los países
Germanwatch y Munich Re NatCatSERVICE (2020)

La agricultura es uno de los sectores con mayor vulnerabilidad al cambio climático dada su naturaleza biológica, ambiental y cultural en la que cualquier variación en la intensidad y magnitud de la temperatura y la precipitación afecta irreparablemente sus procesos y productos finales. En los países tropicales los fenómenos del Niño y la Niña agudizan las complicaciones climáticas sobre los cultivos al ocasionar grandes períodos de sequía y lluvias extremas, respectivamente.

Los efectos de ENOS en su fase cálida, conocida como Fenómeno El Niño (Misra, 2009), ha ocasionado períodos recurrentes de sequía que afectan a los cultivos, por los incrementos de las temperaturas diarias y nocturnas (especialmente las mínimas y máximas), aumento de las olas de calor y vientos secos (López et al., 2018) y disminución gradual de la precipitación y cambios en los regímenes de las lluvias (Paredes y Guevara, 2010), en amplias regiones agrícolas del mundo.

Los efectos de las altas temperaturas, especialmente en las fases de germinación de las semillas, crecimiento, reproducción y llenado de los frutos traen efectos severos sobre el rendimiento (Harvey et al., 2018; Kgosikoma et al., 2018; Sada et al., 2014) y calidad de las cosechas (D'Agostino y Schhlenker, 2016; Lachaud et al., 2017; Moreira et al., 2018) con consecuencias importantes para la seguridad agroalimentaria de la población vulnerable (Fanzo et al., 2018), agudizando los niveles de pobreza alimentaria de los agricultores (Olayide y Alabi, 2018)

La temperatura es considerada la variable climática más importante en las necesidades fisiológicas de las plantas (Filipe, Leitao, País y Cebola, 2015) y estudios han determinado que un incremento de 1 °C en la temperatura media causa daños a los cultivos (Peltonen-Sainio et al., 2016), por las alteraciones en las variables fisiológicas y reproductivas de las plantas (Gourdji et al., 2013; Nendel et al., 2019; Deis et al., 2015, Sun et al., 2018), caída de las hojas, flores y frutos por stress (Silveira, 2016) y disminución del proceso de la fotosíntesis, producción de biomasa y pérdida de fecundidad (Nendel et al., 2018).

Esta variable climática en algunas zonas productoras de sacha inchi en Colombia observa un comportamiento al incremento sostenido de 0,0315 °C/año (CORPONOR-UFPS, 2018). En la Figura 3 se presenta la tendencia para un período de registro de 35 años, en un área ubicada por debajo de los 200 m.s.n.m., donde se ha venido estableciendo el cultivo de esta especie.

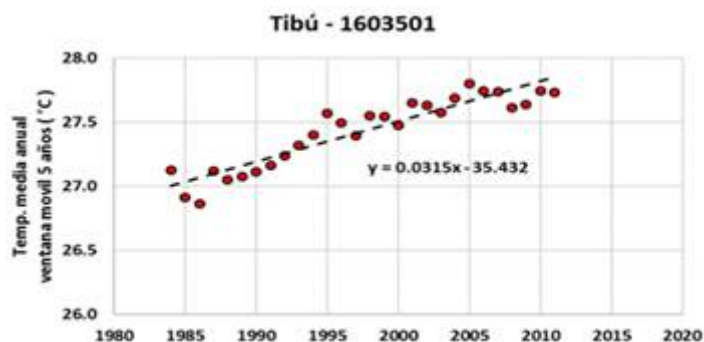


FIGURA 3
Tendencias de la temperatura en zonas productoras de sacha inchi, Colombia
CORPONOR-UFPS (2018)

De otra parte, extensos períodos de sequía, acompañados de incendios de la vegetación, contribuyen a la rápida degradación de la fertilidad y cobertura de los suelos (Cortez et al., 2011; Candelaria-Martínez et al., 2014). La alta sensibilidad de los suelos ante los eventos extremos lluvia-sequia, especialmente los asentados sobre las laderas de la cordillera andina y dedicados a la agricultura familiar (Avellaneda et al., 2014), genera en los períodos de sequias prolongadas la pérdida de su cobertura vegetal por incendios de vegetación o la muerte de las plantas por marchitamiento, haciéndolos vulnerables a los procesos de erosión (Camargo, Pacheco y López, 2017) y reduce la fertilidad natural para la producción agrícola sostenible (Candelaria-Martínez et al., 2014); por lo tanto, su incidencia periódica afecta la cantidad y calidad de la tierra cultivable (Wangyel et al., 2017).

