AGROSAVIA EDITORIAL

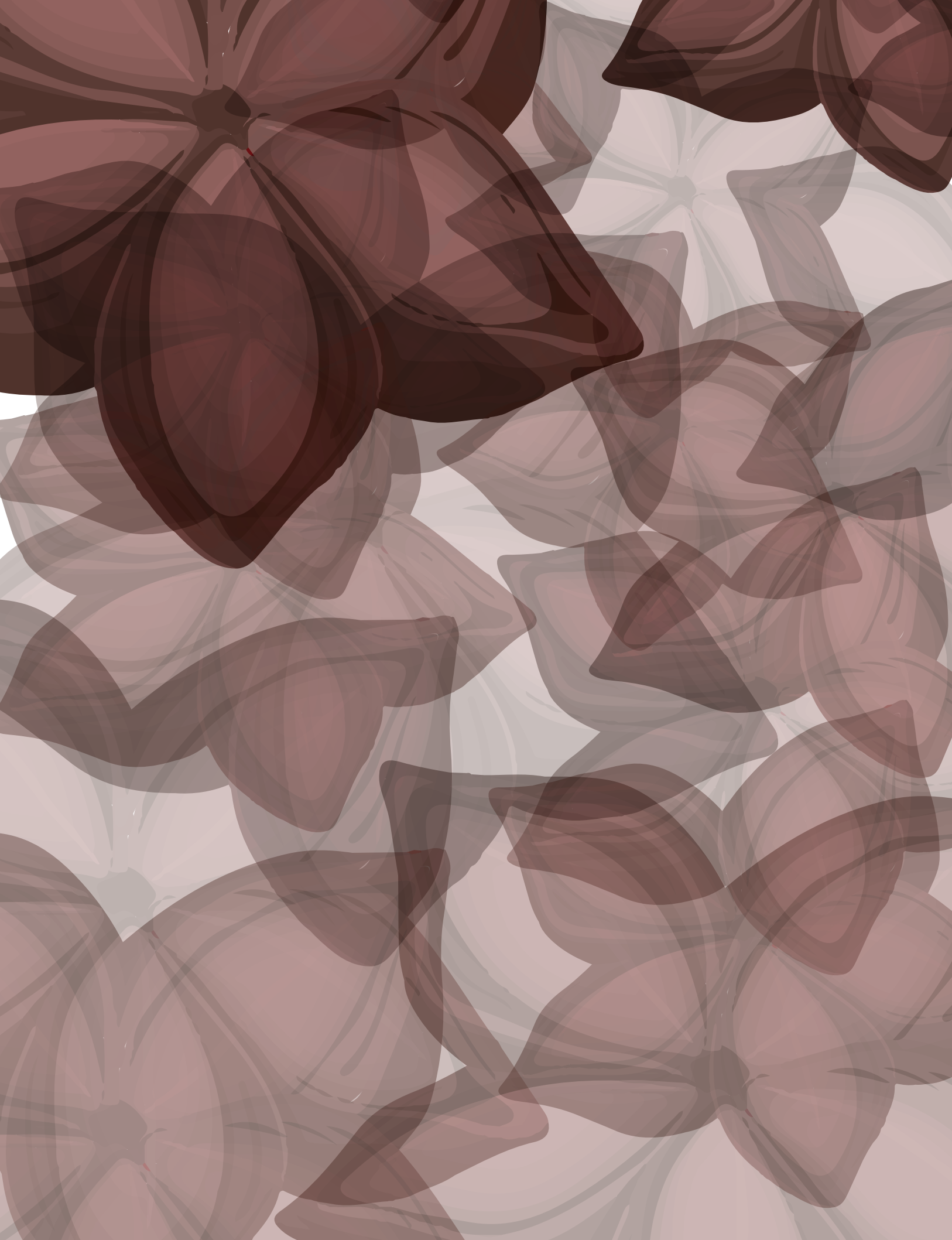
Agricultura

Modelo productivo para el cultivo de sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.)

en el Piedemonte de la Orinoquia colombiana

Autores

Olga María Castro Navarro
Gina Marcela Amado Saavedra
Salvador Rojas González
Adriana María Molina Romero
Natalia Flórez Tuta
Jenifer Criollo Núñez
Jaime Alberto Marín Colorado
Yeisson Gutiérrez López
Juan Carlos Campos Pinzón
Jhon Alexander Rincón Reina
Maribel Tarazona Yanes
Hebert Camargo Tamayo
Manuel Eduardo Ostos Triana
Magda Lucía Sierra Moreno



Modelo productivo para el cultivo de

sacha inchi
(*Plukenetia volubilis* L.)

en el piedemonte de la Orinoquia colombiana

Autores

Olga María Castro Navarro
Gina Marcela Amado Saavedra
Salvador Rojas González
Adriana María Molina Romero
Natalia Flórez Tuta
Jenifer Criollo Núñez
Jaime Alberto Marín Colorado
Yeisson Gutiérrez López
Juan Carlos Campos Pinzón
Jhon Alexander Rincón Reina
Maribel Tarazona Yanes
Hebert Camargo Tamayo
Manuel Eduardo Ostos Triana
Magda Lucía Sierra Moreno

AGROSAVIA
EDITORIAL

AGROSAVIA
Corporación colombiana de investigación agropecuaria

Catalogación en la publicación – Biblioteca Agropecuaria de Colombia

Modelo productivo para el cultivo de sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) en el piedemonte de la Orinoquia Colombiana. / Olga María Castro Navarro et al. – Mosquera, (Colombia): Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria- AGROSAVIA, 2025.

204 páginas (Colección Prácticas Agropecuarias)
Incluye referencias bibliográficas, ilustraciones y gráficos.
ISBN e-Book: 978-958-740-809-6

1. Sistema productivo 2. Fenología 3. Requerimientos edafoclimáticos 4. Recurso genético 5. Limitantes fitosanitarias 6. Cosecha, poscosecha y transformación 7. Costos de producción

Palabras clave normalizadas según Tesauro Multilingüe de Agricultura (Agrovoc)

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA

Sede Central AGROSAVIA y Centro de Investigación Tibaitatá. Kilómetro 14, vía Mosquera-Bogotá, Cundinamarca. Código postal 250047, Colombia.
Centro de Investigación La Libertad. Kilómetro 17, vía Puerto López, Meta. Código postal 502008, Colombia.
Centro de Investigación Nataima. Kilómetro 9, vía Espinal-Chicoral, Tolima. Código postal 733520, Colombia.

Esta publicación es el resultado del proyecto "Desarrollo de estrategias tecnológicas para mejorar la productividad y competitividad del sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) en el municipio de Vista Hermosa (Meta)". ID 1001390, financiado por transferencia del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR).

Colección: Prácticas Agropecuarias
Tipología: Modelo productivo

Fecha de recepción: 10 de noviembre de 2023
Fecha de evaluación: 14 febrero de 2024
Fecha de aceptación: 20 de septiembre de 2023

Preparación editorial

Editorial AGROSAVIA
editorial@agrosavia.co

Dirección editorial: Astrid Verónica Bermúdez Díaz
Edición: Liliana Gaona García
Corrección de estilo: Andrés Castillo Brieva
Diseño: Mónica Cabiativa Daza
Diagramación: Diego Abello

Citación sugerida: Castro Navarro, O. M., Amado Saavedra, G. M., Rojas González, S., Molina Romero, A. M., Flórez Tuta, N., Criollo Núñez, J., Marín Colorado, J. A., Gutiérrez López, Y., Campos Pinzón, J. C., Rincón Reina, J. A., Tarazona Yanes, M., Camargo Tamayo, H., Ostos Triana, M. E., & Sierra Moreno, M. L. (2024). *Modelo productivo para el cultivo de sacha inchi (Plukenetia volubilis L.) en el piedemonte de la Orinoquia colombiana*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA. https://doi.org/10.21930/agrosavia.model.7408096

Cláusula de responsabilidad: AGROSAVIA no es responsable de las opiniones e información recogidas en el presente texto. Los autores asumen de manera exclusiva y plena toda responsabilidad sobre su contenido, ya sea este propio o de terceros, declarando en este último supuesto que cuentan con la debida autorización de terceros para su publicación; igualmente, declaran que no existe conflicto de interés alguno en relación con los resultados de la investigación propiedad de tales terceros. En consecuencia, los autores serán responsables civil, administrativa o penalmente, frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros relativa a los derechos de autor u otros derechos que se hubieran vulnerado como resultado de su contribución.

Línea de atención al cliente: 018000121515
atencionalcliente@agrosavia.co
www.agrosavia.co

https://co.creativecommons.org/?page_id=13

Contenido

13 Los autores

21 Presentación

23 Introducción

CAPÍTULO I. Descripción botánica, taxonomía y fenología del sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) 27

Clasificación taxonómica, origen y distribución 27

Descripción botánica del sacha inchi (*P. volubilis*) 30

CAPÍTULO II. Valor nutricional y usos del sacha inchi 37

Introducción 37

Composición bioquímica del fruto 38

Composición del aceite de sacha inchi y descriptores funcionales del aceite 39

Beneficios del consumo de sacha inchi 42

CAPÍTULO III. Recurso genético y propagación del sacha inchi 45

Recursos genéticos 46

Selección de materiales promisorios de sacha inchi 47

Métodos de propagación 49

CAPÍTULO IV. Requerimientos edafoclimáticos del sacha inchi..... 53

Requerimientos edáficos 54

Requerimientos climáticos 55

Influencia de las variables climáticas en el cultivo. 58

El cultivo de sacha inchi y la salud del suelo 59

CAPÍTULO V. El cultivo de sacha inchi 63

Arreglos de cultivo 64

Sistemas de siembra 66

Preparación del terreno. 72

Labores de mantenimiento del cultivo 82

Cosecha 86

CAPÍTULO VI. Recomendaciones de cosecha, poscosecha y transformación del sacha inchi 91

Recomendaciones para la cosecha del sacha inchi 91

Recomendaciones para la poscosecha. 92

Opciones agroindustriales de transformación de la almendra 94

Estudio de caso: manejo de cosecha, poscosecha y caracterización del sacha inchi producido en Vista Hermosa, Meta 101

CAPÍTULO VII. Limitantes fitosanitarios en el cultivo de sacha inchi: insectos, ácaros y enfermedades comunes 109

Insectos fitófagos 110

Ácaros 126

Enemigos naturales de las plagas presentes en el cultivo 128

Nematodos 133

Hongos fitopatógenos 138

CAPÍTULO VIII. Costos de producción 143

Inversión inicial 144

Costos de establecimiento 144

Costos de mantenimiento 146

CAPÍTULO IX. Contexto nacional 151

CAPÍTULO X. Perspectivas del sacha inchi en Colombia 165

Plan de acción de la Mesa Nacional Sachainchera y el MADR. 166

Agenda Dinámica Nacional de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación Agropecuaria (Agenda I+D+i) 176

Recomendaciones 180

183 Agradecimientos

185 Referencias

Lista de figuras

Figura 1	Flores masculinas o estaminadas de *P. volubilis*	31
Figura 2	Flores femeninas o pistiladas de *P. volubilis*	31
Figura 3	Frutos y semillas de *P. volubilis*	32
Figura 4	Racimos florales de *P. volubilis* en distintas etapas de desarrollo	34
Figura 5	Estados de desarrollo del fruto en un periodo de 90 días, desde el inicio de la floración, a los 6 meses, hasta la primera cosecha, a los 9 meses	35
Figura 6	Flujograma de recursos genéticos, caracterización morfológica y molecular, para selección de materiales élite con el fin de establecer un programa de mejoramiento genético de sacha inchi en Colombia	51
Figura 7	Sacha inchi en sistema de monocultivo en finca productora de Cubarral, Meta	64
Figura 8	Arreglo agroforestal: cultivo de sacha inchi (1), cacay (2), asaí (3), caucho (4), cacao (5) C. I. La Libertad, AGROSAVIA	65
Figura 9	Fruto maduro y semillas de sacha inchi	67
Figura 10	Plántulas de sacha inchi en lote experimental del C. I. La Libertad	68
Figura 11	Etapa de germinación de semillas de sacha inchi	69
Figura 12	Preparación de sustrato y embolsado.	70
Figura 13	Trasplante de plántulas de sacha inchi a bolsa	71
Figura 14	Proceso de toma de muestra de suelo para análisis químico, antes del establecimiento del cultivo	73
Figura 15	Medición de la resistencia a la penetración para determinar compactación del suelo	74

Figura 16 Toma de muestras de anillos para determinar la densidad y porosidad del suelo 75

Figura 17 Terreno preparado mediante mecanización, C. I. La Libertad 76

Figura 18 Encalado manual del lote por franjas, C. I. La Libertad 77

Figura 19 Trazado del lote para la siembra de sacha inchi, C. I. La Libertad 78

Figura 20 Sistema de tutorado para el cultivo de sacha inchi 79

Figura 21 Plántulas de sacha inchi con emisión de zarcillo en vivero 80

Figura 22 Siembra de plántulas de sacha inchi en sitio definitivo 81

Figura 23 Manejo de podas en cultivo de sacha inchi 83

Figura 24 Manejo de arvenses en el cultivo de sacha inchi 84

Figura 25 Fertilización en el cultivo de sacha inchi 86

Figura 26 Color de fruto de sacha inchi en estado inmaduro (verde), y maduro (café) apto para cosechar 87

Figura 27 Cosecha de sacha inchi, C. I La Libertad, AGROSAVIA 88

Figura 28 Frutos de sacha inchi empacados en costales de fibra natural 89

Figura 29 Flujograma del proceso para la obtención de almendra 95

Figura 30 Flujograma del proceso para la obtención de aceite de semilla de sacha inchi 97

Figura 31 Flujograma del proceso para la obtención de *snacks* de sacha inchi 99

Figura 32 Esquema del estudio de tiempos y movimientos de las actividades asociadas a la cosecha de sacha inchi en dos fincas de Vista Hermosa, Meta 102

Figura 33 Crisomélidos fitófagos en el cultivo de sacha inchi 111

Figura 34 Daño ocasionado por crisomélidos en planta de sacha inchi 111

Figura 35 Chinches fitófagos en el cultivo de sacha inchi 113

Figura 36 *Halysidota* spp. en sacha inchi 115

Figura 37 Tortricidae en sacha inchi 115

Figura 38 Larva de *Hylesia* spp. en hoja de sacha inchi 116

Figura 39 Adulto de *Anartia jatrophae* en sacha inchi 117

Figura 40 *Atta* spp. en sacha inchi 119

Figura 41 Hormigas de interés potencial en sacha inchi 121

Figura 42 *C. hesperidium* en hojas de sacha inchi 122

Figura 43 *Neosilba* sp. en sacha inchi 124

Figura 44 Adulto de grillo topo 125

Figura 45 Adulto de arañita roja en sacha inchi 127

Figura 46 Chinches predadores de la familia Reduviidae en sacha inchi 128

Figura 47 Avispas predadoras en sacha inchi 129

Figura 48 Adultos del orden Neuroptera, predadores en cultivos de sacha inchi 130

Figura 49 Larva de *Azya* spp. (Coleoptera: Coccinellidae) en tallo de sacha inchi 130

Figura 50 Arañas predadoras en sacha inchi 131

Figura 51 Parasitoides encontrados en cultivo de sacha inchi 132

Figura 52 Entomopatógenos en cultivo de sacha inchi 132

Figura 53 Nudos de *Meloidogyne* spp. en raíces de sacha inchi, en cultivo de Vista Hermosa, Meta 135

Figura 54 Nematodos fitoparásitos asociados a los cultivos de sacha inchi de Vista Hermosa (Meta) 136

Figura 55 Paso final de filtrado en columna de tamices del método de decantación para la extracción de nematodos 136

Figura 56 Síntomas de *Fusarium* spp. en sacha inchi 139

Figura 57 Oidiosis en frutos maduros 140

Figura 58 Lesiones de *Colletotrichum* sp. en tallos de sacha inchi 141

Figura 59 Participación de costos de establecimiento en vivero versus siembra directa 146

Figura 60 Participación de costos de mantenimiento con vivero y siembra directa 147

Figura 61 Dinámica nacional de área sembrada y producción de sacha inchi en Colombia (2016-2022) 152

Figura 62 Cantidades (kilos) exportadas de la partida "Las demás semillas y frutos oleaginosas, incluso quebrantadas" 161

Figura 63 Número de demandas de investigación a nivel nacional y de la región de la Orinoquia 177

Lista de tablas

Tabla 1	Clasificación del género *Plukenetia*	29
Tabla 2	Duración de las fases fenológicas del sacha inchi (*P. volubilis*) según el tipo de siembra	33
Tabla 3	Composición proximal de la semilla de sacha inchi	39
Tabla 4	Perfil de ácidos grasos de aceites de sacha inchi, oliva y pescado	41
Tabla 5	Características de las tres localidades seleccionadas	103
Tabla 6	Análisis fisicoquímico de la estrella en tres localidades de Vista Hermosa, Meta	104
Tabla 7	Caracterización fisicoquímica y funcional del aceite de sacha inchi de tres fincas de Vista Hermosa, Meta	106
Tabla 8	Información básica de la plantación	143
Tabla 9	Inversiones iniciales	144
Tabla 10	Costos de establecimiento con vivero versus en siembra directa	145
Tabla 11	Costos de mantenimiento promedio con vivero y siembra directa	146
Tabla 12	Valor residual de los equipos, herramientas e instalaciones en año 4	148
Tabla 13	Flujo de caja neto (FCN) con vivero	148
Tabla 14	Flujo de caja neto (FCN) en siembra directa	148
Tabla 15	Indicadores financieros con vivero versus siembra directa	149
Tabla 16	Top 10 de área sembrada (ha) con sacha inchi en Colombia	153
Tabla 17	Top 10 de área cosechada (ha) de sacha inchi en Colombia	154

Tabla 18 Top 10 de producción (toneladas) de sacha inchi en Colombia 155

Tabla 19 Top 10 de promedio de rendimiento (toneladas/hectárea) de sacha inchi en Colombia 156

Tabla 20 Área, producción y rendimiento nacional de sacha inchi, 2016-2022* 157

Tabla 21 Área, producción y rendimiento departamental de sacha inchi, 2019-2022 158

Tabla 22 Mejora de productividad y competitividad 167

Tabla 23 Desarrollo del mercado de bienes y factores de la cadena 169

Tabla 24 Disminución de los costos de transacción entre los diferentes agentes de la cadena 170

Tabla 25 Desarrollo de alianzas estratégicas de diferente tipo 171

Tabla 26 Mejora de información entre agentes de la cadena 172

Tabla 27 Vinculación de pequeños productores y empresarios a la cadena 172

Tabla 28 Manejo de recursos naturales y medio ambiente 173

Tabla 29 Formación de recursos humanos 174

Tabla 30 Investigación y desarrollo tecnológico 175

Los autores

Olga María Castro Navarro
Correo: omcastro@agrosavia.co
Orcid: https://orcid.org/0000-0002-0153-8190

Ingeniera agrónoma, MSc en Ciencias Agrarias con énfasis en Fitopatología de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia. Cuenta con experiencia en la formulación y dirección de proyectos de investigación en cultivos de palma de aceite, caucho y sacha inchi. Su área de trabajo se ha enfocado en el diagnóstico, epidemiología y manejo integrado de sistemas productivos. Actualmente está vinculada como investigadora máster a la Red de Innovación de Cultivos Permanentes y participa en varios proyectos de la Red de Frutales de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA.

Gina Marcela Amado Saavedra
Correo: gamado@agrosavia.co
Orcid: https://orcid.org/0000-0002-9200-912X

Ingeniera forestal y especialista en Sistemas de Información Geográfica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y magíster en Geografía de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC). Con experiencia en zonificación productiva, planificación territorial y gestión de la innovación, ha participado en la estructuración y ejecución de proyectos de investigación en especies forestales nativas e introducidas, sistemas silvopastoriles y agroforestales de trópico alto y colinas bajas, y ha liderado procesos de gestión de conocimiento y vinculación tecnológica. Actualmente está vinculada como investigadora máster a la Red de Innovación de Cultivos Permanentes de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA.

Salvador Rojas González
Correo: srojas@agrosavia.co
Orcid: https://orcid.org/0000-0002-0765-3587

Investigador PhD en el área de recursos genéticos y biotecnología, experiencia en procesos de domesticación de productos forestales no maderables (PFNM) y su uso en sistemas agroforestales con especies comerciales de caucho y cacao. Ha trabajado en las regiones de la Amazonia intervenida, piedemonte y bosques de galería de la Orinoquia, así como en otras áreas de trópico húmedo.

Adriana María Molina Romero
Correo: amolinar@agrosavia.co
Orcid: https://orcid.org/0000-0001-8975-0454

Economista con maestría en Economía de la Pontificia Universidad Javeriana, Colombia. Desde 2016 está vinculada a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA, en el Centro de Investigación La Libertad, Villavicencio, Meta, donde se ha desempeñado como investigadora máster adscrita a la Red de Transitorios y Agroindustriales. Ha realizado trabajos en investigación de análisis económicos y financieros, estudios de mercado, caracterizaciones y tipificaciones de sistemas productivos, evaluaciones *ex ante*, *ex post* y de impactos socioeconómicos para ganadería, cultivos transitorios, permanentes y frutales. Adicionalmente, brinda apoyo en la construcción de costos de producción para los proyectos de diferentes sistemas productivos que maneja el Centro de Investigación La Libertad.

Natalia Flórez Tuta
Correo: nflorez@agrosavia.co
Orcid: https://orcid.org/0000-0001-8831-7595

Ingeniera Agrícola de la Universidad Nacional de Colombia, magíster en Ingeniería Agrícola con énfasis en Manejo de Recursos Hídricos y del Suelo de la Universidad Estadual de Campinas (Brasil). Actualmente, es investigadora máster de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), con el rol de gestora de innovación de la Red de Cultivos Permanentes. Sus temas de interés y experiencia son manejo de recursos hídricos, metodologías para identificación de estilos de aprendizaje aplicables al sector agropecuario colombiano y gestión de la innovación. Ha liderado procesos de gestión del conocimiento con énfasis en la planificación territorial, promoción de la articulación y dinamización de actores del Sistema Nacional de Innovación Agropecuaria (SNIA), y gestión de alianzas nacionales e internacionales para el desarrollo de la Agenda de Investigación.

Jenifer Criollo Núñez
Correo: jcriollo@agrosavia.co
Orcid: https://orcid.org/0000-0002-1623-4966

Ingeniera de alimentos con maestría en Ciencias Agroalimentarias y candidata a doctor en Ingeniería de Alimentos. Catorce años de experiencia en la formulación y ejecución de proyectos de investigación en el área agroindustrial, donde ha abordado temas en el manejo de cosecha, poscosecha, beneficio y transformación de frutos como mango, aguacate, sacha inchi, copoazú y cacao, con desarrollo y aplicación de estrategias biotecnológicas, de iniciadores promotores de fermentaciones líquidas y semisólidas, e hidrólisis enzimática en alimentos. Actualmente está vinculada como investigadora máster al Centro de Investigación Nataima y a la Red de Innovación de Cacao de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA.

Jaime Alberto Marín Colorado
Correo: jamarin@agrosavia.co
Orcid: https://orcid.org/0000-0001-5628-4637

Biólogo de la Universidad del Tolima, con maestría en Ciencias Agrarias (Fitomejoramiento) de la Universidad Nacional, y doctorado en Ciencias (Biología) de la Universidad del Valle, Colombia. Desde 2020 está vinculado a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA, en el Centro de Investigación Nataima, en Espinal, Tolima. Durante toda su experiencia se ha desempeñado en las áreas de trabajo de genética molecular, estudios de diversidad genética, mapeo genético, análisis de loci de rasgos cuantitativos (QTL), selección asistida con marcadores moleculares (MAS) y estudios de genómica, transcriptómica y proteómica.

Yeisson Gutiérrez López
Correo: ygutierrezl@agrosavia.co
Orcid: https://orcid.org/0000-0002-0166-2933

Investigador PhD de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA, Centro de Investigación La Libertad. Biólogo de la Universidad de Caldas, con maestría en Entomología y doctorado en Ciencias Naturales. Tiene experiencia en la formulación y desarrollo de proyectos de investigación en las áreas de entomología y ecología, y experticia en análisis estadísticos. Ha desarrollado diversos estudios en ecofisiología de insectos, ecotoxicología y efectos subletales de pesticidas, bioinformática (proteómica y lipidómica), morfología interna de insectos, cría de insectos para bioensayos y sistemática de insectos terrestres y acuáticos.

Juan Carlos Campos Pinzón
Correo: jcampos@agrosavia.co
Orcid: https://orcid.org/0000-0002-2506-5594

Ingeniero agroforestal de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD). Profesional de apoyo a la investigación de la Red de Cultivos Permanentes de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA en el Centro de Investigación La Libertad. Cuenta con conocimientos y experiencia en cría de insectos y ácaros en laboratorio, manejo integrado de plagas en cultivos de frutales tropicales, permanentes y transitorios con énfasis en control biológico y desarrollo de métodos de manejo integrado de plagas (MIP) sostenible. Realiza actividades para el desarrollo de los proyectos de investigación relacionados con MIP y control biológico.

Jhon Alexander Rincón Reina
Correo: jarincon@agrosavia.co
Orcid: https://orcid.org/0000-0002-2559-658X

Ingeniero agroindustrial egresado de la Universidad de los Llanos en 2019, en la ciudad de Villavicencio, Colombia. Enfocado en la investigación y desarrollo de proyectos de valorización de productos y subproductos, adscrito a la Red de Frutales de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA, e integrante del grupo de investigación Innovación Tecnológica de Procesos Agroindustriales para el Desarrollo Rural. Ha apoyado proyectos centrados en alternativas agroindustriales de las cadenas de cacao, marañón, plátano, yuca y sacha inchi.

Maribel Tarazona Yanes
Correo: mtarazona@agrosavia.co
Orcid: https://orcid.org/0000-0003-3737-907X

Licenciada en producción agropecuaria, egresada de la Universidad de los Llanos. Vinculada a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA desde 2011, ha apoyado proyectos de investigación de cultivos de caucho, evaluación de modelos productivos de sistemas agroforestales, diagnóstico látex, cultivos de palma africana y mejoramiento de prácticas sostenibles de cacao en la región del Ariari, Meta. Es integrante del grupo de investigación Sistemas Agrícolas Tropicales (SAT). Actualmente participa como profesional de apoyo a la investigación adscrita a la Red de Permanentes en el Centro de Investigación La Libertad, Villavicencio.

Hebert Camargo Tamayo
Correo: htamayo@agrosavia.co
Orcid: https://orcid.org/0000-0001-7641-5921

Agrónomo de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD) y técnico en producción agropecuaria del Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), ha participado en investigación en sistemas de producción de maíz, soja, *Jatropha*, cacao y forestales, en caracterización de forestales nativas, monitoreo, evaluación, seguimiento de plantaciones forestales, en áreas de plagas de cacao y evaluación de genotipos de cacao seleccionados por atributos de valor. Actualmente se desempeña como profesional de apoyo adscrito a la Red de Permanentes y Cacao de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA, Centro de Investigación La Libertad, Villavicencio.

Manuel Eduardo Ostos Triana
Correo: mostos@agrosavia.co
Orcid: https://orcid.org/0000-0002-4855-9407

Profesional en Mercadeo Agropecuario de la Universidad de los Llanos. Desde el 1 de enero de 1994 ha estado vinculado a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA, Centro de Investigación La Libertad, inicialmente como asistente de investigación y en la actualidad como profesional de apoyo en el área de Economía. Ha participado en proyectos de caracterización y tipificación de los sistemas de producción de ceba de ganado bovino en la Orinoquia, caracterización de productores en los sistemas de rotación de arroz, soya, maíz en el piedemonte y altillanura plana del departamento del Meta, evaluación de especies arbustivas y arbóreas para uso múltiple en diferentes agroecosistemas de Colombia, además de participar en el desarrollo del balance social y en el proyecto sobre buenas prácticas apícolas y polinización con abejas *Apis mellifera*.

Magda Lucía Sierra Moreno
Correo: msierra@gmail.com
Orcid: https://orcid.org/0009-0007-8269-6126

Profesional zootecnista con maestrías en Mercadeo, Mercadeo Digital y Dirección Comercial. Veinte años de experiencia en el sector agropecuario, inicialmente en el pecuario, específicamente en ganadería y posteriormente en el agropecuario con enfoque de mercadeo.

Presentación

Este documento está dividido en diez capítulos, en los que el lector encontrará temáticas específicas con información que aporta al desarrollo productivo y la comercialización del sacha inchi.

El contenido incluye descripción botánica, taxonomía y fenología del sacha inchi; valor nutricional y usos; recurso genético y propagación; requerimientos agroecológicos; manejo agronómico; limitantes fitosanitarios (plagas y enfermedades); recomendaciones de colecta y poscosecha; costos de producción del cultivo; mercado e indicadores económicos, y perspectivas del cultivo en la región del piedemonte de la Orinoquia colombiana.

Introducción

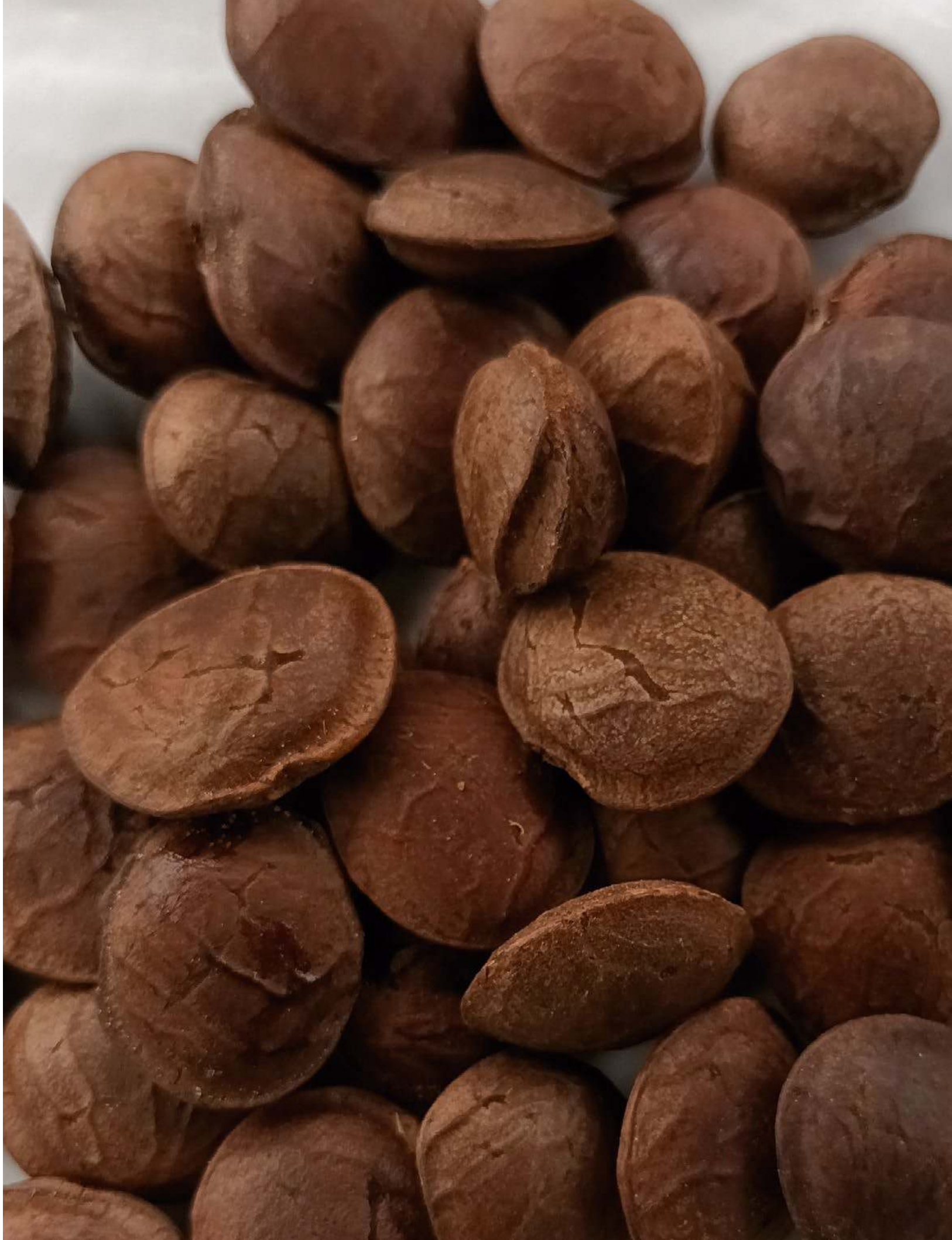
El sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) es una especie ancestral de las regiones amazónicas de Perú, Colombia, Venezuela y Brasil, donde las culturas indígenas lo usaban principalmente para su alimentación y la elaboración de productos medicinales. En la actualidad, este sistema productivo tiene gran potencial en programas de sustitución de cultivos ilícitos, procesos de reforestación y recuperación de áreas degradadas, seguridad alimentaria, desarrollo de sistemas agroforestales y para la agroindustria farmacéutica, cosmética y alimenticia.

Las primeras áreas con cultivos de sacha inchi en Colombia se registraron oficialmente en 2007 en la región amazónica, y a partir de ese año, las áreas y la producción han continuado en aumento en otras regiones del país. En 2019, las áreas sembradas alcanzaron 1.268,5 hectáreas, con la producción nacional más alta reportada (3.369 toneladas); desde entonces, las áreas cultivadas y la producción disminuyeron, llegando a 968,8 ha sembradas en 2021, con una producción nacional de 2.196,6 t, de las cuales 67,6% fueron obtenidas en los departamentos de Arauca (19%), Caquetá (15,9%), Putumayo (12,4%), Boyacá (11,4%) y Meta (9%) (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR], 2019).

Es de resaltar que aunque existe una creciente demanda de productos de sacha inchi en el mercado internacional, la disminución de las áreas de cultivo y la producción nacional han sido influenciadas, entre otros factores, por la situación económica derivada de la pandemia por COVID-19, la falta de estandarización de procesos en campo y poscosecha que permitan obtener un producto acorde con los requerimientos del mercado objetivo, y la baja demanda nacional asociada al desconocimiento del producto, sus múltiples usos y beneficios. Estas situaciones se han convertido en una oportunidad para el país. En los últimos años, gracias al impulso de la Mesa Nacional Sachainchera, la Dirección de Cadenas Agrícolas y Forestales del MADR y entidades como la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA, se han

producido acciones, proyectos y estrategias desde los territorios que retoman los proyectos productivos en los departamentos de Arauca, Caquetá, Cauca, Cundinamarca, Meta, Guaviare, Putumayo y Santander.

El presente modelo productivo, resultado del proyecto "Desarrollo de estrategias tecnológicas para mejorar la productividad y competitividad del sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) en el municipio de Vista Hermosa (Meta)", liderado por AGROSAVIA, pone a disposición de productores, asistentes técnicos, extensionistas agropecuarios (entre otros tomadores de decisiones) y público en general, con interés en el sistema productivo del sacha inchi, información y recomendaciones referidas a origen, botánica, taxonomía, fenología, valor nutricional, usos, recurso genético, propagación, requerimientos agroecológicos del cultivo, implementación en campo, manejo agronómico, cosecha, poscosecha, costos de producción, mercado, indicadores económicos y perspectivas, con el fin de favorecer el conocimiento alrededor del sacha inchi para las condiciones del piedemonte de la Orinoquia colombiana, la toma de decisiones y la competitividad de este sistema productivo en el país.



Capítulo I
Descripción botánica, taxonomía y fenología del sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.)

Natalia Flórez Tuta, Gina Marcela Amado Saavedra,
Salvador Rojas González

En este capítulo se incluye información sobre origen, distribución y clasificación taxonómica del sacha inchi, incluida la descripción botánica, que abarca la morfología de los órganos de la planta y sus etapas de desarrollo.

Clasificación taxonómica, origen y distribución

Reino	Plantae	**Subreino**	Fanerógamas
División	Angiospermae	**Clase**	Dicotyledoneae
Subclase	Archichlamydeae	**Orden**	Geraniales (Gruinales)
Familia	Euphorbiaceae	**Género**	*Plukenetia*
Especie	*volubilis* Linneo	**Nombre científico**	*Plukenetia volubilis* L.
Nombres comunes	Sacha inchi, sachinchi, sacha inchik, sacha yuchi, sacha yuchiqui, sacha maní, maní de monte, maní del inca, maní jíbaro, amui, duce, sampannankii, suwaa, o *inca peanuts*.		

La familia Euphorbiaceae es nativa de la región amazónica de Perú, Colombia, Venezuela y Brasil (Bordignon et al., 2012). Por su parte, el género *Plukenetia* fue reportado en 1703 por el botánico francés Charles Plumier, bajo el nombre de Pluknetia, en homenaje a Leonard Plukenet, reconocido botánico inglés. Posteriormente, en 1753, Linnaeus ajusta su nombre al de *Plukenetia* (Cardinal-McTeague & Gillespie, 2020).

Este género ha sido reportado en Malasia, Nueva Guinea, Bordeo, México y Perú, entre otros, y se caracteriza por incluir plantas anuales, con presencia de fluido tipo látex y frutos capsulares que al madurar se abren para liberar las semillas (Arévalo, 1996; Herrera Valencia et al., 2010). Está conformado por 25 especies de distribución pantropical (presentes en las regiones tropicales de los continentes), de las cuales 18 se reportan en América del Sur y Centroamérica (tabla 1) (Cardinal-McTeague & Gillespi, 2020; Gillespie, 1993, 2007), y su hábitat principal son los bosques tropicales lluviosos o pluviestacionales (con periodos de lluvia y de ausencia de precipitaciones a lo largo del año).

Tabla 1. Clasificación del género *Plukenetia*

Taxón	Especies asociadas	Distribución de especies	Hábitat	Forma de crecimiento
Plukenetia sect. *Angostylidium*	1	África central y occidental	Bosque de tierras bajas	Lianas de dosel, tallos gruesos
Plukenetia sect. *Fragariopsis*	1	Bosque atlántico de Brasil	Bordes de bosque premontano a montano	Lianas, tallos delgados a gruesos
Plukenetia sect. *Hedraiostylus*	3	África del sur, sudeste de Asia	Bordes y claros de bosques de tierras bajas. Bosques de sabana en suelo arenoso	Enredaderas, lianas o hierbas; tallos delgados, curvados o procumbentes
Plukenetia sect. *madagascariensis*	3	Madagascar	Bosque sobre caliza o matorral espinoso	Lianas; tallos delgados a gruesos
Plukenetia sect. *penninervia*	9	México, América Central, América del Sur noroccidental y amazónica, y Antillas Menores	Bordes de bosques de tierras bajas, premontanos y montanos, afloramientos rocosos, claros, bosques de arena blanca	Enredaderas o lianas; tallos delgados
Plukenetia sect. *Plukenetia*	8	México, América Central, América del Sur noroccidental y amazónica, y Antillas Menores.	Bordes de bosques de tierras bajas a premontanos, quebradas y claros de luz	Enredaderas, lianas o lianas de dosel; tallos delgados a gruesos

Fuente: Elaboración propia con base en Cardinal-McTeague & Gillespie (2020)

De este género, una de las especies más conocidas es *Plukenetia volubilis* L., la cual se presenta de forma nativa en Perú (Bussmann et al., 2013; Kodahl, 2020) y se distribuye desde Centroamérica hasta Bolivia, con especial presencia en la cuenca amazónica de Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia y Brasil (Dostert et al., 2009). En Colombia, se han identificado cinco especies en los herbarios virtuales nacionales, de las cuales *Plukenetia lehmanniana* (Pax & K. Hoffm) Huft & Gillespie, *P. penninervia* Müll. Arg., *P. polyadenia* Müll. Arg. y *P. volubilis* L. fueron reportadas por Murillo (2004) y se encuentran distribuidas en las regiones de la Amazonia y la Orinoquia (450 a 2.140 m s. n. m.). Por su parte, la especie *P. loretensis* Ule se ha identificado en el departamento del Caquetá, y se reportan colectas botánicas en los departamentos de Antioquia, Valle del Cauca, Meta, Putumayo, Guaviare, Chocó, Amazonas y Vaupés (Murillo, 2004).

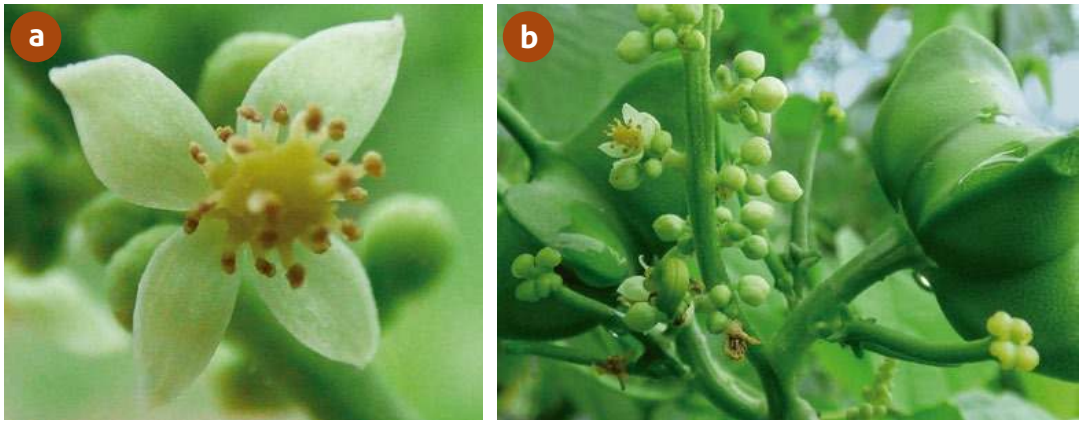
Descripción botánica del sacha inchi (*P. volubilis*)

La planta de sacha inchi es perenne, semileñosa y de crecimiento indeterminado; su tallo es cilíndrico y se enreda en el tutor o soporte que la guía, por lo que se caracteriza como una planta trepadora voluble. Contiene los órganos reproductivos masculinos y femeninos en la misma planta, por lo que es considerada monoica, es decir, tiene tanto flores masculinas como femeninas que son polinizadas regularmente por el viento (Dostert et al., 2009). Sus raíces son superficiales y de gran longitud (Guillén et al., 2003; Manco Céspedes, 2008; Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana [IIAP], 2009).

