

**Autoría justificada como
principio ético en la
publicación científica**

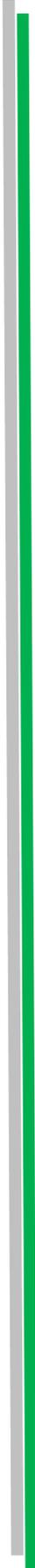


REVISTA 
AGROTECNOLÓGICA
AMAZÓNICA

e-ISSN: 2710-0510
Volumen 2, Número 1, Año 2022.



**UNIVERSIDAD NACIONAL
DE SAN MARTÍN**



© Universidad Nacional de San Martín
Facultad de Ciencias Agrarias
Facultad de Ingeniería Agroindustrial
Jr. Maynas N° 177, Tarapoto - Perú

Editor:
Fondo Editorial

Editorial:
Universidad Nacional de San Martín

Diseño de portada:
Manuel Angel Rojas Torres

Volumen 2, Número 2, Año 2022

DOI: <https://doi.org/10.51252/raa.v1i2>
ISSN: 2710-0510 (En línea)
Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2022-XXXX

Tarapoto, San Martín, Perú, Enero 2022.

EQUIPO EDITORIAL

EDITOR JEFE

Dr. Miguel Angel Valles Coral

EDITOR ASOCIADO

Dr. Agustín Cerna Mendoza

COMITÉ EDITORIAL

Dra. Mari Luz Medina Vivanco

Dr. Winston Franz Rios Ruiz

COMITÉ CIENTÍFICO

Ph. D. Juan Carlos Guerrero Abad, Instituto Nacional de Innovación Agraria

Dra. Stephanie Astrid Gallusser Jacquat, Instituto de Investigación Biológica de las Cordilleras Orientales (INIBICO), Perú

Dra. Eliana Marcela Vélez Erazo, Universidad Estadual de Campinas, Brasil

Dr. Oscar Wilfredo Mendieta Taboada, Universidad Nacional de San Martín

Dr. Manuel Fernando Coronado Jorge, Universidad Nacional Autónoma de Chota

Dr. José Luis Pasquel Reátegui, Universidad Nacional de San Martín

Dr. Tony Arce Saavedra, Universidad Nacional Autónoma de Chota

Dr. Gregorio José Arone Gaspar, Universidad Nacional de Barranca

Dr. Alfonso Marzal Reynolds, Universidad de Extremadura, España

Dr. Luko Hilje, Universidad de Costa Rica - Catie de Costa Rica

Dr. Paulo César Torres Mayanga, Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac

Biolog. M. Sc. Renzo Alfredo Valdez Núñez, Universidad Nacional de Barranca

Ing. M. Sc. Víctor Manuel Arévalo Rojas, Universidad Nacional de Barranca

Ing. M. Sc. Rafael Segundo Vela Paredes, Universidad Nacional de San Martín

Ing. M. Sc. Mike Anderson Corazón Guivin, Universidad Nacional de San Martín

Ing. M. Sc. Geomar Vallejos Torres, Universidad Nacional de San Martín

Ing. Danter Cachique Huansi, Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana

Ing. Richer Garay Montes, Universidad Nacional de San Martín

Ing. Grecia Vanessa Fachín Ruiz, Universidad Nacional de San Martín

Ing. Diana Patricia Vargas Muñoz, Centro Agroforestal y Acuícola Arapaima, Servicio Nacional de Aprendizaje – SENA, Colombia

GESTOR DE LA REVISTA

Ing. Juan Carlos Velasco Mieses

ASISTENTE EDITORIAL

Bach. Lloy Pool Pinedo Tuanama

Bach. Jorge Raúl Navarro Cabrera

DIAGRAMADORA

Est. Kasidy Argandoña Del Aguila

ASISTENTE DE DISEÑO GRÁFICO

Lic. Manuel Ángel Rojas Torres

AUTORIDADES

RECTOR

Dr. Aquilino Mesías García Bautista

VICERRECTORA DE INVESTIGACIÓN

Dra. Alicia Bartra Reátegui

VICERRECTORA ACADÉMICA

Dra. Rossana Herminia Hidalgo Pozzi

DECANO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

Dr. Orlando Ríos Ramírez

DECANA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

Dra. Mari Luz Medina Vivanco

ÍNDICE DE CONTENIDO

EDITORIAL

Autoría justificada como principio ético en la publicación científica e300

ARTÍCULOS ORIGINALES

Determinación de la DL₅₀ de Metanosulfonato de Etilo (EMS) para la inducción de cambios morfológicos y fisiológicos en plántulas de *Plukenetia volubilis* e209

Secador solar tipo túnel con microclima auto controlado para Café (*Coffea arabica*) Honey de alto valor en taza e227

Sistema automatizado de monitoreo de parámetros físico-químicos en producción de alevines Gamitana (*Colossoma macropomum*) e240

Prendimiento y crecimiento de injertos en plántulas de guanábana (*Annona muricata L.*), en Satipo - Perú e252

Beneficio del cacao clones CCN-51, ICS-39 y cacao Nativo (*Theobroma cacao L.*) e255

Calidad organoléptica del café bajo el efecto de la Roya Amarilla (*Hemileia vastatrix*) en Alto Shamboyacu – Lamas e260

Determinación de parámetros óptimos de tostado de semilla de copoazú (*Theobroma grandiflorum (Willd ex Spreng) Schum*) para la obtención de licor o pasta e265

Fermentador inteligente con tecnología de fermentación controlada para estandarizar procesos de fermentación de cafés de especialidad e303

ARTÍCULOS DE REVISIÓN

Importancia de los dispositivos usados en la fermentación de Cacao (*Theobroma cacao L.*) e281

Autoría justificada como principio ético en la publicación científica

Justified authorship as an ethical principle in scientific publication

Pinedo-Tuanama, Lloy [ 0000-0002-5569-8739]¹. Argandoña, Kasidy [ 0000-0002-5564-1097]¹

¹Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto, Perú.

✉ lpinedo@unsm.edu.pe

Recibido: 04/02/2022;

Aceptado: 10/02/2022;

Publicado: 20/01/2022

Cómo citar / Citation: Pinedo-Tuanama, L. & Argandoña, K. (2022). Autoría justificada como principio ético en la publicación científica. *Revista agrotecnológica amazónica*, 2(1), e300. <https://doi.org/10.51252/raa.v2i1.300>

Los resultados obtenidos a partir de investigaciones realizadas en el ámbito académico-científico universitario deben ser publicados como artículos, ponencias, conferencias o cualquier mecanismo de divulgación; solo así podrán ser reconocidos en el ecosistema de la ciencia y contribuirán al desarrollo de la misma; por el contrario, de acuerdo a (Cáceres Castellanos, 2014) las investigaciones que no se publican son inexistentes. Claro está que, estos trabajos deben cumplir el propósito de comunicación investigativa eficiente, tanto al público objetivo del estudio, como a la sociedad en general.

En este proceso, los agentes científicos están comprometidos a asegurar una conducta responsable en investigación para preservar buenas prácticas, puesto que según (Reyes Pérez et al., 2020), la falta a principios éticos como la falsificación, fabricación y plagio, son problemas que afectan la comunicación científica. Los autores aseguran que es pertinente practicar principios éticos de originalidad, transparencia e integridad, siendo necesario dotar a los investigadores de conocimiento en buenas prácticas de investigación, de manera que se aseguren reputación científica impecable.

No obstante, una corriente antiética viene repercutiendo en la conducta de investigadores a nivel internacional, conocida como autoría honorífica, o también denominada injustificada. Estudios realizados en diferentes partes del mundo dan muestra de ello (Bennett & Taylor, 2003), (Moffatt, 2011), (Gasparyan et al., 2013), (Al-Herz et al., 2014), (Kovacs, 2017), (Reyes B., 2018), (Hong, 2019), (Moëne B. & García B., 2019). A partir de estas, confirmamos mayor prevalencia de práctica injustificada de autoría en publicaciones científicas del área de las ciencias de la salud; sin embargo, se presenta además en diferentes ramas del conocimiento.

Entonces, ¿quiénes pueden ser considerados autores de un artículo científico? La editorial publicada en la revista *MediCiego* en el año 2017 por María Machado Cono, sostiene que se debe considerar como autor a aquel investigador que ha contribuido al contenido del trabajo sustancialmente y haber cumplido simultáneamente en la concepción, diseño y realización del estudio, además del análisis e interpretación de los datos, como también haber participado en la etapa de redacción, revisión y/o aprobación final del manuscrito (Machado Cano, 2017).

Es oportuno mencionar que la cantidad de autores superiores de lo habitual no siempre suele representar la calidad científica del estudio, ya que se reconoce la colaboración entre académicos y el aporte sustancial en su ejecución. Empero, es discutible la participación

desproporcionada de autores en relación con el contenido y tipo de investigación abordado, por lo que es cuestionable resolver la cantidad de autores calificados que alcancen éticamente la participación y responsabilidad como autor de un artículo científico (Moëne B. & García B., 2019).

Bajo este paradigma, la práctica de autoría injustificada afecta los principios éticos en la publicación científica. Esto puede ocurrir por distintos factores, entre ellos destacan el acuerdo mutuo de académicos para pertenecer a la lista de coautores, nexos familiares, incluir a investigadores de renombre para ganar prestigio o aceptación segura y rápida de artículos sometidos, autores por gratitud o respeto, e incluso por obligación o intimidación de jefes superiores o falta de conocimiento de los investigadores líderes (Zafra-Tanaka et al., 2019).

Empresas o personas dedicadas a la gestión de revistas depredadoras o elaboración de artículos científicos para su publicación en revistas prestigiosas, pueden ser consideradas canales que conllevan al aumento de autorías injustificadas; pues a través de mecanismos de difusión por redes sociales o envío de correos masivos, suelen captar la atención de investigadores para contratar el servicio de inclusión de autoría o coautoría en trabajos científicos a ser publicados en revistas, sin participación alguna y solo pagando un monto económico que en ocasiones son elevados o pueden terminar en estafas.

Pero, ¿por qué los investigadores presentan conducta antiética por la autoría injustificada? Es que el modelo de negocio de inclusión injustificada de investigadores como autores de artículos es una tendencia creciente. Son principalmente los académicos de instituciones superiores, investigadores jóvenes o investigadores desesperados (Borroto Cruz et al., 2021) quienes se encuentran bajo presión por publicar, por lo que recurren a los servicios de estas empresas. La producción científica, medida desde la cantidad de citas de artículos publicados o factor de impacto de revistas, es causa principal de la necesidad para obtener ascensos burocráticos, financiamiento de proyectos, mayor remuneración o prestigio académico.

Así la responsabilidad sobre ¿cómo combatir la autoría injustificada en la publicación científica?, recae en los editores y comités científicos, ya que realizan el primer filtro del proceso editorial para la revisión de manuscritos y tienen la prerrogativa de aceptar su publicación. Ahora, ¿es suficiente evaluar la contribución de los autores para verificar la autoría justificada? Entendiendo que estos se ciñen a estándares internacionales como el “Comité Internacional de Editores de Revistas Médicas” (ICMJE) para el caso de revistas enfocadas en ciencias de la salud, o la taxonomía de roles de colaborador (CRediT), que desde su presentación en el año 2015 representa una herramienta indispensable para los editores que desean evaluar la correspondencia de autoría en trabajos científicos desde la valoración de la contribución de un autor en específico (Larivière et al., 2021).

Por consiguiente, se puede sumar a la evaluación de la autoría justificada en los artículos científicos, un análisis pertinente y objetivo del nexo académico o laboral que presentan los autores, enfocándose como punto clave que la trayectoria académica-científica de los investigadores se encuentren bajo la misma línea de investigación o se relacionen y complementen a la temática del estudio desarrollado. Por último, si se tratase de un artículo con múltiples autores o que estos procedan de diferentes nacionalidades y sea el caso que se detecte una irregularidad de autoría, tomar estrategias que determinen la contribución verídica de cada autor al trabajo científico.