En la cara opuesta, en presencia del Fenómeno La Niña, las precipitaciones intensas impactan negativamente los suelos al perder sus condiciones agrícolas por el lavado del horizonte orgánico y mineral, remociones en masa de terrenos cultivados (Salazar e Hincapié, 2010) y destrucción obras de vialidad, infraestructura y servicios agrícolas (Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible –MADS-, 2014; Gourdjy et al., 2016).

Estas presiones climáticas sobre los cultivos, y sobre los agricultores, han comenzado a impulsar desaparición de áreas sembradas, marginalización o el desplazamiento de las áreas agrícolas hacia gradientes altitudinales mayores en la búsqueda de mejores climas, suelos y agua (Bahri et al., 2018) que les garantice escenarios óptimos para el cultivo (Gram et al., 2018) y una producción rentable y sostenible.

3. INFLUENCIA DE LAS VARIACIONES CLIMÁTICAS EN LA GERMINACIÓN DE LAS ALMENDRAS DE SACHA INCHI

Las almendras de sacha inchi germinan dentro del rango de 25 °C y 30 °C, siendo la mínima 20° C y máxima 35 °C, sobre esta temperatura los efectos del calor son letales para las semillas (Silva et al., 2016). En otro estudio Cardozo (2015) establece un rango de 25°C y 35°C, estableciendo la viabilidad de usar sustratos de vermiculita, luz continua y temperaturas de 30 °C para la germinación de las semillas.

Con respecto a los impactos del cambio climático en la germinación de las semillas, Gentes (2020) establece que afecta la capacidad de germinar, crecer y sobrevivir. La presencia de altas temperaturas al momento de la germinación puede adelantar tempranamente el proceso de brotación de los embriones sin que las condiciones de humedad del suelo sean propicias para su desarrollo óptimo, causando la muerte por estrés hídrico de las plántulas recién germinadas. Igual ocurre en el caso de lluvias extemporáneas al darse la germinación de las semillas pero posteriormente las plántulas pueden sucumbir por la falta de humedad durante el desarrollo. La presencia de lluvias y temperaturas intensas traen problemas en la germinación de

las almendras por la proliferación de microorganismos patógenos en el suelo que afectan la viabilidad para emerger y crecer (Gentes (2020).

4. INFLUENCIA DE LAS VARIACIONES CLIMÁTICAS EN EL CRECIMIENTO DE SACHA INCHI

El ciclo vegetativo de sacha inchi está influenciada por la temperatura, al ser una planta de la Amazonia se desarrolla en climas tropicales o subtropicales, con temperaturas entre los 10 °C y a los 26 °C (Anteparra et al., 2013). El ciclo vegetativo se acorta cuando la temperatura es alta entre las fases de siembra y cosecha, la floración ocurre entre 88 a 115 días, la fructificación entre los 122 a 168 días y la cosecha entre los 180 a 220 días después de la siembra (Antonioli y Arfini, 2013).

El efecto negativo de las altas temperaturas en el ciclo vegetativo de la planta de sacha inchi se origina por la aceleración de la transpiración que ocasiona un marchitamiento general, cierre de los estomas de las hojas durante el día, y por lo tanto, reducción de la fotosíntesis y; se produce una reducción de la reserva de carbohidratos por el aumento de la intensidad respiratoria nocturna y la disminución del proceso fotosintético (Arévalo, 1996). Asimismo, Manco (2006) encontró que las altas temperaturas son desfavorables para la planta de sacha inchi ocasionando caída de las flores y frutos pequeños. Se observan plantas de bajo crecimiento, poco desarrollo, marchitas y con exiguos rendimientos de aceite.

Con respecto a los requerimientos de agua sacha inchi es una planta que se desarrolla en zonas con regímenes de precipitaciones entre los 1.000 a 1.200 mm/año, bien distribuidos durante el año (Santillán, 2018). Asimismo, el autor afirma que la planta que no requiere sombra y se ha observado que las mayores fructificaciones ocurren a plena exposición solar. En presencia de sombrero intenso el ciclo vegetativo se alarga, disminuye la floración y la producción de aceite es menor (CALRAM SAC, 2008).

El déficit o exceso de agua durante el ciclo vegetativo trae un conjunto de implicaciones asociadas al desarrollo vegetativo óptimo, sanidad fitosanitaria del cultivo, disponibilidad de los nutrientes, desarrollo de las prácticas agrícolas y a la producción de los contenidos Omegas de los aceites. En el escenario del cambio climático las plantas de sacha inchi deben desarrollar una plasticidad fenotípica para hacer frente a las variaciones climáticas y adaptarse a condiciones impredecibles (Jaradat, 2016). Esta es una línea de investigación importante para generar conocimiento que permita mitigar y adaptar al cultivo de sacha inchi a los efectos de la incertidumbre climática.