La planta de sacha inchi tiene gran número de hojas ubicadas de forma alterna; son de color verde oscuro, con forma acorazonada, bordes finamente aserrados, ápice puntiagudo (caudado) y base semiarriñonada. Tienen entre 9 y 16 cm de largo, de 6 a 12 cm de ancho y peciolos de 2 a 7 cm de largo. Los nervios se ubican en disposición pinnada en la hoja, es decir, del nervio central se desprenden nervaduras secundarias a lo largo de su eje (pinnatinervias) (Dostert et al., 2009; Manco Céspedes, 2008).

Sus flores masculinas o estaminadas (figura 1) son de forma cónica, con 23 anteras blancas y pequeñas, dispuestas en racimos, en cuya base se localizan una o dos flores femeninas o pistiladas (figura 2). Cada antera

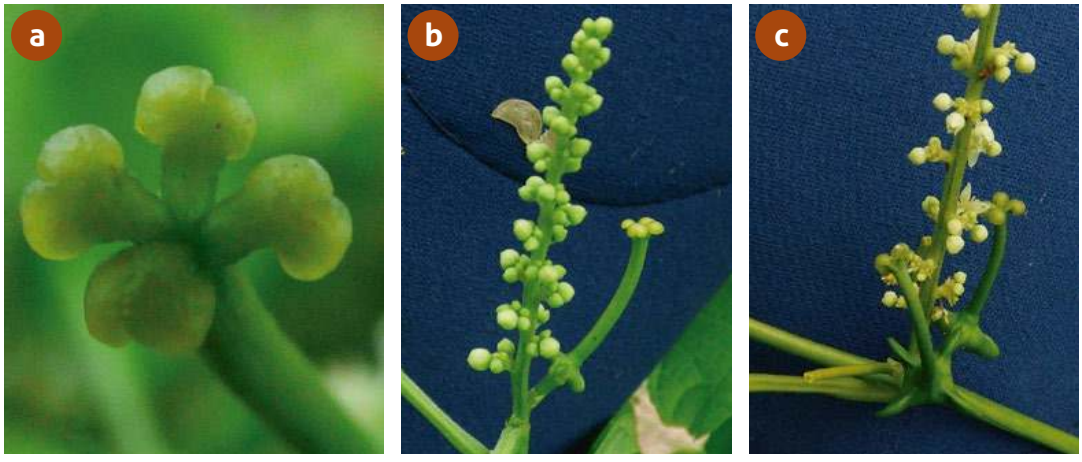
está formada por cuatro estructuras externas duras, cada una de las cuales protege en promedio ocho granos de polen y se rompe naturalmente para dejar salir los granos (tecas dehiscentes). En las plantas de sacha inchi, las antesis o estados de fertilidad de la floración femenina y masculina no se sobreponen, por lo cual la polinización es cruzada principalmente (Cachique, 2006).



Fotos: Salvador Rojas

Figura 1.

Flores masculinas o estaminadas de *P. volubilis*. a. Detalle de la flor con 23 anteras; b. Inflorescencia (racimo de flores).



Fotos: Salvador Rojas

Figura 2.

Flores femeninas o pistiladas de *P. volubilis*. a. Detalle de la flor con cuatro lóbulos; b. Inflorescencia con una flor femenina; c. Inflorescencia con tres flores femeninas.

Por su parte, los frutos son verdes y se tornan marrón oscuro al madurar (figura 3a); son capsulares dehiscentes, es decir, en su interior contienen las semillas y al madurar se abren para liberarlas. Los frutos tienen un diámetro de 3 a 5 cm, y según la variabilidad genética, pueden tener entre 4 y 7 lóbulos, cada uno con una semilla (figura 3b) (Arévalo, 1996; IIAP, 2009; Manco Céspedes, 2008).

Fotos: Yeisson Gutiérrez y Salvador Rojas

Figura 3.

Frutos y semillas de *P. volubilis*. a. Cápsula en forma de estrella, grano y grano descascarillado; b. Frutos con diferente número de lóbulos.

En la colección de *P. volubilis* del Centro de Investigación (C. I.) La Libertad de AGROSAVIA (Villavicencio, Meta), se encontraron inicialmente frutos con 3 a 5 lóbulos, que con el aumento del número de frutos por planta, pasaron a 3 a 7 lóbulos, con predominio de los tetralobulados (92,1%), seguidos por los pentalobulados (6,5%). Sin embargo, como se mencionó, el número de lóbulos puede variar en correlación con el ecotipo.

Las semillas son ovaladas, con bordes planos, centro abultado e *hilum* diferenciado (marca presente en la cubierta de la semilla por la unión de la pared del ovario al funículo). Su diámetro varía entre 1,5 y 2 cm, pesan de 48 a 100 g, y su color es marrón con manchas más oscuras distribuidas de forma no uniforme y nervaduras. Dentro de las semillas están los cotiledones, semejantes a almendras cubiertas de una capa blanquecina que es la materia prima para la extracción del aceite (Arévalo, 1996; Guerrero-Abad & Benito García, 2006).

Fenología

El ciclo fenológico del sacha inchi inicia con la germinación de las semillas, la formación de la estructura básica de la planta (raíz, tallo y hojas), la floración y fructificación, y se extiende hasta la maduración de los frutos (tabla 2). Su duración está altamente relacionada con las características edafoclimatológicas, con la temperatura como una variable de gran importancia. Al ser una especie amazónica, la planta se desarrolla de forma óptima bajo temperaturas entre 10 y 26 °C (Anteparra et al., 2013), con un ciclo aproximado de 180 a 220 días después de la siembra (dds), cuando es siembra directa, y de 202 a 249 días después del trasplante (ddt), cuando es por siembra indirecta (Manco Céspedes, 2008). Por otro lado, en presencia de temperaturas superiores a las indicadas, el tiempo del ciclo vegetativo puede ser menor, iniciando floración entre los 88 y 115 días, fructificación entre 122 y 168 días y cosecha entre 180 y 220 dds (Antonioli & Arfini, 2013).

Tabla 2. Duración de las fases fenológicas del sacha inchi (*P. volubilis*) según el tipo de siembra

Fase del desarrollo	Tipo de siembra	
	Directa	**Indirecta**
Germinación	14 a 15 dds*	11 a 14 ddv**
Emisión de guías	48 a 50 dds	20 a 41 ddt***
Inicio floración	88 a 135 dds	86 a 139 ddt
Inicio fructificación	122 a168 dds	119 a 182 ddt
Inicio cosecha	180 a 220 dds	202 a 249 ddt

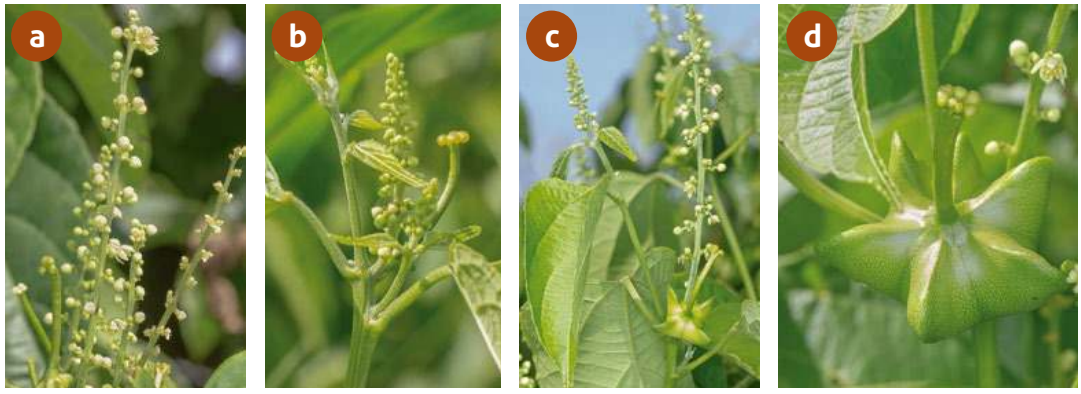
* dds: días después de la siembra.
** ddv: días después de vivero.
*** ddt: días después del trasplante.

Fuente: Manco Céspedes (2008)

La propagación generalmente se realiza por medio de las semillas, pero dado que se trata de una especie de polinización cruzada (alógama), las plantas que se obtienen son heterogéneas y no siempre tienen las mismas características genéticas de sus progenitores (Cachique, 2006). De acuerdo con lo anterior, se han evaluado técnicas y tecnologías de propagación vegetativa que permitan mantener las características de los materiales, principalmente de aquellos con mejores características de productividad y calidad de producto, tolerancia a plagas y enfermedades, entre otras (Cachique et al., 2011).

La germinación de la semilla de sacha inchi (*P. volubilis*), en condiciones de humedad adecuada, puede iniciar de 14 a 16 días después de la siembra directa en campo, y de 11 a 14 días después de la siembra en germinador. La segunda hoja verdadera de la planta[1] aparece entre los 28 y 42 días y la tercera de 45 a 59 dds. La emisión de guías en siembra directa se da entre los 48 y 50 días y en siembra indirecta, de 20 a 41 ddt (Arévalo, 1996; Manco Céspedes, 2008).

La floración inicia aproximadamente 86 a 139 ddt o de 88 a 135 dds en el caso de siembra directa, con la aparición de los primordios florales masculinos y posteriormente los femeninos, y finaliza con el marchitamiento de las flores (figura 4) (Arévalo, 1996; Cachique, 2006; Manco Céspedes, 2008).



Fotos: Yeisson Gutiérrez

Figura 4.

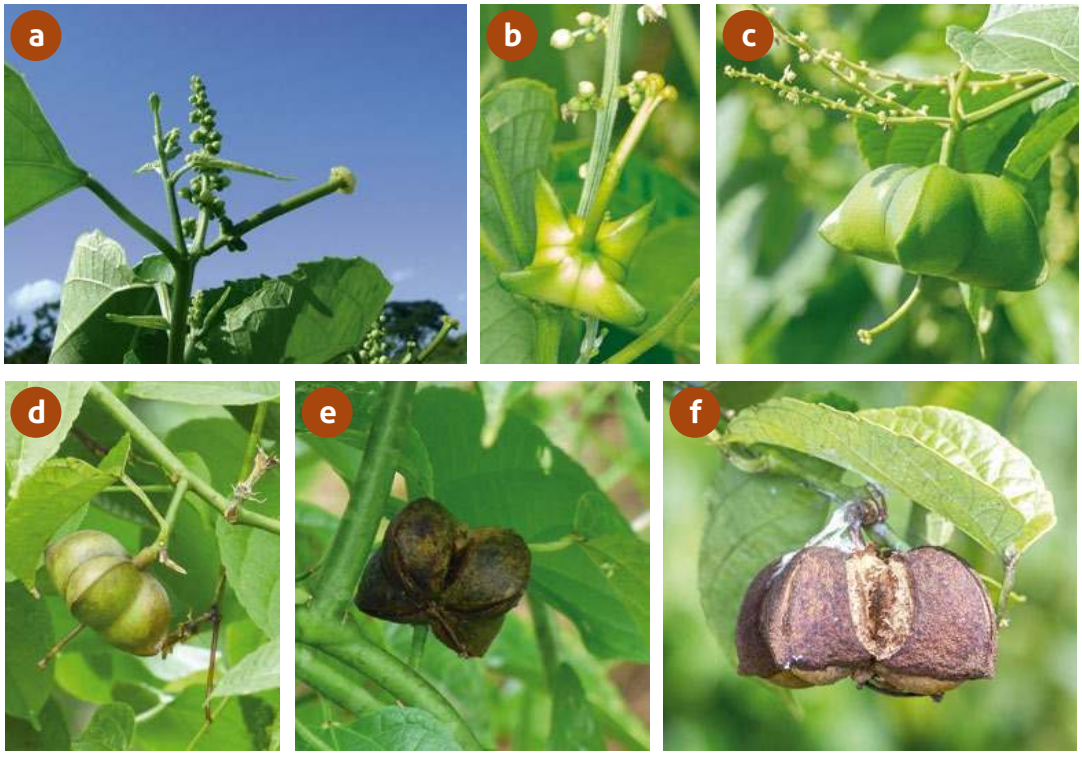
Racimos florales de *P. volubilis* en distintas etapas de desarrollo.
a. Inflorescencia con botones masculinos tiernos y emergencia de la flor pistilada; b. Floración masculina plena; c. Flor femenina con el ovario fecundado; d. Fruto en desarrollo.

La fructificación empieza de 119 a 182 ddt o de 122 a 168 dds, en el caso de siembra directa, y llega a tener una duración aproximada de 90 días (figura 5), en los cuales se da la formación del fruto hasta su maduración (Manco Céspedes, 2008). La formación del fruto inicia con el óvulo fecundado, el cual crece hasta alcanzar mayor longitud que el pedúnculo. Posteriormente, el fruto cambia su coloración de verde a marrón oscuro/negro cenizo, y llega así a su punto óptimo de cosecha. La recolección de los frutos puede iniciarse

1 *Hojas verdaderas*, denominadas técnicamente *nomófilos*, son las hojas típicas o normales de una especie que no tiene órganos reproductivos.

entre 8 y 10 meses después del trasplante, aunque con alta precipitación la productividad puede disminuir (Arévalo, 1996; Gómez Mesa, 2005). En esta etapa, los frutos pequeños, 2 cm aproximadamente, pueden caerse de manera temprana, cuando aún están verdes, o si están necrosados (partes negras), y la planta es muy apetecible para los insectos chupadores (Arévalo, 1996). Finalmente, si el fruto no es cosechado, se seca y empieza a abrirse (Cachique, 2006).

Conocer y comprender los aspectos botánicos y fenológicos de *P. volubilis* es la base para su establecimiento en un sistema productivo que sea rentable y sostenible en la región.



Fotos: Salvador Rojas y Yeisson Gutiérrez

Figura 5.

Estados de desarrollo del fruto en un periodo de 90 días, desde el inicio de la floración, a los 6 meses, hasta la primera cosecha, a los 9 meses. a. Botón floral de 5 días; b. Ovario fecundado; c. Fruto verde en crecimiento; d. Fruto en proceso de maduración; e. Fruto maduro; f. Fruto seco, apto para cosecha.

Capítulo II
Valor nutricional y usos del sacha inchi

Jenifer Criollo Núñez, Jhon Alexander Rincón Reina

Introducción

El sacha inchi es considerado un alimento funcional gracias a sus componentes nutricionales y compuestos bioactivos (Hughes, 2009). Según los hallazgos de Muangrat et al. (2018), el aceite extraído de sacha inchi se distingue por su excepcional perfil de ácidos grasos, en particular su alta concentración de ácidos grasos omega 3, omega 6 y omega 9. Estos ácidos grasos esenciales desempeñan un papel crucial en la salud cardiovascular y cerebral, así como en la regulación de la respuesta a eventos inflamatorios (Piñeiro-Corrales et al., 2013).

Además de su perfil de lípidos beneficioso, el sacha inchi es una fuente valiosa de proteínas de alta calidad. Ruiz et al. (2013) señalan que el contenido de aminoácidos esenciales de las semillas de *P. volubilis* se ajusta a las recomendaciones de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y la Organización Mundial de la Salud (OMS), a excepción de la lisina y la leucina. Estas propiedades nutricionales hacen del sacha inchi un ingrediente atractivo tanto para la dieta cotidiana como para la formulación de productos alimenticios funcionales.

Composición bioquímica del fruto

Si bien la semilla de sacha inchi ha sido el foco de numerosas investigaciones y es reconocida por su perfil nutricional y calidad de omegas, aún existen incógnitas relacionadas con el aprovechamiento de los subproductos del fruto. A continuación, se exploran la cáscara y las semillas de sacha inchi, y se destaca su potencial en el contexto de una alimentación saludable y sostenible.

Cáscara

La cáscara de sacha inchi está constituida principalmente por fibra (77,8%), proteína (2,75%) y grasa (0,39%), y es un componente de descarte en los procesos de transformación (Benítez et al., 2014). El 98% de la composición mineral corresponde a macroelementos como potasio (3.736,2 mg/kg), calcio (2.668,2 mg/kg) y magnesio (684,7 mg/kg), con 1,75% de cenizas (Roque Puma & Beltrán Noriega, 2022).

Semilla

El porcentaje de semilla de sacha inchi corresponde a 59-65 % del total del peso del fruto, de acuerdo con la variedad y su interacción con las condiciones ambientales (Van et al., 2022). Contiene entre 33,4 y 54,7% de aceite y hasta 33,3% de proteína (Gutiérrez et al., 2011).

Los minerales en la semilla, representados en el porcentaje de ceniza, oscilan entre 2,7 y 6,46% (Valdiviezo Rogel et al., 2019), con mayor presencia de macroelementos como fósforo, potasio, magnesio y calcio (tabla 3). El contenido de fibra se encuentra entre 6,69 y 13,86% de acuerdo con el reporte de Muangrat et al. (2018).

Tabla 3. Composición proximal de la semilla de sacha inchi

Componente	Rango
Humedad (g/100 g)	3,30-8,32
Lípidos (%)	33,4-54,70
Proteína (%)	24,20-33,30
Fibras (%)	6,59-13,86
Carbohidratos (%)	6,00-30,90
Ceniza (sobre base seca, %)	2,70-6,46
Minerales (mg/100 g)	**Rango**
Calcio	126,30±0,69
Fósforo	519,70±2,77
Sodio	0,30±0,00
Potasio	489,30±10,7
Magnesio	344,20±2,1
Cobre	0,80±0,0
Hierro	4,20±0,0
Manganeso	1,00±0,0
Zinc	4,10±0,4

Fuente: Elaboración propia con base en Wang et al. (2018), Rodzi y Lee (2022)

Composición del aceite de sacha inchi y descriptores funcionales del aceite

El aceite contenido en las semillas de sacha inchi puede alcanzar hasta 60% de su peso, según el método de extracción y material genético cultivado (Castañoet et al., 2012). El aceite es reconocido por contener hasta 92% de ácidos grasos poliinsaturados (AGP) de tipo alfa linolénico (18:3n-3, ácido a-linolénico) y linoleico (18:2n-6, ácido linoleico) (Cisneros et al., 2014), y 6,8 a 9,1% de ácidos grasos saturados (Rivero, 2022).

El ácido graso alfa-linolénico u omega 3 está presente en el sacha inchi en proporciones de 48% del total de ácidos grasos ((Betancourth López et al., 2024); este ácido se encuentra en la naturaleza, especialmente en aceites de pescado y en las membranas de los cloroplastos, y es precursor de los

eicosanoides, un grupo de moléculas lipídicas que cumplen funciones de mediadoras para el sistema nervioso central en eventos de inflamación, por medio de reacciones de desaturación y elongación alternadas (González García & Guamán Claros, 2023). Lo anterior sugiere la presencia de este atributo metabólico en el aceite de sacha inchi.

El aceite también aporta otras sustancias minoritarias de interés nutricional como los tocoferoles. El contenido total de tocoferoles es de 78,6 a 137,0 mg/100 g de semilla (Zuloeta Arias, 2014). Los tocoferoles son reconocidos como potentes compuestos antioxidantes lipófilos; su actividad antioxidante en los lípidos sigue este orden: g-tocoferol; d-tocoferol; a-tocoferol, y b-tocoferol. El contenido de tocoferoles de los órdenes g y d presentes en el sacha inchi es un factor de protección antioxidante para semillas y aceite, que se debe preservar con el uso de técnicas de extracción adecuadas (Rivero, 2022).

En la tabla 4 se registra el perfil de ácidos grasos del aceite de sacha inchi, en comparación con los ácidos grasos de los aceites de oliva y pescado, como punto de referencia de la calidad lipídica del aceite.

Los aceites de oliva y pescado son valorados por su composición de ácidos grasos y son referentes de calidad en la cocina *gourmet*. Estos tipos de aceite hacen parte de las tendencias mundiales en nutrición y alimentación que llevan al consumidor a buscar una salud cardiovascular con hábitos de vida saludables en la alimentación (González & Guamán, 2023). A este grupo se ha integrado el aceite de sacha inchi por su alto contenido de ácidos grasos insaturados (91,12%) y poliinsaturados (82,3%), superiores a los reportados para aceites de referencia como el aceite de oliva (González et al., 2023).

Dentro del perfil de lípidos beneficioso para la salud cardiovascular se encuentra el ácido linolénico ω3 (38,84%), el cual se encuentra en mayor presencia respecto a los demás ácidos grasos (Araujo-Dairiki et al., 2018). El ácido graso linoleico ω-6 es el segundo componente mayoritario en el aceite de sacha inchi (34,67%), y ha sido asociado a la prevención de enfermedades inflamatorias (Muangrat et al., 2018).

Tabla 4. Perfil de ácidos grasos de aceites de sacha inchi, oliva y pescado

Ácido graso	Sacha inchi (%)	Oliva (%)	Pescado (%)
Ácido mirístico (C14:0)	N.D.	N.D.	10,22
Ácido palmítico (C16:0)	4,7	13,56	22,8
Ácido palmitoleico (C16:1)	N.D.	1,43	10,54
Ácido heptadecanoico (C17:0)	N.D.	242	0,85
Ácido esteárico (C18:0)	3,3	1,86	4,4
Ácido oleico (C18:1)	8,9	71,22	9,62
Ácido linoleico (C18:2)	34,1	10,13	1,51
Ácido linolénico (C18:3)	48,2	618	0,99
Ácido alquídico (C20:0)	N.D.	356	N.D.
Ácido timnodónico (C20:5n-3)	N.D.	N.D.	20,28
Ácido docosahexaenoico (C22:6n-3)	N.D.	N.D.	19,64
Ácido gadoleico (C20:1)	N.D.	284	2,56
Ácido cis-11,14 eicosadienoico (C20:2)	N.D.	102	N.D.
Ácido erúcico (C22:1)	N.D.	N.D.	1,62
Total ω-3	48,2	618	40,91
Total ω-6	34,1	10,13	1,51
Total ω-9	8,9	71,22	9,62
Total ácidos grasos saturados	8	15,88	37,42
Total ácidos grasos insaturados	91,12	83,92	62,58
Total ácidos grasos monoinsaturados	8,9	73,17	20,16
Total ácidos grasos poliinsaturados	82,3	10,75	42,42

N.D.: no determinado.

Fuente: Elaboración propia con base en Cisneros et al. (2014), Valdiviezo Rogel et al. (2019)

Beneficios del consumo de sacha inchi

En la medicina tradicional amazónica se utiliza la semilla de sacha inchi para tratar problemas reumáticos, heridas, infecciones cutáneas y masajes musculares. Está catalogado como el "maní del inca" y un superalimento altamente energético (Wang et al., 2018).

Dentro de los efectos farmacológicos se ha reportado actividad anticancerígena, antimicrobiana, antidislipidémica y antioxidante, gracias a la presencia de metabolitos secundarios como fitoesteroles, taninos, flavonoides, alcaloides, saponinas, lectinas y carotenoides. Campesterol, β-sitosterol y estigmasterol son los fitoesteroles más abundantes en el sacha inchi (Núñez, 2022).

Los principales ácidos grasos insaturados presentes en el aceite de sacha inchi, en proporciones de mayor a menor, son ácido linolénico ω-3, linoleico ω-6 y oleico ω-9; los dos primeros han sido identificados como ácidos grasos esenciales; el cuerpo no los sintetiza, por lo que es necesaria su ingesta a través de los alimentos (Ramos-Escudero et al., 2018; Revilla-Velásquez et al., 2022; Valdiviezo Rogel et al., 2019).

La ingesta de aceite de sacha inchi reduce los triglicéridos en la sangre, y así contribuye al control de enfermedades como diabetes *mellitus* y obesidad; además, sirve como posible agente citotóxico para células tumorales (Revilla-Velásquez et al., 2022). Estudios recientes reportan que el consumo de aceite de sacha inchi controlaría las alteraciones metabólicas de los lípidos, el estrés oxidativo e inflamaciones asociadas a la obesidad (Ambulay et al., 2020).

Capítulo III
Recurso genético y propagación del sacha inchi

Jaime Alberto Marín Colorado, Olga María Castro Navarro, Salvador Rojas González

Según la FAO, "los recursos genéticos para la alimentación y la agricultura son la materia prima de la que el mundo depende para mejorar la productividad y calidad de las poblaciones de plantas y animales domesticados y para mantener poblaciones saludables de especies silvestres" (FAO, 2023a).

En conformidad con la FAO (2022), los materiales genéticos de origen vegetal de valor real o potencial para la alimentación y la agricultura constituyen los recursos fitogenéticos. Dentro de estos recursos se incluyen las variedades o razas nativas que tienen los agricultores en sus fincas, las variedades mejoradas y en proceso de mejoramiento, los parientes silvestres de las especies cultivadas y los bancos de germoplasma (FAO, 2022).

Dentro de esta definición de la FAO sobre *recurso genético* se encuentra el sacha inchi, el cual se considera una planta rústica que puede desarrollarse a distintas altitudes. Según Manco Céspedes (2008), en la Amazonia peruana crece desde 100 m s. n. m. en selva baja hasta 2.110 m s. n .m. en selva alta. *P. volubilis* es una especie que aún se encuentra en proceso de domesticación y presenta alta variabilidad genética.

En Colombia, las comunidades rurales han venido seleccionando e intercambiando semillas de sacha inchi para establecer sus cultivos, sin saber su procedencia ni conocer realmente con qué materiales están haciendo selección. Por tal razón, es necesario colectar materiales de diferentes regiones y caracterizarlos morfoagronómica y molecularmente, con el fin de conocer su diversidad y sus rasgos genéticos.

El presente capítulo presenta los avances que han alcanzado países como Perú y Brasil en el conocimiento, conservación y uso de la diversidad genética del sacha inchi, así como en su propagación vegetativa. La documentación y el análisis de dicha información pueden servir para sentar las bases de un programa de mejoramiento para *P. volubilis* en Colombia.

Recursos genéticos

Según el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) y AGROSAVIA (2006), los bancos de germoplasma son una colección de la variabilidad genética y diversidad vegetal, animal y de microorganismos, de valor estratégico para el desarrollo de investigaciones que conduzcan al mejoramiento genético, bioprospección y sostenibilidad de los agroecosistemas.

De acuerdo con Knudsen, en el Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI) (International Plant Genetic Resources Institute & Knudsen, 2000), para el año 2000 existían cuatro colecciones de germoplasma de *P. volubilis*, todas reportados en Perú. Los actuales reportes de recursos genéticos de sacha inchi en el mundo están limitados a solo dos bancos de germoplasma de la especie: uno en Perú y el otro en Brasil.

La Estación Experimental El Porvenir del Instituto Nacional de Investigación Agraria (INIA) (San Martín, Perú) cuenta actualmente con 53 accesiones, colectadas en diferentes departamentos de la Amazonía peruana, y con diez progenies mejoradas (Campos Baca, 2022; Corazón-Guivin et al., 2009).

El IIAP mantiene y evalúa 22 accesiones de sacha inchi (14 de poblaciones naturales y 8 del Banco Nacional de Germoplasma), las cuales se diferencian en el volumen de área foliar, el tamaño y la forma de hojas y semillas, y en la capacidad de producir frutos y aceite (Solís, 2018). Estos materiales vienen siendo sometidos a un proceso de selección con base en características sobresalientes en cuanto a rendimiento de semilla seca, contenido de aceite y resistencia al complejo nematodo *Fusarium* spp. (Corazón-Guivin et al., 2008; Solís, 2018).

Los resultados de los estudios de diversidad genética (Krivankova et al., 2012), basados en marcadores moleculares, indican que existe una diferencia significativa entre las poblaciones de sacha inchi de la selva peruana. Sugieren que los posibles intercambios de material genético se han dado por intercambio de semillas entre poblaciones cercanas (Vašek et al., 2017), y proponen que el cultivo podría mejorarse mediante la selección masiva.

Por otra parte, en Brasil, el banco de germoplasma activo de sacha inchi que se encuentra en la Empresa Brasileña de Investigación Agropecuaria (Embrapa) Amazonia Occidental, ubicado en Manaos, estado de Amazonas, conserva en la actualidad 37 cultivares de *P. volubilis*, recolectados en varias zonas del mismo estado, doce del mismo sitio (Ferreira Valente et al., 2017b). Los estudios con marcadores moleculares de esta colección y su comparación con cultivares de la Amazonia peruana indican una estructura bien definida a escala geográfica (Silva Rodrigues et al., 2013). Esto significa probablemente que el intercambio de materiales ha sido restringido, y da a entender que el germoplasma de sancha inchi aún está muy conservado en la Amazonia peruana. Estos materiales pueden ser de gran potencial e interés para el desarrollo de técnicas de selección asistida por marcadores moleculares y el inicio de mejoramiento de la especie.

En Colombia no se registran bancos de germoplasma de sacha inchi, tampoco se han caracterizado molecularmente los materiales existentes, por lo cual no se ha avanzado en su mejoramiento genético; actualmente los productores establecen los cultivos con semillas seleccionadas de sus cultivos propios, de sus vecinos o de otras regiones del país. En general, se desconoce la procedencia de estos materiales y la variabilidad genética existente.

Selección de materiales promisorios de sacha inchi

Una de las brechas más prominentes para la sostenibilidad de los sistemas productivos de *P. volubilis* a nivel mundial es la ausencia de variedades mejoradas genéticamente estables en el mercado. Aunque el sacha inchi se ha usado y cultivado durante milenios, la especie todavía se considera

domesticada de manera incompleta. De hecho, su germoplasma se caracterizó recientemente (Delgado et al., 2022).

Los programas de mejoramiento genético para el sacha inchi generalmente apuntan a seleccionar individuos con mayor rendimiento de semillas, ya que existe una fuerte correlación entre este rasgo genético y la producción de aceite.

Con el objetivo de aumentar el rendimiento, los productores de Perú utilizan principalmente las semillas más grandes para establecer sus cultivos. Sin embargo, debido a que la especie es alógama (presenta polinización cruzada) y la selección se realiza después de la producción de fruto, esto solo aplica a los parentales femeninos; por tanto, las ganancias genéticas son inferiores a las obtenidas mediante cruces controlados. En otras palabras, la proporción observada de diferentes tipos de parentesco revela que asumir progenies de medio hermanos como base para estimar parámetros genéticos en *P. volubilis* puede resultar en una sobreestimación de la varianza genética aditiva y otros parámetros dependientes (Ferreira Valente et al., 2018).

En Brasil, los agricultores adquieren semillas a través de intercambios o en mercados locales. La dinámica del autoabastecimiento de semillas posiblemente haya contribuido a la reducida diversidad de sacha inchi cultivado por comunidades de pequeños productores en grandes áreas geográficas, lo cual constituye una manera artesanal de selección genética. Por el contrario, las poblaciones que están más aisladas de los principales centros urbanos son más diversas. Aunque la variación genética está presente, los cultivos se están desarrollando sin considerar las características genéticas óptimas para incrementar los rendimientos en las diferentes regiones productoras (Delgado et al., 2022).

En Colombia, se desconoce la procedencia de los materiales de sacha inchi sembrados en las diferentes regiones del país. Los productores mencionan que algunos son de semillas procedentes de Perú y otros de plantas silvestres, que los mismos agricultores y las comunidades indígenas han venido seleccionando. En la actualidad, AGROSAVIA lleva a cabo la caracterización genética y morfoagronómica de materiales de distinta procedencia del país.

Al igual que en Brasil, los productores de sacha inchi de Colombia intercambian semillas entre ellos. Algunas empresas tienen registro ICA para la venta de semilla seleccionada, pero los criterios para el proceso de selección de estos materiales no están definidos.

Métodos de propagación

Las plantas se reproducen por vía sexual o asexual. La reproducción sexual se lleva a cabo durante el proceso de floración, que incluye los procesos de polinización y fecundación, y da como resultado la formación de las semillas. Esto es fundamental para crear variabilidad genética dentro de la especie.

La reproducción asexual se realiza mediante otros órganos diferentes a la semilla, entre ellos tallos, hojas, ramas y raíces, con los cuales se puede inducir la brotación de yemas a través de diferentes técnicas. Mediante este tipo de propagación, se obtienen plantas que conservan las características de la planta madre, denominadas *clones*.

La ventaja más relevante de la propagación vegetativa es la reproducción masiva de una planta individual que se destaca por su rendimiento, calidad nutricional, resistencia o tolerancia a plagas y enfermedades, entre otros atributos favorables.

La propagación por semillas es el método más utilizado para el establecimiento de cultivos de sacha inchi, especialmente para especies alógamas con descendencia heterogénea como *P. volubilis* (Cachique et al., 2018).

La multiplicación de genotipos seleccionados mediante estacas o esquejes intermedios y basales se realiza en cámaras de subirrigación, empleando arena como sustrato y ácido indolbutírico para promover el enraizamiento (Cachique et al., 2011).

El injerto es una técnica especialmente favorable para obtener materiales injertados a partir de la clonación. La selección de portainjertos se hace previamente evaluando algunos rasgos genéticos como la resistencia a plagas y enfermedades, lo mismo que la selección de copas con atributos de alto rendimiento y de valor nutricional en el caso del sacha inchi. Se han realizado

ensayos de injertos en los que se evaluaron los porcentajes de prendimiento, los cuales no variaron significativamente entre las tres técnicas empleadas (corte recto, hendidura y empalme) (Cachique et al., 2018).

En la figura 6 se presenta el diagrama de flujo propuesto por los autores con el fin de abordar el establecimiento de un flujo de trabajo para el posterior establecimiento de un programa de mejoramiento genético de *P. volubilis* en Colombia, el cual incluye colecta de materiales, establecimiento de un banco de germoplasma, evaluación de desempeño agronómico y perfil nutricional e industrial, junto con caracterización genética con marcadores moleculares y secuenciación de los materiales colectados, para seleccionar materiales promisorios que puedan ser multiplicados de forma vegetativa y/o ingresen a procesos de mejoramiento genético con el tiempo.

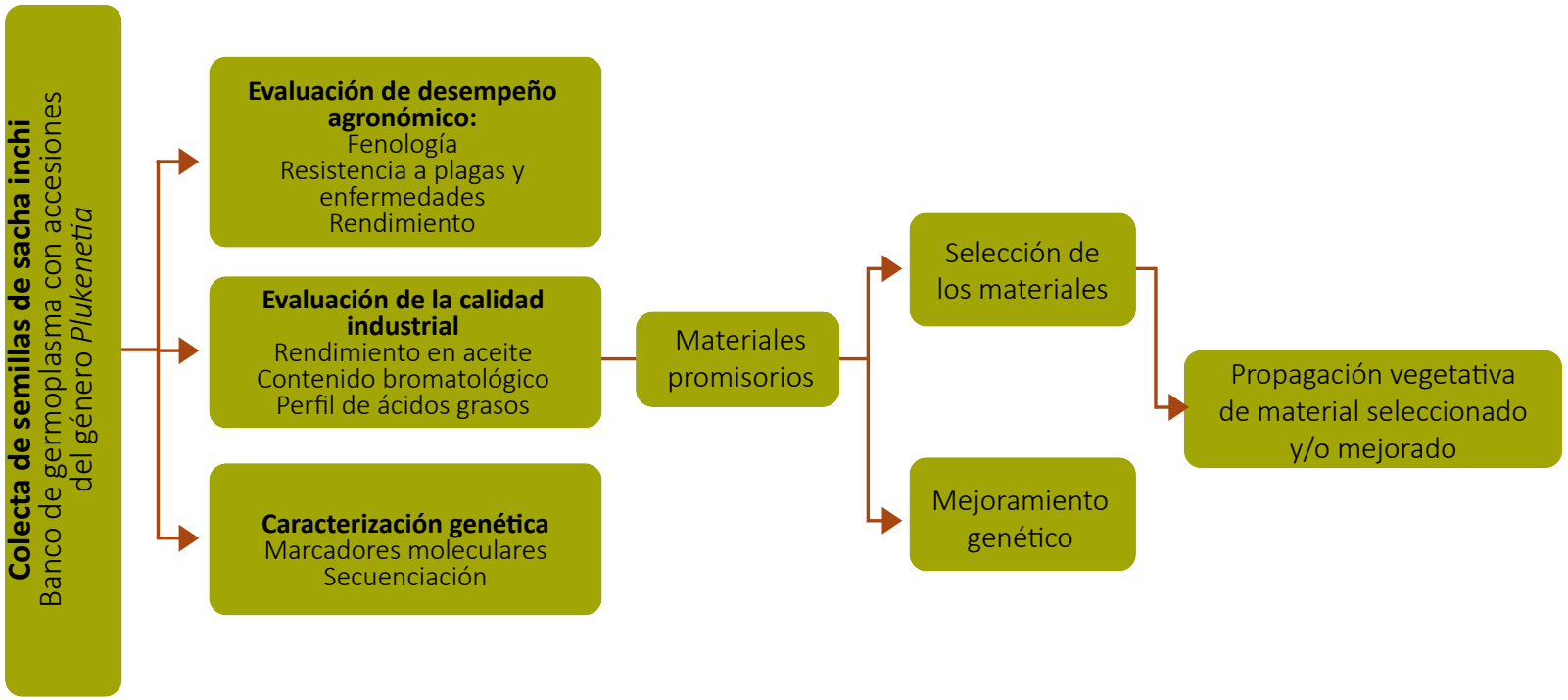


Figura 6.

Flujograma de recursos genéticos, caracterización morfológica y molecular, para selección de materiales élite con el fin de establecer un programa de mejoramiento genético de sacha inchi en Colombia.

Fuente: Elaboración propia

Capítulo IV
Requerimientos edafoclimáticos del sacha inchi

Gina Marcela Amado Saavedra, Natalia Flórez Tuta

El Grupo Banco Mundial (GBM, 2020) prevé un aumento del 20% de la población en América Latina y el Caribe entre 2010 y 2030; esto implica aumentar la producción de alimentos en términos de calidad y cantidad, a partir del uso adecuado de los recursos naturales, principalmente suelo, y el aprovechamiento de las condiciones climáticas, de forma que estos aspectos permitan que los cultivos expresen su potencial productivo (Ruiz Corral et al., 2013).

Conocer los requerimientos edafoclimáticos de una especie es parte fundamental de la planificación agrícola ya que influye en la selección de la zona para su establecimiento; este aspecto es importante dado que identificar la calidad del suelo en aspectos como profundidad efectiva, drenaje, salinidad, contenidos de sodio y materia orgánica, presencia de aluminio y pH, entre otros, y conocer variables como temperatura, precipitación y humedad relativa requerida por la especie, facilitan la planificación de las actividades productivas y disminuyen el nivel de riesgo. Adicionalmente, es importante reconocer que tanto el cambio como la variabilidad climáticas generan nuevos retos en la producción, por lo que es necesario conocer cómo las sequías, las altas temperaturas y el aumento en la precipitación pueden afectar el desarrollo, la productividad y la salud del cultivo.

Requerimientos edáficos

La interacción de las plantas con el suelo ha sido un principio básico de la agricultura desde sus inicios (Burbano Orjuela, 2017). Por esta razón, las actividades productivas deben tener en cuenta la resiliencia del suelo en términos de su capacidad para recuperar la capacidad productiva frente a condiciones adversas (Houben & Brinks, 2020).

Las actividades productivas requieren, para su buen desarrollo, mantener la salud del suelo, entendida esta como la capacidad de aportar el sustento necesario para que las plantas expresen su potencial sin insumos externos. Parte de esta salud depende de la presencia de microorganismos y nutrientes, así como de la capacidad de retener agua y capturar carbono (Houben & Brinks, 2020; Rodale Institute, 2023), y esto se refleja en la productividad del cultivo y en la capacidad de la planta de generar un buen sistema de anclaje que le permita obtener los nutrientes necesarios para desarrollarse (Rebull, 2021).

Sacha inchi es una especie rústica, adaptable a diferentes condiciones de suelo (Arévalo, 1996), sin embargo, y ya que el objetivo es alcanzar una mayor productividad, es importante identificar aquellos suelos que permiten un mejor desarrollo del cultivo, mediante análisis físicos y químicos de suelos (Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit [GTZ], 2009) y de acuerdo con características como las siguientes:

Drenaje. Los cultivos de sacha inchi requieren suelos bien drenados (Guerrero-Abad & Benito García, 2006) con capacidad de eliminar los excesos de agua a nivel superficial y profundo (Dostert et al., 2009; IIAP, 2009).

Textura. No son recomendables los suelos con texturas arenosas o arcillosas (Dostert et al., 2009). Las primeras no tienen la capacidad de retención de agua y nutrientes (FAO, 2023b), y en el caso de los suelos de textura arcillosa se pueden presentar problemas por encharcamiento en época de lluvias, asociados a un drenaje deficiente y lento, o por contracción de las raíces en la época seca; las dos condiciones afectan el laboreo y el desarrollo de las plantas (Arévalo, 1996). Según Arévalo (1996) y GTZ (2009), el cultivo tiene mejores condiciones de desarrollo en suelos con texturas medias (aluviales o francos) (Manco Céspedes, 2008), ya que estos favorecen un crecimiento de las raíces y el acceso a los nutrientes en el suelo (Arévalo, 1996).