Desde otro punto, un mecanismo para contrarrestar la autoría honorífica desde las instituciones superiores o agencias de investigación científica, es la concepción de capacitaciones en conducta responsable de investigación y la orientación de profesionales destacados en el proceso de publicación científica. De esta forma, se garantizará la comunicación científica de artículos publicados en revistas, por investigadores que se rigen de buenas prácticas editoriales y conservan el principio ético de autoría justificada, que al mismo tiempo contribuya al desarrollo de la ciencia sostenible y la productividad del conocimiento científico en la sociedad.

La Revista Agrotecnológica Amazónica (RAA) gestionada por el Fondo Editorial en coordinación con el Vicerrectorado de Investigación de la Universidad Nacional de San Martín, con esta editorial tiene como propósito generar en los investigadores locales, nacional e internacionales una percepción de buenas prácticas en la publicación científica preservando el principio ético de autoría a partir del respeto al derecho de autor y a la propiedad intelectual. Al mismo tiempo, asegurar la comunicación científica de calidad que conciba el posicionamiento y visibilidad de la revista por su rigor científico

Referencias bibliográficas

- Al-Herz, W., Haider, H., Al-Bahhar, M., & Sadeq, A. (2014). Honorary authorship in biomedical journals: how common is it and why does it exist? *Journal of Medical Ethics*, 40(5), 346-348. <https://doi.org/10.1136/medethics-2012-101311>
- Bennett, D. M., & Taylor, D. M. (2003). Unethical practices in authorship of scientific papers. *Emergency Medicine Australasia*, 15(3), 263-270. <https://doi.org/10.1046/j.1442-2026.2003.00432.x>
- Borroto Cruz, E. R., Torrens Pérez, M. E., & Rondón Sierra, R. (2021). Calidad editorial versus editoriales depredadoras. *Telos Revista de Estudios Interdisciplinarios en Ciencias Sociales*, 23(2), 466-483. <https://doi.org/10.36390/telos232.16>
- Cáceres Castellanos, G. (2014). La importancia de publicar los resultados de Investigación [Editorial]. *Revista Facultad de Ingeniería*, 23(37), 7-8. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-11292014000200001
- Gasparyan, A. Y., Ayzazyan, L., & Kitas, G. D. (2013). Authorship problems in scholarly journals: considerations for authors, peer reviewers and editors. *Rheumatology International*, 33(2), 277-284. <https://doi.org/10.1007/s00296-012-2582-2>
- Hong, S.-T. (2019). Unjustified Authorship Should Not Be Tolerated. *Journal of Korean Medical Science*, 34(45). <https://doi.org/10.3346/jkms.2019.34.e310>
- Kovacs, J. (2017). Honorary authorship and symbolic violence. *Medicine, Health Care and Philosophy*, 20(1), 51-59. <https://doi.org/10.1007/s11019-016-9722-5>
- Larivière, V., Pontille, D., & Sugimoto, C. R. (2021). Investigating the division of scientific labor using the Contributor Roles Taxonomy (CRediT). *Quantitative Science Studies*, 2(1), 111-128. https://doi.org/10.1162/qss_a_00097
- Machado Cano, M. J. (2017). Potenciales conflictos de intereses y declaración de responsabilidad de autoría. *MEDICIEGO: Revista Médica Electrónica de Ciego de Ávila*, 23(3).

<http://www.revmediciego.sld.cu/index.php/mediciego/article/view/972/1144>

Moëne B., K., & García B., C. (2019). Conflictos éticos en autoría de las publicaciones científicas del área médica. *Revista chilena de radiología*, 25(3), 80-82.

<https://doi.org/10.4067/S0717-93082019000300080>

Moffatt, B. (2011). Responsible Authorship: Why Researchers Must Forgo Honorary Authorship. *Accountability in Research*, 18(2), 76-90.

<https://doi.org/10.1080/08989621.2011.557297>

Reyes B., H. (2018). Problemas éticos en las publicaciones científicas. *Revista médica de Chile*, 146(3), 373-378. <https://doi.org/10.4067/s0034-98872018000300373>

Reyes Pérez, J. J., Cárdenas Zea, M. P., & Plua Panta, K. A. (2020). Consideraciones acerca del cumplimiento de los principios éticos en la investigación científica. *Revista Conrado*, 16(77), 154-161.

http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1990-86442020000600154&script=sci_arttext&tlng=en

Zafra-Tanaka, J. H., Roca, C., Cañari-Casaño, J. L., & Vargas-Calla, A. (2019). Autoría de regalo: una aproximación a su frecuencia en una revista peruana. *Biomédica*, 39(2).

<https://doi.org/10.7705/biomedica.v39i3.4316>

Conflicto de intereses

Ninguna.

Artículo original / Original article

Determinación de la DL₅₀ de Metanosulfonato de Etilo (EMS) para la inducción de cambios morfológicos y fisiológicos en plántulas de *Plukenetia volubilis*

Determination of DL₅₀ of Ethyl Methanesulfonate (EMS) for the induction of morphological and physiological changes in *Plukenetia volubilis* seedlings

Corazon-Guivin, Mike ^[ID 0000-0001-6027-4255]¹; Arévalo-Rojas, Manuel ^[ID 0000-0003-0230-3403]²; Acosta-Córdoba, Ronny ^[ID 0000-0002-7165-2845]¹; Chirinos-Hinojosa, Danny ^[ID 0000-0002-5612-5844]¹; Valverde-Iparraguirre, Jorge ^[ID 0000-0002-8450-4251]¹; Ruiz-Sánchez, María ^[ID 0000-0002-9933-9017]¹; Cerna-Mendoza, Agustín ^[ID 0000-0002-4827-9966]¹; Guerrero-Abad, Juan ^[ID 0000-0002-7285-9506]³

¹Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto, Perú

²Universidad Nacional de Barranca, Barranca, Perú

³Instituto Nacional de Innovación Agraria, Lima, Perú

✉ macorazong@unsm.edu.pe

Recibido: 25/10/2021;

Aceptado: 29/11/2021;

Publicado: 20/01/2022

Resumen: El uso de mutágenos químicos es una herramienta muy utilizada para la generación de nuevas variantes genéticas en diversos cultivos agrícolas. Se evaluó el uso Ethyl Methanesulphonate (EMS) en semillas de *Plukenetia volubilis* L. para determinar la concentración óptima de EMS que redujera la germinación y/o emergencia de las semillas hasta un 50%, y evaluar las alteraciones morfológicas y fisiológicas en plántulas de *P. volubilis* durante la primera generación. Se empleó un DCA simple con diferentes dosis (0.0%, 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0% y 3.0%) de EMS en un solo tiempo de exposición (30 hrs.), más un control absoluto (semillas sin tratamiento), para evaluar la sensibilidad mutagénica de *P. volubilis* L., considerando parámetros como porcentaje de emergencia, altura de planta, pérdida de dominancia apical, clorosis y deformación de las hojas. Los resultados mostraron que la dosis de 3% de EMS con 30 hrs. de exposición, redujo hasta un 50% la emergencia de plántulas, valor considerado como la dosis letal media (DL₅₀) para *P. volubilis*. Así mismo, se evidenciaron alteraciones fenotípicas como deformación de hojas, clorosis, disminución de la altura y pérdida de dominancia apical con el incremento de dosis de EMS. Estos resultados demuestran el potencial del EMS para ser utilizados en semillas de sacha inchi con el objetivo de generar nuevas variantes genética de esta especie.

Palabras clave: alteraciones fenotípicas; dosis letal; ethyl methanesulphonate; mutaciones

Abstract: The use of chemical mutagens is a widely used tool for the generation of new genetic variants in various agricultural crops. The use of Ethyl Methanesulphonate (EMS) in seeds of *Plukenetia volubilis* L. was evaluated to determine the optimal concentration of EMS that would reduce the germination and / or emergence of the seeds up to 50%, and to evaluate the morphological and physiological alterations in seedlings of *P. volubilis* during the first generation. A simple DCA was used with different doses (0.0%, 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0% and 3.0%) of EMS in a single exposure time (30 hrs.), plus an absolute control (seeds without treatment), to evaluate the mutagenic sensitivity of *P. volubilis* L., considering parameters such as percentage of emergence, plant height, loss of apical dominance, chlorosis and deformation of the leaves. The results showed that the 3% dose of EMS with 30 hours of exposure, reduced the emergence of seedlings by up to 50%, a value considered as the mean lethal dose (DL₅₀) for *P. volubilis*. Likewise, phenotypic alterations such as leaf deformation, chlorosis, decrease in height and loss of apical dominance were evidenced with increasing EMS doses. These results demonstrate the potential of EMS to be used in sacha inchi seeds with the aim of generating new genetic variants of this species.

Keywords: phenotypic alterations; lethal dose; ethyl methanesulphonate; mutations

Cómo citar / Citation: Corazon-Guivin, M., Arévalo-Rojas, M., Acosta-Córdoba, R., Chirinos-Hinojosa, D., Valverde-Iparraguirre, J., Ruiz-Sánchez, M., Cerna-Mendoza, A. & Guerrero-Abad, J. (2022). Determinación de la DL₅₀ de Metanosulfonato de Etilo (EMS) para la inducción de cambios morfológicos y fisiológicos en plántulas de *Plukenetia volubilis*. *Revista agrotecnológica amazónica*, 2(1), e209. <https://doi.org/10.51252/raa.v2i1.209>

I. Introducción

Plukenetia volubilis L. es un arbusto trepador perteneciente a la familia *Euphorbiaceae*, oriundo de la cuenca Amazónica de América Latina (Webster, 1994; Kumar et al., 2020). Durante la última década esta especie ha adquirido gran importancia debido a la elevada concentración de ácidos grasos insaturados tipo ácido α -linolénico (omega-3), ácido linoleico (omega-6) y ácido oleico (omega-9) que le confieren un potencial en el mercado nutracéutico, farmacéutico y alimenticio (Wang et al., 2018; Kodahl, 2020). Sin embargo, su respuesta desfavorable a factores bióticos como plagas y enfermedades como consecuencia de su limitada variabilidad genética, ha llevado a tomar en cuenta estrategias para el mejoramiento genético de este cultivo. Es por ello que se considera como alternativa el empleo de la mutagénesis inducida como una vía para lograr este fin.

La mutagénesis constituye una herramienta importante para la alteración de los genes y ampliación de la variabilidad genética (Xu et al., 2017). El uso de agentes mutagénicos, como el EMS, tiene un rol fundamental en este sentido (Porch et al., 2009). EMS es considerado como el agente mutagénico más utilizado en programas de mejoramiento genético para establecer grandes poblaciones de mutantes, creando un alto número de mutaciones puntuales, en casi todas las especies de plantas estudiadas (Krupa-Mańkiewicz et al., 2017; Bayer, 2020). Además, ofrece la posibilidad de incorporar cualidades que no pueden encontrarse en la naturaleza o han desaparecido durante el proceso de domesticación (Novak & Brunner, 1992; Kadhim, 2016). La frecuencia de mutaciones inducidas es independiente del tamaño del genoma que presente la especie en estudio (Greene et al., 2003).

Para el empleo de agentes mutagénicos la optimización de las condiciones de inducción varía en cada especie de planta, constituyéndose un paso crítico para el éxito de los eventos mutagénicos (Padma & Reddy, 1977). En tal sentido, es necesario determinar la dosis letal 50 (DL₅₀), la cual se usará como criterio para definir la dosis mutagénica óptima, que contribuyen al 50 de letalidad. La determinación de DL₅₀ es necesaria para producir una alta frecuencia de mutaciones deseables (Hohmann et al., 2005; Arisha et al., 2014). El procedimiento común para evaluar la dosis adecuada se basa en la comprensión de la sensibilidad de los tejidos y/o células ante un agente mutagénico. La concentración de EMS que produce un 50 de letalidad (DL₅₀) se usa como un indicador de alta frecuencia de mutación (Devi & Selvakumar, 2013).