5. INFLUENCIA DE LAS VARIACIONES CLIMÁTICAS EN LA REPRODUCCIÓN DE SACHA INCHI

Sacha inchi es una planta con crecimiento y fructificación permanente, comenzando su proceso de producción continua después de 7,5 meses después del trasplante o siembra (Pardo, Baldovino y Oviedo, 2018). Esta característica no estacional de la floración y fructificación le otorga una alta sensibilidad y vulnerabilidad al proceso reproductivo de la planta. En los estudios revisados los investigadores se enfocan exclusivamente en los efectos de las altas temperaturas, dejando de lado los impactos que causan las lluvias intensas, la humedad relativa y los vientos secos sobre los cultivos.

Los autores consultados en su totalidad afirman que las altas temperaturas producen caída de las flores y de los frutos, especialmente los recién formados (Peña y Cancelado, 2018; Antonioli y Arfini, 2013; Campos, 2012; CALRAM SAC, 2008; Arévalo, 1996). La incidencia de la sequía, acompañada de olas de calor, afectan los procesos fisiológicos y reproductivos de la planta al ocasionar un escaso desarrollo y maduración de los órganos reproductivos de las flores y su posterior proceso de polinización.

6. INFLUENCIA DE LAS VARIACIONES CLIMÁTICAS EN LA INFESTACIÓN DE PLAGAS Y ENFERMEDADES DE SACHA INCHI

Investigaciones realizadas sobre sanidad vegetal reseñan que la planta de sachá inchi tiene dos agentes patógenos principales que le causan daños de importancia biológica y económica: los hongos y los nematodos, éstos prosperan en condiciones climáticas y de humedad del suelo opuestas. Las altas temperaturas y baja humedad en el suelo aumentan la infestación de nematodos en las raíces y; por el contrario, altas precipitaciones y alta humedad en el suelo favorece la propagación de hongos (*Fusarium*, Antracnosis, *Botrytis*, entre otros) en raíces, tallos, flores y frutos (Antonioli y Arfini, 2013; Campos, 2012; Santillán, 2018). Asimismo, los incrementos de las temperaturas aumentan la intensidad en la infestación de plagas, malezas y enfermedades y la migración de estas hacia pisos altitudinales superiores (Ziska et al., 2018; Galindo et al., 2013; Cacija et al., 2017; Aguirre, 2013) causando daños de importancia económica a los cultivos.

Los autores señalan que 26°C de temperatura media, 78%, de humedad relativa y una precipitación uniforme entre 850 a 1.000 mm/año, permite el crecimiento de plantas sanas.

7. INFLUENCIA DE LAS VARIACIONES CLIMÁTICAS EN LA COSECHA Y POSTCOSECHA DE SACHA INCHI

La cosecha de sachá inchi es manual y continua, estos dos factores implican la utilización de gran número de recolectores de los frutos y condiciones ambientales propicias para la cosecha, secado, trillado y almacenamiento. Debido a que la mayoría de las siembras son pequeñas los mismos agricultores y sus familias realizan las actividades de cosecha y postcosecha.

Después de la cosecha las capsulas de sachá inchi son despojadas de restos de tallos, hojas y malezas antes de comenzar el proceso de secado (Martínez, 2011). El secado de las capsulas generalmente se realiza de forma natural por exposición directa a los rayos solares, sobre patios de cemento u otros materiales de depósito (láminas de cinc, madera) (Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, INIA, 1999). En esta etapa el fruto requiere suficiente calor para disminuir la humedad y permitir el trillado (Daza, 2019). No existen estudios específicos sobre la determinación del grado de humedad óptimo de secado de las almendras, por lo que la práctica de los agricultores es empírica y el estado del secado depende del ecotipo o variedad (INIA, 1999) y de las condiciones climáticas del lugar. Generalmente, los agricultores aprovechan los días soleados o el verano para secar las cosechas acumuladas durante un periodo de tiempo (INIA, 1999).

En el almacenamiento, las prácticas inadecuadas de disposición y resguardo de los sacos de polipropileno o de sisal donde se recogen las almendras de sachá inchi pueden afectar la calidad de las semillas por los efectos de la luz, exceso de humedad, altas temperaturas y los daños ocasionados por insectos. Asimismo, al ser una oleaginosa el mal almacenamiento puede ocasionar que los granos de enrancien y pierdan calidad y capacidad de germinación (INIA, 1999)

8. INFLUENCIA DE LAS VARIACIONES CLIMÁTICAS EN LA CALIDAD DEL ACEITE DE SACHA INCHI

Las investigaciones en sachá inchi se han concentrado en la caracterización física y química y métodos de extracción del aceite y sus derivados. No obstante, en el ámbito de las implicaciones climáticas son escasas las indagaciones.