Topografía, pendiente y pedregosidad. Para este cultivo se prefieren zonas con topografía plana (Antonioli & Arfini, 2013) a suavemente ondulada (Arévalo, 1996), con pendientes hasta de 35% (Manco Céspedes, 2008) y pedregosidad de media a baja (GTZ, 2009).

pH y aluminio. Sacha inchi es una especie adaptable a suelos ácidos y con altos contenidos de aluminio (Arévalo, 1996; Dostert et al., 2009; Guerrero-Abad & Benito García, 2006). Se observa una mejor producción en suelos con pH de 5,5 a 6,5 (Antonioli & Arfini, 2013; Centro de Investigación, Educación y Desarrollo [CIED], 2007; GTZ, 2009), con susceptibilidad a suelos muy alcalinos (GTZ, 2009), es decir, con pH superior a 7,8 (Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC], 2014) o suelos con pH muy ácido (Manco Céspedes, 2008), inferior a 5,6 (IGAC, 2014).

Fertilidad y contenido de materia orgánica. Un suelo dedicado al cultivo de sacha inchi requiere una fertilidad media a alta (GTZ, 2009; Guerrero-Abad & Benito García, 2006) y de preferencia suelos con contenidos altos de materia orgánica (Antonioli & Arfini, 2013; GTZ, 2009).

Profundidad efectiva. Se recomiendan suelos profundos a muy profundos (Guerrero-Abad & Benito García, 2006), es decir, con profundidad mayor de 75 centímetros (IGAC, 2014).

Requerimientos climáticos

El sacha inchi es una especie con crecimiento y producción continuos, que puede verse afectada por variables geográficas y climáticas como altitud (m s. n. m.), temperatura (°C), precipitación (mm/año), humedad relativa (%) y luz.

Altitud. En su zona de origen, el sacha inchi es una especie perenne que se desarrolla de forma rústica en alturas que, según los autores, varían de 30 a 2.110 m s. n. m. (Antonioli & Arfini, 2013; CIED, 2007; GTZ, 2009; Granados, 2009; IIAP, 2009; Instituto Nacional de Innovación Agraria [INIA], 2006, 2013; Manco Céspedes, 2008); sin embargo, varios autores coinciden en indicar que el mejor rango de altitud para la producción de este cultivo se ubica entre los 100 y 1.500 m s. n. m. (Arévalo, 1996; Chirinos et al., 2009; Díaz

et al., 2008). Adicionalmente, Guerrero-Abad & Benito García (2006) indican que a partir de los 600 m s. n. m., las semillas producidas tienen mejor calidad.

Temperatura. El sacha inchi presenta un rango de adaptación de 12 a 36 °C (Díaz et al., 2008; GTZ, 2009; Manco Céspedes, 2008). Sin embargo, el INIA (2006, 2013) reduce el límite inferior a 10 °C, y Arévalo (1996) menciona que las bajas temperaturas afectan negativamente el crecimiento. Como rango óptimo de temperatura, CIED (2007) e IIAP (2009) indican un valor de 22 a 32 °C.

Antonioli & Arfini (2013), Arévalo (1996), Calram S. A. C. (2008), GTZ (2013), Manco Céspedes (2008), IIAP (2009) e INIA (2013) coinciden en que la temperatura es un factor preponderante en la reproducción de esta especie, e indican que temperaturas muy altas (sobre los 36 °C) pueden causar disminución del crecimiento, marchitamiento y pérdida de las flores y los frutos jóvenes; esto puede asociarse al aumento de la transpiración y la respiración y al cierre temprano de los estomas para disminuir las pérdidas de agua, con la consecuente reducción de la fotosíntesis. En cuanto a los problemas fitosanitarios, Antonioli & Arfini (2013) indican que las temperaturas altas facilitan la infestación por nematodos.

La temperatura puede afectar el ciclo vegetativo de la especie (Anteparra et al., 2013), lo que disminuye el tiempo necesario para alcanzar la cosecha (Antonioli & Arfini, 2013) y produce un desarrollo foliar y radical más rápido (Arévalo, 1996).

Precipitación y humedad relativa. En general, las plantas de rápido crecimiento necesitan una constante disponibilidad de agua. En el caso de sacha inchi se prefiere una distribución uniforme de lluvias durante el año (Antonioli & Arfini, 2013; Arévalo, 1996; Granados, 2009), ya que periodos prolongados de déficit hídrico conllevan la maduración prematura de los frutos, lo que acarrea cápsulas de tamaño pequeño que se desprenden de la planta y contienen semillas no viables (Arévalo, 1996).

En este sentido, la planificación del proceso de establecimiento cobra gran importancia, ya que al ser una especie que requiere de una disponibilidad continua de agua, particularmente en etapas críticas como la germinación, la floración y la fructificación, es necesario contar con la precipitación necesaria tanto en cantidad como en distribución anual; caso contrario, es importante tener un sistema de irrigación en el cultivo (Manco Céspedes, 2008).

El rango de precipitación requerido por la especie varía, según GTZ (2009) y Díaz et al. (2008), entre 750 y 2.800 mm/año; sin embargo, la mayoría de los documentos consultados indican un rango óptimo de 850 a 1.250 mm/año (Antonioli & Arfini, 2013; Calram S. A. C., 2008; Chirinos et al., 2009; Granados, 2009; GTZ, 2013; IIAP, 2009), con una distribución uniforme a lo largo del año (GTZ, 2009).

Periodos largos con precipitaciones y humedad relativa altas (mayor de 78%) favorecen la presencia de plagas y enfermedades, al aumentar la suculencia de las plantas (Arévalo, 1996); se resaltan enfermedades de tipo fungoso como *Fusarium* sp., antracnosis y *Botrytis* sp. (Antonioli & Arfini, 2013; Granados, 2009; Manco Céspedes, 2008) y nematodos como *Meloidogyne* spp. (Guerrero-Abad & Benito García, 2006).

Luz. Según Antonioli & Arfini (2013), Arévalo (1996) e IIAP (2009), sacha inchi es una especie exigente en luz para desarrollar su proceso fotosintético, por lo que la sombra afecta el ciclo vegetativo de la planta. Entonces, al disminuir la intensidad de la luz recibida, se aumenta el tiempo requerido para completar su desarrollo (Chirinos et al., 2009; Granados, 2009; Manco Céspedes, 2008), disminuye la floración (INIA, 2006, 2013) y por tanto la producción de frutos (Antonioli & Arfini, 2013; Arévalo, 1996; Calram S. A. C., 2008; GTZ, 2013); lo anterior coincide con lo expuesto por Amacifuén et al. (2013).

En términos generales, Arévalo (1996), Chirinos et al. (2009) y Granados (2009) señalan que, en condiciones de plena exposición, humedad relativa promedio de 78% y temperatura promedio de 26 °C, la planta se desarrolla sin enfermedades y tiene mayor producción de frutos.

Influencia de las variables climáticas en el cultivo

Sacha inchi es un cultivo prometedor por sus múltiples bondades nutricionales y cosméticas, al punto de ser identificado como una alternativa de sustitución de cultivos de uso ilícito (Hernández et al., 2019). Sin embargo, su producción, óptimo desarrollo, rendimiento y calidad del producto pueden verse afectados por las condiciones climáticas (Núñez-Rodríguez et al., 2021).

Autores como Arévalo (1996) y Núñez-Rodríguez et al. (2021) coinciden en mencionar algunos efectos de las variables climáticas como temperatura y precipitación en esta especie:

- Como aspecto positivo, las temperaturas altas pueden aumentar las tasas de germinación y disminuir el tiempo necesario para llegar a la cosecha. Sin embargo, en el periodo de producción pueden causar efectos negativos como pérdida de flores y frutos recién formados, lo que disminuye la producción de cápsulas y por ende de aceite.
- La ocurrencia de altas temperaturas y baja humedad en el mismo periodo puede facilitar la presencia de nematodos en las raíces.
- Las temperaturas altas o muy bajas reducen los procesos de fotosíntesis, lo que afecta el crecimiento de la planta. Este factor no solo determina la distribución y desarrollo de los cultivos; también afecta diversas reacciones bioquímicas como la respiración, la transpiración, la absorción de los nutrientes y la fotosíntesis (Dinesh & Reddy, 2012).
- El rendimiento en las actividades de cosecha se puede ver afectado negativamente por las altas temperaturas.
- La baja disponibilidad de agua impacta el desarrollo de las raíces y por tanto el crecimiento de la planta; adicionalmente, puede incidir en la germinación prematura de las semillas, comprometiendo la sobrevivencia. Es necesario recordar que el agua es la materia prima para el proceso de absorción y movilización de gases y nutrientes en la planta. La actividad celular se reduce al mínimo cuando el agua escasea de manera significativa en el ambiente. La productividad

de los cultivos está estrechamente asociada a la disponibilidad de humedad en los ambientes de producción, ya que esta desempeña un papel determinante en la transpiración y fotosíntesis de los cultivos al regular la actividad estomática; el agua, además, es el solvente primario en procesos fisiológicos por medio de los cuales se realiza el intercambio de gases, y minerales y otros materiales entran a las células de la planta y son translocados a varias partes de esta (Ukulan, 2008).

- Las inundaciones o excesos prolongados de agua en el suelo facilitan la infección por patógenos.
- Teniendo en cuenta que tradicionalmente el proceso de secado se realiza a plena exposición y el de almacenamiento de frutos cosechados y semillas en espacios adaptados para este fin, cambios drásticos en temperatura y humedad relativa pueden comprometer la calidad del aceite y del material de siembra.

El cultivo de sacha inchi y la salud del suelo

Dada la importancia de esta actividad productiva es necesario que en su desarrollo se implementen prácticas de manejo que mejoren la salud del suelo (Rebull, 2021) y a su vez permitan conservar su biodiversidad, mantener y mejorar el rendimiento del cultivo en términos de cantidad y calidad de producto, disminuir los costos de producción, conservar el agua, evitar la erosión (Cherlinka, 2021) y, en general, aumentar la resiliencia del sistema (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos [USDA], s.f.). Entre estas prácticas pueden mencionarse:

- Incluir coberturas como aporte de materia orgánica y rotación de cultivos con el objetivo de mantener una adecuada biodiversidad en el suelo (macro- y microrganismos) (Cherlinka, 2021), mejorar las condiciones de estructura, aumentar el contenido de nutrientes y la capacidad de retención de humedad y disminuir la erosión (Houben & Brinks, 2020; Truitt Nakata, 2021).
- Reducir la dependencia de productos químicos, al promover un equilibrio natural en los ecosistemas agrícolas (Truitt Nakata, 2021).

- Propender por el uso de insumos orgánicos en las actividades de manejo integrado de plagas y enfermedades (Cherlinka, 2021)
- Migrar del uso de tutores muertos que, al tener que ser reemplazados cada cierto tiempo, inciden en las tasas de deforestación (FAO, 2005), hacia la integración de prácticas agroforestales, en lo posible con especies arbustivas o arbóreas con capacidad de realizar fijación biológica de nitrógeno atmosférico, para reducir los requerimientos en cuanto a fertilizantes nitrogenados (Truitt Nakata, 2021).
- Realizar un uso eficiente del agua de riego, acorde con las condiciones edafoclimáticas del área de establecimiento (FAO, 2021).
- Promover la presencia de polinizadores mediante la conservación de hábitats y la reducción de pesticidas (Truitt Nakata, 2021).

AGROSAVIA

Capítulo V
El cultivo de sacha inchi

Maribel Tarazona Yanes, Hebert Camargo Tamayo,
Olga María Castro Navarro

La implementación del sacha inchi como cultivo tiene facilidades, retos y oportunidades. *P. volubilis* es una planta con plasticidad para adaptarse a distintas condiciones climáticas, como se describió en el capítulo anterior, y a suelos ácidos y poco fértiles. La especie aún se encuentra en proceso de domesticación y exhibe polinización cruzada, por lo cual la mayoría de los materiales sembrados en Colombia son producto de procesos de selección realizados por algunas empresas o por los mismos productores.

Debido a que *P. volubilis* es una especie de rápido desarrollo y de hábito trepador, requiere un sistema de tutorado (postes vivos o muertos y líneas de alambre) para orientar su crecimiento y soportar el peso de la planta. Para garantizar la vida útil del cultivo y una alta productividad a través del tiempo, se necesita un adecuado manejo agronómico, dentro del cual se destacan la fertilización y las podas.

En el siguiente capítulo se describen los arreglos de cultivo y los sistemas de siembra recomendados e implementados en el piedemonte de la Orinoquia colombiana, así como las prácticas de establecimiento y mantenimiento del sacha inchi. Este capítulo es la base para la definición de los costos técnicos de producción, detallados en el capítulo VIII.

El establecimiento del cultivo incluye la construcción del vivero, las actividades de preparación del terreno, muestreo de suelos, instalación del tutorado y siembra en sitio definitivo. Las principales labores de mantenimiento incluyen podas, fertilizaciones y manejo fitosanitario.

Arreglos de cultivo

El cultivo de sacha inchi puede ser establecido en sistemas de monocultivo y asociados, lo cual dependerá de las condiciones agroecológicas y de los recursos con los que cuente el agricultor.

Monocultivo

El monocultivo es un sistema que permite tener más plantas por área, con distancias de siembra de 3,0 × 3,0 m, densidad de 1.111 plantas y de 3,0 × 2,5 m, con densidad de 1.333 plantas por hectárea (figura 7).

Foto: Maribel Tarazona Yanes

Figura 7.

Sacha inchi en sistema de monocultivo en finca productora de Cubarral, Meta.

Cultivos asociados

El cultivo de sacha inchi se asocia principalmente a especies como plátano, frijol, cacao, café y especies forestales (Manco Céspedes, 2008); este sistema es utilizado por pequeños productores ya que les permite tener flujo de caja constante y de diversas fuentes. Es importante, antes de hacer estos asocios, tener en cuenta las características e interacciones entre las diferentes especies y las condiciones ambientales.

La ventaja de realizar arreglos agroforestales se puede ver desde los puntos de vista biológico, económico y de servicios ambientales, ya que se hace un eficiente uso del suelo; aumenta la biodiversidad, la captura de carbono y la generación de otros productos en la misma área; se reducen los costos por control de arvenses, y hay disminución de erosión, disponibilidad de sombra en épocas secas, mayor eficiencia en el uso del agua e ingresos económicos antes de que algunos árboles asociados comiencen la producción (Sotomayor Garretón, 2016).

Cuando se establecen estos arreglos agroforestales, es importante tener en cuenta las distancias de siembra; una recomendación general es sembrar el sacha inchi a una distancia mínima de 3,0 m de la especie acompañante y entender que, con el crecimiento de la especie arbórea, la sombra puede disminuir la producción de sacha inchi (figura 8).

Foto: Maribel Tarazona Yanes

Figura 8.

Arreglo agroforestal: cultivo de sacha inchi (1), cacay (2), asaí (3), caucho (4), cacao (5) C. I. La Libertad, AGROSAVIA.

Sistemas de siembra

El establecimiento del cultivo de sacha inchi se puede realizar con plántulas provenientes de vivero o mediante la siembra directa de la semilla sexual en sitio definitivo. También se pueden emplear algunas técnicas de propagación vegetativa, como se describió en el capítulo III.

Selección y manejo de la semilla

La selección y manejo de semillas de sacha inchi es un aspecto fundamental para garantizar el vigor de las plantas y la producción de aceite de alta calidad. Debido a su alto contenido de aceite, las semillas pierden viabilidad en poco tiempo.

Para asegurar una buena calidad de semillas en ausencia de oferta de semillas certificadas o variedades mejoradas, es crucial seleccionar cuidadosamente semillas de frutos maduros (figura 9a) provenientes de plantas con alto rendimiento y adaptadas a las condiciones específicas de la región. Es esencial elegir plantas sanas y libres de plagas y enfermedades, y preferiblemente después de un año de producción. Además, es importante obtener los frutos cosechados de la planta y no del suelo (GTZ, 2009).

Las semillas seleccionadas deben ser grandes, bien formadas y de color uniforme y brillante; se deben descartar las pequeñas, vanas, deformadas o dañadas (figura 9b).

Antes de almacenar o sembrar las semillas, es recomendable limpiarlas para eliminar impurezas como restos de fruta, tierra u otros materiales; esta limpieza se puede realizar manualmente o mediante un proceso de tamizado o ventilación suave.

Si no se siembra de inmediato, se aconseja almacenar la semilla adecuadamente para mantener su viabilidad: debe estar en un lugar fresco y seco, protegida de la luz solar directa y la humedad. Se pueden utilizar recipientes herméticos o bolsas de almacenamiento selladas para evitar la entrada de aire o humedad.

Fotos: Maribel Tarazona Yanes

Figura 9.

Fruto maduro y semillas de sacha inchi. a. Cápsulas con madurez para cosecha; b. Semilla en grano apta para siembra.

La capacidad de germinación de las semillas disminuye con el tiempo de almacenamiento y se ha observado que después de diez meses los porcentajes de germinación rondan aproximadamente el 70% (Gómez Mesa, 2005). Aquellas semillas que presenten más de 60 días de cosechadas y con las cuales se quiera implementar siembra directa, se deben someter a escarificación manual para favorecer su germinación (GTZ, 2009), aunque se recomienda sembrarlas lo más pronto posible después de la cosecha.

La siembra puede realizarse directamente en campo o primero en vivero, en bolsas o germinadores, para su posterior trasplante a sitio definitivo. Es aconsejable desinfectar las semillas con un fungicida de amplio espectro antes de la siembra en cualquier tipo de sustrato.

Siembra directa

Consiste en sembrar las semillas en el sitio definitivo del cultivo, colocando de 2 a 3 a una profundidad de 2-3 cm (Manco Céspedes, 2008).

Si la semilla está fresca, es decir, si tiene menos de 60 días de recolectada, no requiere remojo o escarificación. La evaluación de emergencia de las plántulas se realiza entre 15 y 20 dds, momento en el cual se selecciona la más vigorosa y se descartan las demás.

Siembra indirecta

En este sistema la siembra de la semilla se realiza en camas germinadoras y luego se trasplanta a bolsa, o se siembra directamente en bolsa. En AGROSAVIA se ha realizado el proceso desde germinador y se seleccionaron las plántulas más vigorosas para llevar a sitio definitivo (figura 10).

Foto: Maribel Tarazona

Figura 10.

Plántulas de sacha inchi en lote experimental del C. I. La Libertad.

Germinador

Los germinadores son camas donde la semilla se siembra cada 10 cm, a una profundidad de 2 cm, con el fin de proporcionar las condiciones adecuadas para el proceso de emergencia y desarrollo inicial de las plántulas (figura 11). La emergencia, según Gómez Mesa (2005), en Caquetá fue de 8 a 30 días, para alcanzar el 80%; sin embargo, en los ensayos realizados en vivero de AGROSAVIA, en Villavicencio (Meta), en 2022, se obtuvo emergencia de 90% en un periodo de 15 a 20 dds.

El sustrato que se usa normalmente es arena lavada y aserrín de madera. Se debe desinfectar previamente con dazomet (98%), seguido de metalaxil (25%), y cubrir con polipropileno negro; al quinto día se destapa y se deja airear durante 24 horas, al cabo de las cuales se realiza la siembra. Estas camas deben estar en sitio aireado, con polisombra y suministro constante de agua.

Foto: Maribel Tarazona Yanes

Figura 11.

Etapa de germinación de semillas de sacha inchi. a. Emergencia 15 días después de la siembra en germinador; b. Siete días después de emergencia.

Trasplante a bolsa

El sustrato para el llenado de las bolsas es una mezcla de tierra negra, arena de río, aserrín de madera y cascarilla de arroz quemada, en proporción 2:1:1:1 respectivamente. Se adiciona dazomet (98%) y cal dolomita. Las bolsas utilizadas son de polipropileno con dimensiones de 10 cm de alto × 7 cm de ancho (figura 12).

Foto: Maribel Tarazona Yanes

Figura 12.

Preparación de sustrato y embolsado.

El trasplante de cada plántula desde el germinador a la bolsa se realiza cuando se desarrolla el primer par de hojas verdaderas, aproximadamente entre 22 y 28 dds en cama de germinación, según datos obtenidos en ensayos de vivero realizados en el C. I. La Libertad de AGROSAVIA (figura 13).

Foto: Maribel Tarazona Yanes

Figura 13.

Trasplante de plántulas de sacha inchi a bolsa.

Preparación del terreno

Para la selección del lote que se va a sembrar se debe tener en cuenta la topografía (preferiblemente plana o ligeramente ondulada) y las propiedades físicas, entre ellas la profundidad efectiva y el drenaje natural. Una vez escogido el lote, se procede a realizar el muestreo de suelo para su análisis químico y con base en los resultados definir el plan de fertilización del cultivo.

Muestreo y análisis del suelo

El muestreo del suelo es una herramienta útil en el sector agrícola para la toma de decisiones, ya que permite conocer y monitorear las variables químicas, físicas y biológicas del suelo en un área determinada.

A partir de los resultados obtenidos de los análisis de suelos se pueden determinar: 1) los requerimientos químicos para establecer el plan de enmiendas y fertilización; 2) el tipo de labranza a utilizar, y 3) el riego y otras labores.

Durante la toma de muestras para análisis químico se utiliza una pala plana o un barreno, bolsas plásticas, cinta de enmascarar, regla o metro (para medir profundidad) y balde; se pueden sacar cinco submuestras a una profundidad de 20 cm, las cuales se combinan en el balde y posteriormente se saca una sola muestra de todo el lote, de aproximadamente 1 kg de suelo. La muestra se etiqueta con nombre de la finca, profundidad y fecha de muestreo (figura 14).

Fotos: Yeisson Gutiérrez

Figura 14.

Proceso de toma de muestra de suelo para análisis químico, antes del establecimiento del cultivo. a. Limpieza de la capa vegetal; b. Remoción de suelo previa a la toma de la muestra; c. Toma de la porción de submuestra de suelo de 0 a 20 cm; d. Descarte de los bordes de la submuestra; e. Mezcla de submuestras; f. Empaque de la muestra compuesta por 1 kg de suelo; g. Etiquetado de la muestra.

Para medir la compactación del suelo se emplea un equipo denominado *penetrómetro*, con el cual se aplica una fuerza constante y se obtienen valores de resistencia a la penetración para determinar si existe algún limitante para el desarrollo de las raíces (figura 15). Esta información sirve para definir si hay necesidad de labores de mecanización y drenaje del suelo y de esta manera evitar problemas de encharcamiento.

Foto: Olga Castro

Figura 15.

Medición de la resistencia a la penetración para determinar compactación del suelo.

Para determinar parámetros como conductividad eléctrica, densidad aparente, textura, estructura, porosidad del suelo, y construir las curvas de retención de humedad, se emplea un *kit* muestreador de anillos (figura 16). Se recomienda sacar cuatro muestras en diferentes sitios del lote a dos profundidades, 0 a 10 cm y 10 a 20 cm.

Fotos: Yeisson Gutiérrez

Figura 16.

Toma de muestras de anillos para determinar la densidad y porosidad del suelo. a. Conjunto muestreador de anillos; b. Toma de la muestra de anillo de suelo; c. Retiro de muestreador del suelo con la muestra; d. Anillo con muestra de suelo sin disturbar; e. Etiquetado de la muestra.

Mecanización y adecuación del lote

La preparación mecanizada se recomienda para la incorporación homogénea de las enmiendas. Si el área es muy pequeña (una hectárea o menos) y el productor no cuenta con tractor propio, es más práctico aplicar la cal en el hoyo de siembra.

El tipo e intensidad de mecanización del suelo dependerá de sus características físicas (entre ellas su textura y estructura), de la pendiente y de la vegetación del lote (figura 17).

Foto: Juan Carlos Campos

Figura 17.

Terreno preparado mediante mecanización, C. I. La Libertad.

Normalmente se realizan uno o dos pases de rastra, se aplican las enmiendas y se incorporan con cincel; luego se puede hacer un pase de pulidor para nivelar el lote.

Aplicación e incorporación de enmiendas

El tipo y cantidad de enmienda a aplicar en el lote se calcula con base en pH y porcentaje de saturación de aluminio. La forma de aplicación puede ser manual o con encaladora teniendo en cuenta que la distribución sea uniforme (figura 18).

Foto: Hebert Camargo

Figura 18.

Encalado manual del lote por franjas, C. I. La Libertad.

La mayoría de suelos del piedemonte de la Orinoquia son ácidos y generalmente presentan alta saturación de aluminio, por lo cual se recomienda la aplicación de una mezcla de cal dolomita, roca fosfórica y yeso agrícola, así como su incorporación con un pase de cincel. Puede ser necesaria la aplicación de una o varias de estas enmiendas y la dosis dependerá del análisis químico del suelo.

Trazado del lote

Para esta tarea se requiere un metro o una vara de medida conocida, cabuya de polipropileno, estacas cortas y al menos cuatro estacas largas para cada esquina del lote. Se recomienda realizar esta actividad entre dos personas para una correcta alineación.

Después de la preparación adecuada del terreno, se procede a marcar los surcos o líneas de siembra. Se sugiere que la orientación de los surcos sea norte-sur para que las plantas aprovechen la mayor radiación solar durante todo el día. Se recomienda empezar por una esquina y realizar una escuadra; primero se marcan dos lados del lote con estacas (figura 19).

Foto. Hebert Camargo

Figura 19.

Trazado del lote para la siembra de sacha inchi, C. I. La Libertad.

Instalación del tutorado

Debido a que la planta de sacha inchi presenta crecimiento indeterminado y hábito trepador, requiere un sistema de soporte que incluya postes y alambres. Los postes pueden ser tutores vivos o muertos.

Para el establecimiento con tutores muertos se pueden emplear varios tipos de postes de madera. Los más usados son los de eucalipto y acacia, los cuales se deben inmunizar al menos en las dos puntas para alargar su vida útil. Los postes con mayor duración son los de pino, que vienen inmunizados completamente y pueden durar hasta 20 años. Son de más alto costo, pero pueden ser aprovechados en varios ciclos de cultivo o para otras actividades productivas que tenga el agricultor.

Se recomienda emplear postes de madera rolliza de 2,10 m de largo × 10 cm de diámetro. Se sugiere que al principio y al final de cada surco se coloquen estaciones (figura 20), las cuales sirven para darle mayor resistencia al sistema de alambrado y tutores.

Adicionalmente, se sugiere colocar tres líneas de alambre para soportar el peso de las plantas cuando se encuentren en plena producción. Las dos líneas de abajo pueden ser de calibre 14 y la de la parte superior de calibre 12, ya que es la que va a soportar más peso. Se recomienda emplear alambre ecológico.

Fotos: Hebert Camargo

Figura 20.

Sistema de tutorado para el cultivo de sacha inchi. a. Estaciones con madera de pino; b. Estaciones con madera de eucalipto; c. Tutorado con postes de pino; d. Tutorado con postes de eucalipto.

Siembra en sitio definitivo

Entre 45 y 60 días después de germinadas aproximadamente, las plantas se llevan a sitio definitivo. Se recomienda realizar el trasplante antes de que las plantas emitan sus primeros zarcillos y tiendan a enredarse entre ellas (figura 21). Cuando se llevan a campo plantas que se encuentran en vivero, se sugiere exponerlas gradualmente a la luz solar días antes del traslado.

Foto: Maribel Tarazona Yanes

Figura 21.

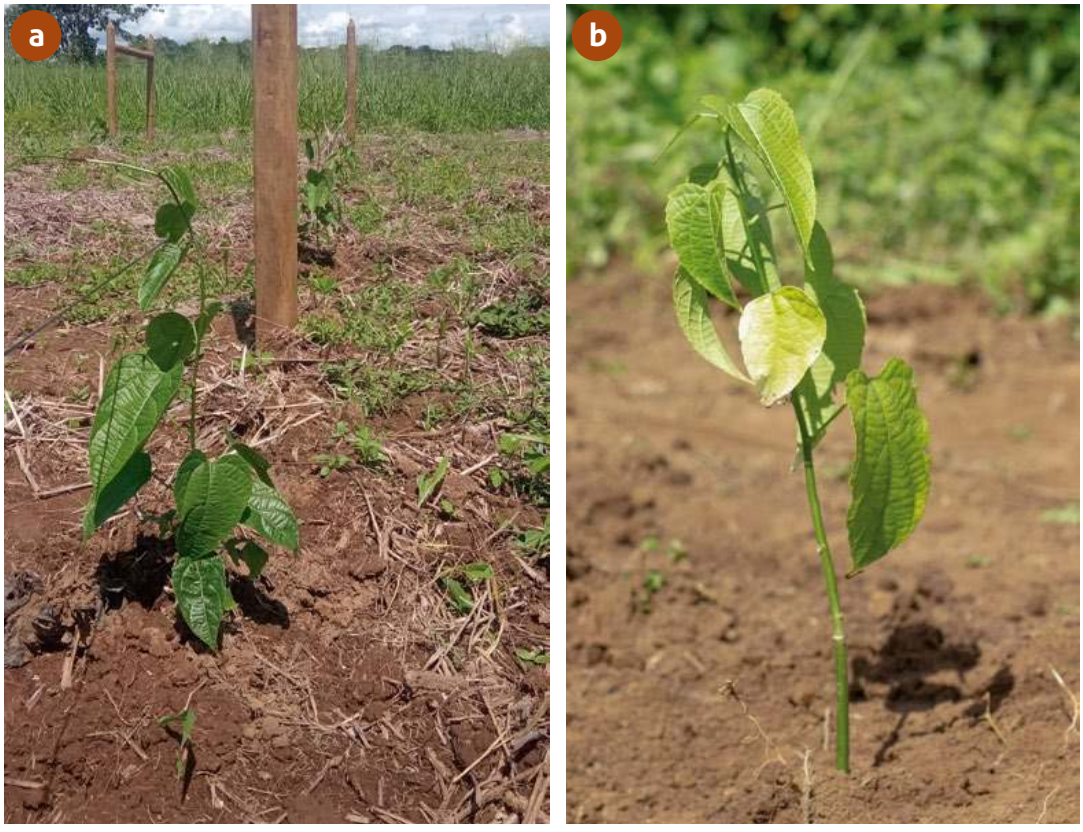
Plántulas de sacha inchi con emisión de zarcillo en vivero.

Se sugiere cavar hoyos de 30×30×30 cm con palín o ahoyador mecánico; en cada sitio de siembra se aplica cal dolomita (en caso de que no se haya podido mecanizar el terreno) y materia orgánica compostada, en dosis que pueden variar entre 500 y 1.500 gramos según los resultados del análisis de suelo. La cal y la materia orgánica se pueden mezclar con la tierra con la cual se va a rellenar el hoyo después de sembrada la planta (figura 22a).

Adicionalmente, se sugiere aplicar una fuente de fósforo, potasio y micronutrientes al momento de la siembra. Las dosis de cada nutriente dependerán de los resultados del análisis de suelo.

Los meses de marzo, abril y septiembre son los más propicios para el trasplante a sitio definitivo en la región del piedemonte, debido a que históricamente en estos meses se presentan precipitaciones moderadas. Sin embargo, debido a la variación climática actual se recomienda llevar un registro pluviométrico del área donde se pretende establecer el cultivo para definir la época de siembra más apropiada.

Dentro del primer año después de la siembra puede ser necesario realizar resiembra de algunas plantas (figura 22b)



Fotos: Olga Castro y Yeisson Gutiérrez

Figura 22.

Siembra de plántulas de sacha inchi en sitio definitivo. a. Planta un mes después de siembra en campo; b. Planta de resiembra.

Labores de mantenimiento del cultivo

Las principales actividades de mantenimiento del cultivo son podas, manejo de arvenses y fertilización.

Podas

La poda es una labor agronómica que involucra ciencia y arte. Su objetivo es establecer un equilibrio fisiológico entre la raíz y la copa para que la planta funcione como una sola unidad productiva. En el cultivo de *P. volubilis* incluye el guiado o acomodación de ramas y el deschuponado.

Existen dos tipos de podas que se realizan a las plantas de sacha inchi (Manco Céspedes, 2008). La poda de formación (figura 23), la cual se inicia casi desde la siembra, cuando las plantas emiten su primer zarcillo, consiste en dejar un solo tallo principal, el cual se debe guiar con ayuda de una cuerda; posteriormente se recomienda dejar solo dos ramas laterales, que se direccionan en un ángulo de aproximadamente 45°.

Después de que empieza la cosecha del cultivo, se deben eliminar periódicamente las ramas improductivas, labor que se denomina *poda de producción*. *P. volubilis* emite constantemente brotes laterales, por lo que las actividades de poda se deben realizar periódicamente para mantener la productividad y sanidad del cultivo.

Bajo las condiciones del piedemonte de la Orinoquia se sugiere realizar las podas aproximadamente cada 45 días, lo que corresponde a seis podas al año. Durante la época seca no se recomienda hacer esta labor, ya que las plantas se encuentran en estrés por déficit hídrico.

No se deben llevar a cabo podas en días lluviosos. Todos los cortes se deben cubrir con pasta fungicida para evitar la infección por microorganismos. Es importante desinfectar las herramientas con hipoclorito o con un producto a base de yodo antes de pasar de una planta a otra.

Fotos: Olga Castro

Figura 23.

Manejo de podas en cultivo de sacha inchi. a. Tutorado y poda de formación; b. Planta con poda de formación; c. Poda de cultivo en producción.

Manejo de arvenses

Se sugiere establecer un cultivo de cobertura, preferiblemente de una leguminosa como *Arachis pintoi*, después de la siembra de las plantas de sacha inchi, para evitar la competencia de gramíneas y otras arvenses, así como para aportar nitrógeno y materia orgánica al suelo. Cabe anotar que esta cobertura también se debe manejar para que no se vuelva competencia para las plantas de sacha inchi. El manejo consiste en mantener el área de plateo y guadañar la cobertura con cierta frecuencia según su desarrollo.

La limpieza del plato de cada planta se puede realizar dos veces al año y depende mucho del plan de fertilización del cultivo. El plato debe estar limpio cada vez que se apliquen fertilizantes por vía edáfica (figura 24a). Se recomienda realizar esta labor manualmente con ayuda de un azadón, dejando un área limpia de aproximadamente 1 m de diámetro con la planta como centro. Durante el periodo de ausencia de lluvias en la región, se sugiere que el área de plateo no quede desnuda, lo cual se

puede lograr si se deja crecer la cobertura o colocando algún tipo de *mulch* alrededor de la base de la planta, esto con el fin de mantener la humedad y evitar el estrés por déficit hídrico.

El manejo de arvenses en las calles y dentro de los surcos del cultivo se puede realizar con guadaña cada 2,5 a 3 meses durante el periodo de mayor precipitación en la región (figura 24b). En la época seca la frecuencia se reduce; inclusive en el verano se sugiere dejar algunas arvenses nobles para mantener la humedad en el lote.

Fotos. Hebert Camargo

Figura 24.

Manejo de arvenses en el cultivo de sacha inchi.
a. Plateo; b. Lote recién guadañado.

Fertilización

El plan de fertilización del cultivo dependerá de la disponibilidad de nutrientes en el suelo y de las exigencias del mercado. El mercado de productos orgánicos solo permite el uso de ciertos insumos. En todo caso, para una producción amigable con el medio ambiente y sostenible económicamente, se sugiere el menor uso posible de productos de síntesis química.

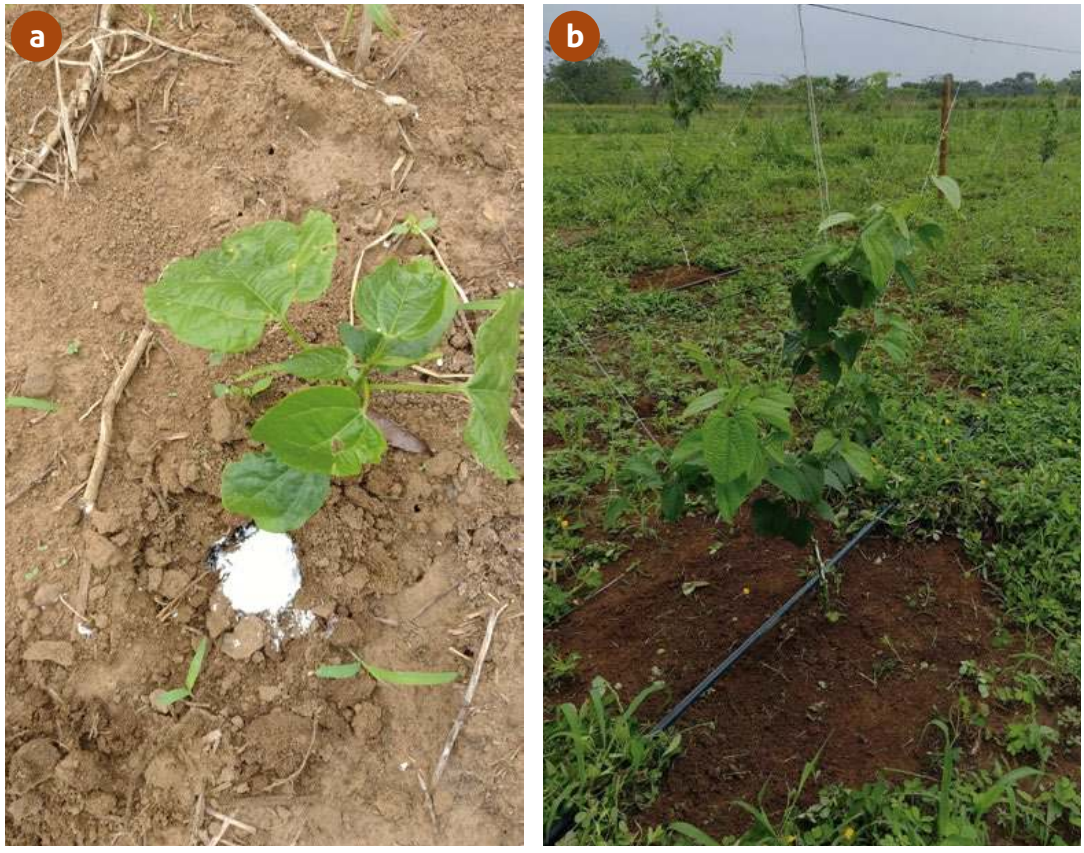
La fertilización del suelo es fundamental para el adecuado aporte de macroelementos como nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K). La aplicación de productos vía foliar se recomienda como un complemento a la vía edáfica y sirve para contrarrestar deficiencias específicas, especialmente de algunos micronutrientes poco móviles.

En cuanto a la fertilización orgánica, se debe emplear una fuente compostada, preferiblemente con análisis microbiológico, que garantice la ausencia de microorganismos patógenos de las plantas y de los humanos. Se sugiere la aplicación fraccionada de mínimo 4 kg de gallinaza compostada al año, y la dosis específica dependerá del análisis de suelo. Este producto se aplica en corona, en el plato de cada planta de sacha inchi (figura 25a).

Para una adecuada nutrición de las plantas, es necesario tener en cuenta los requerimientos del cultivo por etapa fenológica y los respectivos niveles críticos del suelo y foliares. Según Cachique (2022), la fertilización durante el primer año de cultivo de *P. volubilis* se lleva a cabo al inicio del crecimiento del follaje (dos meses después de la siembra [mds]), al inicio de la floración (3 mds), al empezar la fructificación (5 mds) y cuando comienza la cosecha (8 mds).

En las etapas de crecimiento del follaje e inicio de floración, las plantas de sacha inchi requieren nitrógeno, calcio y microelementos, particularmente el zinc a los 2 mds, y el boro al inicio de la floración (Cachique, 2022).

Si se realizó fertilización de fondo (adición de N, P, K y materia orgánica en el hoyo al momento de la siembra), las aplicaciones de fertilizantes se pueden hacer foliarmente en la fase de inicio de crecimiento del follaje. A los 3 mds se sugiere aplicar vía edáfica un fertilizante compuesto de N, P y K, junto con una fuente de boro (figura 25b). A los 5 mds, cuando empieza la fructificación, se puede llevar a cabo otra fertilización foliar que supla nitrógeno y calcio según recomendaciones de Cachique (2022). Al inicio de la cosecha, es conveniente suministrar una fuente compuesta de N, P, K y de elementos menores.



Fotos: Hebert Camargo

Figura 25.

Fertilización en el cultivo de sacha inchi. a. Aplicación de fertilizante en una planta recién sembrada; b. Planta abonada con materia orgánica compostada.

Cosecha

Se realiza cuando los frutos alcanzan su madurez fisiológica, lo cual ocurre aproximadamente cuatro meses después de la floración. Es de gran importancia, antes de la cosecha, tener en cuenta los siguientes factores:

- *Madurez de los frutos.* Los frutos de sacha inchi están listos para la cosecha cuando la cáscara exterior se seca y se desprende fácilmente. Además, los frutos maduros suelen presentar un cambio de color de verde a amarillo o marrón (Arévalo, 1996). Es importante observar los frutos y asegurarse de que estén completamente maduros antes de proceder a la cosecha (figura 26).

Foto: Maribel Tarazona Yanes

Figura 26.

Color de fruto de sacha inchi en estado inmaduro (verde), y maduro (café) apto para cosechar.