En este contexto, el empleo de EMS en semillas de *P. volubilis* representa una alternativa viable para aumentar la diversidad genética, generando variantes que permitan aumentar la base genética de esta especie. Sin embargo, la concentración óptima y tiempo de exposición al agente mutagénico en semillas de *P. volubilis* no ha sido investigado hasta la actualidad. Al respecto, el presente estudio tuvo como objetivo i) Determinar la concentración óptima de EMS en semillas de *P. volubilis* L., la cual reducirá la germinación y/o emergencia de las semillas hasta un 50% (DL₅₀) y ii) Evaluar las alteraciones morfológicas y fisiológicas en plántulas de *P. volubilis* tratadas con las diferentes dosis de EMS durante la primera generación.

2. Materiales y métodos

Colecta de material y tratamiento de semillas.

Las semillas de sachu inchi (*P. volubilis* L.) del ecotipo Shanantina, fueron colectadas en un campo agrícola ubicado en la provincia de Lamas, departamento de San Martín, Perú, en el año 2017. Para el tratamiento con EMS fueron seleccionadas semillas que presentaron características homogéneas en color: marrón oscuro, forma: ovalada, tamaño: entre 1.5 a 2.0 cm de diámetro y ligeramente abultada en el centro; todas estas características son importantes para garantizar la uniformidad en la dosis recibida en cada tratamiento. Las semillas seleccionadas presentaron un 85% de humedad antes de ser tratadas con diferentes dosis (0.0%, 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0% y 3.0%) de EMS en un solo tiempo de exposición (30 hrs.); complementariamente, se utilizaron semillas si ningún tratamiento como control absoluto. Por cada dosis, tres grupos de 50 semillas fueron tratadas con EMS en forma independientemente. El contenido de humedad de las semillas se determinó siguiendo la guía de International Seed Testing Association (ISTA, 2003) que se basa en la diferencia entre el peso fresco y el peso seco de las semillas.

Siembra de semillas

Desde la cosecha en campo hasta el tratamiento de semillas con diferentes dosis de EMS transcurrió un periodo de 40 días; periodo óptimo para obtener un alto porcentaje de germinación debido a que las semillas de sachu inchi posteriores a la cosecha presentan un periodo de dormancia que termina después de los 30 días. Para la siembra de semillas tratadas se realizó un orificio de 1.5 cm. de profundidad en cada bolsa almaciguera (1 kg.) y se colocó una semilla en posición vertical, con el hilum orientado hacia abajo, esto para facilitar el direccionamiento del meristemo radicular al germinar. De cada dosis, tres réplicas de 50 semillas fueron sembradas en bolsas almaciguera conteniendo suelo agrícola de textura franco arcillosa. Para la distribución de los tratamientos se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DCA).

Colección de datos

En condiciones de vivero se evaluaron: porcentaje de emergencia durante los primeros 30 días después de la siembra (DDS); la altura al ápice y variaciones morfológicas (dominancia apical, forma de hojas y clorosis) se registraron 30 días después de la emergencia (DDE) por cada tratamiento. Todas las evaluaciones realizadas están validadas por el ISTA, 2003. Una plántula se consideró como emergida cuando supero el nivel del sustrato. Los ensayos en vivero fueron realizados bajo las siguientes condiciones: temperatura (T° mínima 21.4 °C, T° media 29.0 °C y T° máxima de 38.2 °C), humedad (H° mínima 47.9%, H° media 64.0% y H° máxima de 73.8%). La noche la temperatura oscilaba entre 18 °C y 21 °C y la humedad 75%.

Análisis estadístico

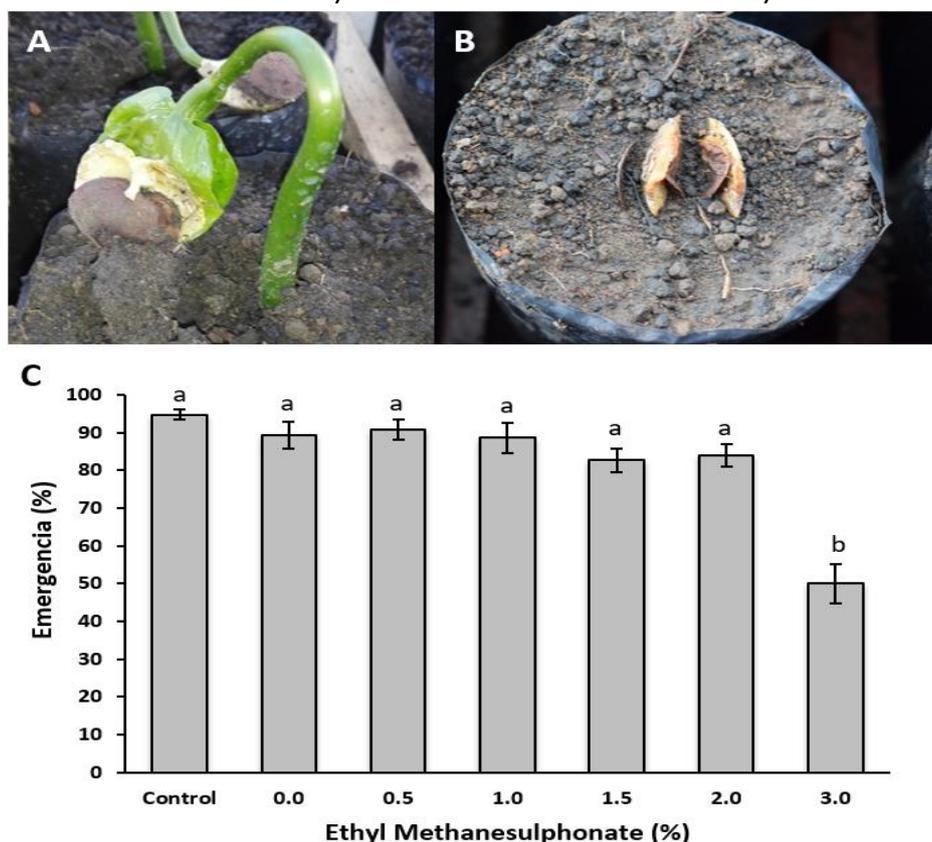
Previo al análisis estadístico los datos fueron sometieron al supuesto de normalidad para lo cual se utilizó la dócima de Shapiro Wilk. Los datos de variables expresadas en porcentajes se utilizó la transformación de Bliss o transformación angular $\sqrt{x}\%$ (Snedecor & Cochran, 1980). Posteriormente las medias de las variables estudiadas en el ensayo fueron sometidos a la prueba de Tukey con un nivel de significancia de $p < 0,05$ de probabilidad de error para determinar la naturaleza de las diferencias entre tratamientos (Snedecor & Cochran, 1980). Los datos fueron analizados utilizando el programa estadístico InfoStat (versión 2012e; Córdoba, Argentina)

3. Resultados y discusión

Emergencia de sachá inchi

El análisis de los datos sobre el porcentaje de emergencia de semillas mostró que únicamente la dosis de 3% de EMS con un tiempo de exposición de 30 hrs. logró un 50% de emergencia. En tanto las demás dosis (control, 0.0%, 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0% y 2.5%) de EMS registraron entre 80.0% - 100.0% de emergencia, no presentando diferencias significativas entre ellas (Figura 1). La dosis de 3% de EMS al causar un 50% de emergencia en *P. volubilis*, podría ser considerada como la dosis mutagénica óptima que contribuye al 50% de letalidad (DL₅₀), lo que garantizaría una alta frecuencia de mutaciones deseables como lo siguiere Arisha et al. (2014), Devi & Selvakumar (2013), Ke et al. (2019) y Hohmann et al. (2005).

Figura 1. A) Emergencia de semillas de *P. volubilis* tratada con 0% EMS, B) Semilla de *P. volubilis* tratada con 3% de EMS, C) Efecto de diferentes concentraciones de EMS sobre la emergencia de *P. volubilis*, medido 30 días después de la emergencia. Las diferencias no significativas entre los tratamientos se muestran con letras idénticas y se determinaron con el HSD de Tukey al nivel del 5%.



P. volubilis al presentar semillas con testa gruesa requieren un tiempo prolongado para que consigan hidratarse completamente y germinar. En tal sentido, estudios anteriores afirman que el proceso de mutagénesis requiere que el mutágeno sea absorbido por el embrión en germinación y alcance la región meristémica donde se encuentran las células germinales (Serrat et al., 2014); en este sentido, en nuestro experimento no habría necesidad de un remojo y/o hidratación previa de las semillas debido a que estas fueron tratadas con una solución de EMS durante 30 hrs.

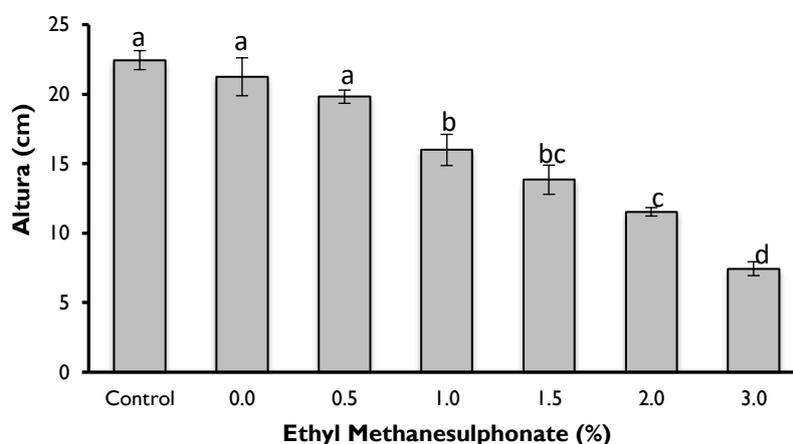
La reducción en la emergencia de las semillas de *P. volubilis* en la dosis de 3% de EMS puede deberse a la inhibición de los procesos fisiológicos y biológicos que se consideran necesarios para la germinación de las semillas, como la actividad enzimática (Devi & Mullainathan, 2011; Kurobane et al., 1979), el desequilibrio hormonal (Borovsky et al., 2013), e inhibición de procesos mitóticos (Ananthaswamy et al., 1971; Kumar & Gupta, 2009) causados por el agente mutagénico (EMS).

Asimismo, el aumento de la dosis del mutágeno (EMS) incrementa la frecuencia del daño cromosómico que puede ser responsable de la incapacidad de germinación y consecuentemente su emergencia. Así mismo, estudios realizados por Bhat et al. (2012) mencionan que el EMS reduce el crecimiento celular al inhibir la producción de ciertas proteínas específicas y disminuye la producción de Auxina responsable de la germinación. De igual modo, los resultados obtenidos por Prashant et al. (2015) al tratar semillas de *Brassica juncea* con EMS, indicaron que la germinación promedio disminuyó al aumentar la concentración de mutágeno. Resultados semejantes también fueron observados en *Capsicum annum* por Arisha (2014) y Devi & Selvakumar (2013).

Altura de planta y dominancia apical

Se ha demostrado que existe una dependencia lineal entre la altura de la plántula y la dosis de mutágenos físicos o químicos, lo que convierte a este índice de medición como el principal para identificar las influencias biológicas de los mutágenos aplicados (Benjavad et al., 2012; Bhat et al., 2007; Devi & Mullainathan, 2011). Es así que nuestros hallazgos muestran que las disminuciones en la altura de las plántulas se debieron a los aumentos en la concentración de EMS ($p < 0.05$), (Figura 2).

Figura 2. Efecto de diferentes concentraciones de EMS sobre la altura de *P. volubilis*, medido 30 días después de la emergencia. Las diferencias no significativas entre los tratamientos se muestran con letras idénticas y se determinaron con el HSD de Tukey al nivel del 5%.