La influencia de la temperaturas de almacenamiento de las almendras en dos escenarios: ambiental (28 °C +2°C) y; de refrigeración (16 °C) en las características físico-químicas del aceite de sachá inchi, fue estudiada por Sánchez (2008), determinando que a una temperatura de refrigeración (16 °C) la calidad del aceite es mejor al presentar menores índices de acidez y peróxido.

La investigación anterior encuentra correspondencia con los hallazgos de Adrianzén, Padiilla y Linares (2011) quienes determinaron que a mayores temperaturas de los tratamientos térmicos de extracción del aceite existe una relación directamente proporcional con el rendimiento del aceite y el índice de peróxido e; inversamente proporcional con los valores encontrados de los índices de yodo, humedad, densidad relativa y materiales volátiles.

En otro estudio Monroy (2019) determinó la influencia de la temperatura en la extracción de aceite en 4 niveles: 30°C, 40°C, 50°C y 60°C. Observó que a mayor temperatura aumenta la cantidad de compuestos volátiles y estableció 50°C como la temperatura adecuada para el método de extracción de compuestos volátiles activos.

9. CONCLUSIONES

La revisión de la información académica disponible sobre la influencia de las variaciones climáticas en el cultivo de la sachá inchi permitió establecer una aproximación del estado del arte, el cual contribuye a comprender las áreas de intervención investigativa y las aristas pendientes para su abordaje. Su reciente emergencia como cultivo comercial y su categorización como especie oleaginosa promisoría explican la escasa bibliografía existente en la producción de conocimiento.

Sachá inchi ha pasado de ser un cultivo tradicional propio de las culturas indígenas de la Amazonia a constituirse en un cultivo con gran potencial comercial por la calidad del aceite (contenidos de Omega 3, 6 y 9), adaptación a climas tropicales y como alternativa de sustitución de cultivos ilícitos en Colombia.

En la revisión de la literatura disponible sobre sachá inchi se evidenció que los estudios relacionados con los procesos agronómicos son escasos, y poco rigurosos, observándose una alta concentración de las investigaciones sobre los procesos inherentes al aceite y sus componentes.

Las variaciones climáticas tienen una significativa repercusión en la germinación de las almendras, en el ciclo vegetativo de la planta, en los procesos de floración y reproducción, en la incidencia de plagas y enfermedades, en las labores de cosecha, almacenamiento, manejo postcosecha y en la calidad del aceite. En cada etapa mencionada las altas temperaturas y los cambios en las precipitaciones afectan negativamente los ciclos de producción, postcosecha y extracción del aceite.

Al incrementarse la temperatura las semillas germinan prematuramente sin la presencia de humedad en el suelo para su desarrollo normal. Las plantas son de escaso crecimiento y poco follaje; observándose caída de las hojas, flores y frutos, y por consiguiente, con merma en la producción de capsulas, en el número de almendras por capsula y en la cantidad y calidad del aceite. En condiciones de sequías intensas los ataques de los nematodos obstaculizan el desarrollo radicular y, en el caso de suelos inundados, durante el período lluvioso, proliferan los hongos fitopatógenos que afectan las raíces, tallos, flores y frutos.

Asimismo, durante el proceso de secado al sol de las almendras, y posterior almacenamiento, las variaciones de las temperaturas, luz y humedad perturban la calidad del aceite por los daños físicos ocasionados a los granos durante el manejo, los ataques de plagas y enfermedades y el enranciamiento del aceite de las semillas oleaginosas. Estos factores afectan la calidad del aceite y la germinación de las semillas dispuestas para la siembra de nuevos lotes.

En el proceso de extracción del aceite los estudios revelan que a mayores temperaturas aumentan los rendimientos del aceite y disminuyen los contenidos de peróxido, yodo y materiales volátiles.

10. RECOMENDACIONES

La revisión de la literatura disponible sobre los procesos agronómicos en la producción de sachá inchi permiten vislumbrar un conjunto de áreas o campos de investigación con alta pertinencia e impacto para fortalecer a los agricultores y empresarios dedicados al cultivo. Entre ellas es posible identificar las siguientes:

- Realizar estudios sobre los efectos de las variables climáticas en cada etapa del ciclo de producción
- Determinar la influencia de las variaciones climáticas en las características físicas y químicas de las semillas en diferentes pisos climáticos.
- Determinar los ecotipos o variedades adaptadas a los pisos altitudinales y climáticos de las zonas con potencial de producción
- Determinar el porcentaje de humedad para el secado óptimo de las almendras
- Caracterizar los niveles tecnológicos de los productores de sachá inchi
- Caracterizar las tecnologías utilizadas para el secado, trillado, almacenamiento y extracción del aceite
- Analizar las percepciones de los agricultores sobre los efectos del cambio climático en la producción de sachá inchi