- *Preparar las herramientas.* Normalmente la cosecha se lleva a cabo desprendiendo los frutos maduros con la mano, pero también se pueden usar tijeras de podar o cuchillos afilados para cortar los tallos de los frutos. Es importante desinfectar las herramientas, planta a planta, para evitar la diseminación de patógenos.

- *Cosecha selectiva.* La cosecha no se debe realizar en días muy lluviosos porque entonces las cápsulas requerirán un periodo más prolongado de secado antes de su comercialización o transformación. Se aconseja recolectar los frutos maduros de forma individual, examinar cada fruto y cortar cuidadosamente para no dañar los frutos vecinos. No se deben recolectar los frutos que caen al suelo, los inmaduros y los deteriorados, ya que pueden afectar la calidad general de la cosecha. Se recomienda supervisar con frecuencia la plantación para establecer la periodicidad de recolección, la cual se realiza generalmente cada quince días, pero se puede alargar hasta un mes según la cantidad de fruto y las condiciones climáticas (figura 27).

Foto: Hebert Camargo

Figura 27.

Cosecha de sacha inchi, C. I La Libertad, AGROSAVIA.

- *Almacenamiento de la cosecha.* Después de la cosecha, es importante almacenar las cápsulas de sacha inchi adecuadamente para evitar su deterioro. Se aconseja emplear costales de fibra natural como fique o yute (figura 28), para permitir una adecuada aireación y evitar la pudrición de las cápsulas. Se recomienda elegir un lugar fresco, seco y protegido de la luz solar directa para almacenar los frutos hasta que estén listos para su procesamiento posterior.

Foto. Hebert Camargo

Figura 28.

Frutos de sacha inchi empacados en costales de fibra natural.

Capítulo VI
Recomendaciones de cosecha, poscosecha y transformación del sacha inchi

Jenifer Criollo Núñez, Jhon Alexander Rincón Reina

Las etapas de cosecha y poscosecha tienen un efecto determinante en la calidad del grano y del aceite de sacha inchi. En este capítulo se describen las recomendaciones para recolectar las cápsulas y para las fases de secado y almacenamiento.

Si se siguen estos consejos, los sachaicultores tendrán mayor oportunidad de comercializar la estrella, y ofrecer un producto de calidad que garantice un mercado más estable.

Recomendaciones para la cosecha del sacha inchi

La cosecha se estabiliza a los catorce meses de establecido el cultivo. Los frutos o cápsulas son colectados cuando toman un color marrón oscuro o negro cenizo. Las cápsulas se recolectan de manera manual, ya que el fácil desprendimiento de la estrella es un indicador de cosecha; algunas veces se producen pérdidas por dehiscencia o abertura natural de la estrella, y por ello se recomienda cosechar cada quince días (Guerrero-Abad, 2014).

Al cosechar se pueden encontrar cápsulas inmaduras, que se reconocen porque conservan algo de color verde, y que, si se dejan en campo para la siguiente cosecha, ya no se podrán aprovechar. En estos casos, se sugiere colectarlas y ponerlas al sol para evitar la colonización por hongos y el deterioro de la calidad.

Es importante indicar que algunas cápsulas, una vez maduras fisiológicamente, caen al suelo. Al momento de realizar la cosecha, si se recogen del suelo, es necesario secarlas rápido y separadas de las estrellas recogidas directamente de la planta, ya que se puede presentar contaminación por hongos (Acosta Córdova, 2021).

Recomendaciones para la poscosecha

La poscosecha abarca las fases de secado y almacenamiento, necesarias para llevar la estrella a condiciones de humedad que minimicen la posibilidad de colonización de hongos que deterioren la calidad. A continuación, se registran recomendaciones para el buen desarrollo de estas fases.

Secado

Es importante mantener una temperatura adecuada durante el secado para evitar daños en la semilla, especialmente en la grasa que contiene (Zuloeta Arias, 2014). Se sugiere una temperatura de secado de 35 a 45 °C (Castaño et al., 2012). Si la humedad relativa de la zona donde se realiza el secado supera el 50%, este debe realizarse en secaderos tipo marquesina, resguardando la estrella durante la noche con las persianas bajas al nivel del piso. Si la radiación es fuerte, se sugiere realizar el secado bajo sombra, ya que las altas temperaturas pueden producir la migración de aceite del interior al exterior de la estrella y desnaturalizar los ácidos grasos insaturados; el tiempo de secado varía según condiciones específicas, como humedad ambiental y temperatura (Sánchez Maxi, 2013).

Se recomienda un tiempo de secado de 24 a 48 horas, con volteos cada dos horas, y monitoreo de la humedad de las semillas mediante un medidor que permita determinar cuándo alcanzan un porcentaje de 6 a 8%. Es esencial proporcionar una buena ventilación durante el proceso de secado para evitar la acumulación de humedad en las semillas y prevenir la formación de hongos u otros problemas; se pueden utilizar ventiladores o secadores de aire para asegurar una buena circulación del aire (Daza, 2019).

Para determinar si las semillas de sacha inchi están completamente secas, se pueden realizar pruebas de humedad con instrumentos como medidores de humedad o probadores de peso. Sin embargo, si se carece de estas herramientas, los sentidos pueden ser aliados del proceso, y en tal caso el seguimiento se hace mediante tacto de la almendra que se encuentra al interior de la estrella, ya que al reducirse la humedad se facilita el desprendimiento de las cápsulas y la apertura de las mismas, lo que permite acceder fácilmente a la almendra interna. Se considera que las semillas están secas cuando alcanzan un contenido de humedad de 6 a 8% (Adrianzén et al., 2011).

Almacenamiento

Las condiciones de almacenamiento son determinantes para mantener la calidad física, química y microbiológica del sacha inchi durante periodos prolongados; es importante asegurarse de que la estrella esté libre de impurezas, como residuos de tierra u otros materiales extraños, y eliminar las semillas dañadas o con esporas que, al aumentar la humedad, serán el inóculo para el desarrollo de hongos que afectan la calidad (Acosta Córdova, 2021).

La estrella de sacha inchi debe almacenarse en sacos de yute o bolsas de polietileno, de hasta 50 kg, en recintos cerrados y con buena aireación, a temperaturas que no excedan los 20 °C, separando con estibas los bultos del suelo y la pared para impedir que la estrella adquiera humedad del suelo. Es importante que el lugar de almacenamiento esté fresco y seco, con temperatura estable y humedad relativa de 40 a 50%, y evitar la exposición directa al sol (Daza, 2019).

Durante el almacenamiento, la estrella se debe proteger de insectos y roedores; se pueden utilizar productos de control de plagas que estén regulados por la normatividad vigente del Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (Invima) o del Ministerio de Salud y Protección Social (Minsalud), y revisar periódicamente los contenedores para detectar posibles infestaciones. Para asegurar la rotación y calidad del sacha inchi,

se recomienda utilizar el principio de "primero en entrar, primero en salir" (PEPS)[1] al administrar el inventario; esto garantiza que las semillas más antiguas se utilicen primero.

Condiciones de almacenamiento y contenidos de humedad inadecuados facilitan la colonización y desarrollo de hongos de los géneros *Aspergillus* spp., *Penicillium* spp. y *Fusarium* spp., cuya procedencia se asocia al cultivo o propiamente al secado, ya que pueden estar presentes en el ambiente; algunos hongos son productores de micotoxinas, que son sustancias químicas tóxicas causantes de enfermedades e incluso mortales (Vásquez Orión, 2016).

Opciones agroindustriales de transformación de la almendra

La transformación de la almendra de sacha inchi en una variedad de productos y subproductos ofrece un potencial no solo para la industria alimentaria, sino también para la economía y la sostenibilidad agrícola. En este análisis, exploraremos las diversas opciones agroindustriales disponibles para el aprovechamiento de la almendra.

Proceso de obtención de almendra

Más allá de su valor nutricional, la almendra de sacha inchi tiene un vasto potencial agroindustrial que se extiende mucho más allá de su forma natural. En la figura 29 se describen los procesos necesarios para su aprovechamiento.

1 La fórmula PEPS se basa en que la primera producción almacenada sea la primera en salir a la venta, lo que produce una adecuada rotación del producto y mitiga las pérdidas en el proceso de almacenamiento. Aplicar este método para los inventarios es de gran utilidad ya que con él se pueden fijar los precios de acuerdo con el valor que fueron producidos (Rodríguez, 2022).

N.°	Flujograma	Descripción (procedimiento)
1	Inicio → Recepción y selección de semillas	Las semillas de sacha inchi se recepciona, seleccionando aquellas sin daño físico, microbiológico u oxidado; eliminando impurezas y materiales extraños.
2	Lavado	Las semillas seleccionadas se lavan con agua limpia para eliminar cualquier residuo o impureza superficial. Este proceso ayuda a garantizar la higiene
3	Secado	Después del lavado, las semillas se someten a un proceso de secado para reducir su contenido de humedad. Esto se puede lograr mediante secadores de aire caliente donde no se excedan los 45 °C o mediante exposición al sol. El secado adecuado es esencial para garantizar la calidad y la vida útil de las almendras de sacha inchi.
4	Descascarillado	Una vez que las semillas están secas, se realiza el descascarillado. Se separa la cáscara exterior y la almendra. Se pueden utilizar diferentes métodos, como máquinas de descascarillado mecánico, para facilitar este proceso.
5	¿La almendra es óptima? → No → Se desechan en la basura las almendras dañadas o defectuosas → Fin; Sí	Después del descascarillado, las almendras de sacha inchi se seleccionan y clasifican según su tamaño, forma y calidad. Se eliminan las almendras defectuosas o dañadas, asegurando que solo las almendras de alta calidad continúen en el proceso.
6	Limpieza y pulido	En esta etapa, las almendras se someten a una limpieza adicional para eliminar cualquier impureza residual. También se pueden pulir para mejorar su apariencia y eliminar cualquier superficie áspera.
7	Envasado y almacenamiento → Fin	Una vez que las almendras de sacha inchi han pasado todos los controles de calidad, se envasan en bolsas o recipientes adecuados. Estos envases deben ser herméticos para proteger las almendras del contacto con la humedad y el aire. Luego, se almacenan en un lugar fresco y seco hasta su distribución o procesamiento posterior.

Figura 29.

Flujograma del proceso para la obtención de almendra.

Fuente: Elaboración propia con base en Vásquez Orión (2016)

Proceso industrial para la obtención de aceite

Es importante resaltar que la obtención del aceite de sacha inchi es un proceso que requiere cuidados con respecto a las temperaturas de proceso, para que no sufra alteraciones en sus propiedades fisicoquímicas y organolépticas. En la figura 30 se establecen el desarrollo y los puntos críticos para tener en cuenta en el aprovechamiento de este subproducto de la semilla de sacha inchi.

N.°	Flujograma	Descripción (procedimiento)
1	Inicio → Recepción y selección de semilla	Las semillas de sacha inchi se recepcionan y seleccionan.
2	¿La almendra es óptima? — No → Se desechan en la basura las almendras dañadas o defectuosas → Fin; Sí	Se realiza una selección inicial para descartar aquellas que están dañadas o de baja calidad. Se verifica la pureza de las semillas y se eliminan impurezas y materiales extraños.
3	Limpieza	Las semillas seleccionadas se lavan con agua limpia para eliminar cualquier residuo o impureza superficial. Este proceso ayuda a garantizar la higiene de las semillas y evita la contaminación del aceite durante la extracción.
4	Secado	Después del lavado, las semillas se someten a un proceso de secado para reducir su contenido de humedad. Esto se puede lograr mediante secadores de aire caliente o mediante exposición al sol. El secado adecuado es esencial para garantizar la calidad y la estabilidad del aceite.
5	Descascarillado	Una vez que las semillas están secas, se procede al descascarillado. Esto implica la remoción de la cáscara exterior de las semillas para revelar la almendra en su interior. Se pueden utilizar diferentes métodos, como máquinas de descascarillado mecánico, para facilitar este proceso.
6	Tostado	Después del descascarillado, las almendras de sacha inchi se tuestan ligeramente para mejorar el sabor y aroma del aceite. El tostado también ayuda a liberar el aceite contenido en las almendras y facilitar su extracción.
7	Extracción de aceite	Las almendras tostadas se someten a un proceso de extracción para obtener el aceite de sacha inchi. El metodo mas común es la extraccion por prensado en frío o mediante el uso de expulsores mecanicos. Durante este proceso, se aplica presión a las almendras para liberar el aceite contenido en ellas.
8	Filtración	Después de la extracción, el aceite se filtra para eliminar cualquier residuo sólido o impureza. Esto se puede lograr utilizando filtros de diferentes grados para obtener un aceite limpio y claro.
9	Almacenamiento → Fin	Una vez filtrado, el aceite de sacha inchi se almacena en recipientes herméticos y se protege de la luz y el calor. Se recomienda almacenarlo en un lugar fresco y oscuro para conservar su calidad y frescura.

Figura 30.

Flujograma del proceso para la obtención de aceite de semilla de sacha inchi.

Fuente: Elaboración propia con base en Vásquez Orión (2016)

Proceso industrial para la obtención de *snacks*

La obtención de *snacks* a través de un proceso industrial representa un área de estudio y desarrollo relevante en el ámbito de la producción de alimentos. En la intersección de la ciencia de los alimentos con la ingeniería de procesos, este enfoque tiene como objetivo transformar materias primas en productos finales que no solo satisfagan las demandas de los consumidores en términos de sabor y textura, sino que también cumplan con los estándares de calidad, seguridad y eficiencia en la producción.

En la figura 31 se explora minuciosamente el proceso industrial para la obtención de *snacks*. Se destacan los procedimientos, tecnologías, puntos críticos y principios científicos involucrados en la creación de estos productos apreciados en el mercado global de alimentos.

N.°	Flujograma	Descripción (procedimiento)
1	Inicio → Recepción y selección de semilla	Las semillas de sacha inchi se recepciona, seleccionando aquellas sin daño fisico, microbiologico u oxidado; eliminando impurezas y materiales extraños.
2	¿La almendra es óptima? No → Se desechan en la basura las almendras dañadas o defectuosas → Fin; Sí	Se realiza una selección inicial para descartar aquellas que están dañadas o de baja calidad. Se verifica la pureza de las semillas y se eliminan impurezas y materiales extraños.
3	Limpieza	Las semillas seleccionadas se lavan con agua limpia para eliminar cualquier residuo o impureza superficial. Este proceso ayuda a garantizar la higiene de las semillas y evita la contaminación del aceite durante la extracción.
4	Condimentado	Una vez tostadas, las almendras de sacha inchi se pueden condimentar con diferentes sabores y especias para agregar variedad y satisfacer diferentes preferencias de los consumidores. Algunas opciones populares incluyen sal, pimienta, hierbas, especias u otros aditivos naturales.
5	Enfriamiento	Después de ser condimentadas, las almendras de sacha inchi se enfrían para alcanzar la temperatura ambiente.
6	Empaquetado	Luego, se empaquetan en bolsas o recipientes adecuados, que deben ser herméticos para conservar la frescura y proteger el producto de la humedad y la contaminación.
7	Tostado	Después del descascarillado, las almendras de sacha inchi se tuestan ligeramente para mejorar el sabor y aroma del aceite. El tostado también ayuda a liberar el aceite contenido en las almendras y facilitar su extracción.
8	Etiquetado → ¿Está el producto óptimo? No → Empaquetado; Sí	En esta etapa, se etiquetan las bolsas o los recipientes con la información del producto, como el nombre, los ingredientes, la fecha de caducidad y las declaraciones nutricionales. Además, se realizan controles de calidad para garantizar que los *snacks* de sacha inchi cumplan con los estándares establecidos en términos de sabor, textura, apariencia y calidad microbiológica.
9	Almacenamiento → Fin	Se recomienda almacenarlo en un lugar fresco y oscuro para conservar su calidad y frescura.

Figura 31.

Flujograma del proceso para la obtención de *snacks* de sacha inchi.

Fuente: Elaboración propia con base en Vásquez Orión (2016)

Aprovechamiento de residuos

El aprovechamiento de residuos a través de un proceso científico representa una faceta esencial de la gestión sostenible de los recursos y la economía circular en la agricultura. En un mundo cada vez más consciente de la necesidad de reducir residuos y promover la sostenibilidad, la conversión de desechos orgánicos en productos aprovechables se ha convertido en un campo de estudio y desarrollo de gran relevancia.

En el marco de este proceso, examinamos los componentes de la cáscara y de los residuos de prensado y tostado, y su uso por medio de tecnologías y prácticas científicas para transformar estos desechos en un recurso de alto valor que impulse la producción agrícola.

- *Cáscaras de sacha inchi.* Las cáscaras de las semillas son un subproducto que se genera durante el descascarillado. Estas cáscaras contienen fibra y compuestos bioactivos. Pueden ser usadas como fuente de fibra dietética en alimentos funcionales o suplementos. Además, se ha estudiado su uso potencial en la obtención de extractos con propiedades antioxidantes y antimicrobianas (Benítez et al., 2014).
- *Residuos de prensado de aceite.* Durante la extracción de aceite de sacha inchi, se producen residuos sólidos, como la torta de prensado. Esta torta puede utilizarse como alimento para animales o incorporarse en la formulación de alimentos balanceados, ya que contiene proteínas y lípidos de alta calidad (Rodríguez Peña, 2020).
- *Residuos de tostado.* Durante el tostado de las almendras de sacha inchi, se pueden generar residuos de piel o partes del grano que no cumplen con los estándares de calidad. Estos residuos pueden utilizarse en la producción de harinas ricas en proteínas y lípidos, para incorporarlas en la formulación de productos alimentarios (Betancur Hoyos et al., 2022).
- Es importante destacar que el aprovechamiento de estos residuos puede variar dependiendo de la escala de producción y las tecnologías disponibles en cada caso particular.

Estudio de caso: manejo de cosecha, poscosecha y caracterización del sacha inchi producido en Vista Hermosa, Meta

La calidad del sacha inchi está influenciada por factores como prácticas de cosecha y poscosecha, genética del material y condiciones climáticas de producción. Con el fin de proyectar mejoras sustanciales en la cosecha de la estrella, se aplicó un estudio de tiempos y movimientos en las operaciones realizadas en tres fincas productoras de sacha inchi de Vista Hermosa, y se hizo una caracterización fisicoquímica del fruto y de la calidad de los aceites.

Estudio de tiempos y movimientos en la cosecha del sacha inchi en dos fincas de Vista Hermosa, Meta

El estudio de tiempos y movimientos es una técnica de ingeniería que cuantifica el tiempo de ejecución de las etapas que componen un proceso. Esto permite minimizar los costos asociados a cada etapa sin perder de vista la disponibilidad de recursos, al eliminar o reducir los movimientos ineficientes y al acelerar los eficientes, ya que estos se consideran factores externos que pueden influir en la ejecución para cumplir y desarrollar el proyecto (De Lira- Martínez & Romero-Guerrero, 2022).

El estudio de tiempos y movimientos se realizó en dos fincas productoras de sacha inchi en Vista Hermosa. Se abordaron las actividades asociadas a la cosecha, como se indica en la figura 32. Al observar a un recolector durante una jornada de trabajo, se registró la información relacionada con operaciones, movimientos e indicadores de proceso.

N°	Actividades de cosecha	Descripción proceso					Tiempo actividad	
		Operación	Transporte	Inspección	Demora	Almacenamiento		
		○	⇨	□	D	▽	Finca 1	Finca 2
1	Alistamiento de herramientas, insumos y equipos	●	➡	□	D	▽	2’10’’	30’’
2	Desplazamiento al cultivo para la cosecha de la estrella	○	⇨	■	D	▽	5’26’’	4’30’’
3	Revisión y planificación del orden de recolección por surcos	○	➡	□	D	▽	5’14’’	30’’
4	Traslado a la planta para la recolección de frutos	●	⇨	□	D	▽	10’08’’	4’30’’
5	Recolección de frutos	○	➡	□	D	▽	14’33’’	9’41’’
6	Desplazamiento para cosechar otra planta	○	➡	□	D	▽	20’’	15’’
7	Translado de frutos al lugar de secado y almacenamiento	○	➡	□	D	▼	20’21’’	9’47’’

Figura 32.

Esquema del estudio de tiempos y movimientos de las actividades asociadas a la cosecha de sacha inchi en dos fincas de Vista Hermosa, Meta.

Fuente: Elaboración propia con base en López-Hernéndez et al. (2021)

El análisis de movimientos en el lote mostró desplazamientos horizontales que siguen el patrón de desplazamiento seleccionado por surcos. El operario monitoreado en la finca 2 realizó las siete actividades asociadas a la cosecha en tiempos inferiores a los registrados en la finca 1. Estas diferencias se asocian a la habilidad específica de los operadores, y a su edad y destreza.

Los rendimientos registrados en la cosecha fluctuaron entre 1 y 4 g de sacha recolectado por segundo, lo cual corresponde a la *eficiencia*. El porcentaje de frutos maduros cosechados osciló entre 57 y 100%, que corresponde a la *eficacia*, dejando en el árbol entre 3 y 0 frutos maduros, respectivamente (López-Hernández et al., 2021).

Análisis fisicoquímico de la estrella en tres fincas de Vista Hermosa, Meta

Las condiciones de las tres localidades se registran en la tabla 5. Las fincas seleccionadas presentaban condiciones contrastantes en cuanto a área sembrada, producción y manejo del cultivo.

Tabla 5. Características de las tres localidades seleccionadas

Información básica			
Vereda	**La Argentina**	**Alto Termales**	**Guaimaral**
Altura (m s. n. m.)	260	356	239
Tamaño de la finca (ha)	58	17	5
Información del cultivo y cosecha			
Área sembrada con sacha inchi (ha)	0,5	1,75	4
Edad plantación (años)	2	4	3
Distancia de siembra		2,5 m entre plantas × 3 m entre surcos	3 × 2,5 m
# plantas/ha	540	1.435	950-1.100
Tipo plantación	Asociado	Monocultivo	Monocultivo
Frecuencia cosecha	Cada 8 días	Mensual	Cada 8 días
Meses de mayor producción	Agosto-septiembre	Marzo-agosto-septiembre	Enero-febrero-marzo-agosto
Meses de menor producción	Febrero-marzo	Diciembre-enero	-
Parámetro de selección para cosecha de frutos	Fruto marrón/maduro y seco	Cambio en la coloración de marrón a negro	Fruto color café
Época de lluvias	Mayo, junio, julio	Mayo, junio, julio	-
Época de sequia	Febrero-marzo	Diciembre-enero-febrero	Febrero
Tipo de fertilización	Química	Ninguna	Orgánica

Fuente: Elaboración propia con base en López-Hernández et al. (2021)

El análisis fisicoquímico de la estrella procedente del muestreo durante el mes de octubre en las tres fincas ubicadas en Vista Hermosa se registra en la tabla 6. El análisis estadístico de las características del fruto reflejó diferencias significativas ($p > 0{,}05$) para las variables de estudio, a excepción del porcentaje de cápsula. Se formaron dos grupos homogéneos que revelaron la producción de estrellas de mayor tamaño durante el mes de octubre en las veredas Guaimaral y La Argentina; sin embargo, el porcentaje de semilla fue menor en la vereda La Argentina.

Las características de la semilla mostraron porcentajes de tegumento superiores en la vereda La Argentina, que reflejan menor contenido de endocarpo. El extracto etéreo o porcentaje de grasa de la semilla fue inferior en Guaimaral, sin embargo, la porción proteica fue superior para esta misma localidad. La interacción genotipo-ambiente y la provisión de nutrientes al cultivo arrojó diferencias composicionales entre fincas ubicadas en una misma zona durante el mismo mes (López-Hernández et al., 2021).

Tabla 6. Análisis fisicoquímico de la estrella en tres localidades de Vista Hermosa, Meta

Características fruto seco						
Vereda	**Peso del fruto seco (g)**	**Número de cápsulas**	**Peso cápsula (g)**	**% cápsula**	**Peso semilla (g)**	**% semilla**
Guaimaral	10,3 ± 2,79 b	5,2 ± 0,84 b	4,1 ± 1,45 b	39,55 ± 7,05 a	6,16 ± 1,39 b	60,36 ± 3,37 b
Alto Termales	8,7 ± 0,53 a	4 ± 0 a	3,24 ± 0,23 a	37,3 ± 2,14 ab	5,39 ± 0,42 b	61,97 ± 2,06 b
La Argentina	9,91 ± 0,45 b	5,2 ± 0,45 b	4,81 ± 0,46 b	48,42 ± 2,63 a	5,06 ± 0,06 a	51,16 ± 2,76 a
Características semilla						
Vereda	**Diámetro longitudinal (mm)**	**Diámetro transversal (mm)**	**Grosor (mm)**	**Tegumento (%)**	**Humedad (%)**	
Guaimaral	20,36 ± 1,41 b	16,75 ± 1,45 bc	7,88 ± 0,39 a	27,93 ± 5,87 a	7,23 ± 0,25 b	
Alto Termales	17,71 ± 5,57 a	14,69 ± 5,4 a	8,62 ± 0,68 b	28,68 ± 4,7 a	6,96 ± 0,42 a	
La Argentina	20,18 ± 1,35 b	17,24 ± 0,99 c	8,67 ± 0,56 b	36,76 ± 2,4 b	7,05 ± 0,1 a	
Composición química proximal de semilla de frutos de sacha inchi (g/100 g base seca)						
Vereda	**Extracto etéreo (%)**		**Proteína (%)**	**Fibra cruda (%)**	**Cenizas (%)**	
Guaimaral	48,23 ± 2,56 a		32,04 ± 1,94 b	6,57 ± 1,14 c	2,43 ± 0,01 a	
Alto Termales	56,34 ± 0,04 b		28,16 ± 0,4 a	3,83 ± 0,14 a	2,57 ± 0,03 a	
La Argentina	55,75 ± 2,47 b		30,71 ± 1,27 b	4,38 ± 0,77 b	2,37 ± 0,06 a	

a, b: medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

Fuente: Elaboración propia con base en López-Hernández et al. (2021)

Análisis de calidad de aceites de sacha inchi de tres fincas de Vista Hermosa, Meta

El aceite es la parte más valorada del sacha inchi debido a su destacada calidad, sin embargo, este se encuentra sujeto a factores que inciden en su composición. A continuación, se muestra el análisis de las características bioquímicas, contenido de fenoles totales, capacidad antioxidante y tocoferoles del aceite del sacha inchi extraído de la estrella de tres fincas en el departamento del Meta (tabla 7).

El índice de acidez determina la calidad del aceite. En Colombia la norma para aceites vegetales CXS 210-1999 del *Codex alimentarius* (FAO & Organización Mundial de la Salud [OMS], 2022) indica que la acidez no debe ser mayor a 4 mg KOH/g para aceites vegetales prensados en frío. Los aceites evaluados se encontraron por debajo del valor de referencia, lo que refleja su buena calidad. Así mismo, se observó diferencia significativa ($p < 0,05$) para este parámetro en las tres fincas evaluadas, con tres grupos homogéneos.

El índice de peróxidos establece un valor máximo de peróxidos en aceites vírgenes de 15 meq de oxígeno/kg de aceite, y valores superiores a estos son considerados aceites de mala calidad. Los valores obtenidos de los aceites evaluados oscilan de 2,87 a 3,18 meq de oxígeno/kg de grasa, lo que se encuentra en los límites permitidos y refleja su estabilidad ante la oxidación.

El índice de refracción se utiliza a nivel industrial y de laboratorio como prueba fisicoquímica para el control de impurezas. Los resultados obtenidos del índice de refracción de aceite de sacha inchi (25 ºC) no mostraron diferencia significativa ($p < 0,05$) entre fincas, con valores de 1,463 a 1,467, con unos puntos situados por debajo de lo reportado por Gutiérrez et al. (2011).

La densidad puede no constituir un parámetro directo de calidad del aceite, pero a veces varía con la polimerización o la oxidación; así mismo, es de gran utilidad para las transformaciones masa-volumen, indispensables para el diseño de equipos (López-Hernández, 2013). La densidad relativa del aceite de sacha inchi (25 ºC) no presentó diferencia significativa ($p < 0,05$) entre las fincas evaluadas, con valores de 1,032 a 1,038, y valores superiores a los reportados por Gutiérrez et al. (2011).

Tabla 7. Caracterización fisicoquímica y funcional del aceite de sacha inchi de tres fincas de Vista Hermosa, Meta

Características fisicoquímicas del aceite de sacha inchi				
Vereda	**Índice de acidez**	**Índice de peróxidos**	**Índice de refracción**	**Densidad**
Guaimaral	0,19 ± 0,04 a	3,18 ± 0,07 a	1,4677 ± 0,00 a	1,0345 ± 0,00 ab
Alto Termales	0,65 ± 0,07 b	3,57 ± 0,06 b	1,463 ± 0,00 a	1,0386 ± 0,00 b
La Argentina	0,82 ± 0,11 c	2,87 ± 0,05 a	1,4647 ± 0,00 a	1,0325 ± 0,00 a

Fenoles totales y actividad antioxidante del aceite de sacha inchi		
Vereda	**CFT (mg GAE/100 g)[1]**	**Capacidad antioxidante (mM GAE/kg)[2]**
Guaimaral	31,69 ± 0,20 a	493,77 ± 49,73 a
Alto Termales	32,05 ± 0,51 b	558,6 ± 52,31 b
La Argentina	33,1 ± 0,20 c	544,11 ± 42,54 b

Tocoferoles del aceite de sacha inchi			
Vereda	mg α- tocoferol/100 g	mg γ-tocoferol/100 g	mg δ-tocoferol/100 g
Guaimaral	0,386 ± 0,005 a	100,562 ± 2,510 a	52,630 ± 0,815 a
Alto Termales	0,394 ± 0,007 a	144,306 ± 1,009 c	63,201 ± 0,648 b
La Argentina	0,418 ± 0,005 b	128,060 ± 11,806 b	56,650 ± 0,432 ab

CFT: compuestos fenólicos totales; GAE: equivalentes de ácido gálico.
a, b, c: medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

Fuente: Elaboración propia con base en López-Hernández et al. (2021)

Los contenidos totales de antocianinas, flavonoides y compuestos fenólicos no flavonoides se obtienen a partir de los fenoles totales. Se observó diferencia significativa ($p < 0,05$) entre las fincas evaluadas, con resultados similares a los reportados por Muangrat et al. (2018) (30,46 y 120,32 mg GAE/100 g de aceite) e inferiores a los reportados por Chirinos et al. (2013) (66,7 y 80,0 mg GAE/100 g de aceite).

El contenido fenólico total hallado en el aceite de sacha inchi fue similar al encontrado en el aceite de pino (32 mg GAE/100 g), pero inferior al de los aceites de maní (420 mg GAE/100 g), pistacho (867 mg GAE/100 g) y nuez (1625 mg GAE/100 g) (Kornsteiner et al., 2006).

La capacidad antioxidante mostró diferencia estadísticamente significativa ($p < 0,05$), con dos grupos homogéneos asociados a las fincas de Altos Termales y La Argentina y un segundo grupo compuesto por Guaimaral. Los resultados obtenidos fueron superiores a los reportados por Liua et al. (2014), quienes registraron una actividad antioxidante total de 133,42 ± 3,63 mM de ácido gálico kg^{-1} de aceite de sacha inchi medido por el método 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH).

El contenido de tocoferoles y compuestos fenólicos puede desempeñar un papel importante en la actividad antioxidante del aceite de sacha inchi, además de aportar beneficios para la salud si es consumido. Los tocoferoles son antioxidantes naturales presentes en muchos aceites vegetales, que retardan la formación de compuestos polares y la termooxidación en la fritura; así mismo, son considerados antioxidantes de fase lipídica más efectivos. Además, los aceites vegetales se encuentran entre las fuentes más ricas de vitamina E (Chiou et al., 2012).

En comparación con otras fuentes de aceite, como maíz, linaza, palma, maní, soya y girasol, el sacha inchi contiene niveles más altos de tocoferoles. Las configuraciones γ y δ representan los principales tocoferoles en el aceite de sacha inchi (97%), mientras que α y β-tocoferol representan menos del 3% de los tocoferoles totales (Chirinos et al., 2013).

Teniendo en cuenta que la actividad antioxidante de los tocoferoles en los lípidos sigue el orden γ > δ > α > β, el aceite de sacha inchi presenta una protección natural frente a la oxidación lipídica, debido a sus importantes cantidades de γ y δ-tocoferol. En consecuencia, todos los procesos involucrados en la producción y/o transformación deben tratar de conservar estos compuestos antioxidantes.

Se detectaron tocoferoles α, γ y δ en todos los meses y localidades de cosecha. El γ fue el principal tocoferol encontrado en las muestras evaluadas, seguido del δ-tocoferol. La concentración de γ-tocoferol varió entre 86,549 y 130,913 mg/100 g de aceite, mientras que las cantidades de δ-tocoferol oscilaron entre 41,713 y 63,973 mg/100 g de aceite. Estos valores están de acuerdo con lo reportado en la literatura (Chasquibol et al., 2016; Chirinos et al., 2013; Gutiérrez et al., 2011).

Capítulo VII
Limitantes fitosanitarios en el cultivo de sacha inchi: insectos, ácaros y enfermedades comunes

Juan Carlos Campos Pinzón, Yeisson Gutiérrez López,
Olga María Castro Navarro

En Colombia, el cultivo de sacha inchi se ha desarrollado mayormente mediante el sistema productivo agrícola del monocultivo, lo que potencialmente lo hace más vulnerable a plagas y enfermedades en comparación con sistemas agrícolas más diversos (Bianchi et al., 2006). Sin embrago, los cultivos de menor extensión como el sacha inchi, cuando están rodeados por paisajes diversos, podrían experimentar una menor presión por parte de las plagas (Gagic et al., 2021). Aunque aún no se ha investigado exhaustivamente, se ha notado una diversidad significativa de artrópodos asociados a este cultivo. Estos artrópodos incluyen insectos y ácaros pertenecientes a distintos grupos funcionales, como fitófagos, depredadores y parasitoides.

En este capítulo se examinan de manera detallada las principales plagas y enfermedades registradas en los cultivos de sacha inchi en la región de la Orinoquía, así como las estrategias de manejo asociadas. En lo que respecta a las plagas entomológicas (insectos y ácaros), se presentan los insectos más comúnmente observados en el cultivo de sacha inchi en diversas áreas del departamento del Meta. Además, se discuten aspectos relacionados con su comportamiento, el daño potencial que podrían ocasionar y su función beneficiosa dentro del ecosistema agrícola. También se abordan algunos enemigos naturales que han sido documentados en este cultivo, en la mencionada área geográfica. Sin embargo, este capítulo no cubre otros insectos benéficos, como los polinizadores, en el cultivo de sacha inchi debido a la falta de estudios en este campo. Investigaciones previas en otras regiones han señalado que la polinización de las plantas de la familia Euphorbiaceae, a la cual pertenece el sacha inchi, suele estar a cargo de abejas, mariposas y polillas (Yang et al., 2016).

En cuanto a las enfermedades, se destaca el complejo *Meloidogyne* spp.-*Fusarium* spp., el cual ha sido la principal limitante para la perdurabilidad del cultivo en Perú. Se presume que en Colombia también está afectando la duración del cultivo en varias regiones, aunque no se han realizado estudios que corroboren este hecho.

Insectos fitófagos

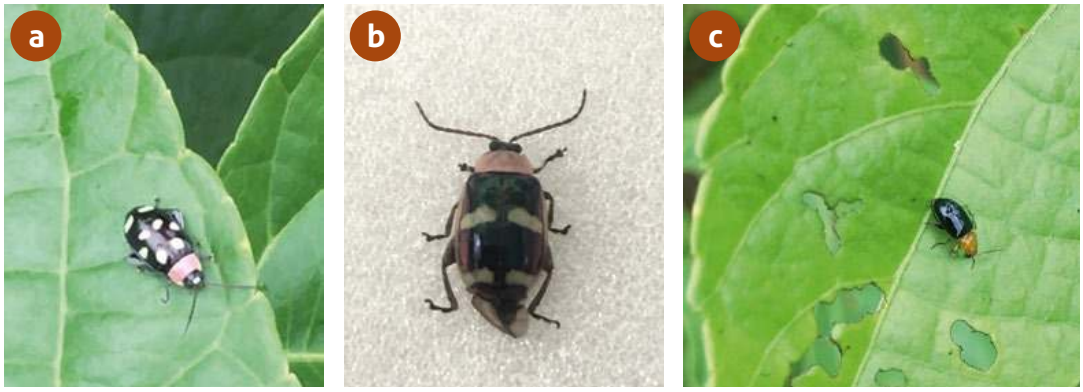
En este apartado, se describen los insectos que ocasionan daños a los cultivos de sacha inchi en el piedemonte de la Orinoquia. Se describe brevemente su ciclo de vida, los daños en el órgano de la planta afectado y el manejo recomendado.

Crisomélidos o cucarrones del follaje (Coleoptera: Chrysomelidae)

Los crisomélidos, tanto adultos como larvales, se nutren de tejido vegetal. En su fase adulta, ocasionan perforaciones o hendiduras en las hojas, identificables en la figura 34, las cuales pueden manifestarse con bordes coloreados en tonos amarillos. Cuando las poblaciones de esta plaga alcanzan niveles sustanciales y el desarrollo de las plantas no es óptimo, existe la posibilidad de una disminución en la capacidad fotosintética, lo que podría repercutir en la reticencia del crecimiento del cultivo. Adicionalmente, estos insectos tienen la capacidad de consumir brotes, tallos e incluso flores, induciendo la caída prematura y con la consecuente reducción de la producción.

En sus fases larvales, los crisomélidos con frecuencia habitan bajo tierra, donde se nutren de las raíces. Tal actividad alimentaria podría propiciar la eventual infiltración de patógenos en la planta. Notablemente, se ha documentado que algunas especies de crisomélidos pueden transmitir de forma mecánica diversas cepas virales durante su alimentación foliar (Fereres & Raccah, 2015).

Dentro de la fauna de insectos que ejercen notoria influencia destructora sobre las hojas del cultivo, se destacan diversos géneros de crisomélidos, entre los que figuran *Omophoita aequinoctiales* (Linnaeus), *O. elegantissima* (Schauf), así como *Omophoita* spp. y *Ledesmodina* spp. (figura 33).



Fotos: Juan Carlos Campos

Figura 33.

Crisomélidos fitófagos en el cultivo de sacha inchi. a. Adulto de la especie *Omophoita aequinoctiales* (Linnaeus); b. Adulto de la especie *O. elegantissima* (Schauf); c. Adulto de la especie *Ledesmodina* spp.

Foto: Yeisson Gutiérrez

Figura 34.

Daño ocasionado por crisomélidos en planta de sacha inchi.

Manejo. Para reducir sustancialmente la presencia de crisomélidos en el cultivo, es imperativo considerar una preparación del terreno adecuada, dirigida a la erradicación de las etapas inmaduras que prosperan en el sustrato del suelo. Además, es crucial suprimir las malezas que funcionan como hospederos y preservar las poblaciones de sus antagonistas naturales, tales como distintos géneros de chinches pertenecientes a la familia Reduviidae, así como arácnidos de las familias Araneidae, Salticidae y Linyphiidae, entre otros.

En esta misma línea, la inclusión de hongos entomopatógenos, a saber, *Beauveria bassiana* y *Metarhizium* sp., aparece como una alternativa sumamente prometedora para ejercer un control biológico eficaz. Cuando los niveles de daño se vuelven considerables, como último recurso se puede contemplar la aplicación de medidas químicas de control, siguiendo atentamente las recomendaciones del asesor técnico y según todas las pautas indicadas en la etiqueta del producto.

Chinches fitófagos (Hemiptera, familias Alydidae, Coreidae, Largidae y Pentatomidae)

Los hemípteros, conocidos comúnmente como *chinches*, que han sido identificados en los campos de cultivo de sacha inchi, exhiben una naturaleza polífaga, lo que implica que se alimentan de una amplia gama de especies vegetales. Estos insectos presentan una estructura bucal adaptada para la succión, mediante la cual extraen la savia de las plantas y, al mismo tiempo, inyectan una secreción tóxica. Esto puede dar lugar a una disminución en la vitalidad de las plantas, debilitamiento, deformidades, decoloración de las ramas y hojas, aparición de manchas necróticas, caída prematura de flores y frutos, pérdida de follaje e incluso muerte de la planta.

Vale la pena señalar que algunas especies de chinches desempeñan un rol crucial como vectores de enfermedades. Por ejemplo, son portadores de la antracnosis, causada por el hongo *Colletotrichum gloeosporioides*. Este hongo es transportado en las patas y/o aparato bucal de los insectos (Sermeño, 2005).