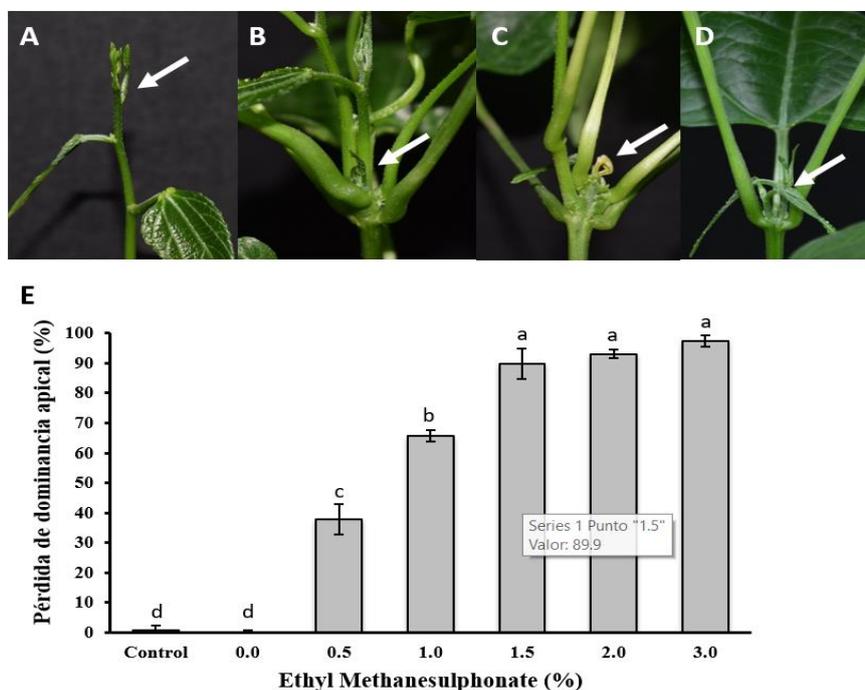
La reducción en la altura de *P. volubilis* se podría atribuir a la inactivación de auxinas en la planta al aumentar la exposición a EMS (Ashok Kumar et al., 2009; Kanakamanay, 2008), defecto en la biosíntesis de ácido giberélico (Fridborg et al., 1999), cambios en el contenido de ácido ascórbico, trastornos fisiológicos y bioquímicos generados por el mutágeno (Dhamayanthi &

Reddy, 2000). Asimismo, se conoce que los mutágenos pueden inhibir un sistema de suministro de energía que resulta en la inhibición de la mitosis que puede estar asociada con la depresión del crecimiento de las plántulas (Emrani et al., 2011).

En un estudio donde se realizó el tratamiento de semillas de *Capsicum annuum* con dosis superiores al 1.25% de EMS, se observó una reducción significativa en la altura de la planta, lo que puede considerarse un indicador de una mayor frecuencia en las mutaciones (Arisha et al., 2014), en esta misma especie otros investigadores como Alcántara et al., (1996), Jabeen & Mirza (2004) y Lippert et al., (1964) registraron el mismo efecto. De igual forma, la altura de la planta se redujo al aumentar las dosis de EMS en semillas de *Vigna mungo* L. (Berenschot et al., 2008; Deepalakshmi & Anandakumar, 2004), *Brassica napus* L. (Emrani et al., 2011), *Triticum* spp. (Bahar & Akkaya, 2009), *Solanum lycopersicum* (Saba & Mirza, 2002), *Zea mays* (Kumar & Kumar Rai, 2007) y *Cicer arietinum* (Shah et al., 2008).

De acuerdo a lo mencionado anteriormente también podemos mencionar que las auxinas desempeñan un papel vital en el desarrollo lateral y vertical de las plantas (Hadebe et al., 2017). Como tal, la inactivación de estas enzimas debido a la mutagénesis por EMS podría ser no solo la causa principal de las disminuciones observadas en la altura de las plántulas, sino también la causa de la pérdida de dominancia apical en las plántulas. En nuestro experimento, los resultados indican que conforme se incrementa la dosis del mutágeno (EMS), las plántulas de *P. volubilis* tienen un mayor porcentaje de pérdida de dominancia apical; prueba de esto se observó la presencia de uno o varios brotes laterales en las plántulas que perdieron dominancia apical (Figura 3).

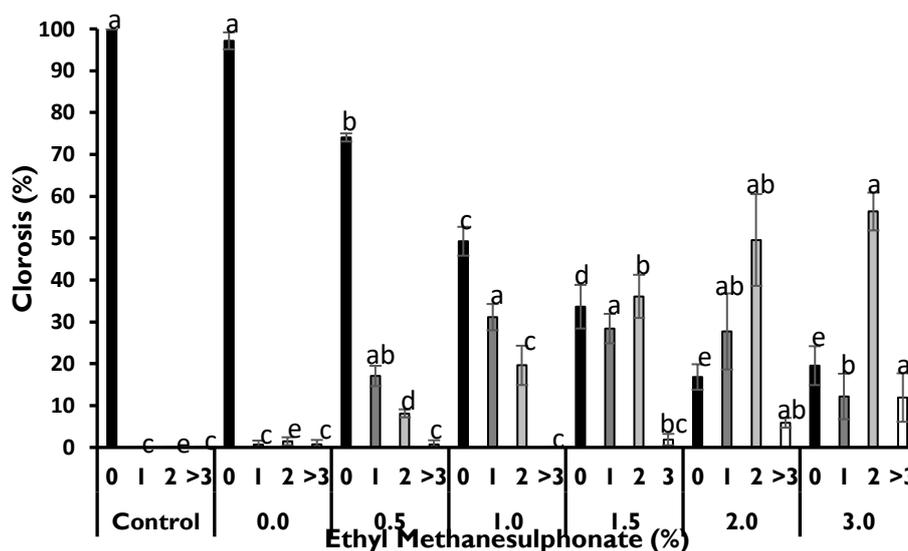
Figura 3. A) Meristema apical de plántulas de *P. volubilis* de 20 días después de la emergencia (Control y 0% EMS), B-D) Inhibición de meristema apical y pérdida de dominancia apical en plántulas de *P. volubilis* 20 días después de la emergencia (3% EMS), C) Efecto de diferentes concentraciones de EMS sobre la dominancia apical de *P. volubilis*, medido 30 días después de la emergencia. Las diferencias no significativas entre los tratamientos se muestran con letras idénticas y se determinaron con el HSD de Tukey al nivel del 5%.



Clorosis

Las mutaciones de clorofila se han utilizado ampliamente para evaluar la sensibilidad de cualquier planta de cultivo a un mutágeno y la efectividad y eficacia relativas de diferentes tratamientos mutagénicos (Wani et al., 2011). Los resultados obtenidos en el presente estudio muestran que existe un mayor número de hojas que presenten clorosis en plántulas de *P. volubilis* mutagenizada conforme se incrementa la dosis de EMS (Figura 4).

Figura 4. Porcentaje de clorosis en 0, 1, 2 y > 3 hojas de *P. volubilis* tratadas con diferentes dosis de EMS, evaluado 30 días después de la emergencia. Las diferencias no significativas entre los tratamientos se muestran con letras idénticas y se determinaron con el HSD de Tukey al nivel del 5%.



Estudios anteriores informaron que el desarrollo de la clorofila parece estar controlado por muchos genes que se encuentran en diferentes cromosomas (Larkin & Scowcroft, 1981; Wang et al., 2013). Por otro lado, la diferencia en la frecuencia y el espectro de las mutaciones de clorofila depende de la interacción de tres factores: el genotipo de la planta, el estado fisiológico del organismo en el momento del tratamiento y el mutágeno utilizado (Chaudhan et al., 2015). Este efecto fisiológico causado por la inducción de mutagenesis es importante para identificar la función de los genes y el esclarecimiento del metabolismo de la clorofila y su regulación (Wu et al., 2007).

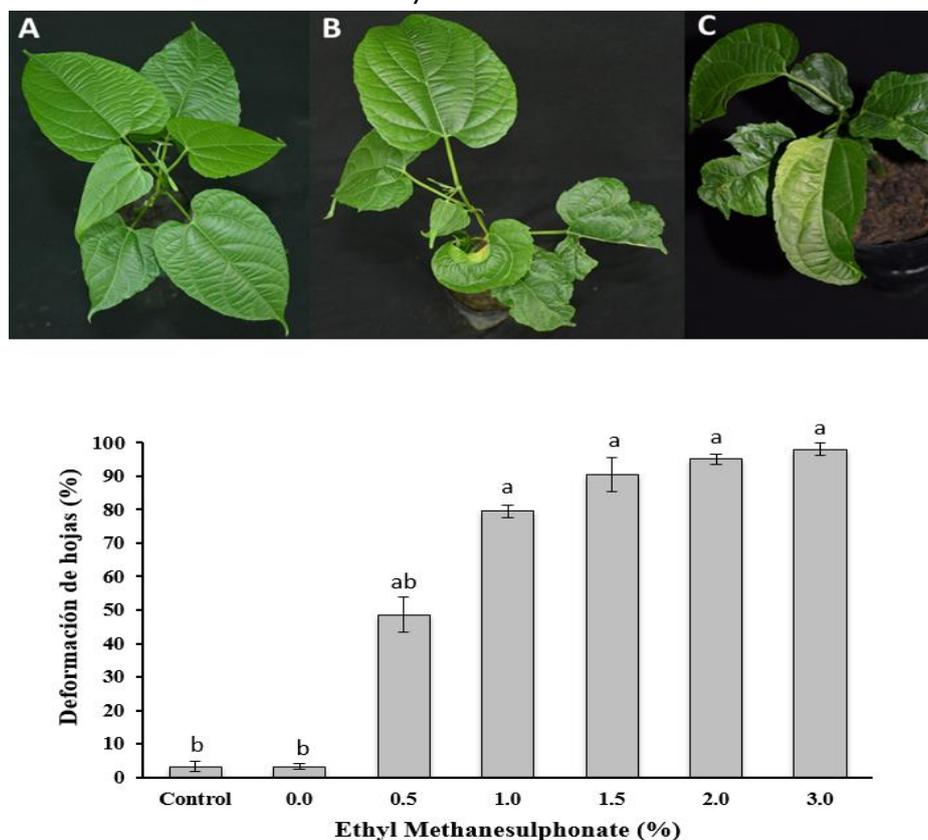
En un estudio realizado por Arisha et al. (2015), se observó un tipo de mutación visible en una planta de *Capsicum annum* que tenía un color amarillo verdoso uniforme, que caracteriza la deficiencia de clorofila por efecto del mutágeno utilizado (EMS). También Girija & Dhanavel (2009) reportaron una alta frecuencia de mutación de clorofila tipo “viridis” por efecto del mutágeno químico (EMS) en *Vigna unguiculata*. De igual forma, Chaudhari et al. (2015) encontró que la biosíntesis de clorofila a y b se redujo notablemente en las generaciones M1 y M2 con altas concentraciones EMS y Azida sódica en semillas de *Psoralea corylifolia*.

Deformación de hojas

La medición de daños morfológicos en inducción de mutagenesis física o química es verificada por la deformación de hojas en evaluaciones tempranas. La variación en la forma de la hoja es

una mutación común que puede darse debido a una mutación nuclear o citoplásmica. El EMS puede tener una alta especificidad para los genomas mitocondriales y plastídicos (Miller et al., 1984). En este estudio se pudo registrar un mayor porcentaje de deformación de hojas en plántulas mutagenizadas a medida que se incrementó la dosis del mutágeno EMS ($P < 0.05$) (Figura 5).

Figura 5. A) Plántulas de *P. volubilis* de 30 después de la emergencia (Control y 0% EMS), B-C) Plántulas de *P. volubilis* de 30 después de la emergencia (3% EMS), C) Efecto de diferentes concentraciones de EMS sobre la dominancia apical de *P. volubilis*, medido 30 días después de la emergencia. Las diferencias no significativas entre los tratamientos se muestran con letras idénticas y se determinaron con el HSD de Tukey al nivel del 5%.