REFERENCIAS

- Adrianzén, N., Rojas, C. y Linares, G. (2011). Efecto de la temperatura y tiempo de tratamiento térmico de las almendras trituradas de Sachá Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) sobre el rendimiento y las características físico-químicas del aceite obtenido por prensado mecánico en frío. *Agroindustrial Science* 1(2), 46- 55. Doi: <http://dx.doi.org/10.17268/agroind.science.2011.02.01>
- Aguirre, Y. (2013). El desplazamiento de los pisos térmicos y el lenguaje semiótico de las plantas como una expresión de su estrés biológico: dos imaginarios sociales de la población caldense sobre los efectos generados por el cambio climático. *Luna Azul*, 36, 55-69. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/luaz/n36/n36a05.pdf>
- Anteparra, M., Berrios, M., Granados, L. y Díaz, W. (2013). Algunos insectos fitófagos asociados al cultivo de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) en el distrito de Chinchao, Huánuco, Revia, *Investigacion y Amazonia*, 3(1), 1-7. Recuperado de <http://revistas.unas.edu.pe/index.php/revia/article/view/74/59>
- Antonoli, F. y Arfini, F. (2013). Sachá inchi. Investigación sobre las condiciones para el reconocimiento de la indicación geográfica en el Perú. Italia: Università degli Studi di Parma, Centro Universitario per la Cooperazione Italiana - CUCI, Terre des Hommes. Recuperado de file:///C:/Users/Usuario/Downloads/SACHAINCHI_Publicacin20131.pdf
- Arévalo, G. (1996). El cultivo del sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) en la Amazonia, Programa Nacional de Investigación en Recursos Genéticos y Biotecnología, PRONARGEB, Estación Experimental El Porvenir-Tarapot. Informe técnico. Recuperado de <http://www.iiap.org.pe/upload/Publicacion/CDinvestigacion/inia/inia-i5/inia-i5.htm>
- Avellaneda-Torres, L., Torres, E. y León-Sicard, T. (2014). Agricultura y vida en el páramo: una mirada desde la vereda El Bosque (Parque Nacional Natural de Los Nevados). *Cuadernos de Desarrollo Rural*, 11(73), 105-128. Doi:10.11144/Javeriana.CDR11-73.avpm
- Bakri, S., Setiawan, A., & Nurhaida, I. (2018). Coffee bean physical quality: The effect of climate change adaptation behavior of shifting up cultivation area to a higher elevation. *Biodiversitas*, 19(2), 413-420. doi: <https://doi.org/10.13057/biodiv/d190208>
- Čačija, M., Kozina, A., Basrcic, J. I., & Bazok, R. (2017). Linking climate change and insect pest distribution: an example using *Agriotes ustulatus* Shall. (Coleoptera: Elateridae). *Agricultural and Forest Entomology*, 20(2), 131-300. Doi: <https://doi.org/10.1111/afe.12259>
- CALRAM SAC (2008). La Cadena de Valor del sachá inchi en la Región San Martín. Análisis y Recomendaciones. Informe documento de trabajo. Ministerio de Comercio Exterior y Turismo-GTZ

Recuperado de file:///C:/Users/Usuario/Downloads/81208778-Analisis-y-Recomendaciones-de-la-Cadena-de-Valor-de-Sacha-Inchi-en-San-Martin.pdf