Los chinches más comúnmente avistados en los cultivos de sacha inchi incluyen *Hypselonotus fulvus*, *Leptoglossus zonatus*, *Antiteuchus tripterus*, *Hyalymenus* spp. (Alydidae: Alydinae), *Edessa rufomarginata*, *Dysdercus* spp. y *Largus* spp. (figura 35)

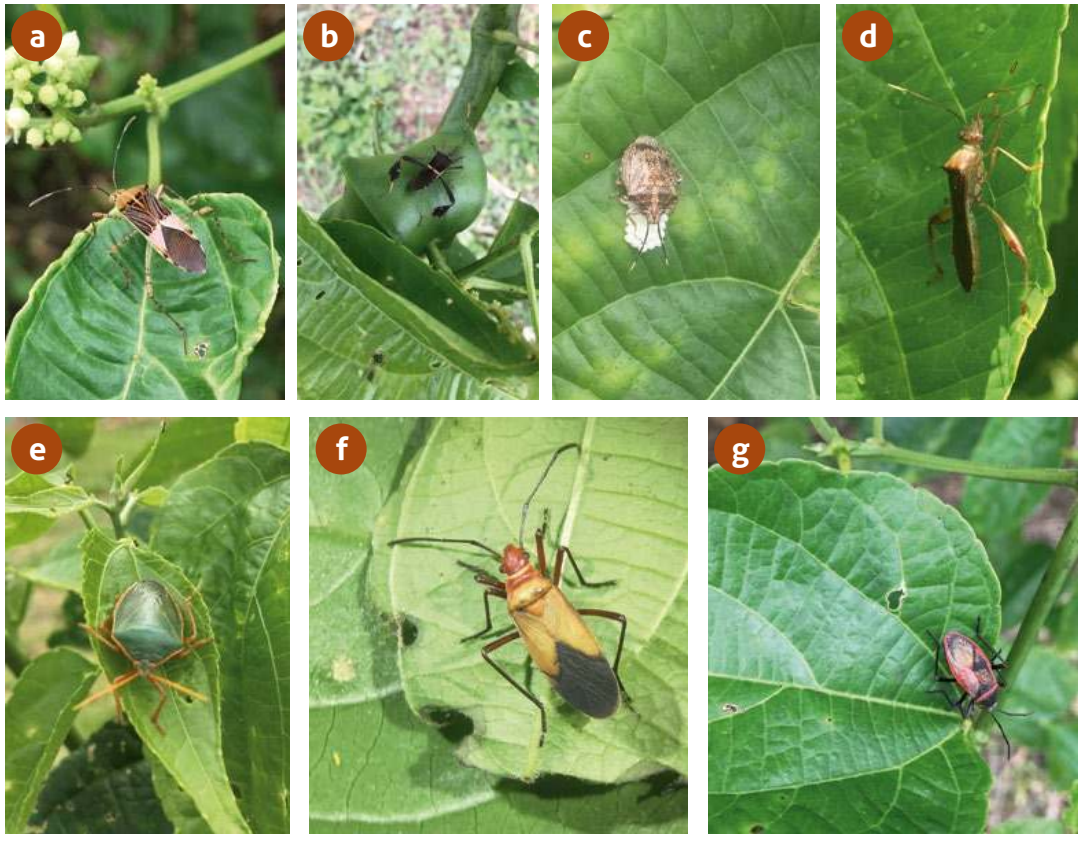


Figura 35.

Chinches fitófagos en el cultivo de sacha inchi. a. *Hypselonotus* sp.; b. *Leptoglossus* sp.; c. *Antiteuchus tripterus*; d. *Hyalymenus* spp.; e. *Edessa rufomarginata*; f. *Dysdercus* spp.; g. *Largus* spp.

Manejo. Para conservar las poblaciones de chinches en los campos de cultivo de sacha inchi en niveles bajos, se requiere la implementación de medidas de manejo preventivo. Esto incluye la aplicación de un riguroso control de malezas tanto en los terrenos de cultivo como en sus alrededores, con el propósito de evitar hospederos y reproducción de insectos.

En este contexto, los principales antagonistas naturales de los huevos de diversas especies de chinches incluyen al parasitoide *Telenomus* spp. Además, diversas especies de depredadores desempeñan un papel significativo en la regulación de las poblaciones de estos insectos, lo que contribuye a mantener sus números en niveles bajos y, en consecuencia, minimizar el daño infligido al cultivo. Esta dinámica posibilita la adopción de enfoques libres de productos químicos sintéticos.

Orugas o larvas de mariposas (Lepidoptera)

Dentro del ámbito agrícola, el orden de los lepidópteros cobra significativa relevancia, dado que un considerable número de sus especies han sido identificadas como plagas. En su fase larval, diversas especies de mariposas tienen impactos perjudiciales en los cultivos al alimentarse de distintos tejidos de la planta. Los daños pueden adoptar la forma de galerías, comúnmente denominadas "minas", presentes en las hojas y ramas, además de perforaciones en frutos, flores y semillas.

No obstante, su mayor incidencia radica en el intenso consumo de follaje, lo cual induce a la reducción del área foliar en el cultivo. Esto se traduce en una disminución de la capacidad fotosintética de la planta, lo que lleva a la desaceleración en el desarrollo del cultivo y, en última instancia, a una disminución en la producción. Las siguientes son algunas especies sobresalientes de este grupo de insectos en el cultivo de sacha inchi.

Halysidota spp. (Lepidoptera: Erebidae)

Las larvas de este género se caracterizan por alimentarse principalmente de flores (figura 36a) y de los frutos de menor tamaño, donde efectúan perforaciones circulares (figura 36b). Estas aberturas permiten la entrada de otros insectos o patógenos, y potencian así el riesgo de pérdida de frutos.

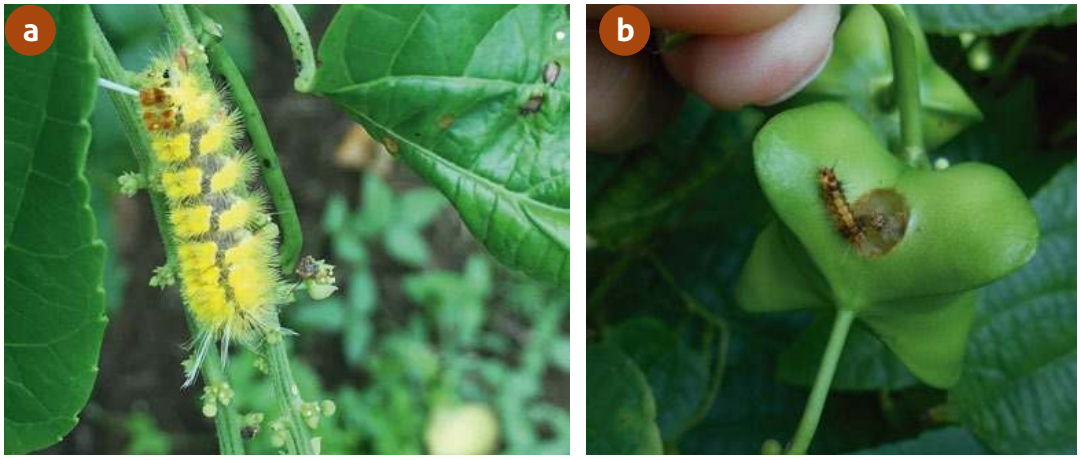


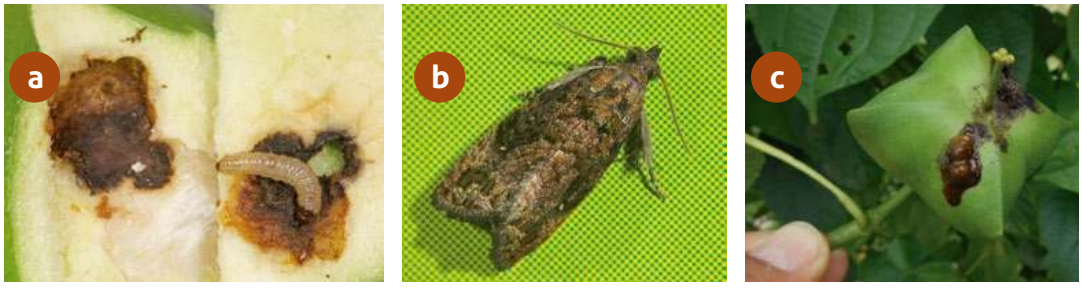
Foto: Juan Carlos Campos

Figura 36.

***Halysidota* spp. en sacha inchi.** a. Larva; b. Daño causado en frutos.

Tortricidae (*Lepidoptera*)

Se han observado larvas pertenecientes a la familia Tortricidae, las cuales se alimentan en el interior de los frutos de sacha inchi (figura 37a) y como consecuencia directa producen la pérdida total de las semillas. Las polillas o mariposas de esta familia (figura 37b) depositan sus huevos sobre los frutos, y cuando las larvas emergen, proceden a perforar el fruto para acceder a su interior. Identificar su presencia en frutos afectados es fácil gracias a la acumulación de excrementos (figura 37c) en el sitio de entrada del insecto. En un solo fruto, es posible encontrar una o más larvas.



Fotos: Juan Carlos Campos

Figura 37.

Tortricidae en sacha inchi. a. Larva alimentándose en el interior de los frutos; b. Adulto; c. Daño visible en fruto de sacha inchi.

Hylesia spp. (Lepidoptera: Saturniidae)

Las larvas de este género (figura 38) exhiben un comportamiento gregario. En las horas diurnas, mantienen un estado de reposo, y se dedican a la alimentación durante la noche. En el cultivo de sacha inchi, se nutren de las hojas y los brotes jóvenes, lo que desemboca en defoliaciones severas, con el consiguiente retardo en el desarrollo de las plantas.

Es crucial mencionar que los adultos hembras de este género son de importancia médica debido a las cerdas o "pelos urticantes" que cubren su abdomen, lo cual puede inducir lepidopterismo, perturbaciones dermatológicas y ocasionalmente fiebre y problemas respiratorios (Benaim-Pinto, 2002; Rodríguez-Morales et al., 2005).

Foto: Juan Carlos Campos

Figura 38.

Larva de *Hylesia* spp. en hoja de sacha inchi.

Anartia jatrophae (Linnaeus) (Lepidoptera: Nymphalidae)

Los adultos son de color gris claro por arriba rodeado de bordes anaranjados, el ala anterior tiene un punto negro, el ala inferior dos puntos pequeños del mismo color (figura 39). Las larvas de esta especie de mariposa, de tono negro con puntos blancos y espinas negras ramificadas, se alimentan de las hojas y propician defoliaciones notorias. Su pupa, en tonos verde claro y pardo con puntos oscuros en la región dorsal, contrasta con los huevos, de tonalidad verde-amarillenta, depositados en la parte inferior de las hojas (Lotts & Naberhaus, 2023).

Foto: Juan Carlos Campos

Figura 39.

Adulto de *Anartia jatrophae* en sacha inchi.

Con respecto a registros en otros países, los siguientes son algunos lepidópteros que han sido documentados en Perú y que también presentan notoriedad en Colombia por su impacto en el cultivo: *Nessaea obrinus* (Linnaeus) (Nymphalidae: Biblidinae), *Dryas iulia* (Fabricius) (Nymphalidae: Nymphalinae), y *Euptoieta hegesia* (Cramer) (Nymphalidae: Heliconiinae).

Manejo. La regulación natural de las poblaciones de larvas y huevos de diversos géneros de lepidópteros que encuentran en el cultivo de sacha inchi su fuente de alimentación, exhibe una diversidad notoria y desempeña un rol de suma importancia en este ecosistema. Entre los elementos destacados de esta autorregulación se encuentran los parasitoides de huevos, como pequeñas avispas de los géneros *Telenomus* sp. y *Trichogramma* sp., así como parasitoides de larvas como *Apanteles* sp., *Cotesia* spp. y *Chelonus* spp. Así mismo, las moscas pertenecientes a las familias Tachinidae y Sarcophagidae desempeñan su papel en esta dinámica.

En el ámbito de los insectos depredadores, diversas avispas integrantes de la familia Vespidae, chinches de las familias Reduviidae y Pentatomidae, así como neurópteros pertenecientes a la familia Mantispidae, asumen una función importante. En paralelo, se suman coleópteros de las familias Cicindelidae y Carabidae en esta interacción biológica.

Adicionalmente, los factores que contribuyen a la mortalidad de las larvas de lepidópteros en los cultivos incluyen enfermedades provocadas por bacterias entomopatógenas, entre las cuales se destacan *Bacillus thuringiensis*, así como hongos entomopatógenos como *Nomuraea rileyi* y *Beauveria bassiana*, y virus como el de la poliedrosis nuclear y los granulovirus. También se suman diversas familias de arácnidos y aves como elementos adicionales en esta red de control natural.

Hormiga arriera (Hymenoptera: Formicidae)

Las hormigas del género *Atta*, conocidas como *hormigas arrieras* o *cortadoras*, constituyen una problemática significativa para las plantas cultivadas y silvestres debido a su habilidad para recolectar grandes volúmenes de biomasa (Montoya-Lerma et al., 2012). Estas especies se han identificado como los principales herbívoros generalistas en la región neotropical, según lo documentado por Weber (1972), así como por Hölldobler y Wilson (2010). Su impacto abarca todas las fases del ciclo de cultivo, si bien es durante la fase inicial del establecimiento que su presencia resulta más crítica.

Las hormigas arrieras o cortadoras de hojas tienen la capacidad de provocar defoliación a gran escala (figura 40a), lo que se traduce en mermas en la productividad y viabilidad económica en diversas especies vegetales. En el caso específico del cultivo de sacha inchi, es observable la actividad de diferentes especies del género *Atta* ejecutando cortes semicirculares en las hojas de las plantas, como se ilustra en la figura 40b. Dichos cortes pueden llegar a ser tan perjudiciales que resultan en defoliación total, y cuando estos eventos se vuelven recurrentes y graves, pueden incluso llevar a la muerte de la planta (León & Kondo, 2017).

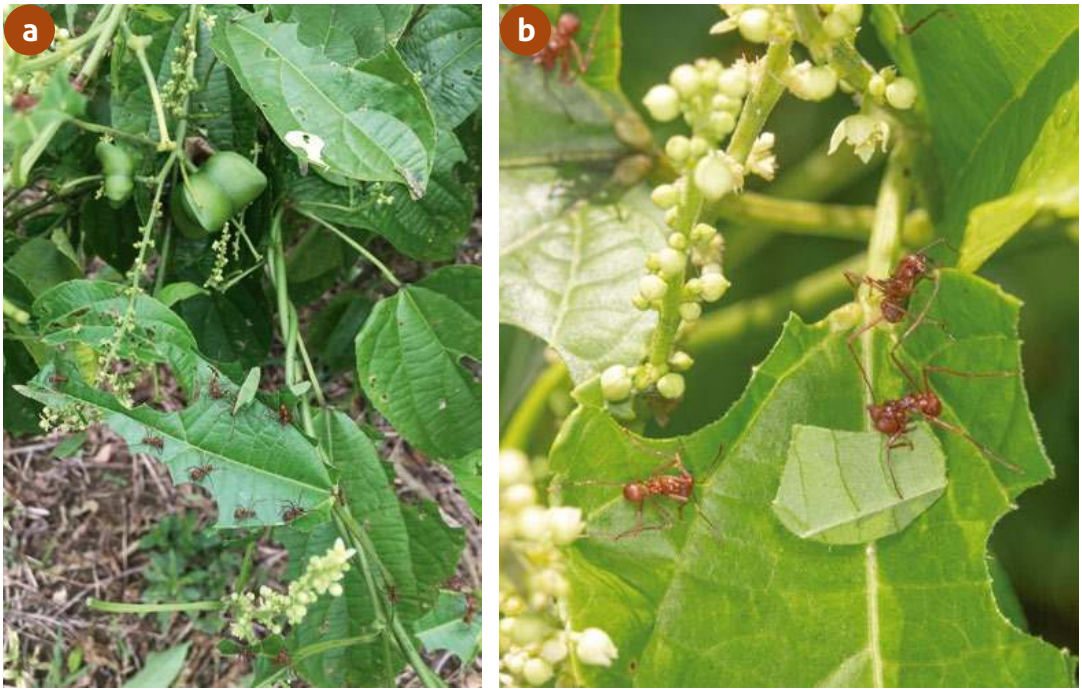


Foto: Yeisson Gutiérrez López

Figura 40.

Atta spp. en sacha inchi. a. Hormigas ocasionando defoliación; b. Daño en media luna producido por adultos.

Manejo. Las prácticas de manejo más comunes para las hormigas cortadoras de hojas incluyen métodos de control cultural, biológico y químico. Las de control cultural tienen como objetivo modificar el entorno para interrumpir la actividad de las hormigas. Estas prácticas comprenden eliminar los restos de hojas y la vegetación cerca de los campos de cultivo, ya que estas hormigas son atraídas por material vegetal abundante (Pinto-Tomás et al., 2009).

Además, mantener una adecuada higiene y limpieza en las áreas agrícolas puede ayudar a reducir las poblaciones de hormigas al eliminar posibles fuentes de alimento y sitios de anidación. Los métodos de control biológico involucran el uso de enemigos naturales o antagonistas para suprimir las poblaciones de hormigas cortadoras de hojas.

Una estrategia efectiva de control biológico es la introducción de hongos entomopatógenos, que infectan y matan a las hormigas. Estos hongos se pueden aplicar directamente en los nidos de hormigas o incorporarse en formulaciones de cebo (Pinto-Tomás et al., 2009). Otro enfoque de control biológico es el uso de moscas parasitarias del género Phoridae, que atacan y parasitan a las hormigas cortadoras de hojas y reducen su número (Pinto-Tomás et al., 2009).

Por último, otra recomendación de manejo es el uso de sustancias repelentes e insecticidas derivados de fuentes naturales. Por ejemplo, extractos de *Tithonia diversifolia*, también conocida como *botón de oro*, han mostrado una prometedora actividad repelente e insecticida contra las hormigas cortadoras de hojas (Pantoja-Pulido et al., 2020).

Otras hormigas de potencial interés

Las hormigas se alimentan de diversos recursos, como el néctar de las estructuras reproductivas, las secreciones de homópteros, el néctar floral y extrafloral (Rico-Gray, 1993). Los nectarios extraflorales son estructuras especializadas que se encuentran en las hojas de ciertas plantas, como el sacha inchi, y producen néctar que atrae a las hormigas. Estas hormigas, a cambio, proporcionan protección a la planta contra herbívoros y depredadores (Gómez-Otamendi et al., 2018).

Sin embargo, no todas las asociaciones de hormigas con nectarios extraflorales benefician a las plantas. Algunas especies de hormigas, como *Camponotus* (figura 41), pueden aprovechar los recursos de la planta sin proporcionar un beneficio evidente (Sierra-Chamorro et al., 2023).

Adicionalmente, las hormigas como *Crematogaster* spp. (figura 41b) y *Camponotus* spp. (figura 41a) pueden tener un impacto negativo en los cultivos debido a su relación mutualista con insectos del orden Hemiptera (Jha et al., 2012). Esta mutualidad entre hormigas y hemípteros puede resultar en un aumento de la población de los últimos y, como consecuencia, en daños a las plantas.

Fotos: Yeisson Gutiérrez López

Figura 41.

Hormigas de interés potencial en sacha inchi. a. Hormiga *Camponotus* spp. b. Hormiga *Crematogaster* spp. alimentándose en nectario extrafloral.

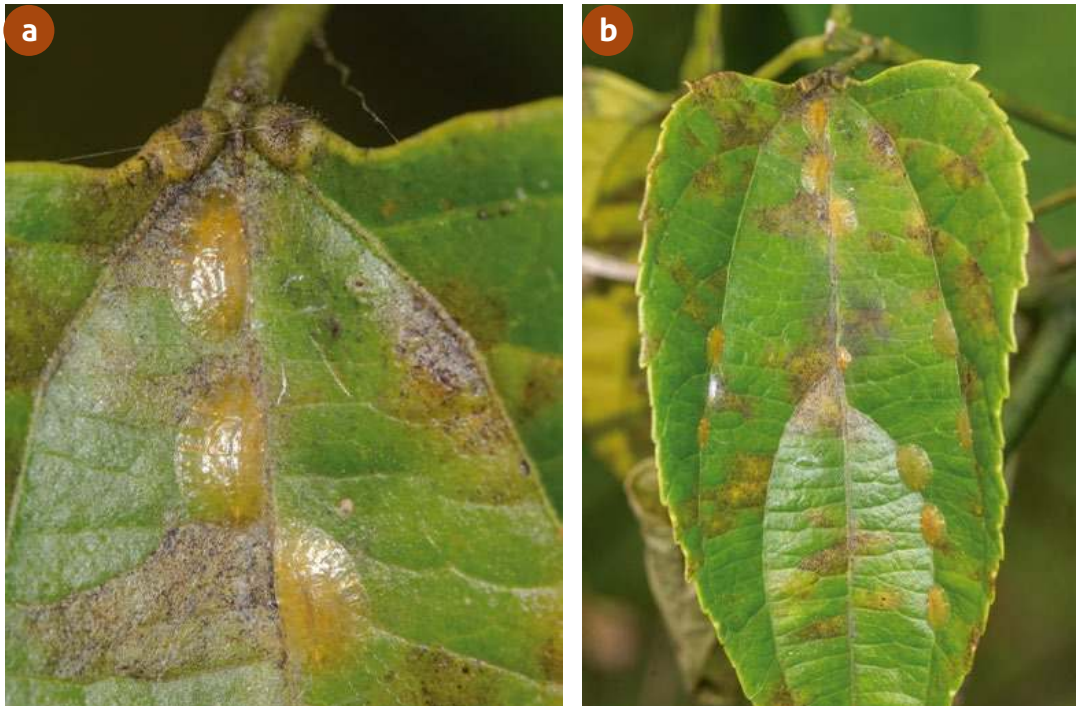
Escamas (Hemiptera: Coccidae)

Las escamas, insectos pertenecientes al orden Hemiptera, presentan una diversidad de formas y colores según la especie. Su alimentación abarca diversas partes de la planta, incluidas hojas, ramas, troncos, raíces y frutos, y emplean su aparato bucal de succión para extraer la savia vegetal.

Estos organismos segregan una sustancia azucarada denominada *miel de rocío*, que sirve como sustrato para el crecimiento del hongo *Capnodium* sp., responsable de la fumagina. Dicho hongo afecta las hojas y ramas, e interfiere en la fotosíntesis y el proceso respiratorio de la planta (Kondo, 2010). Como parte de las estrategias de supervivencia y reproducción, es común que muchas escamas adopten la convivencia en grupos, tal como han observado León y Kondo (2017).

Dentro del contexto del sacha inchi, se han identificado tres géneros de escamas: *Ceroplastes* sp., *Parasaissetia* spp. y *Coccus hesperidum*. Las especies del género *Ceroplastes* son clasificadas como escamas blandas, se distinguen por su capa cerosa abundante, que puede variar desde tonos blancos hasta rosados, y presentan una forma semiesférica con apariencia estrellada. En situaciones de ataque severo por parte de esta escama, se manifiestan síntomas visibles, como una excesiva fumagina que cubre hojas, tallos e incluso las propias escamas. Este fenómeno reduce la fotosíntesis, debilita las hojas y propicia su caída, y puede incluso culminar en la pérdida de vida de la planta.

La escama *C. hesperidum* (figura 42a) es una especie polífaga reportada en alrededor de 345 géneros de plantas hospederas (García-Morales et al., 2016). Esta especie se caracteriza por tener un cuerpo oval alargado, y ser de coloración amarilla en su estado juvenil y de color castaño en su estado adulto. Sus colonias se ubican preferencialmente en las hojas (figura 42b) y ramas de la planta de sacha inchi.



Fotos: Yeisson Gutiérrez López

Figura 42.

***C. hesperidium* en hojas de sacha inchi.** a. Escama; b. Colonia.

Debido a las secreciones azucaradas que producen estos insectos cuando las poblaciones son altas, se favorece la colonización del hongo *Capnodium* sp., responsable de la fumagina en hojas y ramas, además de la proliferación de hormigas de los géneros *Crematogaster* y *Camponotus* que limitan el control por parte de sus enemigos naturales.

Por otro lado, las especies del género *Parasaissetia* suelen encontrarse en hojas y ramas. Con bajas poblaciones, no se aprecian daños notorios; sin embargo, la presencia de fumagina asociada a grandes poblaciones ocasiona clorosis, defoliación, reducción en el cuajado y pérdida de vitalidad en las plantas. En casos extremos, esta serie de consecuencias puede desencadenar la muerte de la planta.

Manejo. Para un manejo adecuado de escamas en cultivos de sacha inchi es necesario tener en cuenta que existe una gran variedad de enemigos naturales que se deben conocer, entre los que se encuentran avispas parasitoides de diferentes familias, como Encyrtidae y Aphelinidae; depredadores como el coccinélido *Azya* sp., y neurópteros como crisopas, además de hongos entomopatógenos que pueden causar epizootias que ayudan de forma eficiente al control.

Entre las labores culturales u hortícolas que se realizan para el manejo de las escamas están revisar el material de siembra para que no vaya contaminado con individuos de escamas y no se favorezca su dispersión; realizar podas sanitarias, que consisten en retirar de la planta ramas u órganos afectados con el insecto para evitar su propagación y multiplicación, y observar la presencia de hospederos alternos o arvenses, para realizar control.

Moscas del fruto *Neosilba* sp. (Diptera: Lonchaeidae)

El grupo de insectos conocido como dípteros incluye ciertas especies que se alimentan de tejido vegetal, lo que puede convertirlas en plagas dañinas para diversos cultivos. Ejemplos notables de este comportamiento son la mosca de la fruta, que afecta cítricos y árboles frutales, y la mosca de la agalla en los cultivos de yuca.

En el ámbito del cultivo de sacha inchi, se ha observado la presencia de la mosca del fruto *Neosilba* sp. (Diptera: Lonchaeidae) (figura 43a), la cual oviposita sobre los frutos (figura 43b) y les produce daños al consumir sus semillas en estado lechoso. El síntoma visible es la decoloración amarillenta y la posterior caída de los frutos. Este problema resulta en pérdidas económicas para los agricultores en la producción.

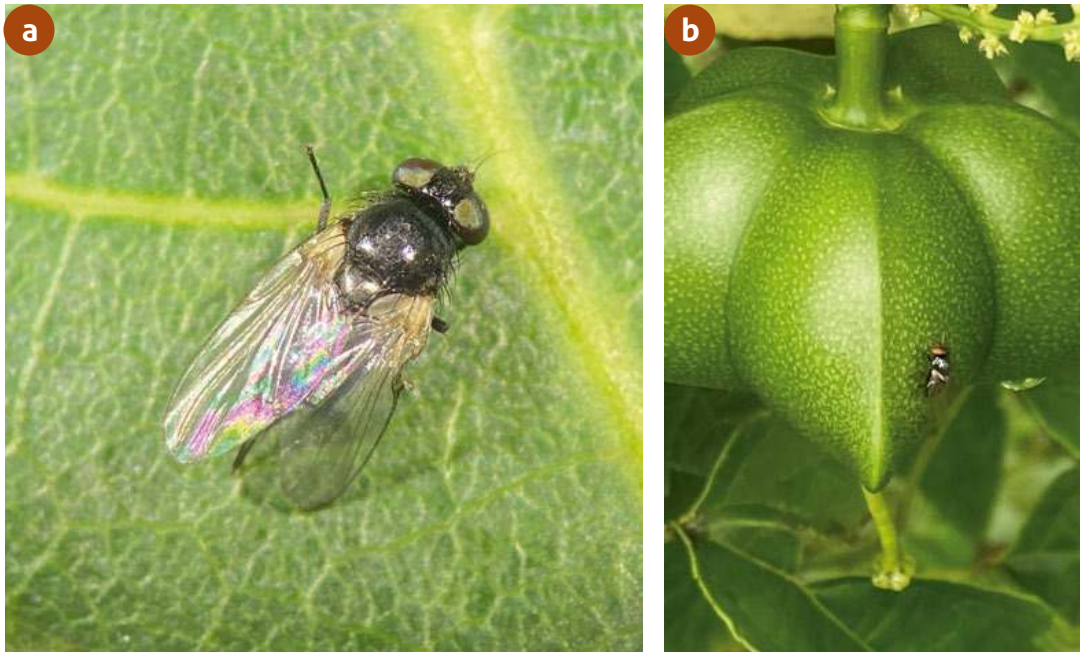


Foto: Juan Carlos Campos

Figura 43.

***Neosilba* sp. en sacha inchi.** a. Adulto posado sobre una hoja; b. Adulto que oviposita sobre fruto.

Manejo. Para el control de la mosca *Neosilba* sp., se recomienda llevar a cabo monitoreos regulares en los frutos e identificar la presencia de larvas. Los frutos afectados deben ser recolectados y colocados en una bolsa plástica para someterlos a un proceso de solarización durante 48 horas. Esto permite eliminar las larvas presentes. También es útil realizar monitoreos y capturar a los adultos con trampas McPhail, con proteína hidrolizada de soya como cebo. Este enfoque ayuda a reducir las poblaciones y los daños que ocasionan.

Grillo topo o perro de agua (Orthoptera: Gryllotalpidae)

El grillo topo (figura 44), también conocido como *perro de agua*, pertenece a la familia Gryllotalpidae (orden Orthoptera). Este insecto causa daños a los cultivos, especialmente en la fase inicial de establecimiento de las plantas, cuando estas han sido recién trasplantadas y están en su etapa de desarrollo vegetativo. Su método de ataque consiste en cortar las plantas a nivel del cuello de la raíz, lo que resulta en un daño irreparable y en la eventual muerte de las plantas afectadas.

En su fase adulta, estos grillos se caracterizan por su tamaño imponente. Los machos alcanzan aproximadamente 50 mm de longitud, mientras que las hembras son aún más grandes. El cuerpo está cubierto por finos pelos de color marrón. Además, sus patas delanteras han evolucionado para excavar en el suelo, donde crean intrincadas galerías subterráneas que les sirven de hogar.

Foto: Juan Carlos Campos

Figura 44.

Adulto de grillo topo.

Manejo. Entre las prácticas más recomendadas para el manejo y control del grillo topo se recomienda una buena preparación del terreno. Esta práctica afecta las galerías bajo el suelo que usa como nidos; además, ayuda a eliminar huevos y estados ninfales, exponiéndolos al ataque de sus enemigos naturales. Se recomienda utilizar semillas tratadas en vivero. Esto ayuda a controlar o repeler insectos que afectan la semilla o las plántulas, tanto en invernadero como en campo.

Ácaros

Los ácaros, pertenecientes a la clase Arachnida, son organismos microscópicos que pueden convertirse en plagas o en enemigos naturales dentro de diversos ecosistemas. Su capacidad de adaptación y reproducción acelerada les permite colonizar rápidamente diferentes sustratos, y esto los convierte en plagas agrícolas y domésticas de importancia económica.

Arañita roja *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae)

El ácaro conocido como *arañita roja* (figura 45) debe su nombre a su tendencia a tejer telarañas en la parte inferior de las hojas, donde se reproduce y encuentra refugio. Este ácaro es una plaga que afecta diversas especies de plantas cultivadas.

En el caso del cultivo de sacha inchi, se ubica mayormente en las hojas jóvenes, aunque puede encontrarse en hojas de cualquier edad. Tiene hábitos sociales y forma colonias en el envés de las hojas, donde se alimenta al succionar la savia de la planta. Este proceso puede causar clorosis o amarillamiento en las áreas de alimentación, lo que a su vez disminuye la eficiencia fotosintética de la planta. En casos graves, una alta infestación de estos ácaros lleva a la defoliación de las plantas. Las condiciones climáticas ideales para la proliferación de esta especie son altas temperaturas y baja humedad relativa.

Foto: Juan Carlos Campos

Figura 45.

Adulto de arañita roja en sacha inchi.

Manejo. En términos generales, los ácaros cuentan con varios enemigos naturales, especialmente ácaros depredadores pertenecientes a las familias Phytoseiidae, Bdellidae, Cunaxidae, Stigmaeidae y Cheyletidae (Imbachi et al., 2012). Estos depredadores son consumidores significativos en las diversas etapas del ciclo de vida de los ácaros. Además, ciertos coleópteros de las familias Coccinellidae y Staphylinidae, así como diferentes chinches de los géneros *Anthocoris* sp. y *Orius* sp., también desempeñan un papel importante en este aspecto (León & Kondo, 2017).

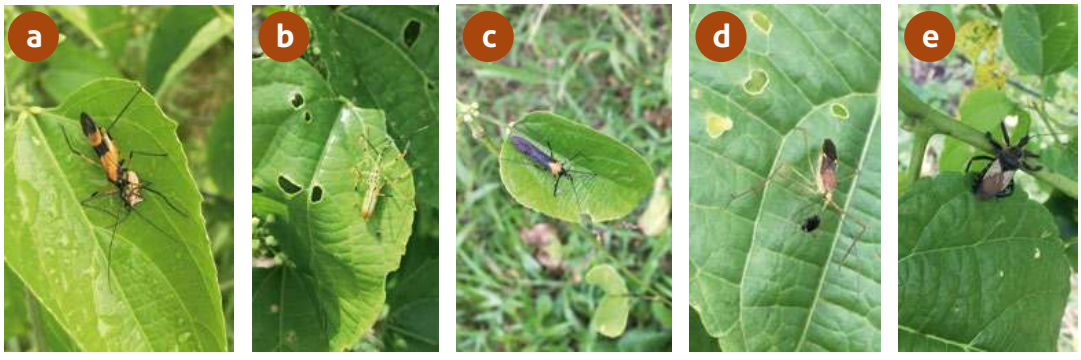
Enemigos naturales de las plagas presentes en el cultivo

Las plantas de sacha inchi presentan glándulas que segregan sustancias azucaradas conocidas como *nectarios extraflorales*. Estas estructuras ejercen una atracción sobre diversos tipos de insectos, entre los cuales se encuentra una amplia variedad de enemigos naturales, incluidos parasitoides y depredadores. Adicionalmente, en el entorno existen de manera natural microorganismos entomopatógenos, los cuales desempeñan un papel esencial en la regulación y control de las poblaciones de insectos perjudiciales para el cultivo.

A continuación, se presentan los principales enemigos naturales asociados al cultivo de sacha inchi.

Predadores

Los chinches predadores de la familia Reduviidae son insectos generalistas con un amplio rango de presas. Dentro de estos se destacan varias especies de *Zelus* y *Apiomerus* sp. (figura 46).



Fotos: Juan Carlos Campos

Figura 46.

Chinches predadores de la familia Reduviidae en sacha inchi.
a. *Zelus longipes*; b. *Z. armillatus*; c. *Zelus* sp.; d. *Zelus* sp.; e. *Apiomerus* sp.

Ciertas especies de avispas (Hymenoptera: Vespidae) también son comunes en el cultivo. Atacan larvas de los lepidópteros que se alimentan del follaje de sacha inchi. Las especies más representativas (figura 47) son *Polybia occidentalis* (Olivier), *Polybia sericea* (Olivier) y *Polistes canadensis* (Linnaeus).

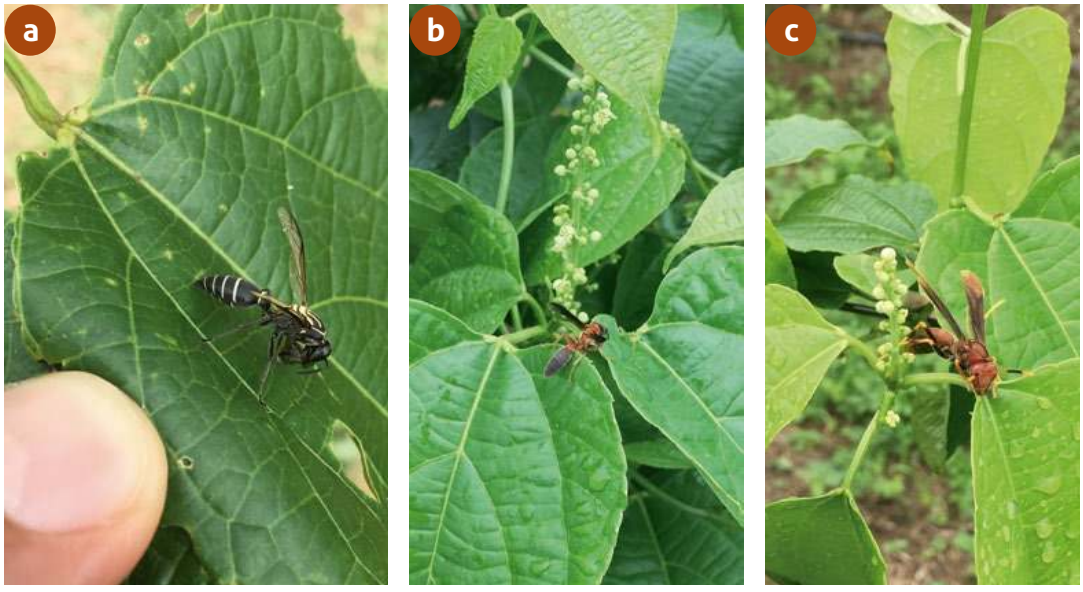


Foto: Juan Carlos Campos

Figura 47.

Avispas predadoras en sacha inchi. a. *Polybia occidentalis*; b. *P. sericea*; c. *Polystes canadensis*.

Las larvas y adultos del orden Neuroptera, familias Chrysopidae (figura 48a) y Mantispidae (figura 48b), son predadores de moscas blancas, trips, áfidos, escamas, larvas de lepidóptera defoliadoras y minadores de hojas en el cultivo.

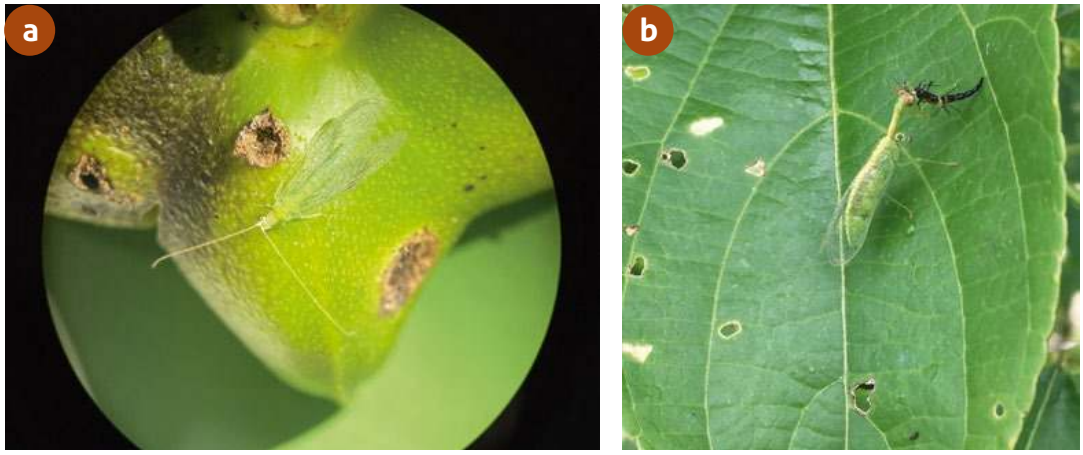


Foto: Juan Carlos Campos

Figura 48.

Adultos del orden Neuroptera, predadores en cultivos de sacha inchi.
a. *Ceraeochrysa* sp.; b. *Zeugomantispa minuta.*

Dentro de los coleópteros predadores de escamas se destaca la familia Coccinellidae. En el cultivo de sacha inchi se han encontrado larvas de la especie *Azya* spp. atacando colonias de *C. hesperidum* (figura 49).

Foto: Juan Carlos Campos

Figura 49.

Larva de *Azya* spp. (Coleoptera: Coccinellidae) en tallo de sacha inchi.

Las arañas (clase Arachnida) de las familias Salticidae y Araneidae son generalistas y comunes en sacha inchi (figura 50). Atacan diferentes tipos de insectos asociados al cultivo.

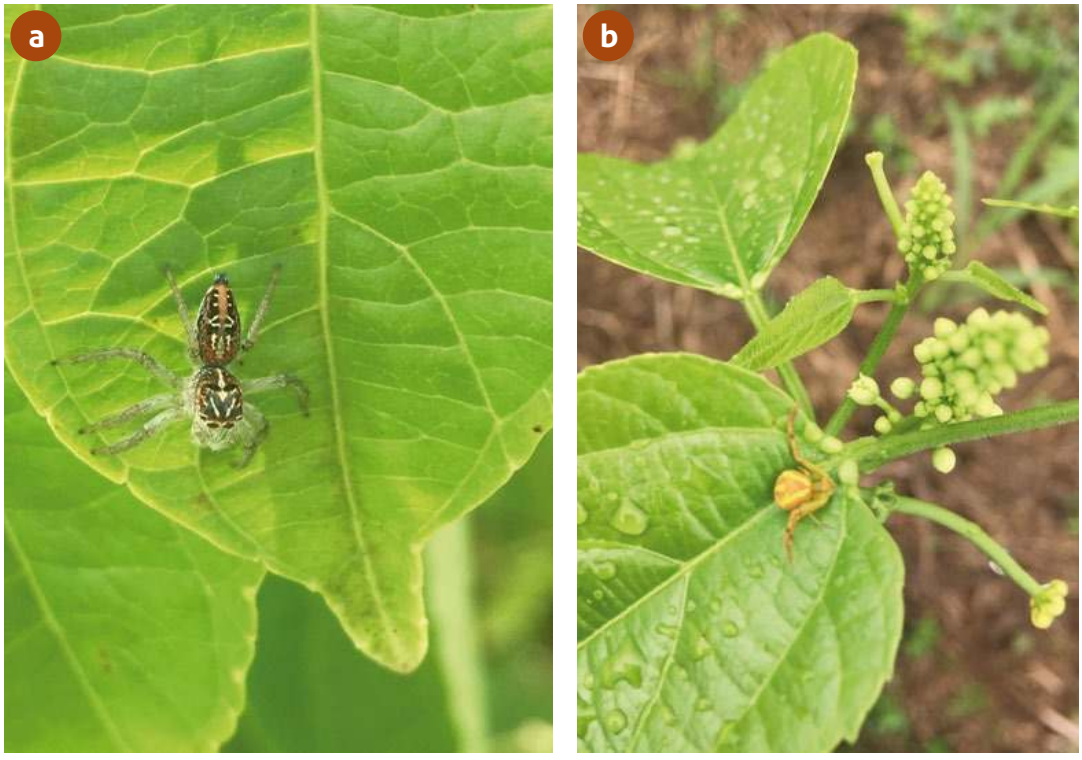


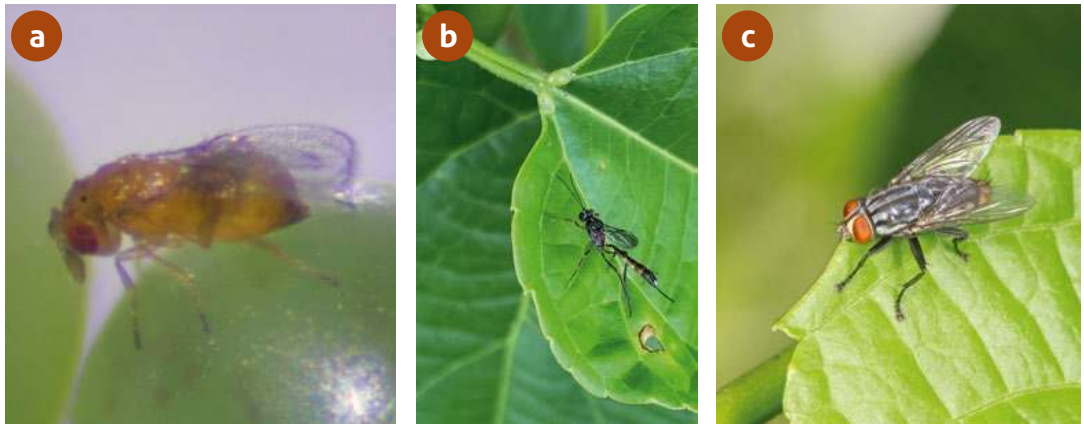
Foto: Juan Carlos Campos

Figura 50.