En otros estudios donde se mutagenizó semillas de *Capsicum annuum*, se observó que la deformación de la hoja fue común en todos los tratamientos, y se caracterizó por hojas con anchura reducida, longitud normal, y nervio central y venas torcidas (Alcantara et al., 1996). Del mismo modo, Dhakshanamoorthy et al. (2010) afirman que todos los tratamientos de EMS aplicados en semillas de *Jatropha curcas* L. revelaron un efecto inhibitorio en la longitud del pecíolo en comparación con el control.

4. Conclusiones

Las dosis de 3% de EMS con un tiempo de exposición de 30 hrs., redujo hasta un 50% la emergencia de plántulas de *P. volubilis* L., en ensayos de vivero. Así mismo, registramos alteraciones fenotípicas como deformación de hojas, clorosis y pérdida de dominancia apical con

el incremento de dosis mutagénica; siendo la dosis de 3% recomendables para generar poblaciones mutantes en sachá inchi.

Agradecimiento

Al Laboratorio de Biología y Genética Molecular de la Facultad de Ciencias Agrarias y al Instituto de Investigación y Desarrollo (IlyD) de la Universidad Nacional de San Martín por brindar la infraestructura, financiamiento y todas las facilidades para la ejecución de la presente investigación.

Referencias bibliográficas

- Alcantara, T. P., Bosland, P. W., Smith, D. W. (1996). Ethyl Methane sulfonate Induced Seed Mutagenesis of *Capsicum annum*. *Journal of Heredity*, 239–241. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.jhered.a022992>
- Ananthaswamy, H. N., U. K. Vakil, and A. Sreenivasan. (1971). Biochemical and physiological changes in gamma irradiated wheat during germination. *Radiation Botany*, 11, 1–12. [https://doi.org/10.1016/S0033-7560\(71\)91257-9](https://doi.org/10.1016/S0033-7560(71)91257-9)
- Arisha, M. H., Liang, B. K., Muhammad Shah, S. N., Gong, Z. H., & Li, D. W. (2014). Kill curve analysis and response of first generation *Capsicum annum* L. B12 cultivar to ethyl methane sulfonate. *Genetics and Molecular Research*, 13(4), 10049–10061. <https://doi.org/10.4238/2014.November.28.9>
- Arisha, M. H., Shah, S. N., Gong, Z. H., Jing, H., Li, C., and Zhang, H. X. (2015). Ethyl methane sulfonate induced mutations in M2 generation and physiological variations in M1 generation of peppers (*Capsicum annum* L.). *Frontiers in plant science*, 6, 399. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00399>
- Ashok Kumar, V., Kumari R. U, Amutha, R., Siva Kumar, T, Juliet Hepziba S., Ananda Kumar C. (2009). Effect of chemical mutagen on expression of characters in arid legume pulse–cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences* 5, 1115–1120.
- Bahar B and Akkaya MS. (2009). Effects of EMS treatment on the seed germination in wheat. *J. Appl. Biol. Sci*, 3, 59-64. <http://www.jabsonline.org/index.php/jabs/article/view/133>
- Bayer, M. (2020). Plant Embryogenesis: Methods and Protocols. *Plant Embryogenesis*. <https://doi.org/10.1007/978-1-0716-0342-0>
- Benjavad Talebi, A., Benjavad Talebi, A. and Shahrokhifar, B. (2012). Ethyl Methane Sulphonate (EMS) Induced Mutagenesis in Malaysian Rice (cv. MR219) for Lethal Dose Determination. *American Journal of Plant Sciences*, 3, 1661-1665. <http://dx.doi.org/10.4236/ajps.2012.312202>
- Berenschot, A. S., Zucchi, M. I., Tullmann-Neto, A. and Vera Quecini. (2008). Mutagenesis in *Petunia x hybrida* Vilm. and isolation of a novel morphological mutant. *Braz. J. Plant Physiol.* 20(2), 95-103. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202008000200002>
- Bhat, T. A., A. H. Khan, and S. Praveen. (2007). Spectrum and frequency of chlorophyll

- mutation induced by MMS, gamma rays and their combination in two varieties of *Vicia faba* L. *Asian Journal of Plant Science*, 6, 558–61.
<https://scialert.net/abstract/?doi=ajps.2007.558.561>
- Bhat T. M., Ansari M. Y. K., Aslam, R. (2012). Sodium azide (NaN₃) induced genetic variation of *Psoralea corylifolia* L. and analysis of variants using RAPD markers. *Nucleus*, 55(3), 149–154. <https://doi.org/10.1007/s13237-012-0069-x>
- Borovsky, Y., Tadmor, Y., Bar, E., Meir, A. (2013). Induced mutation in β -carotene hydroxylase results in accumulation of β -carotene and conversion of red to orange color in pepper fruits. *Theor Appl. Genet*, 126, 557-565. <https://doi.org/10.1007/s00122-012-2001-9>
- Chaudhari, A. K., Verma, S. and Chaudhary, B. R. (2015). Ethyl Methanesulphonate and Sodium Azide Effects on Seedling Growth and Chlorophyll Mutations in *Psoralea corylifolia* IC 111228. *Journal of Crop Improvement*, 29(5), 602-618.
<https://doi.org/10.1080/15427528.2015.1070391>
- Dhakshanamoorthy, D., Selvaraj, R., Chidambaram, A. (2010). Physical and chemical mutagenesis in *Jatropha curcas* L. to induce variability in seed germination, growth and yield traits. *Plant Biology*, 17, 113–125.
- Dhamayanthi, K., and Reddy., V. (2000). Cytogenetic effects of gamma rays and ethyl methane sulphonate in chilli pepper (*Capsicum annum* L.). *Cytologia. China*, 65, 129-133.
<https://doi.org/10.1508/cytologia.65.129>
- Deepalakshmi, A. J. and Anandakumar, C. R. (2004). Creation of genetic variability for different polygenic traits in black gram (*Vigna mungo* L. Hepper) through induced mutagenesis. *Legume Res*, 27, 188-192. <https://worldveg.tind.io/record/33371>
- Devi, S. A. and Mullainathan, L. (2011). Physical and chemical mutagenesis for improvement of chili (*Capsicum annum* L.). *World Appl. Sci. J*, 15, 108-113.
[https://www.idosi.org/wasj/wasj15\(1\)11/16.pdf](https://www.idosi.org/wasj/wasj15(1)11/16.pdf)
- Devi, SA. & Selvakumar, G. (2013). Chemical mutagens induced alterations in chlorophyll mutants and flower development of chilli (*Capsicum annum* L.). *Int. J. Mod. Agric*, 2, 39-42. <https://doi.org/10.17762/ijma.v2i1.13>
- Emrani, S. N., Arzani, A., Saeidi, G. (2011). Seed viability, germination and seedling growth of canola (*Brassica napus* L.) as influenced by chemical mutagens. *African Journal of Biotechnology*, 10(59), 12602-12613. <https://doi.org/10.5897/AJB11.329>
- Mohd Rafiq Wani; Samiullah Khan; Mohammad Imran Kozgar (2011). Induced chlorophyll mutations. I. Mutagenic effectiveness and efficiency of EMS, HZ and SA in mungbean. *Frontiers of Agriculture in China*, 5(4), 514–518. <https://doi.org/10.1007/s11703-011-1126-y>
- Fridborg, I., Kuusk, S., Moritz, T., and Sundberg, E. (1999). The *Arabidopsis* dwarf mutant shiexhibits reduced gibberellin responses conferred by overexpression of a new putative zinc finger protein. *Plant Cell*, 11, 1019–1031. <https://doi.org/10.2307/3870795>
- Greene, E. A., Codomo C. A., Taylor, N. E., Henikoff, J. G., Till, B. J., Reynolds, S. H., Enns, L. C., Burtner, C., Johnson, J. E., Odden, A. R., Comai, L., Henikoff, S. (2003). Spectrum of chemically induced mutations from a large-scale reverse-genetic screen in *Arabidopsis*.

- Genetics*, 164(2), 731–740
- Girija, M. and Dhanavel, D. (2009). Mutagenic Effectiveness and Efficiency of Gamma Rays Ethyl Methane Sulphonate and Their Combined Treatments in Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp). *Global Journal of Molecular Sciences*, 4(2). 68-75.
[https://www.idosi.org/gjms/gjms4\(2\)/4.pdf](https://www.idosi.org/gjms/gjms4(2)/4.pdf)
- Hadebe, S. T., Modi, A. T., and Shimelis, H. A., (2017). Determination of optimum ethylmethanesulfonate conditions for chemical mutagenesis of selected vernonia (*Centropalus pauciflorus*) accessions. *South African Journal of Plant and Soil*, 34(4), 1–7.
<https://doi.org/10.1080/02571862.2017.1317851>
- Hohmann, U., Jacobs, G., Jung, C.,(2005). An EMS mutagenesis protocol for sugar beet and isolation of non-bolting mutants. *Plant breeding*, 124, 317–321.
<https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.2005.01126.x>
- ISTA, 2003. International Rules for Seed Testing. International Seed Testing Association, Basserdorf.
- Jabeen, N. and Mirza, M. (2004). Ethyl Methane Sulfonate Induces Morphological Mutations in *Capsicum annum*. *Int. J. Agri. Biol*, 6(2).
- Kadhim, S. M., Mohammed, M. T., Ahmed, O. M., Jassimand, A. M. N. (2016). Study of Some *Salvia Officinalis* L.(Sage) Components and Effect of Their Aqueous Extract on Antioxidant. *Int. J. Chem. Sci*, 14(2), 711-719.
- Kanakamanay, M. (2008). Induction of genetic variability in kacholam, *Kaempferia galanga* L. *Plant Mutation Reports*, 2, 4–6.
https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:40018449
- Ke, C., Guan, W., Bu, S., Li, X., Deng, Y., Wei, Z., Wu, W. and Zheng, Y. (2019) Determination of absorption dose in chemical mutagenesis in plants. *PLoS ONE*, 14(1), e0210596. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0210596>
- Krupa-Małkiewicz, M., A. Kosatka, B., Smolik and M. Sędzik. (2017). Induced mutations through EMS treatment and In vitro screening for salt tolerance plant of *Petunia x atkinsiana* D. *Don. Not. Bot. Hort. Agroboil.*, 45(1), 190-196. <https://doi.org/10.15835/nbha45110578>
- Kodahl N. (2020). Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.)-from lost crop of the Incas to part of the solution to global challenges?. *Planta*, 251(4), 80. <https://doi.org/10.1007/s00425-020-03377-3>
- Kumar, G. and Gupta, P. (2009). Induced karyo-morphological variations in three phenol-deviants of *Capsicum annum* L. *Turkish Journal of Biology*, 33, 123-128.
- Kumar, G., Kumar Rai, P. (2007). EMS induced karyomorphological variations in maize (*Zea mays* L.) inbreds. *Turkish Journal of Biology*, 31, 187–195.
<https://dergipark.org.tr/tr/pub/tbtkbiology/issue/11719/139938>
- Kumar, Brajesh, Kumari Smita, Alexis Debut, and Luis Cumbal. (2020). Andean Sacha Inchi (*Plukenetia Volubilis* L.) Leaf-Mediated Synthesis of Cu₂O Nanoparticles: A Low-Cost Approach. *Bioengineering*, 7(2), 54. <https://doi.org/10.3390/bioengineering7020054>
- Kurobane, I., H. Yamaguchi, C. Sander, and R. A. Nilan. (1979). The effects of gamma