- Camargo, C., Pacheco, C. y López, R. (2017). Erosión hídrica, fundamentos, evaluación y representación cartográfica: una revisión con énfasis en el uso de sensores remotos y Sistemas de Información Geográfica. *Revista Gestión y Ambiente* 20(2), 265-280. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6687514>
- Campos, H. (2012). Identificación y estudio de la biología de *Gymnandrosoma aurantianum* Costa Lima- "perforador del fruto de sacha inchi" (*Pukenetia volubilis* L.) en Tingo María (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional Agraria de la Selva, Perú. Recuperado de <https://agronomia.unas.edu.pe/sites/default/files/AGR-591.pdf>
- Candelaria-Martínez, B., Ruiz-Rosado, O., Pérez-Hernández, P., Gallardo-López, F., Vargas-Villasmil, L., Martínez-Becerra, A. y Flota-Bañuelos, C. (2014). Sustentabilidad de los agroecosistemas de la microcuenca Paso de Ovejas 1, Veracruz, México. *Cuadernos de Desarrollo Rural*, 11(73), 87-104. Doi: <https://doi.org/10.11144/Javeriana.CDR11-73.sdsm>
- Cardoso, A., et al. (2015). Factores ambientales sobre la germinación de semillas, la supervivencia de las plántulas y el crecimiento inicial de sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.). *J. Seed Sci.* 37(2), 111-116. Doi: <https://doi.org/10.1590/2317-1545v37n2145054>
- CORPONOR-UFPS (2018). Documentos de lineamientos técnicos para la gestión del cambio climático y un desarrollo bajo en carbono y resiliente al clima. Disponible en: file:///F:/PROYECTO%20SACHA%20INCHI/lieamientos%20tecnicos%20cc-%20corponor-%20ufps.pdf
- Cortez, A., Rodríguez, M., Rey, J., Lobo, D., Parra, R., Ovalles, F. et al. (2011). Análisis de la agresividad y concentración de las precipitaciones en Venezuela. II. Región Noroccidental. *Revista Bioagro*, 23(1), 13-18. Recuperado de .
- D'Agostino, A. & Schlenker, W. (2016). Recent weather fluctuations and agricultural yields: implications for climate change. *Agricultural Economics*, 47(1), 159-172. Doi: <https://doi.org/10.1111/agec.12315>
- Daza, D. (2019). Fortalecimiento de las estrategias de pos cosecha en el cultivo de sacha inchi, de la Asociación ASOPROAGRO en el municipio de San José (Guaviare) (Tesis de Licenciatura). Universidad Santo Tomás, Colombia. Recuperado de <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/18322/2019divadaza?sequence=11&isallowed=y>
- Deis, L., Rosas, M., Malovini, E., Cavagnaro, M. y Cavagnaro, J. (2015). Impacto del cambio climático en Mendoza. Variación climática en los últimos 50 años. Mirada desde la fisiología de la vid. *Revista FCA UNCUYO*, 47(1), 67-92. Recuperado de <http://www.contingencias.mendoza.gov.ar/web1/pdf/Deis%20et%20al.%202015.pdf>
- Fanzo, J., Davis, C., McLaren, R. & Choufanic, J. (2018). The effect of climate change across food systems: Implications for nutrition outcomes. *Global Food Security*, 18, 12-19. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2018.06.001>
- Filipe Dos Santos, C. et al. (2015). Perspectives on the potential impacts of climate changes on coffee plant and bean quality. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 27(2), 152-163. Doi: 10.9755 / ejfa.v27i2.19468
- Galindo, L., Villegas, G., Mantilla, G., Gilligan, T. y Florez, R. (2013). Lepidópteros perforadores de los frutos del café . *Revista Apuntes Técnicos de Cenicafe*, 434. Recuperado de <http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/471/1/avt0434.pdf>
- Gentes, Z. (29 de febrero de 2020). Las semillas ofrecen un nivel de resistencia a los efectos nocivos del cambio climático en los ecosistemas de todo el mundo. *Sociedad Ecológica de América, Mundo agropecuario. Sembrando el desarrollo*. Recuperado de <https://mundoagropecuario.com/semillas-en-el-tibet-enfrentan-impactos-del-cambio-climatico/>
- Germanwatch y Munich Re NatCatSERVICE (2020). El cambio climático, en datos y gráficos. Recuperado de <https://www.epdata.es/datos/cambio-climatico-datos-graficos/447>
- Gourdji, S., Mesa-Diez, J., Obando-Bonilla, D., Navarro-Racines, C., Moreno, P., Fisher, M., Prager, S. & Ramirez-Villegas, J. (2016). Simulated Near-term Climate Change Impacts on Major Crops across Latin America and the Caribbean. *American Geophysical Union, Fall General Assembly*, abstract id. GC53F-06. Recuperado de <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2016AGUFMGC53F..06G/abstract>