Arañas predadoras en sacha inchi. a. Familia Salticidae; b. Familia Araneidae.

Parasitoides

En el cultivo de sacha inchi se han encontrado diferentes especies de parasitoides, entre ellas la pequeña avispa de la familia Trichogrammatidae, *Trichogramma* spp. (figura 51a), parasitando huevos de algunas especies de lepidópteros; también se observaron avispas de la familia Braconidae (figura 51b) y moscas de la familia Tachinidae parasitando larvas de lepidópteros (figura 51c).



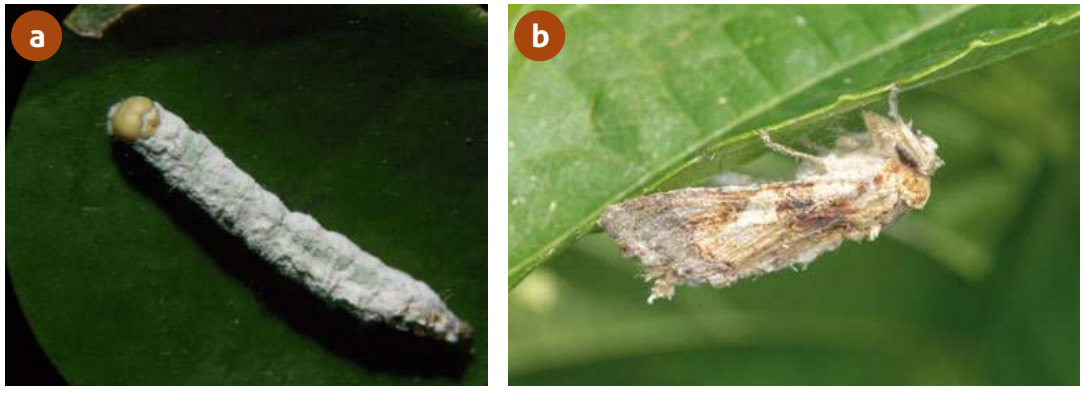
Fotos: Juan Carlos Campos y Yeisson Gutiérrez López

Figura 51.

Parasitoides encontrados en cultivo de sacha inchi. a. *Trichogramma* spp.; b. Avispa de la familia Braconidae; c. Mosca de la familia Tachinidae.

Entomopatógenos

Los entomopatógenos son microorganismos como virus, bacterias y hongos que se encuentran naturalmente en los cultivos y que producen enfermedades potencialmente mortales para los insectos que infectan. En el cultivo de sacha inchi se encontraron dos especies de hongos entomopatógenos que afectaban lepidópteros: *Nomuraea rileyi* en larvas (figura 52a) y *Cordyceps* sp. en adultos (figura 52b).



Fotos: Juan Carlos Campos y Yeisson Gutiérrez López

Figura 52.

Entomopatógenos en cultivo de sacha inchi. a. *Nomuraea rileyi* sobre larva de Lepidoptera; b. *Cordyceps* sp. sobre adulto de mariposa.

Nematodos

A continuación, se mencionan las características de los nematodos que afectan los cultivos de sacha inchi.

Nematodos fitoparásitos

Los fitonematodos se clasifican, de acuerdo con su hábito alimenticio y estilo de vida, como *ectoparásitos* y *endoparásitos*. Los ectoparásitos permanecen por fuera de la raíz e insertan su estilete en las células radicales para alimentarse. Los endoparásitos, por su parte, penetran las células del hospedero y se alimentan dentro de ellas (Escobar et al., 2015).

Nematodo del nudo radical

Los nematodos del nudo radical (RKN, por siglas en inglés de *root-knot nematodes*) forman parte de un grupo de endoparásitos sedentarios que inducen la formación de nudos o agallas en las raíces y comprenden varias especies dentro del género *Meloidogyne* (Subedi et al., 2020).

Los RKN causan las mayores pérdidas en los cultivos entre todos los fitonematodos a nivel mundial. Dos miembros del género, *M. incognita* y *M. javanica*, se caracterizan por tener el más amplio rango de hospederos y por reproducirse exclusivamente de forma asexual. Esto dificulta descifrar los mecanismos genéticos que pueden estar involucrados en la adaptabilidad a diferentes hospederos (Kaloshian & Teixeira, 2019).

En los cultivos de sacha inchi de Perú se reporta la presencia conjunta del nematodo del nudo *Meloidogyne incognita* y del hongo fitopatógeno *Fusarium* spp. como el principal problema de origen biótico que genera pérdidas económicas en los cultivos de *P. volubilis* (los daños son más evidentes en el segundo año de producción) (Manco Céspedes, 2008). La susceptibilidad del sacha inchi al nematodo del nudo radical también se ha demostrado en cultivos introducidos en China, donde se registraron daños por *Meloidogyne javanica* (Wang et al., 2014).

El complejo *Meloidogyne-Fusarium* se ha reportado en sistemas de monocultivo y cuando el sacha inchi se asocia a otros cultivos, sin embargo, no se registra afectación notable en plantas ubicadas en ambientes silvestres (Guerrero-Abad et al., 2021).

En Perú, Guerrero-Abad et al. (2021) detectaron al menos cuatro especies del nematodo fitopatógeno *Meloidogyne* en plantaciones de sacha inchi de 2 a 4 años, y la especie más abundante fue *M. incognita*.

Se reportó alta mortalidad (hasta 55 %) en plántulas de sacha inchi bajo condiciones de invernadero después de 80 días de estar expuestas de forma concomitante a la infestación por *M. incognita* y por *F. solani* y *F. verticillioides* (Guerrero-Abad et al., 2021). Los autores sugieren que *M. incognita* genera condiciones favorables que conducen al aumento del daño ocasionado por *Fusarium* spp.

Debido a las altas pérdidas que pueden ocasionar los nematodos en el cultivo del sacha inchi, y como parte de los descriptores que se evalúan en los materiales promisorios de Perú, se encuentra la tolerancia a *Meloidogyne* spp. como característica relevante para la selección de cultivares (Santa Cruz, 2021).

En Colombia no se han hecho estudios detallados de las poblaciones de nematodos fitoparásitos en las regiones donde se cultiva sacha inchi. En los cultivos visitados en Vista Hermosa y Cubarral (Meta), se observaron nudos en algunas raíces (figura 53), pero no se evidenció daño generalizado en las plantas con estos síntomas. Esto indica que el cultivo puede tolerar una determinada población de nematodos sin afectar su desarrollo y productividad, por lo cual se recomienda hacer muestreos al menos una vez al año de las poblaciones, especialmente a partir del segundo año de establecimiento.

Foto: Olga Castro

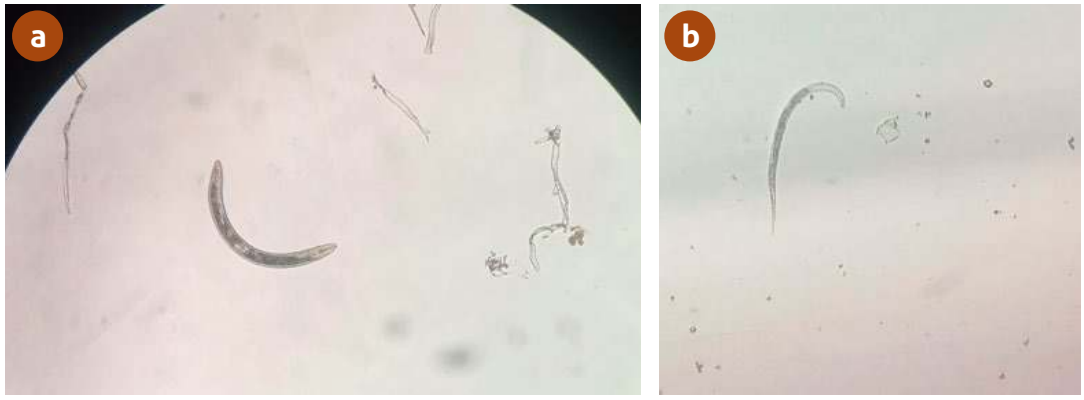
Figura 53.

Nudos de *Meloidogyne* spp. en raíces de sacha inchi, en cultivo de Vista Hermosa, Meta.

Otros fitonematodos

En la región de San Martín, Perú, se reportaron nematodos fitoparásitos de los géneros *Helicotylenchus, Aphelenchus* y *Tylenchus,* así como nematodos transmisores de virus de los géneros *Longidorus, Trichodorus* y *Xiphinema* (Shapiama et al., 2008).

En el segundo semestre de 2022 se realizó muestreo de suelos y raíces en cultivos de sacha inchi del municipio de Vista Hermosa, Meta. *Helicotylenchus* fue el único género que se encontró en el sistema radical, mientras que en suelo rizosférico se aislaron especímenes de *Helicotylenchus* spp. (figura 54a), Criconematidae, *Meloidogyne* spp. (figura 54b), *Xiphinema* spp. *y Pratylenchus* spp. mediante el método de decantación (figura 55).



Fotos: Olga Castro

Figura 54.

Nematodos fitoparásitos asociados a los cultivos de sacha inchi de Vista Hermosa (Meta). a. Espécimen del género *Helicotylenchus* (20x); b. Juvenil instar 2 (J2) de *Meloidogyne* spp. (10x).

Foto: Olga Castro

Figura 55.

Paso final de filtrado en columna de tamices del método de decantación para la extracción de nematodos.

Nematodos de vida libre

En la región de San Martín, Perú, se han reportado nematodos saprófitos como doryláimidos, rabdítidos y *Mononchus* (Shapiama, 2008). En el muestreo realizado en Vista Hermosa, se observaron depredadores de nematodos fitoparásitos, entre ellos ejemplares de la familia Mononchidae, los cuales pueden estar ejerciendo control biológico sobre las poblaciones de nematodos fitoparásitos.

Manejo de nematodos fitoparásitos

El manejo de las enfermedades provocadas por fitonematodos se debe orientar a la prevención. Por tanto, es necesario realizar un análisis de las poblaciones de estos microorganismos en el suelo del lote en el cual se pretende establecer el cultivo de sacha inchi (Manco Céspedes, 2008). Se recomienda que las muestras se envíen a un laboratorio especializado en este tipo de análisis. También es importante tener en cuenta cómo está el nivel poblacional de nematodos de vida libre, especialmente de los depredadores (como la familia Mononchidae), para conocer el potencial de control natural del suelo.

La implementación de cultivos asociados a sacha inchi se recomienda para disminuir la incidencia y severidad del daño ocasionado por los nematodos fitoparásitos, así como aplicar materia orgánica para favorecer el establecimiento y desarrollo de microorganismos que actúan como controladores biológicos.

Los microorganismos que pueden ejercer control biológico sobre fitonematodos son las micorrizas y varios hongos, entre ellos *Trichoderma* spp., *Pochonia chlamydosporia, Paecilomyces lilacinus, Arthrobotrys, Lecanicillium lecanii*. Varios de ellos se consiguen en presentación comercial y se pueden aplicar en *drench* en la zona del plato de las plantas establecidas. También puede inocularse el sustrato en la fase de vivero.

Hongos fitopatógenos

Las enfermedades de origen fúngico no representan hasta el momento daños de importancia económica en el cultivo de sacha inchi, a excepción de las especies de *Fusarium* asociadas al complejo de pudrición radical y de *Meloidogyne* spp.

Pudrición de raíces por *Fusarium* spp.

Esta enfermedad produce daños económicos en las plantaciones de *P. volubilis*, debido a que generalmente, una vez ocurre la infección, las plantas no tienen recuperación y mueren.

Fusarium spp. es un habitante del suelo que puede ingresar directamente por las raíces en condiciones de alta humedad y temperatura mayor de 28 °C (Manco Céspedes, 2008). La infección se ve favorecida cuando el sistema radical es afectado por heridas de tipo mecánico o por aquellas que producen otros agentes bióticos como los nematodos.

Los síntomas se observan en el follaje, inicialmente como clorosis general o en algunas ramas de la planta. Las hojas se ven flácidas y a medida que avanza la enfermedad, se desprenden. El secamiento normalmente avanza de abajo hacia arriba (figura 56). En la parte del cuello de la planta se observan grietas y desprendimiento de la corteza, y cuando la lesión se raspa, se ve una coloración amarillenta, en ocasiones de color púrpura, que generalmente corresponde a las estructuras del hongo.

En los cultivos establecidos en el Meta, se tienen reportes de la enfermedad en el municipio de Cubarral. En el C. I. La Libertad aún no se han registrado plantas afectadas por esta enfermedad.

Fotos: Olga Castro

Figura 56.

Síntomas de *Fusarium* spp. en sacha inchi. a. Clorosis y marchitamiento general de la planta; b. Lesión en el cuello del tallo.

El manejo es de tipo preventivo, con especial cuidado de las prácticas culturales para evitar heridas en raíces y tallos. Se sugiere plateo manual antes de guadañar las calles del cultivo y desinfectar las herramientas durante las labores de poda. La nutrición balanceada del cultivo hace que las plantas estén menos propensas a la infección, y se deben evitar condiciones de estrés abiótico como encharcamiento y déficit hídrico.

Cuando se identifican los síntomas iniciales en el cuello de la planta, se puede realizar la remoción del tejido afectado y aplicar una pasta fungicida para evitar el avance de la enfermedad. También se recomienda aplicar organismos biocontroladores, especialmente las especies *Trichoderma asperellum, T. atroviride* y *T. harzianum*, las cuales se consiguen como producto comercial. Se pueden aplicar en *drench* en la zona de plateo y también al sustrato en plantas de vivero para prevenir infecciones tempranas.

Otros hongos

En Perú, se reporta oidiosis (figura 57) en frutos maduros, lesiones foliares ocasionadas por *Alternaria* sp., lesiones en tallos por *Colletotrichum* sp. (figura 58) y muerte de ramas por *Cronartium* sp. (Manco Céspedes, 2008).

Foto: Juan Carlos Campos

Figura 57.

Oidiosis en frutos maduros.

En los cultivos establecidos en el C. I. La Libertad se han observado lesiones en el tallo por *Colletotrichum* sp. (figura 58) y muerte descendente. Este último es un síntoma muy frecuente durante los primeros meses de establecimiento del cultivo en campo, pero las yemas vegetativas que están por debajo de la lesión se activan rápidamente y la planta continúa con su crecimiento normal. El inconveniente es que, al perderse la dominancia apical, la planta empieza a emitir muchos brotes y se hace necesario realizar las podas de formación con mayor frecuencia.

Foto: Yeisson Gutiérrez

Figura 58.

Lesiones de *Colletotrichum* sp. en tallos de sacha inchi.

Finca La Libertad
0-10 cm.
23-08-23

Capítulo VIII
Costos de producción

Adriana María Molina Romero, Manuel Eduardo Ostos Triana

Los costos son el valor monetario de todo lo utilizado en función de la producción (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [IICA], 2000): mano de obra, materias primas, maquinaria, equipos, entre otros. Los costos de producción agrícola son determinantes para identificar el nivel de competitividad regional, sectorial y empresarial que tienen los diferentes sistemas de producción (Unidad de Planificación Rural Agropecuaria [UPRA], 2021), por lo que son un excelente insumo para la toma de decisiones.

Para este caso, se presentan los costos técnicos obtenidos en una plantación de sacha inchi ubicada en el C.I. La Libertad, donde se incluyen todos los costos que debe considerar un productor (*full cost*) bajo sistema de siembra con vivero y siembra directa. A continuación, se describe la plantación estimada (tabla 8).

Tabla 8. Información básica de la plantación

Especie	**Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.)**	Área	1 ha
Turno	4 años	Densidad siembra	3 × 3
Objetivo	Cápsula	Rendimiento	5,6 t/ha

Fuente: Elaboración propia con base en datos de plantación de sacha inchi en el C.I. La Libertad

Inversión inicial

Todo sistema productivo tiene como punto de partida unas inversiones iniciales que hacen parte de los costos de producción. Para visualizarlas en detalle, se muestran separadas de los costos de establecimiento (tabla 9).

Tabla 9. Inversiones iniciales

Rubro	Unidad	Cantidad	Valor total ($)
Paladraga	Unidad	2	137.800
Serrucho	Unidad	1	23.500
Martillo	Unidad	1	33.500
Alicate	Unidad	1	62.000
Malacate o templadora	Unidad	1	238.000
Guadaña	Unidad	1	2.700.000
Marquesina (secado)	Global	1	1.000.000
Postes (tutorado)	Global	1	10.086.200
Inversión total			**14.281.000**

Fuente: Elaboración propia con base en datos de plantación de sacha inchi en el C. I. La Libertad

En el sacha inchi, estas inversiones corresponden a compras de equipos, herramientas y la instalación de tutorados y marquesina (vivero), lo que da como resultado un gasto de $14.281.000. Puesto que las inversiones son altas y la vida útil de algunos de ellos supera el periodo de estudio (cuatro años), se considera una valoración residual que se explicará más adelante en los ingresos.

Costos de establecimiento

Son los costos básicos para iniciar operativamente la actividad productiva. Comprenden no solo insumos y jornales, sino también arriendo, asistencia técnica, análisis de suelos, entre otros (tabla 10).

Tabla 10. Costos de establecimiento con vivero versus en siembra directa

Actividades	Con vivero ($)	Siembra directa ($)
Vivero	876.166	
Adecuación de terreno	1.486.000	1.486.000
Siembra	344.163	506.610
Mantenimientos	2.895.650	2.895.650
Otros costos y/o gastos	1.494.000	1.494.000
Egresos totales	**7.095.979**	**6.382.260**

Fuente: Elaboración propia con base en datos de plantación de sacha inchi en el C.I. La Libertad

Los costos de producción para el establecimiento de una hectárea de sacha inchi, estimada cada una de las actividades realizadas en vivero, ascienden a $7.095.979, y con siembra directa son de $6.382.260. Depende del productor decidir qué tipo de siembra es mejor utilizar en la plantación. Un aspecto para resaltar es el número de jornales implementados en cada uno de los tipos de siembra. Para vivero se utilizaron 16 jornales, con un costo de $800.000 (11%), y para la siembra directa fueron once jornales, correspondientes a $550.000 (8,6%).

En términos porcentuales, las actividades realizadas en el establecimiento que más pesan en las dos formas de siembra son los mantenimientos iniciales, correspondientes a fertilizaciones, productos biológicos (manejo de plagas y enfermedades), transporte de insumos, personal para ahoyar y motosierra, seguidas de costos de adecuación, pases de cincel, rastra, arado, drenajes, aplicación de enmiendas y correctivos, y otros asociados a análisis de suelo, arriendo y asistencia técnica (figura 59).

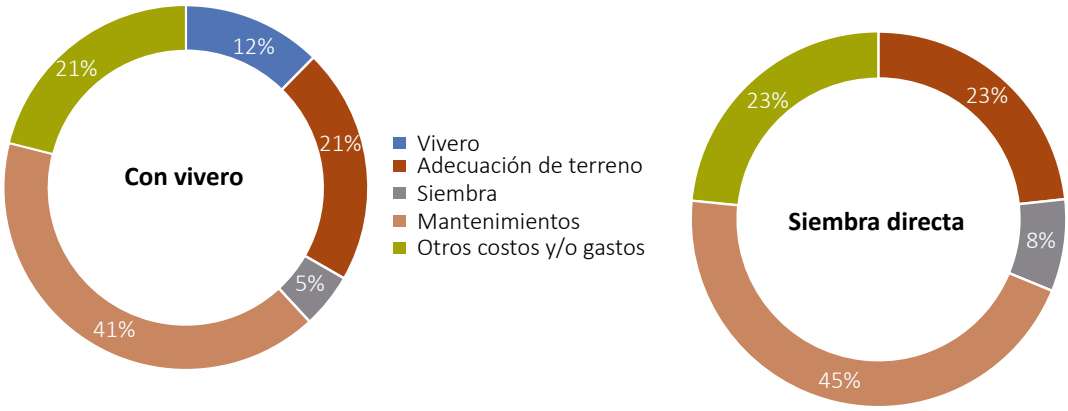


Figura 59.

Participación de costos de establecimiento en vivero versus siembra directa.

Fuente: Elaboración propia con base en datos de plantación de sacha inchi en el C.I. La Libertad.

Costos de mantenimiento

Son los costos en los que se incurre para el manejo adecuado del sistema productivo año a año, tales como manejo de malezas, plagas y enfermedades, cosecha, poscosecha, entre otros. Dado que los dos sistemas de siembra tienen los mismos costos de mantenimiento, se muestran de manera unificada en la tabla 11.

Tabla 11. Costos de mantenimiento promedio con vivero y siembra directa

Actividades	Valor total ($)
Resiembra (año 3)	144.184
Mantenimientos	8.344.100
Cosecha y poscosecha	1.274.167
Otros costos y/o gastos	2.531.333
Egresos totales	**12.293.784**

Fuente: Elaboración propia con base en datos de plantación de sacha inchi en el C.I. La Libertad.

Por lo tanto, los costos promedio de mantenimiento para los dos tipos de siembra son de $12.293.784. En cuanto a los jornales, se necesitan 87 en promedio durante cada año de estudio, lo que equivale a $4.350.000 y representa el 35 % de los costos totales del mantenimiento.

En general, las mayores participaciones se encuentran en mantenimientos (podas, control de malezas, plagas y enfermedades, fertilizaciones, entre otros) con 68 %, seguidas por otros costos (21 %), cosecha y poscosecha (10 %) y por último, con 1 %, resiembra (figura 60).

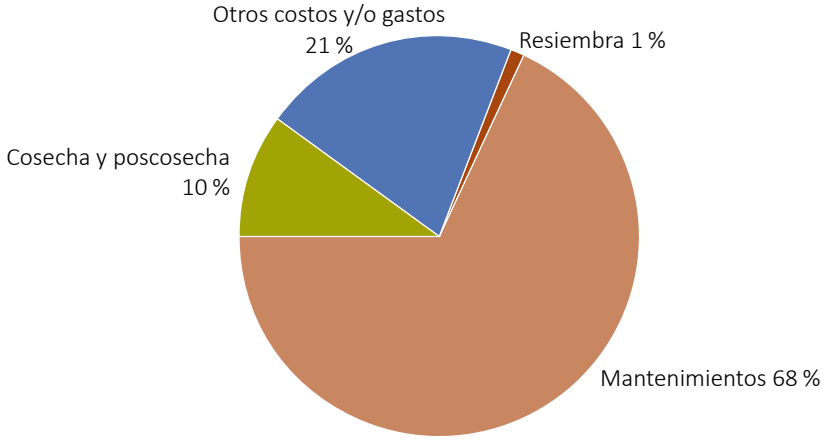


Figura 60.

Participación de costos de mantenimiento con vivero y siembra directa.

Fuente: Elaboración propia con base en datos de plantación de sacha inchi en el C. I. La Libertad.

En general, los costos de producción para una hectárea de sacha inchi con vivero alcanzan $19.389.763 y con siembra directa se estiman en $18.676.044.

Los ingresos obtenidos están dados por 1) la venta de las cápsulas de sacha inchi, que manejan rendimientos crecientes de 1,5 t/ha hasta 5,6 t/ha gracias al manejo tecnificado del cultivo y al precio promedio de mercado de $4.000/kg; y 2) la recuperación de activos, que corresponde al valor residual de esos equipos, herramientas e instalaciones que tienen todavía una vida útil (posterior a cuatro años), y que arrojan un saldo a favor para el productor de $7.563.093. En la tabla 12 se evidencia la estimación del cálculo.

Tabla 12. Valor residual de los equipos, herramientas e instalaciones en año 4

Rubro	Vida útil (años)	Valor total ($)	Depreciación anual ($)	Depreciación año 4 ($)	Valor del activo año 4 ($)
Paladraga	5	137.800	27.560	110.240	27.560
Serrucho	5	23.500	4.700	18.800	4.700
Martillo	5	33.500	6.700	26.800	6.700
Alicate	5	62.000	12.400	49.600	12.400
Malacate o templadora	5	238.000	47.600	190.400	47.600
Guadaña	5	2.700.000	540.000	2.160.000	540.000
Marquesina (secado)	5	1.000.000	200.000	800.000	200.000
Postes (tutorado)	12	10.086.200	840.517	3.362.067	6.724.133
Inversiones totales		**14.281.000**			**7.563.093**

Fuente: Elaboración propia con base en datos de plantación de sacha inchi en el C. I. La Libertad

A continuación, se detallan los ingresos y egresos del flujo de caja de la plantación con vivero (tabla 13) y en siembra directa (tabla 14).

Tabla 13. Flujo de caja neto (FCN) con vivero

Flujo de caja	1	2	3	4
Ingresos totales + activo residual	$6.000.000	$18.400.000	$20.000.000	$29.963.093
Egresos totales + inversión	$29.323.829	$11.945.600	$12.395.784	$12.251.600
FCN	**$(23.323.829)**	**$6.454.400**	**$7.604.216**	**$17.711.493**

Fuente: Elaboración propia con base en datos de plantación de sacha inchi en el C. I. La Libertad

Tabla 14. Flujo de caja neto (FCN) en siembra directa

Flujo de caja	1	2	3	4
Ingresos totales + activo residual	$6.000.000	$18.400.000	$20.000.000	$29.963.093
Egresos totales + inversión	$28.610.110	$11.945.600	$ 12.395.784	$12.251.600
FCN	**$(22.610.110)**	**$6.454.400**	**$7.604.216**	**$17.711.493**

Fuente: Elaboración propia con base en datos de plantación de sacha inchi en el C. I. La Libertad.

A su vez, las tablas 13 y 14 muestran la ganancia obtenida año a año de una hectárea de sacha inchi con vivero y siembra directa. Con base en esta información, se calculan los indicadores económicos usualmente utilizados en análisis financieros, descritos en la tabla 15.

Tabla 15. Indicadores financieros con vivero versus siembra directa

Indicadores	Con vivero	Siembra directa
Tasa de descuento	9%	9%
Valor presente neto (VPN)	$2.453.649,3	$3.108.437,3
Tasa interna de retorno (TIR)	14,3%	15,9%
Relación beneficio-costo (B/C)	1,04	1,06

Fuente: Elaboración propia con base en datos de plantación de sacha inchi en el C.I. La Libertad.

El valor presente neto (VPN) muestra una ganancia de $2.453.649 con vivero y de $3.108.437 en siembra directa, lo que determina la viabilidad del cultivo. La tasa interna de retorno (TIR) es de 14% con vivero y de 16% con siembra directa, y supera la tasa de descuento de 9%, lo que significa una mayor rentabilidad en comparación con la inversión en otro tipo de proyecto (costo de oportunidad). Por último, la relación costo-beneficio es de 1,04 y 1,06 con vivero y siembra directa, respectivamente, lo que evidencia un excedente por cada peso invertido después de recuperar la inversión. En otras palabras, por cada peso invertido, se obtienen $0,04 de ganancia en vivero y $0,06 con siembra directa.

En conclusión, estos costos corresponden a productores que inician desde cero la plantación; sin embargo, este valor puede cambiar dependiendo de la disponibilidad de equipos y herramientas, el tipo de mano de obra (familiar o contratada), la tenencia de la tierra (propia o arriendo), los recursos monetarios, entre otros. Es importante que cada productor registre detalladamente los costos, debido a que cualquier variación en este aspecto influye significativamente en el valor del establecimiento y del mantenimiento de la plantación.

Capítulo IX
Contexto nacional

Magda Lucía Sierra Moreno

De acuerdo con las evaluaciones agropecuarias nacionales (EVA) del MADR reportadas para el periodo 2006-2022 (Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE], 2014; MADR, 2022a), se describe el contexto nacional del cultivo de sacha inchi a partir de una visión general a nivel nacional y después con una visión departamental y municipal.

Se evidencia que el cultivo de sacha inchi tiene una tendencia positiva a nivel nacional en cuanto al incremento de producción a medida que pasa cada año (figura 61). Si bien las mejores vigencias en producción, en los últimos siete años, fueron las de 2018 y 2019, la tendencia sigue siendo positiva. En el caso de 2018, se elimina un dato atípico reportado por las EVA, para el municipio de Saravena, en Arauca (24.000 toneladas de producción).

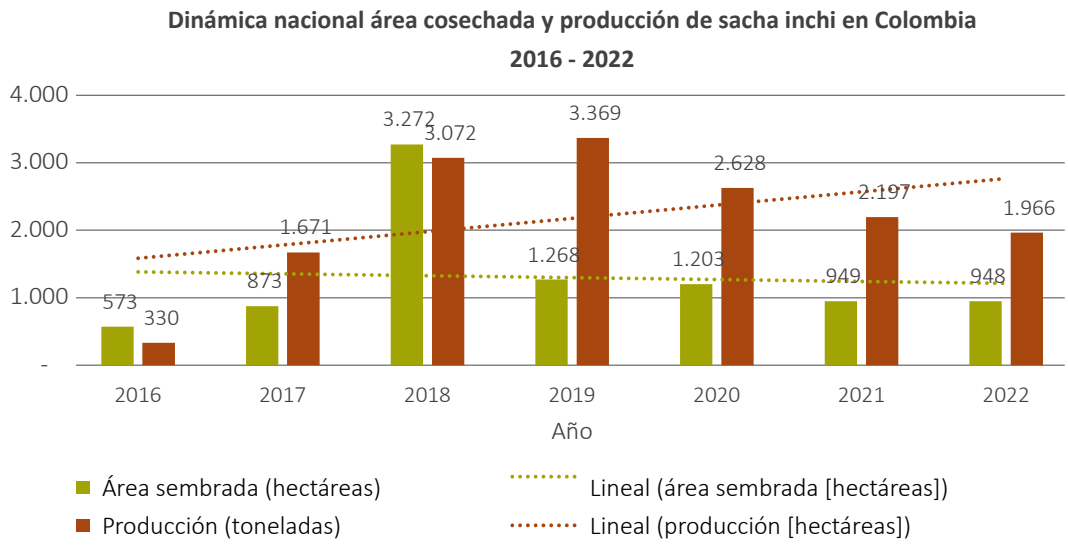


Figura 61.

Dinámica nacional de área sembrada y producción de sacha inchi en Colombia (2016-2022).

Fuente: Elaboración propia con base en datos de MADR (2022a)

Por otra parte, el área sembrada traza una tendencia más conservadora, con una leve inclinación negativa, lo que puede ser una señal de que esta área no se incrementó.

De acuerdo con la tabla 16, en Colombia el primer registro de área sembrada para sacha inchi fue en el departamento del Amazonas, con una hectárea en 2007; posteriormente Putumayo registró áreas sembradas en 2009, y departamentos como Cauca y Valle del Cauca se sumaron desde 2014 con nuevas áreas de cultivo y Amazonas retomó la producción. El incremento en áreas ha continuado en 22 departamentos, y registró un total de área sembrada de 948 hectáreas aproximadamente al cierre del 2022, concentrando 61% del área en los departamentos de Putumayo (26%), Caquetá (20%) y Arauca (15%).

Tabla 16. Top 10 de área sembrada (ha) con sacha inchi en Colombia

Departamento	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Participación 2022
Putumayo			51	6	10	10	41	81	100	179	202	247	249	258	210	245	26%
Caquetá										50	100	434	226	229	185	188	20%
Arauca												1.772	129	157	154	142	15%
Cauca								30		21	52	62	69	22	60	53	6%
Córdoba													5	5	5	52	5%
Cundinamarca												4	54	56	55	47	5%
Meta										40	80	110	117	206	65	45	5%
Antioquia										55	134	205	63	41	33	36	4%
Valle del Cauca								6	26	154	193	223	126	60	31	28	3%
Amazonas	1	1	1					2	60	62	64	64	64	36	36	20	2%
Resto del país	0	0	0	0	0	0	4	0	5	12	49	153	167	134	116	92	10%
Total	**1**	**1**	**52**	**6**	**10**	**10**	**45**	**119**	**191**	**573**	**873**	**3.272**	**1.268**	**1.203**	**949**	**948**	**100 %**

Fuente: Elaboración propia con base en datos de MADR (2022a)

En total, las EVA reportan un total de 108 municipios con área sembrada entre las vigencias 2006 y 2022, y en 2022 un total de 54 municipios. Los siguientes fueron los principales municipios por área sembrada en 2022:

- San Vicente del Caguán, Caquetá (144 ha)
- Valle del Guamuez (La Hormiga), Putumayo (78 ha)
- Tame, Arauca (73 ha)
- Puerto Libertador, Córdoba (52 ha)
- Yopal, Casanare (50 ha)

Para facilitar la disposición y visualización de la información, a partir de la tabla 17 se considera el periodo 2016-2022.

Con respecto al área cosechada, los departamentos de Putumayo (26%), Caquetá (20%) y Arauca (15%) concentran el 64%; los demás registran porcentajes de participación iguales o menores de 6%, encabezados por Cundinamarca (tabla 17).

Tabla 17. Top 10 de área cosechada (ha) de sacha inchi en Colombia

Departamento	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Participación 2022
Putumayo	92	167	184	220	213	192	210	26%
Caquetá	20	100	326	226	203	169	161	20%
Arauca			1.620	81	117	133	134	17%
Cundinamarca			0	29	54	55	47	6%
Meta	0	0	80	110	114	65	45	6%
Cauca	4	32	37	51	12	52	45	6%
Valle del Cauca	44	153	208	123	58	31	28	3%
Antioquia	29	110	129	35	36	24	27	3%
Amazonas	30	60	60	20	36	36	20	3%
Norte de Santander			0	2	4	25	16	2%
Resto del país	9	26	110	138	123	87	63	8%
Total	**228**	**648**	**2.753**	**1.035**	**968**	**868**	**794**	**100 %**

Fuente: Elaboración propia con base en datos de MADR (2022a)

En 2022, un total de 53 municipios se registraron para área cosechada. Los siguientes fueron los principales reportados por este ítem:

- San Vicente del Caguán, Caquetá (124 ha)
- Valle del Guamuez (La Hormiga), Putumayo (70 ha)
- Tame, Arauca (33 ha)
- Orito, Putumayo (50 ha)
- Vista Hermosa, Meta (36 ha)

Tabla 18. Top 10 de producción (toneladas) de sacha inchi en Colombia

Departamento	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Participación 2022
Arauca			24.055	246	359	416	436	22%
Putumayo	137	303	334	351	396	272	377	19%
Caquetá	8	600	1.231	942	790	350	326	17%
Cundinamarca			-	29	134	159	141	7%
Meta	-	-	200	440	283	197	136	7%
Casanare	-	-	167	167	169	160	120	6%
Antioquia	55	250	290	160	48	53	105	5%
Valle del Cauca	80	364	261	254	135	112	81	4%
Magdalena					50	28	50	3%
Amazonas	30	30	300	100	72	72	40	2%
Norte de Santander			-	6	11	55	37	2%
Resto del país	21	123	234	675	182	324	117	6%
Total	330	1.671	27.072	3.369	2.628	2.197	1.966	100%

Fuente: Elaboración propia con base en datos de MADR (2022a)

La participación de los tres principales departamentos se consolida con los datos reportados para producción. De nuevo Arauca (22%), Putumayo (19%) y Caquetá (17%) concentran el 58% de la producción de sacha inchi en Colombia (tabla 18). Los puestos de la tabla cambian, ya que esta vez los encabeza Arauca, que reporta más producción en menos área sembrada, y tanto Putumayo como Caquetá se desplazan al segundo y tercer lugar de producción nacional, pero en general se mantienen estos tres departamentos como los principales productores de sacha inchi a nivel nacional.

En 2022, un total de 53 municipios se registraron para área de producción. Los siguientes fueron los principales municipios reportados en ese año por este ítem:

- San Vicente del Caguán, Caquetá (180 t)
- Tame, Arauca (175 t)
- Saravena, Arauca (168 t)
- Valle del Guamuez (La Hormiga), Putumayo (159 t)
- Yopal. Casanare (120 t)

Tabla 19. Top 10 de promedio de rendimiento (toneladas/hectárea) de sacha inchi en Colombia

Departamento	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Magdalena					12,5	7,0	12,5
Casanare			3,6	3,6	3,4	8,0	8,0
Tolima				2,5	2,5	2,5	5,0
Santander			1,8	2,6	2,3	4,0	4,0
Cundinamarca				1,0	3,3	2,3	3,9
Antioquia	2,0	2,6	2,1	1,1	1,4	2,6	3,7
Boyacá		3,5	2,3	3,0	2,0	2,8	3,6
Meta			2,5	4,0	0,9	2,1	3,3
Arauca			6,8	2,9	2,9	2,9	3,3
Caquetá	0,4	6,0	3,3	4,5	3,8	3,2	2,9
Norte de Santander				1,5	3,0	2,7	2,7
Valle del Cauca	1,9	2,8	1,7	2,1	1,8	3,3	2,7
Nariño				0,8	0,5	0,3	2,5
Amazonas	1,0	0,5	5,0	5,0	2,0	2,0	2,0
Putumayo	1,5	1,4	1,6	1,7	1,6	1,5	1,6
Vichada	1,8	1,6	1,4	-	0,8	1,5	1,5
Córdoba				0,8	0,8	1,4	1,4
Caldas					0,8	1,0	1,0
Quindío					0,6	1,0	1,0
Cauca	1,3	4,2	4,3	0,7	0,4	0,7	0,8
Bolívar				-	2,0		0,7
Cesar			0,9	9,0	0,8	0,4	0,5
Total	**1,6**	**2,6**	**2,6**	**2,1**	**2,0**	**2,3**	**2,7**

Fuente: Elaboración propia con base en datos de MADR (2022a)

En cuanto a los promedios de rendimiento generales de sacha inchi (tabla 19), se evidencia que los departamentos han tenido incrementos paulatinos en cada año reportado. El rango actual de rendimiento de este cultivo estuvo entre 12,5 y 0,5 toneladas de sacha inchi por hectárea en 2022.

Si bien la información referente a áreas sembradas, cosechadas y producción es liderada por Arauca, Putumayo y Caquetá, los mayores promedios de rendimiento en esta ocasión están encabezados por Magdalena, Casanare y Tolima. También se evidencia que, al cierre de 2022, los 22 departamentos reportaban producción para el cultivo de sacha inchi.

En cuanto a los municipios, los siguientes son los que presentaron mayor rendimiento promedio en 2022 (de un total de 54):

- Fundación, Magdalena (13 t/ha)
- Yopal, Casanare (8 t/ha)
- Chitaraque, Boyacá (7 t/ha)
- Tibacuy, Cundinamarca (6 t/ha)
- Saravena, Arauca (6 t/ha)

El resumen de estas variables se observa en la tabla 20, que contiene los datos reportados a nivel nacional.

Tabla 20. Área, producción y rendimiento nacional de sacha inchi, 2016-2022*

Sacha inchi, variable a nivel nacional	Año						
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Área sembrada (hectáreas)	573	873	3.272	1.268	1.203	949	948
Área cosechada (hectáreas)	228	648	2.753	1.035	968	868	794
Producción (toneladas)	330	1.671	3.072	3.369	2.628	2.197	1.966
Promedio rendimiento (toneladas/hectárea)	1,60	2,55	2,64	2,11	2,02	2,32	2,72

* Se elimina dato atípico de producción en vigencia 2018 del municipio de Saravena, Arauca, de 24.000 toneladas.

Fuente: Elaboración propia con base en datos de MADR (2022a)

Se observa mayor área sembrada y cosechada en 2018, mayor producción en 2019 y mejor rendimiento en 2022. En los últimos siete años, el rango de área sembrada estuvo entre 573 y 1.268 hectáreas, el rango de producción entre 330 y 3.369 toneladas y el de rendimiento promedio entre 1,60 y 2,72 toneladas por hectárea. El resumen de estas variables a nivel departamental se puede observar en la tabla 21.