- irradiation on the production and secretion of enzymes, and on enzyme activities in barley. Seeds. *Environmental and Experimental Botany*, 19, 75–84.
https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:10463093
- Larkin, P. J., Scowcroft W. (1981). Somaclonal variation—a novel source of variability from cell cultures for plant improvement. *Theor. Appl. Genet*, 60, 197–214.
<https://doi.org/10.1007/BF02342540>
- Lippert, L. F., Bergh, B. O., and Cook, A. A. (1964). Three variegated seedling mutants in the pepper. *J. Hered*, 55, 7893. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.jhered.a107298>
- Miller, P. D., Vaughn, K. C., and Wilson K.G., (1984). Ethyl methanesulfonate-induced chloroplast mutagenesis. *Crops J. Hered*, 75, 86-92.
<https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.jhered.a109900>
- Novak, F. J., Brunner, H. (1992). Plant breeding: induced mutation technology for crop improvement. *IAEA Bull*, 4, 25-33.
<https://www.iaea.org/sites/default/files/34405682533.pdf>
- Padma, A, and Reddy, G. M. (1977). Genetic behavior of five induced dwarf mutants in an Indica rice cultivar. *Crop Sci*, 17, 860-863. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US19780288412>
- Prashant Yadav; Meena, H. S., Meena, P.D., Arun Kumar, Riteka Gupta, Jambhulkar, S., Reema Rani and Dhiraj Singh. (2015). Determination of LD50 of ethyl methanesulfonate (EMS) for induction of mutations in rapeseed-mustard. *Journal of Oilseed Brassica*, 7, (1), 77-82.
<http://srmr.org.in/ojs/index.php/job/article/view/33>
- Porch, T. G, Blair, M. W, Lariguet, P., Galeano, C., Pankhurst, C. E, & Broughton, W. J. (2009). Generation of a Mutant Population for TILLING Common Bean Genotype BAT 93. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 134, 348.
<https://doi.org/10.21273/JASHS.134.3.348>
- Saba, N. and Mirza, B. (2002). Ethyl methane sulfonate induced genetic variability in *Lycopersicon esculentum*. *Int J. Agric. Biol*, 4, 89-92.
http://www.fspublishers.org/published_papers/92737_..pdf
- Serrat, X., Esteban, R., Guibourt, N. and Moysset, L. (2014). EMS mutagenesis in mature seed-derived rice calli as a new method for rapidly obtaining TILLING mutant populations. *Plant Met*, 10 (1), 5. <https://doi.org/10.1186/1746-4811-10-5>
- Shah, T. M., J. I. Mirza I, M. A. Haq and B.M. Atta. (2008). Induced genetic variability in chickpea (*Cicer arietinum* L.) II. Comparative mutagenic effectiveness and efficiency of physical and chemical mutagens. *Pak. J. Bot.*, 40(2), 605- 613.
[http://www.pakbs.org/pjbot/PDFs/40\(2\)/PJB40\(2\)605.pdf](http://www.pakbs.org/pjbot/PDFs/40(2)/PJB40(2)605.pdf)
- Snedecor, G. W., Cochran, W. G., (1967). *Statistical Methods* (6nd ed.). Iowa State University Press, Ames, IA.
- Wang Z. K., Huang Y. X., Miao Z. D., Hu Z. Y., Song X. Z., Liu, L. (2013). Identification and characterization of BGL11 (t), a novel gene regulating leaf-color mutation in rice (*Oryza sativa* L.). *Genes Genomics*, 35, 491–499. <https://doi.org/10.1007/s13258-013-0094-4>

- Wang, S., Zhu, F., Kakuda, Y., (2018): Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.): Nutritional composition, biological activity, and uses. *Food Chem*, 265, 316-328. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.05.055>
- Webster, G. L. (1994). Classification of the Euphorbiaceae. *Ann Mo Bot Gard*. 1994;81:3–32.
- Wu, Z., Zhang, X., He, B., Diao, L., Sheng, S., Wang, J., Guo, X., Su, N., Wang, L., Jiang, L., Wang, C., Zhai, H., & Wan, J. (2007). A Chlorophyll-Deficient Rice Mutant with Impaired Chlorophyllide Esterification in Chlorophyll Biosynthesis. *Plant physiology*, 145, 29-40. <https://doi.org/10.1104/pp.107.100321>
- Xu, T., Bian, N., Wen, M., Xiao, J., Yuan, C., Cao, A., Zhang, S., Wang, X. and Wang, H. (2017) Characterization of a common wheat (*Triticum aestivum* L.) high-tillering dwarf mutant. *Theor. Appl. Genet*, 130(3), 483–494. <https://doi.org/10.1007/s00122-016-2828-6>

Financiamiento

Instituto de Investigación y Desarrollo de la Universidad Nacional de la San Martín (UNSM-T), al Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica (CONCYTEC), en el marco del PROYECTO N° 187-2015-FONDECYT por el financiamiento y acompañamiento en la ejecución de la presente investigación.

Conflicto de intereses

El presente artículo no presenta conflicto de intereses.

Contribución de autores

Corazon- Guivin, Mike: Asesoramiento, planificación, conducción y redacción del manuscrito.

Arévalo-Rojas, Manuel: Apoyo en la conducción del experimento y revisión del manuscrito

Acosta-Córdoba, Ronny: Apoyo en la conducción del experimento y evaluaciones.

Chirinos-Hinojosa Danny: Apoyo en la redacción del manuscrito.

Valverde-Iparraguirre, Jorge: Procesamiento de los resultados y revisión del manuscrito.

Ruiz-Sánchez, María: Procesamiento de los resultados y revisión del manuscrito.

Cerna-Mendoza, Agustín: Procesamiento de los resultados y revisión del manuscrito.

Guerrero-Abad, Juan: Planificación del experimento y revisión del manuscrito.

Artículo original / Original article

Secador solar tipo túnel con microclima auto controlado para Café (*Coffea arabica*) Honey de alto valor en taza

Tunnel type solar dryer with self-controlled microclimate for Coffee (*Coffea arabica*) Honey of high value in cup

Dávila-Guamuro, Jhon  0000-0001-6201-6663¹; Llanos-Pérez, Jossy  0000-0002-5031-6631¹; Cabanillas-Pardo, Lenin  0000-0002-1059-8064¹

¹ProInnovate, Perú

✉ jhond9013@gmail.com

Recibido: 27/10/2021;

Aceptado: 29/11/2021;

Publicado: 20/01/2022

Resumen: Perú a nivel mundial es referente en comercialización de cafés especiales y de taza limpia aplicando comercio justo y tiene la variedad Honey cuyas características organolépticas son de alta demanda. El objetivo fue diseñar y construir un secador solar tipo túnel con microclima auto controlado para cafés Honey de alto valor en taza en la provincia de Moyobamba. Para ello se evaluaron diferentes diseños que incorporen elementos electrónicos con capacidad de calefacción de aire utilizando energía solar y extractores de humedad con estructuras metálicas para remoción de forma automática cada 20 min en el que se hicieron experimentos de secado a diferentes temperatura y tiempo de granos de café Honey. Se construyó un prototipo de secador en forma geométrica de bóveda como elemento constructivo superficial, con bandejas para secado del café a temperaturas máximas de 35 °C con remoción del grano cada 20 min en cuyas instalaciones se logró obtener granos de café Honey con humedad entre 12% a 14% cuyas muestras luego de procesadas obtuvieron en promedio 82 puntos en taza. El dispositivo ha cumplido su propósito de secado del café Honey en condiciones asépticas, automáticas y controladas para obtener café Honey con calidad de taza limpia.

Palabras clave: calidad; prototipo; secado; sensorial; taza limpia

Abstract: Peru is a world benchmark in the commercialization of specialty and clean cup coffees applying fair trade and has the Honey variety whose organoleptic characteristics make it in high demand. The objective was to design and build a tunnel-type solar dryer with a self-controlled microclimate for high value cup Honey coffees in the province of Moyobamba. For this, we evaluated different designs that incorporate electronic elements with air heating capacity using solar energy and moisture extractors with metal structures for automatic removal every 20 minutes in which we made drying experiments at different temperature and time with grains of Honey coffee. We built a dryer prototype in a geometric vault shape as a surface constructive element; with trays for drying the coffee at maximum temperatures of 35 °C with removal of the bean every 20 minutes in whose facilities has been possible to obtain Honey coffee beans with humidity between 12% to 14% whose samples after being processed obtained an average of 82 points in cup. The device has served its purpose of drying Honey coffee in aseptic, automatic and controlled conditions to obtain Honey coffee with clean cup quality.

Keywords: quality; prototype; drying; sensory; clean cup

Cómo citar / Citation: Dávila-Guamuro, J., Llanos-Pérez, J., & Cabanillas-Pardo, L. (2022). Secador solar tipo túnel con microclima auto controlado para Café (*Coffea arabica*) Honey de alto valor en taza. *Revista agrotecnológica amazónica*, 2(1), e227. <https://doi.org/10.51252/raa.v2i1.227>

I. Introducción

PERÚ es un referente a nivel mundial de cafés especiales, además ocupa el 2do lugar a nivel mundial como productor y exportador de café orgánico y es el primer proveedor de EE.UU. de café con el sello de Fair Trade (comercio justo) abarcando el 25% del nicho de mercado (Estevez et al., 2018), se ubica entre los Top Ten como productor/exportador de café a nivel mundial según la Organización Internacional del Café (ICO) (International Coffee Organization, 2021). La exportación de Café Grano en el 2017 alcanzó los U\$ 694 millones a un precio promedio de U\$ 2.89 kilo, las divisas recibidas por el café peruano representaron un incremento de 2,27% a lo registrado en el mismo período de 2016 y su consumo per cápita es de 850 gr., habiendo incrementado en un 30% en los últimos 4 años (Díaz Vargas & Carmen Willems, 2017). Se estima que el negocio del café siga la misma ruta al crecimiento de la gastronomía (Arias Escobar et al., 2017).

De la misma manera la demanda por cafés especiales como el Honey ha crecido en un 11% los dos últimos años, nuestro país exportó 10 container de café el año 2016, frente a una demanda dando motivación de ofertar este tipo café; según fuentes Wall Street: Starbucks en convenio con NESTLE tienen una oferta de alrededor de 2 millones de quintales de cafés especiales (entre ellos café Honey) con tasas superiores a 83 puntos SCAA.

Según las informaciones estadísticas de mercado que el consumo de cafés con tasas superiores a 84 puntos va en aumento en un 10% del respecto del año anterior (International Coffee Organization, 2021). El año 2016 nuestro país exportó 5,198,911, y el año 2017 se exportó más de 6 millones de quintales de café, el cual los destinos son USA y EUROPA, del cual el mercado Alemán es el segundo después USA en preferencia, por lo que favorece a la economía nacional con representación en valor de 800 millones de dólares, el cual motiva cada día a nuestro asociados en mejorar su producción y calidad sensorial de grano.

Apecam es una organización de 207 agricultores asociados, ubicados en una de las mejores zonas cafetaleras del Valle del Alto Mayo con plantaciones que se ubican entre los 1200 a 1800 msnm, que se dedican a la producción de café. Acopian y comercializan cafés certificados o convencionales de acuerdo al requerimiento. Cuenta con certificaciones de comercio justo y orgánico (Márquez Romero et al., 2016), sin embargo, los problemas en cuanto a infraestructura para los diferentes procesos y especialmente el de secado, impide escalar la producción de cafés especiales en mayores volúmenes repercutiendo en su productividad. Su proceso de secado hace uso intensivo y excesivo de mano de obra.

El proceso convencional usado, que requiere entre 8 a 10 días, para obtener café Honey consiste en rebalsar el café cerezo, despulpar y secarlo a sol al aire libre en mantas de polipropileno, punto crítico pues 60% de la producción se deteriora, esencialmente la calidad sensorial que llega solo a 84 siendo la exigencia superar los 85 puntos. Para ello se han evaluado tecnologías de secado que usan dispositivos electro mecánicos y electrónicos para la remoción y medición de la humedad del grano como los de Barrera et al. (2019), Chunshan et al. (2016) y Guevara-Sánchez et al. (2019), así como la incorporación de ventilación controlada de aire caliente en los diferentes estadios del proceso como Chunshan et al. (2016).