- Gourdji, S., Sibley, A. & Lobell, D. (2013). Global crop exposure to critical high temperatures in the reproductive period: historical trends and future projections. *Environmental Research Letters*, 8(2), 1-10. Doi: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/2/024041>
- Gram, G. et al. (2018). Local tree knowledge can fast-track agroforestry recommendations for coffee smallholders along a climate gradient in Mount Elgon, Uganda. *Agroforestry Systems*, 92(6), 1625-1638. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10457-017-0111-8>
- Gutiérrez, L., Rosada, L. y Jiménez, A. (2011). Composición química de las semillas de "Sacha Inchi" (*Plukenetia volubilis* L) y características de su fracción lipídica, *Revista Grasas y aceites*, 62(1), 76-83. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3404093>
- Harvey, C., Saborio-Rodríguez, M., Martínez-Rodríguez, M., Viguera, B., Chain-Guadarrama, A., Vignola, R., & Alpizar, F. (2018). Climate change impacts and adaptation among smallholder farmers in Central America. *Agriculture and Food Security*, 7(1), 57. Doi: <https://doi.org/10.1186/s40066-018-0209-x>
- Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA, 1999). Tecnología Post-cosecha. Recuperado de <http://www4.congreso.gob.pe/comisiones/1999/ciencia/cd/inia/inia-i5/inia-i5-05.htm>
- IPCC, 2013: Glosario [Planton, S. (ed.)]. En: Cambio Climático. (2013). Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex y P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos de América.
- Jaradat, A. (2016). Breeding Oilseed Crops for Sustainable Production: Opportunities and Constraints. Chapter 18- Breeding Oilseed Crops for Climate Change, 421-472. Edited by: Surinder Kumar Gupta. Doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801309-0.00018-5>
- Kgosikoma, K., Lekota, P. & Kgosikoma, O. (2018). Agropastoralists' determinants of adaptation to climate change. *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, 10(3), 488-500. Doi: <https://doi.org/10.1108/IJCCSM-02-2017-0039>
- Kodahl, N. (2020). Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.)-from lost crop of the Incas to part of the solution to global challenges? *Planta* 251(4), 80. Doi: [10.1007/s00425-020-03377-3](https://doi.org/10.1007/s00425-020-03377-3)
- Lachaud, M., Bravo-Ureta, B. & Ludena, C. (2017). Agricultural productivity in Latin America and the Caribbean in the presence of unobserved heterogeneity and climatic effects. *Climatic Change*, 143, 445-460. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10584-017-2013-1>
- Lopez, H., West, R., Dong, S., Goni, G., Kirtman, B., Lee, S. & Atlas, R. (2018). Early emergence of anthropogenically forced heat waves in the western United States and Great Lakes. *Nature Climate Change*, 8, 414-420. Doi: <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0116-y>
- Manco, E. (2006). Situación y avances del cultivo de sachá inchi en el Perú. Informe técnico. Instituto Nacional de Investigación y Extensión. Ministerio de Agricultura. Recuperado de: <http://www.incainchi.es/pdf/1358.pdf>
- Martínez, A. (2011). Mapeo tecnológico de sachá inchi. Evaluación de alternativas tecnológicas a fin de aumentar el valor agregado de los productos de la Cadena de Valor. Informe técnico. Recuperado de http://repositorio.promperu.gob.pe/bitstream/handle/123456789/1067/Mapeo_tecnologico_Sacha_inchi_2011_keyword_principal.PDF?sequence=1&isAllowed=y
- Met Office (2021). Predicción de la temperatura global para 2021 por la Met Office. Recuperado de <https://www.tiempo.com/ram/prediccion-de-la-temperatura-global-para-2021-por-la-met-office.html>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MINAGRICULTURA, 2018). Cadena de Sachá Inchi, indicadores e instrumentos. Cadenas Agrícolas y forestales. Informe técnico. Recuperado de https://www.minagricultura.gov.co/planeacion-control-gestion/Gestin/INFORMES_RENDICION_DE_CUENTAS/Rendicion%20de_Cuenta_Informe_2017_2018.pdf
- Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS, 2014). ABC: adaptación bases conceptuales marco conceptual y lineamientos del plan nacional de adaptación al cambio climático, Colombia: MADS. Informe técnico. Recuperado de from:.