Tabla 21. Área, producción y rendimiento departamental de sacha inchi, 2019-2022

Año	2019			2020			2021			2022		
Sacha inchi, variable a nivel departamental	Área sembrada (hectáreas)	Producción (toneladas)	Promedio rendimiento (toneladas/ hectárea)	Área sembrada (hectáreas)	Producción (toneladas)	Promedio rendimiento (toneladas/ hectárea)	Área sembrada (hectáreas)	Producción (toneladas)	Promedio rendimiento (toneladas/ hectárea)	Área sembrada (hectáreas)	Producción (toneladas)	Promedio rendimiento (toneladas/ hectárea)
Arauca	129	246	2,9	157	359	2,9	154	416	2,9	142	436	3,3
Putumayo	249	351	1,7	258	396	1,6	210	272	1,5	245	377	1,6
Caquetá	226	942	4,5	229	790	3,8	185	350	3,2	188	326	2,9
Cundinamarca	54	29	1,0	56	134	3,3	55	159	2,3	47	141	3,9
Meta	117	440	4,0	206	283	0,9	65	197	2,1	45	136	3,3
Casanare	33	167	3,6	23	169	3,4	20	160	8,0	15	120	8,0
Antioquia	63	160	1,1	41	48	1,4	33	53	2,6	36	105	3,7
Valle del Cauca	126	254	2,1	60	135	1,8	31	112	3,3	28	81	2,7
Magdalena				4	50	12,5	4	28	7,0	4	50	12,5
Amazonas	64	100	5,0	36	72	2,0	36	72	2,0	20	40	2,0
Resto del país	207	681	2,1	134	192	1,4	157	379	1,7	178	154	2,1
Total	**1.268**	**3.369**	**2,1**	**1.203**	**2.628**	**2,0**	**949**	**2.197**	**2,3**	**948**	**1.966**	**2,7**

Fuente: Elaboración propia con base en datos de MADR (2022a)

El departamento con mayor producción en 2022 fue Arauca (436 toneladas); el de mayor área sembrada, Putumayo (377 hectáreas) y el de rendimiento más alto, Magdalena (12,5 toneladas/hectárea).

A nivel mundial, el principal país en producción es Perú, y es justamente esta nación la que tiene un mayor impacto en el mercado, ya que es un dinamizador clave en lo que respecta a sacha inchi (Rodzi & Lee, 2022).

Con referencia a la exportación, Procolombia (2021) reseña que se hace desde 2021, con la empresa SumaSacha como la primera en lograr exportar aceite de sacha inchi a Estados Unidos a través de dos tiendas, y en forma de grano hacia Perú.

El sacha inchi ha despertado el interés de la ciencia por ser una excelente fuente de ácidos grasos poliinsaturados, en especial ácido alfa-linoleico, que a su vez se incluye dentro del grupo de ácidos grasos omega 3 y es excelente fuente de proteína. Es por ello que se están realizando investigaciones en las ciencias de la salud y en el sector de los alimentos, pues gracias a las potenciales aplicaciones de sacha inchi se pueden obtener beneficios para la salud, con efectos sobre la regulación del estado antioxidante y antiinflamatorio, la modulación antitumoral y antiproliferativa, la neuroprotección, la dermatología y las actividades antidislipidémicas (Rodzi & Lee, 2022).

El sacha inchi es un producto que se puede considerar parte del actual mercado de superalimentos, con demanda por parte de las industrias que se dirigen directamente al consumidor final en Latinoamérica (EMR, 2023a).

Las dos principales tendencias que promueven el crecimiento del mercado de sacha inchi, tanto a nivel Latinoamérica (EMR, 2023a) como mundial (EMR, 2023b), son la demanda creciente de productos ecológicos y la adopción de dietas veganas por parte del consumidor final. Esto se suma a que las industrias que actualmente demandan más sacha inchi son las de alimentos, bebidas y suplementos dietéticos.

Mientras el mercado de los superalimentos registró un tamaño de mercado en 2021 de 152 millones de dólares, para 2016-2024 tuvo un pronóstico de crecimiento de 10.24% anual y se espera que en 2024 llegue a casi 215 millones de dólares (Mordor Intelligence, 2022). En cuanto al mercado de

sacha inchi en Latinoamérica, para 2021 registró 242 millones de dólares, con un pronóstico de crecimiento para 2023-2028 de 4% (EMR, 2023b). Es decir, a pesar de que el mercado de sacha inchi tiende hacia una menor tasa de crecimiento anual, su cuota de mercado es mayor a la registrada por los superalimentos.

Actualmente, el sacha inchi se comercializa de diferentes formas, dentro de las cuales se encuentran aceites, suplementos dietarios, *snacks*, harinas, premezclas, mezclas con chocolate y productos de uso cosmético (cremas, aceites, productos capilares, jabones líquidos, mascarillas, hidratantes, jabones, exfoliantes, entre otros destinados a uso humano e incluso mascotas). De acuerdo con el tipo de mercado, las categorías existentes son *natural* y *orgánico*. La industria está segmentada en las categorías *polvo*, *aceite*, *semillas* y otros, y en cuanto a la aplicación en la industria, en *productos farmacéuticos*, *productos cosméticos*, *cuidado personal*, *comida y bebidas*, *suplementos dietéticos* y otros (EMR, 2022).

Si bien el sacha inchi se produce actualmente en 22 departamentos, no existe una partida arancelaria explícita para este producto, por lo que actualmente no es posible identificar una cifra exacta del valor de exportaciones, pues de acuerdo con la aplicación del sacha inchi, cambia la partida arancelaria en la que puede ubicarse el producto. Procolombia reportó que las ventas de la empresa SumaSacha en 2021 ascendieron a USD 11.000 en aceites y a USD 89.000 en grano (Procolombia, 2021). La tendencia de mercado global marca una tasa de crecimiento anual de 4% para los próximos cinco años, es decir, con base en ventas reportadas por Procolombia, se espera que, de mantenerse la tasa de crecimiento anual a 2026, la totalidad de las ventas en Colombia serían de un poco más de USD 120.000.

Debido a que el sacha inchi es un producto versátil, con aplicaciones en diferentes industrias, actualmente no es posible precisar las cantidades exportadas, ya que las partidas arancelarias son generales y a la fecha, en su consulta, no permiten distinguir o separar cantidades de sacha inchi, es decir, las partidas arancelarias en las que podría participar sacha inchi en las exportaciones están agrupadas con otros productos, por ejemplo, si sacha inchi se exporta como aceite, la partida 151590, "Grasas y aceites vegetales fijos y sus fracciones, incl. refinados, sin modificar químicamente

(excepto soja, cacahuete, aceituna, palma, girasol, cártamo, algodón, coco, palmiste, babasú, colza, colza y mostaza, linaza, maíz, aceite de sésamo y ricino y aceites microbianos)", contiene en general aceites vegetales distintos a los que se indican entre paréntesis, y por tal razón, si bien analizar las cifras de una partida evidencia una tendencia del mercado, no se puede atribuir esto a un producto específico sin contar con información que así lo respalde.

Una de las partidas en las que se pueden encontrar productos con sacha inchi es "las demás semillas y frutos oleaginosas, incluso quebrantadas", aclarando que las cifras no corresponden exclusivamente a las de un solo producto, aunque se observa que la tendencia de crecimiento en esta partida es negativa (figura 62). En términos de mercado eso puede deberse a múltiples factores, razón por la cual es necesario que la persona natural o jurídica que desee realizar algún tipo de emprendimiento alrededor de sacha inchi, se apoye en elementos de mercado como el "canvas modelo de negocio" (Osterwalder & Pigneur, 2010), herramienta que integra diferentes elementos de mercado que deben ser tenidos en cuenta.

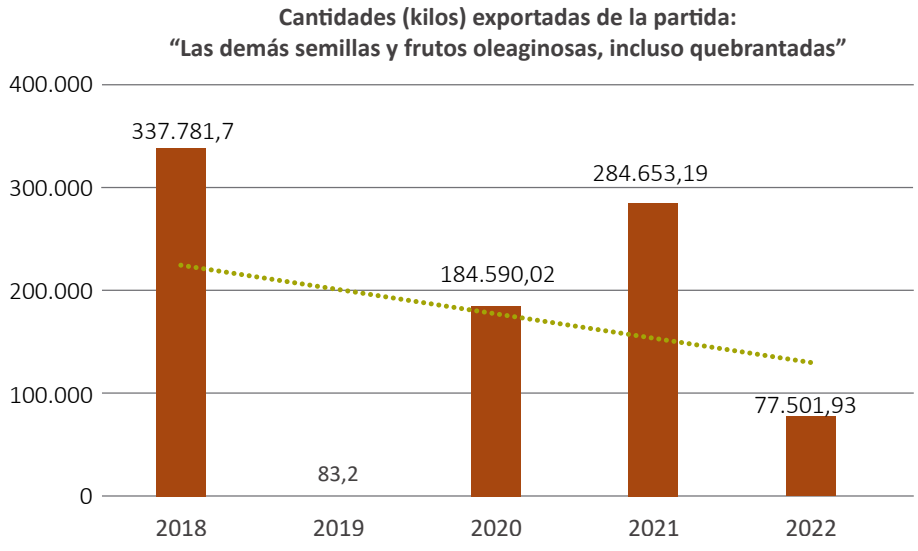


Figura 62.

Cantidades (kilos) exportadas de la partida "Las demás semillas y frutos oleaginosas, incluso quebrantadas".

Fuente: Elaboración propia con base en datos de LegisComex (2022)

De acuerdo con Ávila-Cárdenas et al. (2022), en Colombia hay alrededor de 30 empresas que fabrican productos con sacha inchi y cerca de 30 que los comercializan. Dentro de los productos cosméticos, se producen aceite capilar, aceite humectante, acondicionador, cremas (antiedad, corporal, de manos, exfoliante, nutritiva), exfoliante, fragancia, gel de ducha, jabón líquido *antiblemish*, jabón sólido, leche hidratante, mascarilla facial, óleo capilar, óleo corporal, sérum hidratante, champú, *splash* hidratante, suero facial, tónico y tratamientos capilares, y productos alimenticios como aceites (cápsulas blandas, para mascotas), almendra, almendra tostada, cereal, colágeno hidrolizado con polvo de sacha inchi, crema untable sacha inchi y cacao, galletas, harina, mezcla para panqueques y *waffles*, polvo proteico, sacha inchi pulverizado y *snacks*.

Sacha inchi es un producto versátil, con amplias aplicaciones y sus características se ubican dentro de las actuales tendencias del mercado.

Capítulo X
Perspectivas del sacha inchi en Colombia

Gina Marcela Amado Saavedra, Natalia Flórez Tuta

El sacha inchi en Colombia se cultiva en diferentes regiones, pero aún presenta grandes retos que deben atenderse desde diferentes instancias para fortalecer la productividad y competitividad del sistema productivo, consolidar su consumo nacional e internacional y formalizar la cadena productiva en Colombia.

La normatividad aplicable a la producción de sacha inchi incluye la Ley 811 (2003), "por medio de la cual se modifica la Ley 101 (1993), se crean las organizaciones de cadenas en los sectores agropecuario, pesquero, forestal, acuícola, las Sociedades Agrarias de Transformación, SAT, y se dictan otras disposiciones"; el Decreto 3800 (2006), y la Resolución 186 (MADR, 2008), que "reglamentan parcialmente la Ley 811 de 2003 y el Decreto 3800 de 2006 sobre la inscripción de las organizaciones de cadena en el Sector Agropecuario, Forestal, Acuícola y Pesquero ante el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural", con el fin de mejorar la competitividad y productividad de un producto o un grupo de estos (Ley 101 de 1993; Ley 811 de 2003; Decreto 3800 de 2006; Resolución 186 de 2008).

Para lograr la formalización de la cadena, es necesario concertar y establecer un documento de acuerdo de competitividad entre los diferentes actores/eslabones (productivo, transformación, comercialización, distribución, proveedores, entidades locales, regionales y nacionales, academia, entre otros), en donde, de acuerdo con lo dispuesto en la Ley 811 (2003), se establezcan como mínimo acuerdos en por lo menos los siguientes aspectos:

> 1. Mejora de la productividad y competitividad. 2. Desarrollo del mercado de bienes y factores de la cadena. 3. Disminución de costos de transacción entre los distintos agentes de la cadena. 4. Desarrollo de alianzas estratégicas de diferente tipo. 5. Mejora de la información entre los agendes de la cadena. 6. Vinculación de los pequeños productores y empresarios a la cadena. 7. Manejo de recursos naturales y medio ambiente. 8. Formación de recursos humanos. 9. Investigación y desarrollo tecnológico. (Ley 811 de 2003, art. 101)

De acuerdo con lo anterior, los integrantes de la Mesa Nacional Sachainchera han venido adelantando el análisis e identificación de los retos y oportunidades que, en términos de los nueve puntos indicados anteriormente, son prioritarios y a partir de los cuales es necesario plantear acciones que se enmarquen en el acuerdo de competitividad, y que además permitan avanzar con los requisitos establecidos para la formalización del sacha inchi como cadena productiva ante el MADR.

Plan de acción de la Mesa Nacional Sachainchera y el MADR

En las tablas 22 a 30 se presenta el plan de acción elaborado por los integrantes de la Mesa, con el acompañamiento de la Dirección de Cadenas Agrícolas del MADR para el periodo 2022-2026. Los planteamientos realizados consideran un panorama proyectado para el establecimiento de aproximadamente 5.400 ha de cultivo, el sostenimiento de cerca de 1.200 ha sembradas; los procesos de cosecha y poscosecha de la producción esperada, y los requerimientos para el fortalecimiento organizacional, de talento humano y de redes de servicios y logística (MADR, 2022b).

continúa

Tabla 22. Mejora de productividad y competitividad

Línea de trabajo	Estrategias 2022-2026	Metas 2022-2026	Actividades
Eslabón primario	Semillas de mejor calidad	Definir la variedad de semilla por seis regiones acorde a las condiciones agroclimáticas.	Recopilar las experiencias de las empresas con las variedades de semilla por las diferentes regiones.
			Caracterizar semilla por departamentos, por seis regiones.
			Plan de acción de las fincas que se encontraron con mejor desarrollo con el ICA para procesos de certificación por cada departamento.
		Multiplicar plantas vegetativamente de buena calidad.	Ensayos de clonación, por estacas o injertos.
	Ampliar hectáreas de siembra	Llegar a 5.400 ha.	Proyectos en zonas de Programa de Desarrollo con Enfoque Territorial [PDET] y agricultura por contrato.
	Manejo técnico del cultivo	Desarrollar la *Guía de implementación de buenas prácticas agrícolas (BPA)* para el cultivo, cosecha y poscosecha de sacha inchi.	Elaborar un estudio de alternativas agroecológicas para el manejo, prevención y control de problemas fitosanitarios del cultivo y conservación del suelo.
			Divulgar protocolo de aseguramiento de la calidad (BPA, Global GAP) en campo, en la producción de sacha inchi.
		Consolidar la red de transferencia tecnológica y apoyo técnico al productor.	Establecer 45 parcelas demostrativas por regiones con organizaciones agrícolas y empresas.

Continúa tabla 22

Línea de trabajo	Estrategias 2022-2026	Metas 2022-2026	Actividades
Agroindustria	Proceso unificado de calidad agroindustrial	Fortalecer procesos con relación a la calidad y los contenidos nutricionales de los diferentes subproductos.	Consolidar un proceso unificado de las empresas transformadoras que han avanzado en comercialización.
			Divulgar y promover la aplicación de los procedimientos para establecer los indicadores de los criterios para manejo de inocuidad de los productos.
			Capacitar en manejo de sacha inchi dentro de los parámetros de la Resolución 2674 de 2013 para transformación y comercialización.
			Plan de acción de estandarización de los procesos de transformación del país.
			Productos estandarizados con permisos, notificaciones y registros sanitarios del Invima.
			Montar pilotos de modelos de salas de poscosecha y beneficio para secado y pelado del grano sin perder la calidad. Montar centros de acopio.
Modelo productivo y manejo poscosecha	Paquete tecnológico	Establecer un paquete tecnológico para el cultivo y manejo poscosecha de sacha inchi diferenciado por regiones, que tienda a la producción en agricultura limpia.	Desarrollar modelos productivos regionales para la producción, cosecha y poscosecha de sacha inchi con enfoque de producción limpia.
		Generar comunicación constante de los avances para orientación de las regiones.	Divulgar avances y resultados

Fuente: MADR (2022b)

Tabla 23. Desarrollo del mercado de bienes y factores de la cadena

Línea de trabajo	Estrategias	Metas 2022-2025	Actividades
Desarrollo nacional	Plan estratégico de comercialización nacional	Estudiar y consolidar el mercado nacional.	Explorar y consolidar mercados nacionales.
		Aumentar el consumo de la población en un 20%.	Consolidar la información técnica y científica del sacha inchi sobre sus propiedades nutricionales y beneficios en la salud humana.
			Aumentar contenidos promocionales en foros nacionales y generar contenidos por YouTube.
			Elaborar material audiovisual para promoción de los productos actuales.
			Presentar un proyecto formulado ante Ministerio de Comercio para fortalecer el consumo nacional.
			Desarrollar estrategias para la inclusión del uso de productos a base de sacha inchi en los mercados institucionales.
			Vincular dos empresas privadas a la promoción del uso de la sacha inchi como ingrediente de alto valor nutricional para la alimentación animal.
Consolidación internacional	Calidad para exportación	Ficha de las normas técnicas colombianas [NTC] con los parámetros para mercados nacionales e internacionales.	Trabajar conjuntamente en el desarrollo de normas técnicas para la estandarización de las condiciones para la formalización de la comercialización y uso de la nuez sacha y sus productos derivados de acuerdo con la demanda.
	Volúmenes para exportación	Sistema de información compartido de oferta y demanda del producto.	Diseñar un plan de abastecimiento de sacha inchi como materia prima para suplir las demandas internacionales.
			Hacer una mesa de transformadores y comercializadores para construir las propuestas en cantidad y precio a ofertar a fin de cumplir los contratos.
	Mejores precios	Tener un producto posicionado a nivel internacional por origen y calidad.	Conformar referentes de “precio justo” para el producto terminado exportado.
			Desarrollar alianzas estratégicas para el desarrollo de marca país en el sacha inchi colombiano.

continúa

Continúa tabla 22

Línea de trabajo	Estrategias	Metas 2022-2025	Actividades
Política de internacionalización	Establecer políticas que fortalezcan el desarrollo del mercado de sacha inchi nacional e internacional	Generar exportaciones de productos industrializados de sacha inchi.	Crear la confederación y el aseguramiento de las cosechas con planificación a escala.
			Propender por políticas que busquen exportar solo productos transformados.
			Reducir aranceles y hacer planilla de exportaciones con Perú.
			Crear una política pública bilateral entre los dos países, Perú y Colombia.
		Plan de acción para el fondo de estabilización de precios.	Estudiar otros fondos: estudio de mercado nacional e internacional, factibilidad, aspectos legales.

Fuente: MADR (2022b)

Tabla 24. Disminución de los costos de transacción entre los diferentes agentes de la cadena

Línea de trabajo	Estrategias	Metas	Actividades
Mejorar la planeación en la cadena para mayor eficiencia	Mejorar volúmenes y productividad para estandarizar precios.	Tener esquemas de ventas *forward*.	Diseñar cinco planes de abastecimiento de sacha inchi como materia prima.
			Implementar el esquema de agricultura por contrato que reduzca intermediación y garantice precio mejor al productor y volúmenes al mercado.
		Tener precios reales y justos.	Conformar referentes de “precio justo” para el producto terminado exportado.
			Lograr que las exenciones de IVA de 5% que aplican a los aceites y de 0% para las almendras, apliquen para el producto. Para transformados actualmente están en 19%.
			Identificar costos reales, y que se contemple una rentabilidad de mínimo 30% para el productor, dado que no tiene capacidad de negociación.
	Disminuir costos y pérdidas.	Tener cifras reales para toma de decisiones.	Adelantar seis análisis de costos y producción por regiones y formas de reducir los costos.
			Conformar el comité de estadística para el sector a fin de reducir intermediación.
		Adelantar acciones a escala que disminuyan costos y pérdidas.	Implementar esquemas para la elaboración masiva y de bajo costo de insumos biopreparados en las fincas para garantizar la producción limpia.
			Mejorar logística, como centros de acopio por región.
			Promover alternativas sostenibles de manejo agronómico que permitan disminuir los costos de producción, sin reducir la calidad del producto.

Fuente: MADR (2022b)

Tabla 25. Desarrollo de alianzas estratégicas de diferente tipo

Línea de trabajo	Estrategias	Metas	Actividades
Diseñar esquemas de trabajo conjuntos entre agentes de la cadena	Integrar actores de la cadena.	Consolidar una plataforma unificada de la oferta y demanda del país.	Crear confederación que favorezca el aseguramiento de las cosechas con planificación a escala.
			Diseñar estrategias conjuntas entre los actores de la cadena para colocación en los mercados de la nuez de sacha y sus derivados.
			Diseñar planes de abastecimiento ordenado de sacha inchi como materia prima.
	Vincular con otros sectores.	Integrar productores y comercializadores.	Vincular a la empresa privada a fin de promocionar el uso de la sacha inchi como ingrediente de alto valor nutricional para la alimentación animal.
			Desarrollar cuatro planes de negocio de alianzas estratégicas (actualmente en curso).
			Estrategias de trabajo conjunto, centros de acopio, mingas.
	Integración institucional	Integrar esfuerzos nacionales, departamentales y municipales con las empresas privadas de la cadena productiva de sacha inchi.	Plan de acción para la gestión de marca país para las empresas del gremio sachainchero.
			Lograr la denominación de origen de cinco productos transformados en Colombia.
			Integrar investigación, Estado y sociedad para mejorar la relación y el impacto de la institucionalidad.
			Mesas de trabajo entre el MADR, AGROSAVIA, gobernaciones y la Agencia de Desarrollo Rural [ADR], para orientar procesos del Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación Agropecuaria (Pectia) de extensionismo rural.

Fuente: MADR (2022b)

Tabla 26. Mejora de información entre agentes de la cadena

Línea de trabajo	Estrategias	Metas	Actividades
Mejora de información entre agentes de la cadena	Mantener canales de interacción trasparentes y continuos entre los agentes de la cadena.	Cinco medios de comunicación asertiva y fluida entre los actores de la cadena.	Foros continuos sobre el estado de la cadena en el país.
			Sitio web de la organización de la cadena para la consolidación de información sectorial, con *e-commerce* activo.
			WhatsApp departamentales con todos los actores, WhatsApp por eslabón, WhatsApp regional.
			Comunicación por correo electrónico.
			Generar información de las siembras actuales.
			Mesa de trabajo con el MADR para la publicación de información sectorial de sacha inchi en Colombia.
	Fortalecer a los actores.	Papel de los actores de la cadena definidos y fortalecidos.	Avanzar en la legalización de los actores de la mesa nacional para estar legalmente constituidos (Cámara de Comercio, etc.).
			Conformar el comité de estadística para el sector.
			Seis alianzas con la academia y entes de investigación.

Fuente: MADR (2022b)

Tabla 27. Vinculación de pequeños productores y empresarios a la cadena

Estrategias	Metas	Actividades
Caracterización de actores y fortalecimiento de sus relaciones	Establecer perfil de productor de sacha inchi.	Estructurar un perfil de productores y agroindustrializadores de sacha.
	Fortalecer el gremio de actores de la cadena de sacha inchi.	Implementar seis planes de acción en cada comité departamental con apoyo de las gobernaciones, donde se tienen identificados los actores.
		Consolidar la confederación nacional de sacha inchi.
	Fortalecer las líneas de financiación a pequeños productores y empresarios.	Líneas de crédito para cultivo, transformación y comercialización de sacha inchi.

Fuente: MADR (2022b)

Tabla 28. Manejo de recursos naturales y medio ambiente

Estrategias	Metas	Actividades
Medidas en la cadena	Determinar amenazas ambientales en el cultivo de sacha inchi y en la cadena de valor.	Realizar parámetros de gestión en un plan de manejo ambiental.
		Socializar la investigación realizada dentro del desarrollo de la Universidad de Santander (UDES).
	Proyectos con indicadores de sostenibilidad que aporten al cambio climático.	Acciones climáticamente inteligentes con trabajos en agroforestería, manejo sostenible del bosque, respeto de frontera agrícola, labranza mínima, cuidado del agua.
Buscar compensaciones al manejo ambiental.	Identificar mínimo cinco certificaciones internaciones por huellas de carbono/ cultivo y árboles nativos, marca de agua, sociales, certificaciones orgánicas y certificaciones especiales para grupos sociales, como *halal* para países árabes, y *kosher* para judíos.	Identificar y socializar la ruta para las certificaciones.
	Reconocer la orientación del mercado de sacha inchi como producto de la bioeconomía colombiana.	Quince certificaciones de mercados verdes ante el Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) de las empresas del sector.
	Tener un protocolo para lograr la certificación de comercio justo al productor *fairtrade*.	Documentar un protocolo para certificación *fairtrade* (comercio justo).

Fuente: MADR (2022b)

Tabla 29. Formación de recursos humanos

Estrategias	Metas	Actividades	Indicador
Crear espacios de trasferencia de tecnología.	Comunicar nuevas estrategias de manejo regional en las seis regiones.	Implementar protocolos de calidad en campo y producción limpia y orgánica.	Seis protocolos regionales construidos
	Adoptar nuevas tecnologías.	Montar 45 granjas demostrativas.	Número de profesionales, técnicos y productores participantes
	Red del Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA) para llegar a cada municipio.	Elaborar cartilla educativa.	Cartilla fisica y virtual
Capacitar a los actores de acuerdo con las competencias que necesitan.	Desarrollar extensionismo rural por competencias.	Seis seminarios con agricultores en el desarrollo por competencias	Número de agricultores por zona
		Seis diplomados de siembra, manejo y poscosecha de sacha inchi	Proyecto País. Articulación Universidad Abierta y a Distancia (UNAD), Universidad de Santander (UDES) y mesa nacional
		Socializar experiencias de Colombia y Perú (Danter Cachique, investigador experto en el género *Plukenetia*, adscrito al Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana [IIAP]).	Seminario virtual
		Seis capacitaciones en buenas prácticas de manufactura (BPM) en sacha inchi.	Empresas capacitadas
Orientar los procesos de bioeconomía	Vincularse a negocios verdes del Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS).	Diez asesoramientos para la implementación de negocios verdes y biocomercio.	Plan acción departamental entre gobernaciones, y secretarías de agricultura y medio ambiente. Corporaciones regionales, cadena.

Fuente: MADR (2022b)

Tabla 30. Investigación y desarrollo tecnológico

Estrategias	Metas	Actividades
Diagnóstico y gestión	Organizar una mesa de trabajo para la construcción de la Agenda de Investigación de la Cadena Productiva de Sacha Inchi.	Consolidar acciones de cada departamento en acuerdos interinstitucionales con los centros de investigación, secretarías de competitividad de las gobernaciones y actores de la cadena.
	Consolidar mercados y precios del comercio nacional e internacional para la cadena de producción de sacha inchi.	Observatorio de dinámicas del mercado para la comercialización y mercado justo de sacha inchi.
Ejecución de acciones	Cumplir con la herramienta del Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación Agropecuaria (Pectia) en la cadena de sacha inchi.	Hacer investigación de acuerdo con la agenda Pectia y las actualizaciones que se realicen en temas de producción, cosecha, poscosecha y agroindustria.
	Generar líneas de nuevos productos transformados a partir de la nuez de sacha inchi.	Caracterizar y optimizar los procesos de transformación.
	Desarrollar maquinaria de transformación de la semilla de sacha inchi más eficiente.	Mejorar el desarrollo de maquinaria, laboratorio de tecnologías, ciencias básicas, ingeniería industrial y electrónica.
	Apropiar resultados de las investigaciones para mejorar la productividad de la cadena de sacha inchi.	Extensión agropecuaria o vinculación de los resultados de investigación al desarrollo de la cadena.

Fuente: MADR (2022b)

De acuerdo con lo anterior, son aún muchos los retos que tiene el sistema productivo del sacha inchi en Colombia, pero los productores y especialmente los actores de la Mesa Sachainchera, que tiene participación nacional, han venido adelantando acciones en términos de asociatividad, organización de la producción, implementación de buenas prácticas, entre otras. Sumadas al apoyo institucional, estas acciones favorecen el cumplimiento de las metas y actividades planteadas para la formalización de la cadena y su fortalecimiento en los diferentes eslabones que la componen.

Agenda Dinámica Nacional de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación Agropecuaria (Agenda I+D+i)

De acuerdo con lo estipulado en la Ley 1876 (2017), "por medio de la cual se crea el Sistema Nacional de Innovación Agropecuaria y se dictan otras disposiciones", la Agenda Nacional I+D+i es un instrumento de planificación y gestión para la focalización de recursos y de acciones de innovación, desarrollo tecnológico e innovación agropecuaria (I+D+i) tendientes al fortalecimiento, dinamización y optimización del Sistema Nacional de Innovación Agropecuario (SNIA), en torno al mejoramiento de la productividad y competitividad sectorial.

Así mismo, se indica que el Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación Agropecuaria (Pectia), así como la Agenda I+D+i que lo integra, constituyen el marco orientador de la política de ciencia, tecnología e innovación (CTI) para el sector agropecuario, y el marco orientador para la planificación, priorización, financiación, ejecución y evaluación de las apuestas de investigación, desarrollo e innovación agropecuaria de nivel territorial (Ley 1876 de 2017).

Dada la importancia de este instrumento, desde 2021 se viene llevando a cabo, a partir del desarrollo de talleres departamentales en Arauca, Caquetá, Casanare, Cundinamarca, Meta, Putumayo y Valle del Cauca, el levantamiento de información para identificar y priorizar demandas en I+D+i para el sistema productivo del sacha inchi, y se han obtenido 105 demandas de investigación, asociadas a trece áreas temáticas (MADR, 2023).

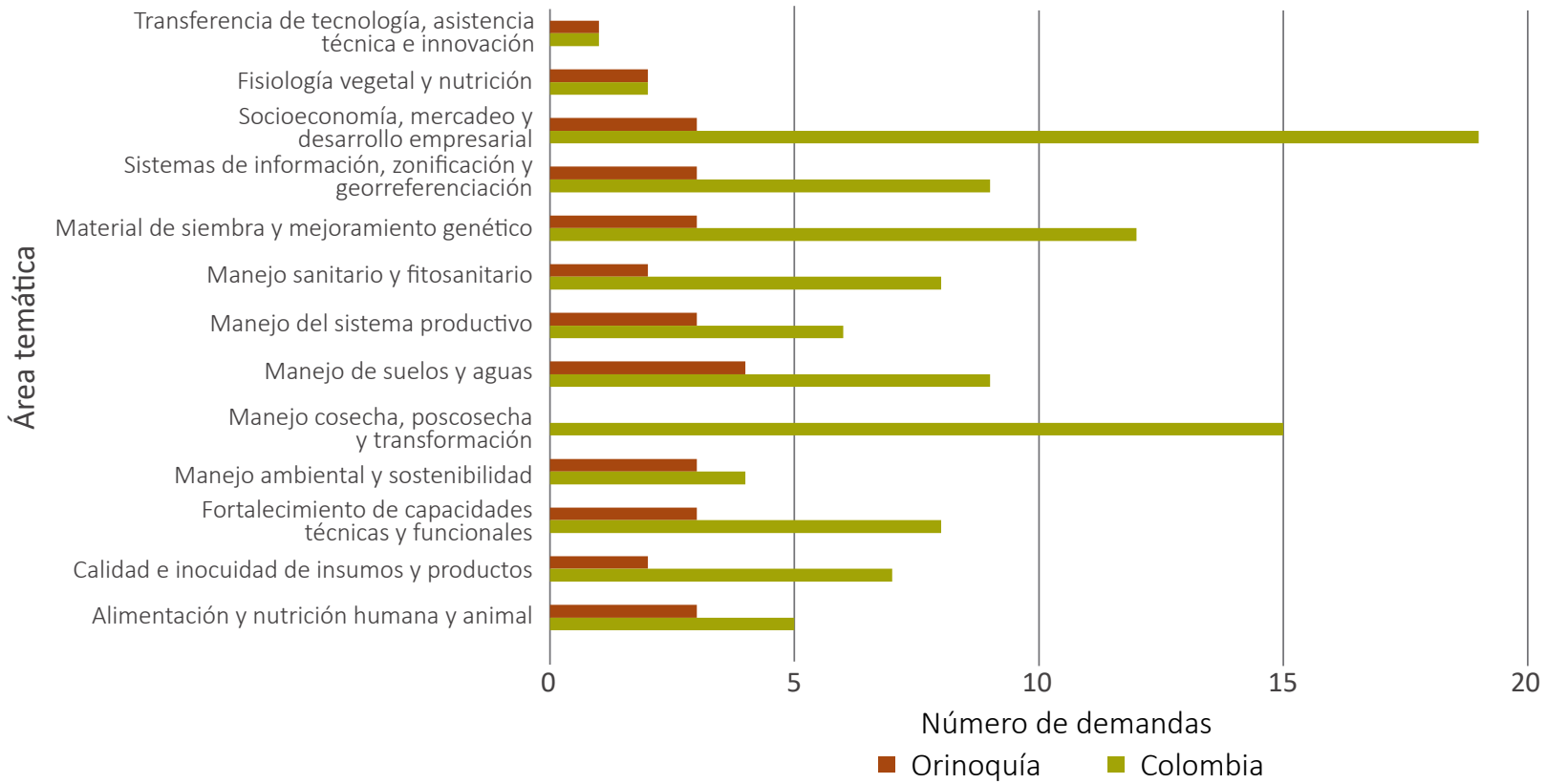


Figura 63.

Número de demandas de investigación a nivel nacional y de la región de la Orinoquia.

Fuente: MADR (2023)

De estas demandas, 38 están vinculadas a los departamentos que componen la región de la Orinoquia colombiana (figura 63) y se describen a continuación.

Transferencia de tecnología, asistencia técnica e innovación. Se relaciona con la necesidad de fortalecer las capacidades de asistentes técnicos, productores y extensionistas, en diversas temáticas asociadas al cultivo, mediante procesos de transferencia de tecnología y vinculación de conocimiento que se enfoquen tanto en condiciones específicas de la especie (entre ellas, calidad de la semilla, establecimiento del cultivo, requerimientos nutricionales, sistemas de riego y drenaje, podas, inducción de floración, manejo fitosanitario, insumos permitidos y límites máximos de residualidad), como en temas de asociatividad, fortalecimiento de la cadena productiva y certificaciones requeridas para el comercio internacional.

Fisiología vegetal y nutrición. Incluye necesidades sobre dos puntos específicos: 1) determinar los requerimientos nutricionales y hormonales según el estado fenológico del cultivo, teniendo en cuenta tanto las fuentes como las tecnologías de aplicación, y 2) identificar y diagnosticar los factores que afectan la calidad del fruto en aspectos fisiológicos, edafoclimáticos y de almacenamiento.

Socioeconomía, mercadeo y desarrollo empresarial. Necesidades sobre procesos de investigación, vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva para el ingreso a nuevos mercados y la creación de modelos de negocio y empresariales acordes a las características de la región. También se refiere a la definición de la estructura de costos del cultivo, la identificación de atributos diferenciales, la publicidad de los productos y la consolidación de una cadena agroindustrial que fortalezca su participación en el mercado.

Sistemas de información, zonificación y georreferenciación. Resalta la necesidad de realizar estudios que contribuyan al ordenamiento productivo del cultivo, incluida la identificación de las principales características socioeconómicas, agroecológicas, productivas y de oferta para construir una proyección a mercados, así como el análisis financiero y económico de esta apuesta productiva. Incluye también el requerimiento de construir herramientas de tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) que provean de información actualizada para la toma de decisiones.

Material de siembra y mejoramiento genético. Las demandas incluidas en esta área temática son de alta sensibilidad para el sistema productivo del sacha inchi, ya que incluyen necesidades sobre la caracterización genética y disponibilidad de semilla de calidad (básica, seleccionada y certificada), así como recomendaciones de manejo para el cultivo en la región.

Manejo sanitario y fitosanitario. Se refiere a la necesidad de construir tecnologías, metodologías y recomendaciones para el manejo integrado de plagas y enfermedades en las diferentes etapas fenológicas del cultivo de sacha inchi, con énfasis en el control biológico, y que incluyan trazabilidad y uso adecuado de insumos y procesos de articulación con las entidades de control para la generación de reportes oportunos.

Manejo del sistema productivo. Para esta área temática, se pone énfasis en la necesidad de generar modelos productivos acordes a las condiciones socioeconómicas y edafoclimáticas de la región, que aporten a la producción tradicional y orgánica de sacha inchi con miras a la entrada o permanencia en mercados nacionales e internacionales.

Manejo de suelos y aguas. Incluye necesidades como el establecimiento de prácticas de conservación de suelos asociadas a labores de preparación y siembra, conservación del agua, determinación de requerimientos hídricos del cultivo en sus diferentes estados fenológicos, condiciones de riego y drenaje de acuerdo con las condiciones del suelo y diseño de modelos agroforestales

Manejo de cosecha, poscosecha y transformación. Los requerimientos se asocian con el desarrollo, transferencia y adopción de tecnologías y prácticas que aporten a la optimización de la cosecha, el manejo en poscosecha y la transformación del sacha inchi en las zonas productoras de la región. Abarcan también las necesidades de infraestructura para facilitar el procesamiento y la inocuidad del producto en sus diferentes alternativas agroindustriales y el logro de los estándares de calidad requeridos por los mercados especializados.

Manejo ambiental y sostenibilidad. En esta área se da relevancia a procesos de investigación que asocien al sacha inchi con medidas de mitigación del cambio climático, como la agroforestería, y la evaluación de servicios ecosistémicos como captura de gases de efecto invernadero, conservación de suelos y ciclaje de nutrientes.

Fortalecimiento de capacidades técnicas y funcionales. Fortalecer los procesos de empresarización y asociatividad entre los diferentes eslabones de la cadena productiva y de robustecimiento de las capacidades de asistentes técnicos y extensionistas, para alcanzar la certificación por competencias.

Calidad e inocuidad de insumos y productos. Se enfatiza en la inclusión de buenas prácticas agrícolas (BPA), buenas prácticas de manufactura (BPM), sellos verdes, sellos orgánicos y normas internacionales a lo largo de la cadena de valor, para la orientación de productos y subproductos inocuos y de calidad.

Alimentación y nutrición humana y animal. En esta área temática se incluyen requerimientos sobre la validación de los beneficios médicos del consumo de sacha inchi, la elaboración de productos con base en este producto para la alimentación de animales domésticos y la evaluación de las propiedades funcionales y nutraceúticas de la almendra.

Recomendaciones

Este documento contiene información y recomendaciones que pueden orientar a los productores, asistentes técnicos, agroindustriales, comercializadores, estudiantes, docentes, investigadores y demás actores interesados, en la toma de decisiones de inversión, investigación y transferencia de tecnología dentro de la cadena de valor del sacha inchi en la región del piedemonte de la Orinoquia colombiana.

Aunque el presente manuscrito tiene un alcance regional, puede servir de base para la construcción de modelos productivos de sacha inchi en otros territorios del país.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) por la financiación de las tres fases del proyecto, con el cual se logró realizar esta publicación.

A la Mesa Nacional Sachainchera y al MADR, especialmente a Jimena Silva y al doctor Eudoro Castro, por suministrar información de la cadena de sacha inchi a nivel regional y nacional.

A las asociaciones de productores Vissacha, SachaPaz y Aspromacarena de Vista Hermosa, y Asoproagro de San José del Guaviare, y a las empresas agroindustriales Rainforest de Cubarral y Forest Food de Vista Hermosa, por permitir el ingreso a sus predios para la toma de información de sus cultivos y hacer seguimiento a los procesos de poscosecha.

Referencias

Acosta Córdova, R. A. (2021). *Estudio de la diversidad de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en el cultivo de sacha inchi (*Plukenetia volubilis *L.), en la región San Martín.* [Tesis de pregrado, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de San Martín]. https://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/11458/4124/1/AGRONOM%c3%8dA%20-%20Ronny%20Anthony%20Acosta%20C%c3%b3rdova.pdf

Adrianzén, N., Rojas, C., & Linares, G. (2011). Efecto de la temperatura y tiempo de tratamiento térmico de las almendras trituradas de sacha 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. https://doi.org/10.17268/agroind.science.2011.02.01

Amacifuén, C. D., Mathews, C. J., & Saavedra Reategui, E. (2011). *Boletín técnico, cultivo de sacha inchi (*Plukenetia volubilis *L.).* https://silo.tips/download/cultivo-de-sacha-inchi

Ambulay, J., Rojas, P., Timoteo, O., Barreto, T., & Colarossi, A. (2020). Effect of the emulsion of sacha inchi (*Plukenetia huayabambana*) oil on oxidative stress and inflammation in rats induced to obesity. *Journal of Functional Foods, 64*, 103631. https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.103631

Anteparra, M., Berríos, M., Granados, L., & Díaz, W. (2013). Algunos insectos fitófagos asociados el cultivo de sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) en el distrito de Chinchao, Huánuco. *RevIA, Investigacion y Amazonia, 3*(1), 1-7. https://revistas.unas.edu.pe/index.php/revia/article/view/74/59

Antonioli, F., & Arfini, F. (2013). *Sacha inchi. Investigación sobre las condiciones para el reconocimiento de la indicación geográfica en el Perú*. Centro de Innovación, Especialización y Desarrollo (CIED). https://www.researchgate.net/publication/303851451_SACHA_INCHI_INVESTIGACION_SOBRE_LAS_CONDICIONES_PARA_EL_RECONOCIMIENTO_DE_LA_INDICACION_GEOGRAFICA_EN_EL_PERU

Araujo-Dairiki, T., Chaves, F. C. M., & Dairiki, J. K. (2018). Seeds of sacha inchi (*Plukenetia volubilis*, Euphorbiaceae) as a feed ingredient for juvenile tambaqui, *Colossoma macropomum*, and matrinxã, *Brycon amazonicus* (Characidae). *Acta Amazónica, 48*(1), 32-37. https://doi.org/10.1590/1809-4392201700753

Arévalo, G. (1996). *El cultivo de sacha inchi (*Plukenetia volubilis *L.) en la Amazonia.* Proyecto Suelos Tropicales; Instituto Nacional de Investigación Agraria (INIA). http://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/20.500.12955/944/1/Arevalo-El_cultivo_de_Sacha_Inchi_en_la_Amazonia.pdf

Ávila-Cárdenas, J., Bazurto-Agudelo, A., Tautiva-Merchán, L., & Amado-Saavedra, G. (2022). *Cifras de mercado de sacha inchi en Colombia. Documento interno de trabajo. Proyecto ID1001390 "Desarrollo de estrategias tecnológicas para mejorar la productividad y competitividad del sacha inchi (*Plukenetia volubilis*) en el municipio de Vista Hermosa-Meta"*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA.