Los productores no cuentan con protocolos con estándares definidos para el secado de cafés proveniente de procesos Honey repercutiendo la calidad sensorial (Rodríguez et al., 2020),

lo realizan de forma convencional aprovechando los rayos solares, cuya radiación es indistinto cada día (Kaveh et al., 2021), por ejemplo los cafés cultivados en las partes bajas (800 msnm - 1100 msnm) el secado de grano es más rápido (entre 8 a 12 días) que el café cultivado en las partes de mayor altitud (mayor a 1100 msnm) el secado es más prolongada (mayor a 12 días) por cual el grano es de mayor consistencia y densidad, por lo que se requiere estandarizar el proceso para cada nivel altitudinal (Barrera et al., 2019)(Guevara-Sánchez et al., 2019). Por otro lado, el mucílago representa 15% del peso fresco de café cerezo, en el despulpado se elimina cerca del 50%; sin embargo, aún es bastante mucílago que se queda en el grano, que si no llevamos un manejo eficiente de secado este tiende a fermentarse si no se seca en condiciones de temperatura y ventilación de manera correcta.

Al no manejar de forma eficiente los procesos de post cosecha principalmente el secado para el caso de cafés Honey (Rodríguez et al., 2020), las potencialidades de calidad de grano se ven afectadas y disminuidas, no logrando superar los 84 puntos de calidad de taza (Specialty Coffee Association, 2003). El proceso de secado sin control de tiempo, ventilación y temperatura (Larasati et al., 2018), dificulta a la cooperativa obtener cafés con altas valoraciones en taza (calidad sensorial) y atributos diferenciados catalogados como de especialidad (Borém et al., 2013), el cual limita su acceso a nichos de mercado con mayores volúmenes al esperado para lograr un poder de negociación.

El objetivo del proyecto es diseñar y construir un prototipo de secador solar tipo túnel con microclima auto controlado para mejorar el proceso de secado con tecnología de termocontrol y aprovechamiento térmico para obtener calidad de los granos para cafés Honey de alta calidad en taza en la provincia de Moyobamba.

2. Materiales y métodos

La APECAM, cuenta con un centro de acopio de café de más de 1,000 m², con infraestructura de secado integrada por guardiolas rotatorias para los cafés lavados certificados y convencionales producidos por sus asociados ubicado en el distrito de Soritor, provincia de Moyobamba en la región San Martín. Así mismo, cuentan con un camión de 10 TM con el que organizan el acopio desde campo hacia el almacén central, y personal técnico especializado. Así mismo sus asociados cuentan en gran porcentaje con infraestructura de beneficio y post cosecha para procesos de café lavado.

Construcción del prototipo

Para la construcción del prototipo se evaluaron varias alternativas de secado basado en energía solar (Larasati et al., 2018) y colección de aire temperado (Adonis & Khan, 2004) como también el de Prada et al. (2019). Así mismo revisamos modelados dinámicos de secadores de granos de café (Zuluaga-Bedoya & Gómez, 2015) y el clasificador basado en contenido de humedad de (Alibayan et al., 2019).

Inicialmente se ha realizado la limpieza de 48m² de terreno, se instalaron y ensamblaron una estructura metálica y las bandejas de secado donde se esparcirá el café Honey para secado. También se incluyeron obras de concreto simple y la habilitación de un techo con la colocación de planchas de prolipropileno unidas con H y utilizando silicona para pegar las uniones y quedar selladas según la **Figura 1**.

El diseño planteado es con tecnología tipo parabólico y con sistema de ductos de entrada de aire y evacuación de humedad y con el sistema de remoción automatizado (Bolaños et al., 2018).

Dentro de las actividades del proyecto se ha programado la mejora y acondicionamiento de áreas de trabajo para la construcción del dispositivo.

El sistema capta el calor térmico del sol que se almacena en el invernadero con rangos de temperatura de entre 30 a 39° C todo el día, a través de un sistema de ductos elimina la humedad resultante que se miden mediante sensores de humedad relativa del entorno del secador y temperatura para activar el colector solar del aire.

Recolección transporte y almacenamiento de los frutos

La recolección se realizó en los caseríos Los Claveles y Jericó del distrito de Soritor, dos muestras por zona. Se determinó la madurez según su genotipo y la intensidad de la coloración separando manualmente los frutos maduros de los verdes, pintones, sobre maduros y secos. Para la movilización no se arrumaron los frutos por más de tres horas, se evitó la presencia de animales y limpieza del lugar eliminando contaminantes físicos y químicos. Evitamos que el café cosechado se contamine con hongos o bacterias (contaminantes biológicos) impidiendo contacto con el suelo. Las personas encargadas del procesamiento se encuentran en buen estado de salud.

Clasificación del café cosechado

Se clasificaron por densidad separando frutos maduros del resto utilizando tanques con agua limpia donde se deposita el café cosechado, se agita hasta que los flotantes (frutos vanos, tiernos, secos, basura, hojas y palos) sean retirados manualmente usando un tamiz. Continuamos con el proceso de beneficio con los frutos maduros que, por su densidad, quedaron asentados en el fondo.

Beneficiado, secado y almacenamiento del café

Utilizamos el beneficio semi húmedo – Honey, los frutos maduros son despulpados y secados con el mucílago adherido al grano (Rodríguez et al., 2020). Utilizamos el prototipo construido, esparciendo los granos en capas delgadas de 3 cm y removiendo cada 20 minutos a temperaturas máximas de 35 °C y mínimas de 20 °C controladas con colectores de aire a base de energía solar evitando mezclar granos con diferente contenido de humedad. Se realizó monitoreo con el software del prototipo (da Costa et al., 2021). La clasificación antes del despulpado y el secado son las etapas importantes en la calidad final para que presente atributos sensoriales dulces y frutales, conservando el nivel de acidez para ser comercialmente bien valorado. Las muestras humedad entre 12% a 14% se dejaron en reposo en parihuelas de madera separadas de la pared, con una altura entre 10 y 15 cm del suelo durante una semana en una bodega seca y ventilada, con temperatura menor a 20°C y humedad relativa del 65% al 70% para evitar rehumedecimiento del producto (Sotelo-Valer et al., 2020). El almacén de café estuvo separado del centro de beneficio y cerca de la bodega se evitaron olores.

3. Resultados y discusión

Construcción del prototipo

Figura 1. Diseño en 3D con sus bandejas, sistemas de ductos de entradas de aire, colector solar y sistema de extracción de humedad.

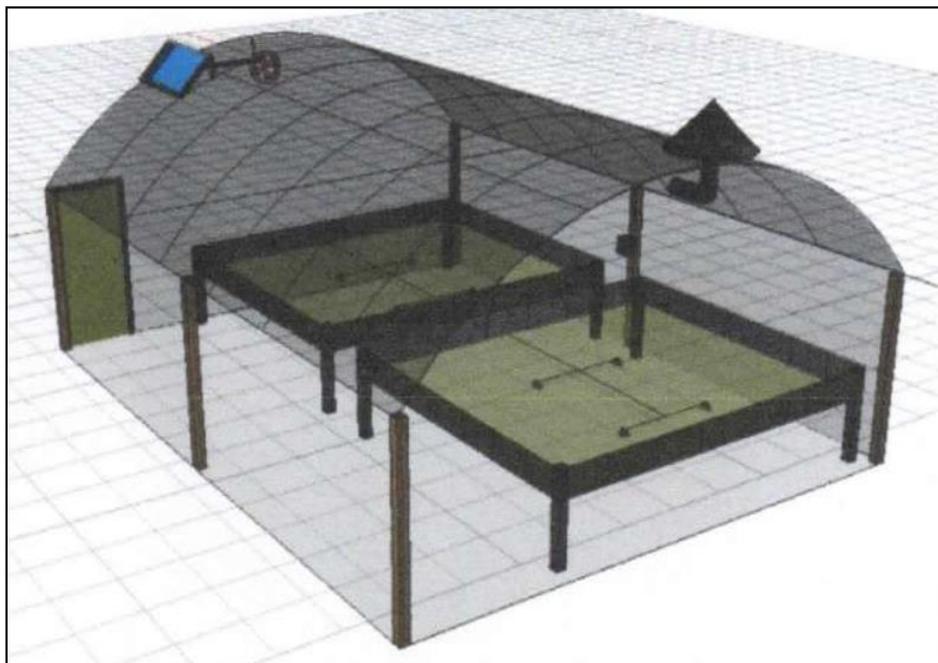


Figura 2. Diseño vista 3D del sistema de remoción lineal activado con panel de control.

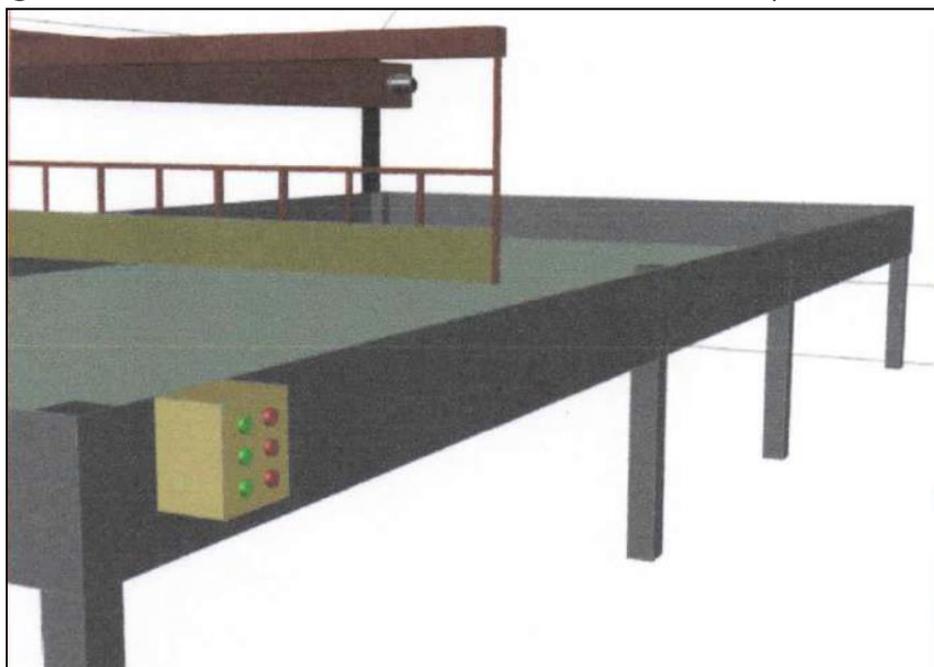
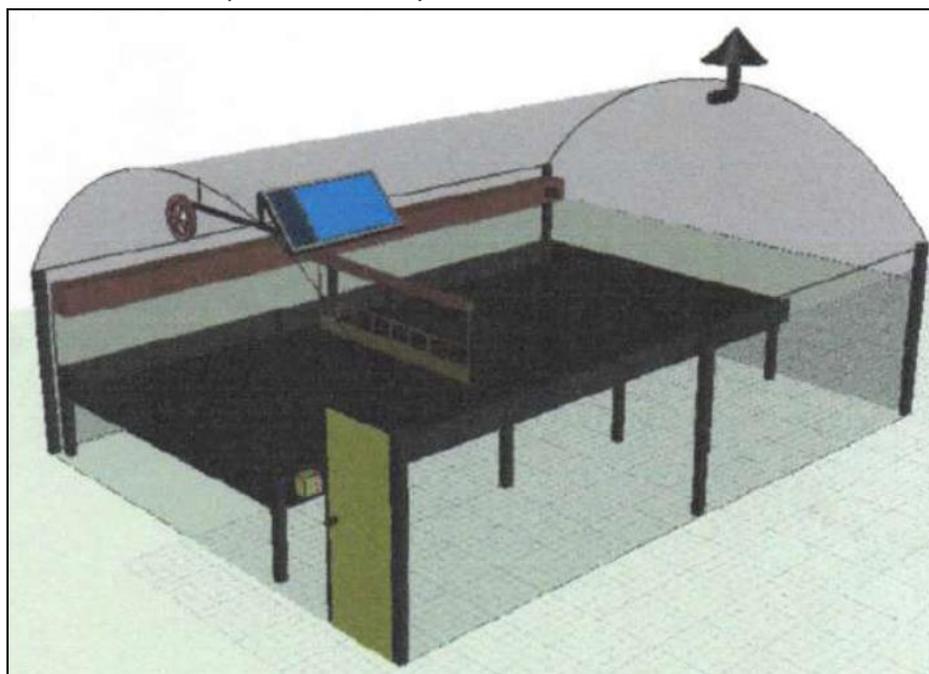


Figura 3. Diseño vista 3D donde se divisa el prototipo con su sistema de remoción lineal, activado panel de control y sistema de colector solar.