- Misra, V. (2009). The amplification of the ENSO forcing over equatorial Amazon. *Journal of Hydrometeorology*, 10(6), 1561-1568. Doi: <https://doi.org/10.1175/2009JHM1108.1>
- Monroy, L., et al. (2019). Caracterización de los compuestos de aroma del aceite de sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) por HS-SPME-GC-MS-O. *Rev.Colomb.Quim.* 48(3), 45-50. Doi: <http://dx.doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v48n3.78979>
- Moreira, S., Pires, C., Marcatti, G., Santos, R., Imbuzeiro, H. & Fernandes, R. (2018). Intercropping of coffee with the palm tree, macauba, can mitigate climate change effects. *Agricultural and Forest Meteorology*, 256-257(15), 379-390. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.03.026>
- Muñoz, M. (2019). De la coca al sacha inchi (*plukenetia volubilis* l.): el surgimiento de un proceso autónomo, gestado por productores de coca, durante el período 2010-2017, en Puerto Caicedo, Putumayo, Colombia (Tesis de Licenciatura). Universidad Javeriana de Colombia. Recuperado de https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/43267/DE%20LA%20COCA%20AL%20SACHA%20INCHI_PUERTO%20CAICEDO_PUTUMAYO%202010-2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Nendel, C., Rötter, R., Thorburn, P., Boote, K. & Ewert, F. (2018), Introduction to the Special Issue “Modelling cropping systems under climate variability and change: impacts, risk and adaptation”. *Agricultural Systems*. 159, 139-143. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.11.005>.
- Nendel, C., Rotter, R., Thorburn, P., Boote, K. & Ewert, F. (2019). Modelling cropping systems under climate variability and change: impacts, risk and adaptation. *Agricultural systems*, 159, 139-143. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/journal/agricultural-systems/special-issue/10KMQXWS77N>
- Nusselder, H. y Cloesen, P. (s.f). El cultivo de semillas nobles: ¿sacha inchi de la amazonia a la cuenca caribeña?(cap.5). Recuperado de: https://www.academia.edu/23957186/El_cultivo_de_semillas_nobles_Sacha_inchi_de_la_Amazonia_a_la_Cuenca_Caribe%C3%B1a
- Olayide, E. & Alabi, T. (2018). Between rainfall and food poverty: Assessing vulnerability to climate change in an agricultural economy. *Journal of Cleaner Production*, 198, 1-10. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.221>
- Pardo, E., Baldovino, W. y Oviedo, L. (2018). Floración y fructificación de *Plukenetia volubilis* bajo variables orgánicas y climáticas en San Isidro, Montería, Córdoba Colombia, Bistua, *Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, 16(2), 18-28. Recuperado de http://revistas.unipamplona.edu.co/ojs_viceinves/index.php/BISTUA/article/view/2991/1602
- Paredes, F. y Guevara, E. (2010). Desarrollo y evaluación de un modelo para predecir sequías meteorológicas en los llanos de Venezuela. *Revista Bioagro*, 22(1), 3-10. Recuperado de . ISSN 1316-3361.
- Peltonen-Sainio, P. et al. (2016). Spatial and temporal variation in weather events critical for boreal agriculture: I Elevated temperatures. *Agricultural and Food Science*, 25(1), 44-56. Doi: 10.23986 / afsci.51465
- Peña, E. y Cancelado, G. (2018). Evaluación de los procesos agronómicos de dos sistemas productivos del cultivo de sacha inchi (*plukenetia volubilis* L) como especies promisorias en clima medio y cálido en los municipios de San Pablo de Borbur y Briceño (Boyacá, Colombia) (Tesis de Licenciatura) Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD, Chiquinquirá. Recuperado de <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/28177/52798325.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Revista Dinero (21-02-2019). La planta que le quita terreno a la coca en Colombia. Recuperado de <https://www.dinero.com/edicion-impresa/negocios/articulo/la-planta-que-puede-competir-en-rentabilidad-con-la-coca/267323>
- Sada, R., Sherestha, A., Kumar, A. & Melsen, L.A. (2014). People's experience and facts of changing climate: impacts and responses. *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, 6(1), 47-62. Doi: <https://doi.org/10.1108/IJCCSM-04-2013-0047>
- Salazar, G. e Hincapié, G. (2010). Manejo de suelos y aguas para la prevención y mitigación de deslizamientos en fincas cafeteras. *CENICAFE, Avances Técnicos*, 401, 8. Recuperado de <https://www.cenicafe.org/es/publications/avt0401.pdf>

- Sánchez, V. (2008). Influencia de la temperatura y empaque en la calidad de aceite de Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) en capsula y semillas, ecotipo apangura de la provincia de Lamas durante almacenamiento (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional San Martín, Perú. Recuperado de <http://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/2204>
- Santillán, L. (2018). Producción y rentabilidad del cultivo de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) en la región Piura (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional Agraria la Molina, Perú. Recuperado de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/3242/santillan-garcia-luis-dario.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Silva, Z., et al. (2016). Temperatura y sustrato en *Plukenetia volubilis* L. Germinación de semillas. *Rev. bras. eng. agrícola ambiente*, 20(11), 1031-1035. Doi: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n11p1031-1035>
- Silveira, H., et al. (2016). Impacts of water deficit in ecophysiological and spectral responses of coffee intercropped with woody species. *Coffee Science*, 11(3), 318-328. Doi: <http://dx.doi.org/10.25186/cs.v11i3.1085>
- Sun, T., Hasegawa, T., Tang, L., Wang, W., Zhou, J., Liu, L., Liu, B., Cao, W. & Zhu, Y. (2018). Stage-dependent temperature sensitivity function predicts seed-setting rates under short-term extreme heat stress in rice. *Agricultural and Forest Meteorology*, 256-257(5), 196-206. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.03.006>
- Wangyel, S., Lee W. & Son, Y. (2017). An assessment of climate change impacts and adaptation in South Asian agriculture, *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, 9 (4), 517-534. Doi: <https://doi.org/10.1108/IJCCSM-05-2016-0069>
- Ziska, L., Bradley, B., Wallace, R., Barger, C., LaForest, J., Choudhury, R., Garrey, K. & Vega, F. (2018). Climate change, carbon dioxide, and pest biology, managing the future: Coffee as a case study. *Agronomy*, 8(8), 152. Doi: <https://doi.org/10.3390/agronomy8080152>