Benaim-Pinto, C. (2002). Reacciones cutáneas indeseables producidas por insectos. *Dermatología Venezolana, 40*(4), 87-94. https://revista.svderma.org/index.php/ojs/article/download/402/397

Benítez, R., Coronel, C., Hurtado, Z., & Martín, J. (2014). Composición química de la cáscara de sacha inchi (*Plukenetia volubilis*) y alternativas para su aprovechamiento como subproducto agroindustrial. *El Hombre y la Máquina,* (46), 28-32. https://www.redalyc.org/pdf/478/47843368004.pdf

Betancourth López, C., Millán Cruz, P., & Rodríguez de Stouvenel, A. (2024). Caracterización de *Plukenetia volubilis* (sacha inchi) como alimento funcional en comparación con otras semillas oleaginosas tradicionales. *Business Innova Sciences, 5*(2), 64-87. https://doi.org/10.5281/zenodo.13750050

Betancur Hoyos, E. D., Monsalve Tapias, D. Y., & Londoño Bedoya, M. C. (2022). Aprovechamiento del residuo agroindustrial de la semilla de sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) en un alimento tipo *snack*. *Revista Agropecuaria y Agroindustrial La Angostura, 4*(1). https://revistas.sena.edu.co/index.php/raaa/article/view/4705

Bianchi, F., Booij, C., & Tscharntke, T. (2006). Sustainable pest regulation in agricultural landscapes: A review on landscape composition, biodiversity and natural pest control. *Proceedings of the Royal Society B Biological Sciences, 273*(1595), 1715-1727. https://doi.org/10.1098/rspb.2006.3530

Bordignon, S., Ambrosano, G., & Viegas Rodrigues, P. (2012). In vitro propagation of sacha inchi. *Ciência Rural, 42*(7), 1168-1172. https://doi.org/10.1590/S0103-84782012005000049

Burbano Orjuela, H. (2017). La calidad y salud del suelo influyen sobre la naturaleza y la sociedad. *Tendencias, 18*(1), 118-126. https://doi.org/10.22267/rtend.171801.68

Bussmann, R., Paniagua, N., & Téllez, C. (2013). *Plukenetia carolis-vegae* (Euphorbiaceae) – A new useful species from northern Peru. *Economic Botany, 67*, 387–392. https://doi.org/10.1007/s12231-013-9247-2

Cachique, D. (2006). *Estudio de la biología floral y reproductiva en el cultivo de sacha inchi (*Plukenetia volubilis *L.)* [Tesis de pregrado, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de San Martín]. http://hdl.handle.net/11458/1219

Cachique, D. (2022). *Manejo fisiológico integrado del cultivo de sacha inchi (*Plukenetia volubilis *L.) en la Amazonía peruana*. Inia Perú. https://www.youtube.com/watch?v=qZKp_-yzjxE

Cachique, D., Rodríguez-Del Castillo, Á., Ruiz-Solsol, H., Vallejos, G., & Solis, R. (2011). Propagación vegetativa del sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) mediante enraizamiento de estacas juveniles en cámaras de subirrigación en la Amazonia peruana. *Folia Amazónica, 20*(1-2), 95-100. https://doi.org/10.24841/fa.v20i1-2.348

Cachique, D., Ruiz Solsol, H., García Sánchez, M., Arévalo López, L., & Kodahl, N. (2018). Vegetative propagation of the underutilized oilseed crop sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.). *Genetic Resources and Crop Evolution, 65*, 2027–2036. https://doi.org/10.1007/s10722-018-0659-9

Calram S. A. C. (2008). *La cadena de valor del sacha inchi en la región San Martín. Análisis y recomendaciones* [Documento de trabajo]. Perú Biodiverso https://es.scribd.com/document/81208778/Analisis-y-Recomendaciones-de-la-Cadena-de-Valor-de-Sacha-Inchi-en-San-Martin

Campos Baca, L. (2022). El gobierno debe impulsar el cultivo del sacha inchi [Propuesta]. *AgroPerú Informa, 37.* https://www.agroperu.pe/el-gobierno-debe-impulsar-el-cultivo-del-sacha-inchi-propuesta/

Cardinal-McTeague, W., & Gillespie, L. (2020). A revised sectional classification of *Plukenetia* L. (Euphorbiaceae, Acalyphoideae) with four new species from South America. *Systematic Botany, 45*(3), 507-536. https://doi.org/10.1600/036364420X15935294613572

Castaño, D., Valencia, M., Murillo, E., Mendez, J., & Eras, J. (2012). Composición de ácidos grasos de sacha inchi *(Plukenetia volubilis* Linneo) y su relación con la bioactividad del vegetal. *Revista Chilena de Nutrición, 39*(1), 45–52. https://doi.org/10.4067/S0717-75182012000100005

Centro de Investigación, Educación y Desarrollo [CIED]. (2007). *Manual de capacitación: cultivo de sacha inchi (*Plukenetia volubilis *L.).* https://www.academia.edu/19770262/MANUAL_SACHA_INCHI

Chasquibol, N., Gómez-Coca, R., Yácono, J., Guinda, Á., Moreda, W., Del Águila, C., & Pérez-Camino, M. (2016). Markers of quality and genuineness of commercial extra virgin sacha inchi oils. *Grasas y Aceites, 67*(4), 1-10. https://doi.org/10.3989/gya.0457161

Cherlinka, V. (2021). Conservación del suelo: cómo manejarla e implementarla. *Eos Data Analytics*. https://eos.com/es/blog/conservacion-del-suelo/

Chiou, A., Kalogeropoulos, N., Boskou, G., & Salta, F. (2012). Migration of health promoting microconstituents from frying vegetable oils to French fries. *Food Chemistry, 133*(4), 1255-1263. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.08.068

Chirinos, O., Adachi, L., Calderón, F., Díaz, R., Larrea, L., Mucha, G., & Roque, L. (2009). *Exportación de sacha inchi al mercado de Estados Unidos*. ESAN Ediciones https://repositorio.esan.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12640/92/Gerencia_global_16.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Chirinos, R., Zuloeta, G., Pedreschi, R., Mignolet, E., Larondelle, Y., & Campos, D. (2013). Sacha inchi (*Plukenetia volubilis*): A seed source of polyunsaturated fatty acids, tocopherols, phytosterols, phenolic compounds and antioxidant capacity. *Food Chemistry, 141*(3), 1732-1739. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.04.078

Cisneros, F., Paredes, D., Arana, A., & Cisneros Zeballos, L. (2014). Chemical composition, oxidative stability and antioxidant capacity of oil extracted from roasted seeds of sacha-inchi (*Plukenetia volubilis* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 62*(22), 5191-5197. https://doi.org/10.1021/jf500936j

Corazón-Guivin, M., Castro-Ruiz, D., Chota-Macuyama, W., Rodríguez-Del Castillo, A., Cachique, D., Manco, E., Del Castillo Torres, D., Renno, J. F., & García-Dávila, C. (2009). Caracterización genética de accesiones sanmartinenses del banco nacional de germoplasma de sacha inchi *Plukenetia volubilis* L. *Folia Amazónica, 18*(1-2), 23-31. https://doi.org/10.24841/fa.v18i1-2.276

Corazón-Guivin, M., Rodríguez-Del Castillo, A., Cachique, D., Chota-Macuyama, W., Vásquez, G., Del Castillo-Torres, D., Renno, J. F., & García-Dávila, C. (2008). Diversidad genética en poblactiones naturales de sacha inchi *Plukenetia volubilis* L. (Euphorbiac) en el Departamento de San Martín (Perú). *Folia Amazónica, 17*(1-2), 83-90. https://doi.org/10.24841/fa.v17i1-2.269

Daza, D. (2019). *Fortalecimiento de las estrategias de poscosecha en el cultivo de sacha inchi de la asociación Asoproagro de San Jose (Guaviare)* [Tesis de pregrado, Facultad de Administración de Empresas Agropecuarias, Universidad Santo Tomás]. https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/18322/2019divadaza?sequence=11&isAllowed=y

De Lira-Martínez, M., & Romero-Guerrero, J. (2022). Comparación de técnicas utilizadas para la determinación de muestras necesarias para el estudio de tiempos. *Pädi, 10*(19), 30-41. https://doi.org/10.29057/icbi.v10i19.9189

Decreto 3800 de 2006. "Por el cual se reglamenta parcialmente la Ley 811 de 2003 modificatoria de la Ley 101 de 1993, sobre organizaciones de cadenas en el sector agropecuario, pesquero, forestal y acuícola". *Diario Oficial n.° 46440.* Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR). https://www.minagricultura.gov.co/Normatividad/Decretos/Decreto%20No.%203800%20de%202006.pdf

Delgado, J., Chaves, F., Lopes, R., Meneses, C., Ferreira Valente, M., Rodrigues, F., Pasqual, M., Ferreyra Ramos, S., De Aguiar, A. V., & Gomes Lopes, M. (2022). Indirect selection for seed yield in sacha-inchi (*Plukenetia volubilis*) in Brazil. *Brazil Horticulturae, 8*(11), 988. https://doi.org/10.3390/horticulturae8110988

Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE]. (2014). *Censo Nacional Agropecuario 2014: décima entrega resultados*. https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuario/censo-nacional-agropecuario-2014

Departamento de Agricultura de Estados Unidos [USDA]. (s.f.). *Crecimiento sostenible de la productividad agrícola*. https://www.usda.gov/sites/default/files/documents/Why-Focus-on-SPG-ESP.pdf

Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit [GTZ]. (2009). *Manual de producción de sacha inchi (*Plukenetia volubilis *Linneo) con el marco conceptual operativo del biocomercio y la agroforestería sostenible*.

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit [GTZ]. (2013). *La cadena de valor del sacha inchi en la región San Martín: análisis y lineamientos estratégicos para su desarrollo*.

Díaz, P., Campos, N., & Calderón, C. (2008). Manual de manejo agroecológico del cultivo de sacha inchi - *Plukenetia volubilis* L. https://www.researchgate.net/publication/341580632_Manual_Sacha_inchi

Dinesh, M., & Reddy, B. (2012). Physiological basis of growth and fruit yield characteristics of tropical and sub-tropical fruits to temperature. En B. Sthapit, V. Ramanatha & S. Sthapit (Eds.), *Tropical fruit tree species* (pp. 45-70). https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/105191/1541.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Dostert, N., Roque, J., Brokamp, G., Cano, A., La Torre, M., & Weigend, M. (2009). *Factsheet: Botanical data of sacha inchi* - Plukenetia volubilis L. Proyecto Perú Biodiverso. https://hdl.handle.net/20.500.14152/1338

EMR. (2022). *Medicamentos veterinarios: segmentación del mercado*. https://www.informesdeexpertos.com/informes/mercado-latinoamericano-de-medicamentos-veterinarios

EMR. (2023a). *Mercado latinoamericano de sacha inchi – Por tipo, forma, aplicación, región, dinámica del mercado y panorama competitivo*. https://www.informesdeexpertos.com/informes/mercado-latinoamericano-de-sacha-inchi

EMR. (2023b). *Mercado global de sacha inchi – Por tipo, forma, aplicación, región, dinámica del mercado (2023-2028) y panorama competitivo*. https://www.informesdeexpertos.com/informes/mercado-de-sacha-inchi

Escobar, C., Barcala, M., Cabrera, J., & Fenoll, C. (2015). Overview of root-knot nematodes and giant cells. *Advances in Botanical Research, 73*, 1-32. https://doi.org/10.1016/bs.abr.2015.01.001

Fereres, A., & Raccah, B. (2015). Plant virus transmission by insects. En *Encyclopedia of life sciences*. John Wiley & Sons. https://doi.org/10.1002/9780470015902.a0000760.pub3

Ferreira Valente, M., Chaves, F., Gomes Lopes, M., Oka, J., & Ferreira Rodrigues, R. A. (2017a). Crop yield, genetic parameter estimation and selection of sacha inchi in central Amazon. *Pesquisa Agropecuária Tropical, 47*(2), 226-236. https://doi.org/10.1590/1983-40632016v4745758

Ferreira Valente, M. S., Chaves, F., Gomes Lopes, M., Oka, J., & Ferreira Rodrigues, R. A. (2017b). Desempenho produtivo, estimativa de parâmetros genéticos e seleção de sacha inchi na Amazônia central. *Pesquisa Agropecuaria Tropical, 47*(2), 226-236. https://doi.org/10.1590/1983-40632016v4745758

Ferreira Valente, M., Gomes Lopes, M. T., Chaves, F. C. M., Correia Pantoja, M., Galúcio Sousa, F. M., & Chagas, E. A. (2018). Diversidade genética molecular e sistema reprodutivo em progênies de sacha inchi. *Pesquisa Agropecuária Tropical, 47*(4), 480-487. https://doi.org/10.1590/1983-40632017v4749799

Gagic, V., Holding, M., Venables, W. N., Hulthen, A. D., & Schellhorn, N. A. (2021). Better outcomes for pest pressure, insecticide use, and yield in less intensive agricultural landscapes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *118*(12), e2018100118. https://doi.org/10.1073/pnas.2018100118

García-Morales, M., Denno, B., Miller, D., Miller, G., Ben-Dov, Y., & Hardy, N. (2016). ScaleNet: A literature-based model of scale insect biology and systematics. *Database, 2016*, bav118. https://doi.org/10.1093/database/bav118

Gillespie, L. (1993). A synopsis of neotropical *Plukenetia* (Euphorbiaceae) including two new species. *Systematic Botany, 18*(4), 575–592. https://doi.org/10.2307/2419535

Gillespie, L. (2007). A revision of paleotropical *Plukenetia* (Euphorbiaceae) including two new species from Madagascar. *Systematic Botany, 32*(4), 780–802. https://doi.org/10.1600/036364407783390782

Gómez Mesa, J. E. (2005). *Monografía y cultivo de sacha inchi (*Plukenetia volubilis *L.): oleaginosa promisoria para la diversificación productiva en el trópico*. http://hdl.handle.net/20.500.12324/18544

Gómez-Otamendi, E., Ortiz-Arteaga, Y., Ávila-Gómez, E., Pérez-Toledo, G., Valenzuela, J., & Moreno, C. (2018). Diversidad de hormigas epigeas en cultivos de nopal tunero (*Opuntia albicarpa*) y matorrales de *Opuntia* spp. del estado de Hidalgo, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad, 89*(2), 454-465. https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2018.2.2293

González-García, R., & Guamán-Claros, C. F. (2023). Efecto cardiosaludable del aceite de oliva virgen extra: revisión bibliográfica. *Enfermería Cuidándote, 6*(1), 71-84. https://doi.org/10.51326/ec.6.4987133

Granados, J. (2009). *Sacha inchi-Manejo del cultivo*. Galeon.com.

Grupo Banco Mundial [GBM]. (2020). *Panoramas alimtentarios futuros: reimaginando la agricultura en América Latina y el Caribe*. https://documents1.worldbank.org/curated/en/159291604953162277/pdf/Future-Foodscapes-Re-imagining-Agriculture-in-Latin-America-and-the-Caribbean.pdf

Guerrero-Abad, R. (2014). *Determinación de las curvas de absorción de fósforo y potasio en el cultivo de sacha inchi (*Piukenetia volubilis *L.) bajo las condiciones de Bello Horizonte* [Tesis de pregrado, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de San Martín]. https://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/11458/604/1/TFCA_13.pdf

Guerrero-Abad, J. C., & Benito García, M. T. (2006). Avances de investigaciones realizadas en sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.). En Universidad Nacional de San Martín, *Boletín técnico* (p. 20). https://doi.org/10.13140/2.1.2797.1524

Guerrero-Abad, J., Padilla-Domínguez, A., Torres-Flores, E., López-Rodríguez, C., Guerrero-Abad, R., Coyne, D., Oehl, F., & Corazón-Guivin, M. A. (2021). A pathogen complex between the root knot nematode *Meloidogyne incognita* and *Fusarium verticillioides* results in extreme mortality of the inka nut (*Plukenetia volubilis*). *Journal of Applied Botany and Food Quality, 94*, 162-168. https://doi.org/10.5073/JABFQ.2021.094.019

Guillén, M., Ruiz, A., Cabo, N., Chirinos, R., & Pascual, G. (2003). Characterization of sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) oil by FTIR spectroscopy and ^{1}H NMR. Comparison with linseed oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society, 80*(8), 755-762. https://doi.org/10.1007/s11746-003-0768-z

Gutiérrez, L., Rosada, L., & Jiménez, Á. (2011). Chemical composition of sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) seeds and characteristics of their lipid fraction. *Grasas y Aceites, 62*(1), 76-83. https://doi.org/10.3989/gya044510

Hernández, M., Barrera, J., & Calderón, M. (2019). *Negocios verdes en Vista Hermosa (sur del Meta): una respuesta para la paz*. Instituto Sinchi. https://sinchi.org.co/negocios-verdes-en-vista-hermosa-sur-del-meta-una-respuesta-para-la-paz

Herrera Valencia, W., Hernández Londoño, C., & Montealegre Ramírez, Y. (2010). Plantas oleaginosas del Caquetá, Amazonia colombiana. *Ingenierías & Amazonia, 3*(1), 28-39. https://es.scribd.com/doc/262266731/Plantas-Oleaginosas-Del-Caqueta

Hölldobler, B., & Wilson, E. (2010). *The leafcutter ants: Civilization by instinct*. W. W. Norton & Co. Ltd.

Houben, S., & Brinks, H. (2020). *Salud del suelo, información práctica*. Best4 Soil. https://orgprints.org/id/eprint/43505/7/43505_Best4Soil_Soil-health-practical-information_ES.pdf

Hughes, K. (2009). *Potencial del camu camu y sacha inchi en el mercado estadounidense*. Comisión para la Promoción de Exportaciones (Prompex). https://boletines.exportemos.pe/recursos/boletin/Camu-Camu-y-Sacha-Inchi-USA.pdf

Imbachi L., K., Mesa C., N. C., Rodríguez T., I. V., Gómez G., I., Cuchimba, M., Lozano, H., Matabanchoy, J. H., & Carabalí, A.. (2012). Evaluación de estrategias de control biológico de *Polyphagotarsonemus latus* (Banks) y *Phyllocoptruta oleivora* (Ashmead) en naranja Valencia. *Acta Agronómica, 61*(4), 364-370. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169926831009

Instituto Colombiano Agropecuario [ICA] & Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA. (2006). *Manual de procedimientos técnicos administrativos y presupuestales para el manejo de los bancos de germoplasma vegetal, animal y de microorganismos*. http://hdl.handle.net/20.500.12324/13472

Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC]. (2014). *Instructivo. Códigos para los levantamientos de suelos*. http://igacnet2.igac.gov.co/intranet/UserFiles/File/procedimientos/instructivos/I40100-06-14.V1Codigos%20para%20los%20levantamientos%20de%20suelos.pdf

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [IICA]. (2000). *Manual para el cálculo de costos de producción*. https://repositorio.iica.int/handle/11324/14315

Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana [IIAP]. (2009). *Estudio de viabilidad económica del cultivo de* Plukenetia volubilis *Linneo, sacha inchi, en el departamento de San Martín* [Avances Económicos 3]. http://www.iiap.org.pe/upload/publicacion/PUBL817.pdf

Instituto Nacional de Innovación Agraria [INIA]. (2006). *Cultivo de sacha inchi*. Estación Experimental Agraria, El Porvenir-San Martín. http://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/941

Instituto Nacional de Innovación Agraria [INIA]. (2013*). Manejo del cultivo de sacha inchi (*Plukenetia volubilis *L.)*. Estación Experimental Agraria, El Porvenir-San Martín. http://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/509

International Plant Genetic Resources Institute & Knudsen, H. (Ed.). (2000). *Directorio de colecciones de germoplasma en América Latina y el Caribe*. https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/104098/Directorio_de_colecciones_de_germoplasma_en_Am%C3%A9rica_Latina_y_el_Caribe_606.pdf?sequence=3

Jha, S., Allen, D., Liere, H., Perfecto, I., & Vandermeer, J. (2012). Mutualisms and population regulation: Mechanism matters. *Plos One, 7*(8), e43510. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0043510

Kaloshian, I., & Teixeira, M. (2019). Advances in plant-nematode interactions with emphasis on the notorious nematode genus *Meloidogyne*. *Phytopathology, 109*(12), 1988-1996. https://doi.org/10.1094/PHYTO-05-19-0163-IA

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), 1-22. https://doi.org/10.1007/s00425-020-03377-3

Kondo, T. (2010). Description of a new coccid (Hemiptera, Coccidae) on avocado (*Persea americana* Mill.) from Colombia, South America. *ZooKeys, 42*, 37-45. https://doi.org/10.3897/zookeys.42.377

Kornsteiner, M., Wagner, K. H., & Elmadfa, I. (2006). Tocopherols and total phenolics in 10 different nut types. *Food Chemistry, 98*(2), 381-387. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.07.033

Krivankova, B., Cepkova, P., Ocelak, M., Juton, G., Bechyne, M., & Lojka, B. (2012). Preliminary study of diversity of *Plukenetia volubilis* based on the morphological and genetic characteristics. *Agricultura Tropica et Subtropica, 45*(3), 140-146. https://doi.org/10.2478/v10295-012-0023-6

LegisComex. (2022). *Reporte partida arancelaria Las demás semillas y frutos oleaginosas, incluso quebrantadas. 2018 - 2022*.

León, G., & Kondo, T. (2017). *Insectos y ácaros de los cítricos: compendio ilustrado de especies dañinas y benéficas, con técnicas para el manejo integrado de plagas* (2.ª ed.). Corpoica Editorial. https://editorial.agrosavia.co/index.php/publicaciones/catalog/download/10/8/97-1?inline=1

Ley 101 de 1993. "Ley general de desarrollo agropecuario y pesquero". *Diario Oficial n.° 41149*. Congreso de Colombia. https://www.minagricultura.gov.co/Normatividad/Leyes/Ley%20101%20de%201993.pdf

Ley 811 de 2003. "Por medio de la cual se modifica la Ley 101 de 1993, se crean las organizaciones de cadenas en el sector agropecuario, pesquero, forestal, acuícola, las Sociedades Agrarias de Transformación, SAT, y se dictan otras disposiciones". *Diario Oficial n.° 45236*. Congreso de Colombia. https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/06/ley-811-2003.pdf

Ley 1876 de 2017. "Por medio de la cual se crea el Sistema Nacional de Innovación Agropecuaria y se dictan otras disposiciones". *Diario Oficial n.° 50.461*. Congreso de Colombia. https://www.minagricultura.gov.co/Normatividad/Leyes/Ley%20No%201876%20de%202017.pdf

Liua, Q., Xua, Y. K., Zhanga, P., Na, Z., Tanga, T., & Shi, Y. X. (2014). Chemical composition and oxidative evolution of sacha inchi (*Plukentia volubilis* L.) oil from Xishuangbanna (China). *Grasas y Aceites, 65*(1), 132-141. https://doi.org/10.3989/gya.075713

López-Hernández, M. P. (2013). *Evaluación del rendimiento de extracción y caracterización de la grasa de semilla de 20 accesiones de mango del banco de germoplasma y materiales nativos* [Tesis de pregrado, Facultad de Ingeniería Agronómica, Universidad del Tolima]. https://repository.ut.edu.co/server/api/core/bitstreams/abd4e52b-bb79-4a30-a88c-3e72e56b6ebe/content

López-Hernández, M., Criollo-Nuñez, J., & Pedroza-Berrío, K. (2021). *Efecto del manejo cosecha y poscosecha sobre frutos y aceite de sacha inchi. Informe de actividad. Proyecto Desarrollo de estrategias tecnológicas para mejorar la productividad del sacha inchi (*Plukenetia volubilis *L.) en el municipio de Vista Hermosa (Meta)* [Documento interno de trabajo]. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA.

Lotts, K., & Naberhaus, T. (2023, 29 de agosto). *Butterflies and moths of North America (bamona) is an ambitious effort to collect, store, and share species information and occurrence data*. Butterflies and Moths of North America collecting and sharing data about Lepidoptera. https://www.butterfliesandmoths.org/

Manco Céspedes, E. I. (2008). *Sacha inchi (*Plukenetia volubilis *L.) cultivo promisorio para la Amazonía peruana*. Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). http://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/729

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR]. (2008). *Resolución 186. "Por la cual se reglamenta parcialmente la Ley 811 de 2003 y el Decreto 3800 de 2006 sobre la inscripción de las organizaciones de cadena en el Sector Agropecuario, Forestal, Acuícola y Pesquero ante el MADR"*. https://sioc.minagricultura.gov.co/Sabila/Normatividad/D.C.%202008%20Junio%20-%20Resolucion%20que%20reglamenta%20Ley%20811%20de%202003.pdf

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR]. (2019). *Cadena de sacha inchi: indicadores e instrumentos*. https://sioc.minagricultura.gov.co/Pasifloras/Documentos/2019-06-30%20Cifras%20Sectoriales%20SACHA%20INCHI.pdf

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR]. (2022a). Base Agrícola EVA de 2019 a 2021. https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=59.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR]. (2022b). *Documento de perspectivas del sacha inchi en Colombia: periodo 2022-2026*.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR]. (2023). *Demandas de investigación: sacha inchi*. https://www.siembra.co/Demandas/Demanda/Reporte

Montoya-Lerma, J., Giraldo-Echeverri, C., Armbrecht, I., Farji-Brener, A., & Calle, Z. (2012). Leaf-cutting ants revisited: Towards rational management and control. *International Journal of Pest Management, 58*(3), 225-247. https://doi.org/10.1080/09670874.2012.663946

Mordor Intelligence. (2022). *Mercado de superalimentos: crecimiento, tendencias y pronósticos (2023-2028)*. https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/superfoods-market

Muangrat, R., Veeraphong, P., & Chantee, N. (2018). Screw press extraction of sacha inchi seeds: Oil yield and its chemical composition and antioxidant properties. *Journal of Food Processing and Preservation, 42*(6), e13635. https://doi.org/10.1111/JFPP.13635

Murillo, J. (2004). Las Euphorbiaceae de Colombia. *Biota Colombiana, 5*(2), 183-200. https://www.redalyc.org/pdf/491/49150203.pdf

Núñez-Rodríguez, J., Carvajal-Rodríguez, J. C., & Ramírez-Novoa, L. L. (2021). Influencia de las variaciones climáticas en la producción de sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.). *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio climático, 7*(13), 1499–1517. https://doi.org/10.5377/ribcc.v7i13.11269

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2005). *Método de tutores en el cultivo de la pitahaya*. https://www.fao.org/3/CA3254ES/ca3254es.pdf

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2021). *Tres soluciones energéticas sostenibles para la producción de alimentos y lugares donde se utilizan*. https://www.fao.org/fao-stories/article/es/c/1412920/

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2022). *Marco de acción en materia de biodiversidad para la alimentación y la agricultura*. https://doi.org/10.4060/cb8338es

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2023a). *Recursos genéticos.* https://www.fao.org/genetic-resources/es/#:~:text=El%20papel%20de%20la%20FAO%20en%20los%20recursos%20gen%C3%A9ticos&text=Resulta%20esencial%20para%20mantener%20y,regulaci%C3%B3n%20de%20plagas%20y%20enfermedades

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2023b). *Manejo de suelos arenosos.* https://www.fao.org/soils-portal/soil-management/manejo-de-suelos-problematicos/suelos-arenosos/es/

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO] & Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2022). *Codex alimentarius*. https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/list-standards/es/

Osterwalder, A., & Pigneur, Y. (2010). *Generación de modelos de negocio*. https://www.camarabaq.org.co/wp-content/uploads/2020/11/Generacion-de-Modelos-de-Negocio-2010.en_.es_.pdf

Pantoja-Pulido, K., Rodríguez, J., Martínez, J., Gutiérrez-Cabrera, M., Colmenares-Dulcey, A., & Montoya-Lerma, J. (2020). Insecticidal and cholinesterase activity of Dichloromethane extracts of *Tithonia diversifolia* on *Atta cephalotes* worker ants (Formicidae: Myrmicinae). *Insects, 11*(3), 180. https://doi.org/10.3390/insects11030180

Pinto-Tomás, A., Anderson, M., Suen, G., Stevenson, D., Chu, F., Cleland, W., Weimer, P. J., & Currie, C. (2009). Symbiotic nitrogen fixation in the fungus gardens of leaf-cutter ants. *Science, 326*(5956), 1120-1123. https://doi.org/10.1126/science.1173036

Piñeiro-Corrales, G., Lago-Rivero, N., & Culebras-Fernández, J. (2013). Papel de los ácidos grasos omega-3 en la prevención de enfermedades cardiovasculares. *Nutrición Hospitalaria, 28*(1), 1-5. https://scielo.isciii.es/pdf/nh/v28n1/01revision01.pdf

Procolombia. (2021). *El aceite colombiano de sacha inchi pisa fuerte en el mercado internacional*. https://procolombia.co/sala-de-prensa/noticias/el-aceite-colombiano-de-sacha-inchi-pisa-fuerte-en-el-mercado-internacional

Ramos-Escudero, F., Ponce Dayer, L., Barnett Mendoza, E., Celi Saavedra, L., & Ramos Escudero, M. (2018). Perfil de ácidos grasos de aceite de sacha inchi (*Plukenetia volubilis*) en comparación con otros aceites vírgenes comestibles. *Revista Campus, 21*(21), 101-108. https://doi.org/10.24265/campus.2016.v21n21.10

Rebull, J. (2021). *La importancia de la salud del suelo en la sostenibilidad*. Sumitomo Chemical; Kenogard. https://kenogard.es/la-importancia-de-la-salud-del-suelo-para-la-sostenibilidad/

Revilla-Velásquez, M. E., Arroyo-Acevedo, J., Chávez-Asmat, R., Chamba-Granda, F., & Justil-Guerrero, H. (2022). Efecto protector del aceite de sacha inchi (*Plukenetia volubilis* Linneo) en ratas Holtzman con inducción de artritis experimental. *Anales de la Facultad de Medicina, 83*(1), 12-18. https://doi.org/10.15381/anales.v83i1.20088

Rico-Gray, V. (1993). Use of plant-derived food resources by ants in the dry tropical lowlands of coastal Veracruz, México. *Biotropica, 25*(3), 301-315. https://doi.org/10.2307/2388788

Rivero, H. (2022). *Estrategias tecnológicas para la eliminación de los sabores amargos y astringentes del aceite de sacha inchi (*Plukenetia volubilis *Linneo) y evaluación del impacto en la calidad fisicoquímica, estabilidad oxidativa y perfil sensorial* [Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia]. https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/83484/91506645-2021.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Rodale Institute. (2023). *Salud del suelo*. https://rodaleinstitute.org/es/por-qu%C3%A9-org%C3%A1nico/pr%C3%A1cticas-de-agricultura-org%C3%A1nica/salud-del-suelo/

Rodríguez, G. (2022). Aproximaciones del método PEPS en beneficio de las *pymes* para un mejor control de inventario. *Revista de Investigación Académica Sin Frontera, 15*(37). https://doi.org/10.46589/rdiasf.vi37.447

Rodríguez-Morales, A., Arria, M., Rojas-Mirabal, J., Borges, E., Benítez, J. A., Herrera, M., Villalobos, C., Maldonado, A., Rubio, N., & Franco-Paredes, C. (2005). Lepidopterism due to exposure to the moth *Hylesia metabus* in northeastern Venezuela. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene, 73*(5), 991-993. https://doi.org/10.4269/ajtmh.2005.73.991

Rodríguez Peña, L. (2020). *Aislamiento de la proteína a partir de la torta de sacha inchi (*Plukenetia volubilis *Linneo).* [Trabajo de pregrado, Facultad de Química Ambiental, Universidad Santo Tomás]. https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/23229/2020laurarodriguez.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Rodzi, N., & Lee, L. (2022). Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.): Recent insight on phytochemistry, pharmacology, organoleptic, safety and toxicity perspectives. *Heliyon, 8*(9), e10572. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10572

Roque Puma, J., & Beltrán Noriega, A. L. (2022). *Adsorción de arsénico (v) con biomasa de sacha inchi por columnas de lecho fijo* [Tesis de pregrado, Facultad de Ingeniería de Procesos, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/f546d89a-f319-4ef9-b3cc-1d87b3a78c14/content

Ruiz, C., Díaz, C., Anaya, J., & Rojas, R. (2013). Análisis proximal, antinutrientes, perfil de ácidos grasos y de aminoácidos de semillas y tortas de 2 especies de sacha inchi (*Plukenetia volubilis* y *Plukenetia huayllabambana*). *Revista de la Sociedad Química del Perú, 79*(1), 9-36. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=371937630005

Ruiz Corral, J. A., Medina García, G., Flores, H. E., & Ramírez Ojeda, G. (2013). *Requerimientos agroecológicos de cultivos*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias; Centro de Investigación Regional Pacífico Centro; Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. https://www.researchgate.net/profile/Jose-Ruiz-Corral/publication/343047223_REQUERIMIENTOS_AGROECOLOGICOS_DE_CULTIVOS_2da_Edicion/links/5f1310e04585151299a4c447/REQUERIMIENTOS-AGROECOLOGICOS-DE-CULTIVOS-2da-Edicion.pdf

Sánchez Maxi, S. (2013). *Influencia de la temperatura y el tiempo de secado-tostado sobre la calidad fisicoquímica de las semillas de sacha inchi (*Plukenetia volubilis *L.)* [Tesis de pregrado, Facultad de Ciencias Agroipecuarias, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann]. https://repositorio.unjbg.edu.pe/items/5609961d-9a90-4d69-8ad7-f4024f677145

Santa Cruz, E. (2021). *Evaluación del comportamiento fenológico y de producción del sacha inchi, especie* Plukenetia loretensis *(Ule, 1908), en el fundo Pucayacu del iiap-Bello Horizonte San Martín-Perú* [Tesis de Pregrado, Facultad de Agronomía, Universidad de San Martín]. https://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/11458/4135/1/AGRONOM%c3%8dA%20-%20Eldin%20Santa%20Cruz%20Rodas.pdf

Sermeño, J., Rivas, A., & Menjívar, R. (2005). *Guía técnica de las principales plagas artrópodas y enfermedades de los frutales*. https://repositorio.iica.int/handle/11324/7363

Shapiama Ramírez, S. A., & Flores García, E. J. (2008). *Diagnóstico poblacional de nemátodos fitoparásitos en el cultivo de sacha inchi (*Plukenetia volubilis *L.) en la región San Martín* [Tesis de Pregrado, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de San Martín]. https://tesis.unsm.edu.pe/handle/11458/1130

Sierra-Chamorro, H. A., Soto-Avendaño, M. V., & Castrillo Miranda, A. J. (2023). Hormigas (Hymenoptera: Formicidae) asociadas a *Lecythis minor* j. (Ericales: Lecythidaceae) en un relicto de bosque seco tropical, Santa Marta, Colombia. *Intropica, 18*(1), 79-85. https://doi.org/10.21676/23897864.4750

Silva Rodrigues, H., De Oliveira, A. B., Gomes Lopes, M. T., Cruz, C. D., Chaves, F. C. M., & Da Silva Bentes, J. L. (2013). Genetic diversity of sacha inchi accessions detected by AFLP molecular markers. *Revista de Ciências Agrarias - Amazon Journal of Agricultural and Environmental Sciences, 56*(Suplemento), 55-60. https://doi.org/10.24841/fa.v18i1-2.276

Solís, R. (2018). *Aportes del IIAP a la conservación y mejoramiento genético del sacha inchi en San Martín*. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP). http://www.iiap.org.pe/Archivos/Publicaciones/Publicacion_3571999.pdf

Sotomayor Garretón, Á. (2016). Introducción a los sistemas agroforestales y las interacciones entre sus componentes. En A. Sotomayor Garretón & S. Barros (Eds.), *Los sistemas agroforestales en Chile*. https://bibliotecadigital.infor.cl/handle/20.500.12220/21190

Subedi, S., Thapa, B., & Shrestha, J. (2020). Root-knot nematode (*Meloidogyne incognita*) and its management: A review. *Journal of Agriculture and Natural Resources, 3*(2), 21-31. https://doi.org/10.3126/janr.v3i2.32298

Truitt Nakata, G. (2021). *Transformando la agricultura para desencadenar el poder regenerativo de la naturaleza*. The Nature Conservancy. https://www.nature.org/es-us/que-hacemos/nuestra-vision/perspectivas/transformando-agricultura-poder-naturaleza/

Ukulan, H. (2008). Agronomic adaptation of some field crops: A general approach. *Journal of Agronomy and Crop Science, 194*(3), 169-179. https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2008.00306.x

Unidad de Planificación Rural Agropecuaria [UPRA]. (2021). Boletín costos yuca: costos de producción agrícola 2021: costos de producción de yuca. https://upra.gov.co/es-co/Evas_Documentos/20211123_Bol_Costos_yuca.pdf

Valdiviezo Rogel, C. J., Romero Hidalgo, L. E., & Bonilla Bermeo, S. M. (2019). Caracterización del aceite de la semilla de sacha inchi (*Plukenetia volubilis*) del cantón San Vicente, Manabí, Ecuador, obtenida mediante procesos no térmicos de extrusión. *La Granja, 30*(2), 77-87. https://doi.org/10.17163/lgr.n30.2019.07

Van, Q. V., Pham Thi, N. Y., Thi, T. N., Van, M. N., Le Van, T., Vu thi, B. N., & Nguyen Thi, B. H. (2022). Variation in growth and yield of sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) under different ecological regions in Vietnam. *Journal of Ecological Engineering, 23*(8), 162-169. https://doi.org/10.12911/22998993/150659

Vašek, J., Čepková, P. H., Viehmannová, I., Ocelák, M., Cachique, D., & Vejl, P. (2017). Dealing with AFLP genotyping errors to reveal genetic structure in *Plukenetia volubilis* (Euphorbiaceae) in the Peruvian Amazon. *PLoS One, 12*(19), 1-24. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0184259

Vásquez Orión, D. C. (2016). *Aprovechamiento de subproductos de sacha inchi (*Plukenetia volubilis *L.): desarrollo de un producto alimenticio, empleando harina proveniente de torta residual en la extracción del aceite* [Tesis de maestría, Facultada de Ingeniería, Corporación Universitaria Lasallista]. http://hdl.handle.net/10567/1691

Wang, Y., Xie, Y., Cui, H. D., & Dong, Y. (2014). First report of *Meloidogyne javanica* on sacha inchi (*Plukenetia volubilis*) in China. *Plant Disease, 98*(1), 165. https://doi.org/10.1094/PDIS-03-13-0241-PDN

Wang, S., Zhu, F., & Kakuda, Y. (2018). Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.): Nutritional composition, biological activity, and uses. *Food Chemistry, 265*, 316-328. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.05.055

Weber, N. A. (1972). The fungus-culturing behavior of ants. *American Zoologist, 12*(3), 577-587. https://doi.org/10.1093/icb/12.3.577

Yang, C., Jiao, D. Y., Cai, Z. Q., Gong, H. D., & Li, G. Y. (2016). Vegetative and reproductive growth and yield of *Plukenetia volubilis* plants in responses to foliar application of plant growth regulators. *Hortscience, 51*(8), 1020-1025. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.51.8.1020

Zuloeta Arias, G. L. (2014). *Compuestos fenólicos, tocoferoles, ácidos grasos, carotenoides, fitoesteroles y capacidead antioxidante de 16 cultivares de semillas de sacha inchi (*Plukenetia volubilis *L.)* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria La Molina]. http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/2420/Q04-Z8-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Terminó de diseñarse en abril de 2025,
Bogotá, D. C., Colombia

Con este documento se pone a disposición de productores, asistentes técnicos, extensionistas agropecuarios, investigadores, estudiantes, docentes y público en general, información actualizada y recomendaciones referidas a la descripción botánica, taxonomía y fenología; valor nutricional y usos; recurso genético y propagación; requerimientos edafoclimáticos; cultivo; cosecha, poscosecha y transformación; limitantes fitosanitarios; costos de producción; contexto nacional y perspectivas del sistema productivo del sacha inchi (*Plukenetia volubilis*) en el piedemonte del Meta.

Como modelo productivo es una guía para la toma de decisiones de los actores que conforman la cadena en el departamento: sachicultores, agroindustrias y entidades financiadoras, así como para la construcción de otros modelos productivos de sacha inchi para otras regiones del país donde se esté incentivando su cultivo y transformación.

AGROSAVIA
EDITORIAL