Efecto sobre la calidad sensorial

Se realizaron el análisis de calidad física y organoléptica de 40 muestras de café Honey; los resultados se presentan en la siguiente tabla.

Tabla I. Resultados de la evaluación sensorial, de rendimiento y humedad de 40 muestras de café Honey secadas con el prototipo.

Código	Zona cafetalera Los Claveles						Zona cafetalera Jericó					
	C1			C2			C1			C2		
	PT	R	H	PT	R	H	PT	R	H	PT	R	H
1	82.00	73.00	13.50	81.75	71.00	13.20	82.75	71.61	14.20	82.00	76.60	14.40
2	82.00	74.00	13.00	82.25	69.00	13.80	82.50	71.66	14.50	82.25	75.00	13.90
3	82.25	74.00	13.80	81.75	70.00	13.40	82.75	71.66	14.20	82.25	75.00	14.10
4	81.50	73.00	13.60	81.75	69.33	13.20	82.50	71.66	14.20	82.00	79.00	13.80
5	81.75	72.00	13.60	82.00	70.00	13.70	82.75	71.66	13.70	82.25	75.66	13.80
6	82.25	74.00	13.60	81.50	69.33	13.70	82.75	70.66	14.10	82.25	75.00	14.70
7	82.00	73.00	13.40	82.50	69.33	14.00	82.25	70.00	14.70	81.75	74.66	14.40
8	82.00	74.00	14.00	82.25	71.00	13.60	82.25	72.00	14.40	82.25	75.33	14.30
9	82.00	74.00	13.90	82.00	72.68	12.80	82.25	71.66	14.00	82.00	76.00	14.10
10	82.00	73.00	14.00	81.50	72.33	12.70	82.75	72.00	12.30	82.00	74.66	14.10
Prom.	81,98	73,40	13,64	81,93	70,40	13,41	82,55	71,46	14,03	82,10	75,69	14,16

Dónde: PT= Puntos en taza, R= rendimiento, H= humedad

En general, se puede apreciar que la zona cafetalera de Jericó es superior en puntos en taza, rendimiento y humedad final lograda. Esto último sin embargo nos indica que la humedad final obtenida se encuentra ligeramente por encima del rango esperado de entre 12% a 14% de humedad como lo obtenido por Villegas-Santiago et al. (2020).

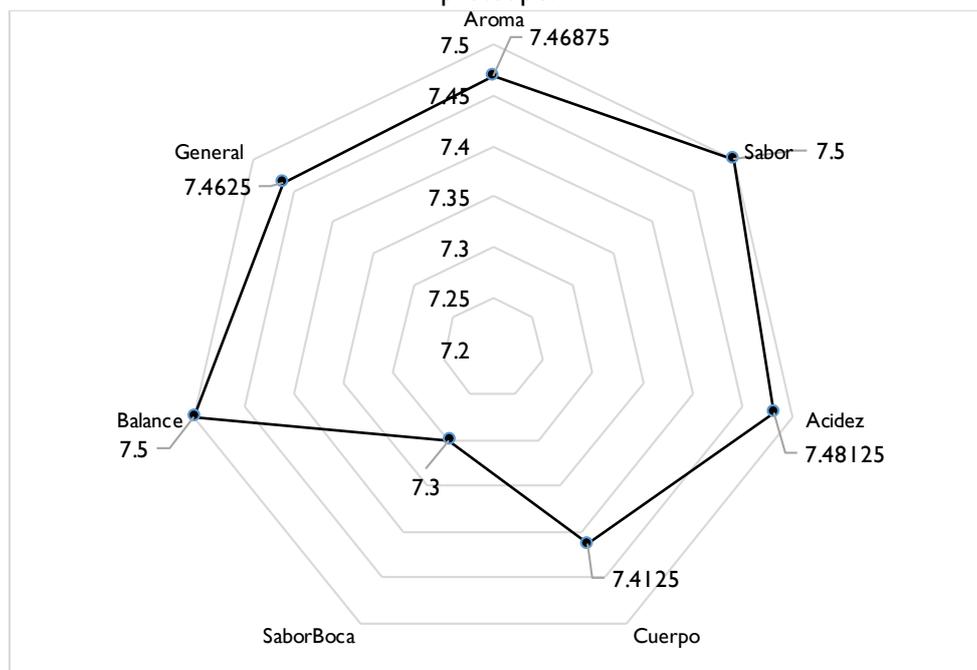
Tabla 1. Estadísticos principales resultantes de la toma de muestras

Estadístico	Calidad Taza	Rendimiento	Humedad
Media	82,1375	72,7370	13,8100
Error estándar de la media	0,05441	0,35944	0,08350
Mediana	82,1250	72,5050	13,8500
Moda	82,00 ^a	71,66 ^a	13,60 ^a
Desviación estándar	0,34414	2,27333	0,52808
Varianza	0,118	5,168	0,279
Rango	1,25	10,00	2,40
Mínimo	81,50	69,00	12,30
Máximo	82,75	79,00	14,70

a. Existen múltiples modos. Se muestra el valor más pequeño.

En Tabla 1 se aprecia que la calidad en taza es 82,14, siendo el mínimo 81,50 y máximo 82,75 considerándose entonces café limpio en taza. La humedad lograda promedio es de 13,81% estando dentro del rango esperado, con una desviación estándar y error estándar de la media reducida. Con respecto a lo obtenido por Guevara-Sánchez et al. (2019) quienes lograron valores en taza cercanos a 84.25, el estudio se aleja de esos resultados, asumimos esto a que el tratamiento de café Honey tiene características especiales relacionadas con el tratamiento postcosecha y otros aspectos como la altura de los sitios de donde se obtuvieron las muestras. Así mismo, respecto a la humedad, el dispositivo en promedio obtiene 13,81% que con respecto a Guevara-Sánchez et al. (2019) es similar.

A continuación, la Figura 4 refleja el promedio general de los valores obtenidos por el total de las 40 muestras de café Honey.

Figura 4. Valores promedio de las características organolépticas de las muestras de café secadas con el prototipo.

Según la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, en función a las características organolépticas medidas por el catador en general las muestras son jugosas, radiantes, alanceadas y frescas.

4. Conclusiones

El dispositivo construido cuenta con las condiciones necesarias para realizar el proceso de secado en la postcosecha bajo condiciones controladas a través de un mecanismo en invernadero en el que se analizaron 40 muestras, todas ellas no presentaron problemas de fermentación o secado; por lo cual el mecanismo de proceso, garantiza inocuidad y calidad básica para su oferta.

La mayor puntuación registrada en el análisis organoléptico fue de 82.75 puntos en taza, la cual presenta una taza con atributos sensoriales propios de los cafés especiales de alta calidad. Se determina que existe una mejor proyección en la puntuación de hasta 2 puntos, debido a que las muestras se fermentaron sólo 14 horas (se puede fermentar más tiempo en cerezo), el cual le resta calidad sensorial en el análisis. Los rangos de puntuación más altos en el análisis organoléptico se encuentran en el grupo 03, perteneciente a la zona cafetalera Jericó.

Las características principales de perfil de sabor en el grupo 03 predominan, las fragancias dulces a azúcar de caña, caramelo y chocolate, con sabores frutales a mandarina y naranja; con una acidez cítrica brillante, cuerpo suave y jugoso; en general un café con mucho balance; sabores y perfiles propios de cafés de proceso Honey de calidad competitiva. Los rangos de puntuación más bajos en el análisis organoléptico se encuentran en el grupo 01 y 02.

Agradecimientos

Al Programa Nacional de Desarrollo Tecnológico e Innovación - ProInnovate por el financiamiento del proyecto “Desarrollo de un prototipo de secador solar tipo túnel con microclima auto controlado para obtener cafés honey de alta calidad en taza en la provincia de Moyobamba” con Contrato N° 292-INNOVATEPERU-PIEC-2019.

Referencias bibliográficas

- Adonis, M., & Khan, M. T. E. (2004). Combined convective and infrared drying model for food applications. *2004 IEEE Africon. 7th Africon Conference in Africa, 2*, 1049-1052.
<https://doi.org/10.1109/AFRICON.2004.1406850>
- Alibayan, J. P. I., Bobadilla, I. R. C., Carnicer, M. K. V, Pascua, R. T., Teodosio, J. G., Arago, N. M., Tolentino, L. K. S., Fernandez, E. O., & Valenzuela, I. C. (2019). Green Coffee Bean Sorter and Corrector based on Moisture Content using Capacitive Method. *2019 IEEE 11th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment, and Management*, 1–4.
<https://doi.org/10.1109/HNICEM48295.2019.9073477>
- Arias Escobar, J. P., Zарtha Sossa, J. W., Hernández Zarta, R., & Gómez Garcés, J. (2017). Vigilancia tecnológica y análisis del ciclo de vida de la tecnología: Aplicación en productos generados a partir del café. *Revista Electrónica Gestión de Las Personas y Tecnologías*, 10(29),

- 78–94. <https://www.revistas.usach.cl/ojs/index.php/revistagpt/article/view/2961>
- Barrera, Ó., Gutiérrez, N., & Orozco-Blanco, D. (2019). Caracterización y diferenciación de cafés, a partir de espectroscopía infrarroja. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 22. <https://doi.org/10.31910/rudca.v22.n1.2019.1158>
- Bolaños, P. A., Céspedes U, S., & Cuéllar, J. C. (2018). Prototype of a wireless sensor network for monitoring the coffee drying process. *IV School of Systems and Networks*. 2178, 61–63. http://ceur-ws.org/Vol-2178/SSN2018_paper_19.pdf
- Borém, F. M., Ribeiro, F. C., Figueiredo, L. P., Giomo, G. S., Fortunato, V. A., & Isquierdo, E. P. (2013). Evaluation of the sensory and color quality of coffee beans stored in hermetic packaging. *Journal of Stored Products Research*, 52, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2012.08.004>
- Chunshan, L., Siyu, C., Wenfu, W., Rui, W., & Hao, Z. (2016). Experimental Study on Heat Transfer Effect of Far Infrared Convection Combined Drying. *2016 International Conference on Intelligent Transportation, Big Data & Smart City (ICITBS)*, 505–508. <https://doi.org/10.1109/ICITBS.2016.38>
- da Costa, F. O., Alvarenga, T. F., de Mesquita, T. V. C., & Petri Júnior, I. (2021). Hybrid drying of pulped arabica coffee cherry beans (*Coffea arabica* L. cv. Catuai) using a hexagonal microwave dryer designed by numerical simulations. *Journal of Food Process Engineering*, 44(5). <https://doi.org/10.1111/jfpe.13666>
- Díaz Vargas, C., & Carmen Willems, M. (2017). *Línea base del sector café en el Perú*. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo – PNUD.
- Estevez, C. L., Bhat, M. G., & Bray, D. B. (2018). Commodity chains, institutions, and domestic policies of organic and fair trade coffee in Bolivia. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 42(3), 299–327. <https://doi.org/10.1080/21683565.2017.1359737>
- Guevara-Sánchez, M., Bernales, C., Saavedra-Ramírez, J., & Owaki-López, J. (2019). Effect of altitude on coffee (*Coffea arabica* L.) quality: comparison between mechanical and traditional drying. *Scientia Agropecuaria*, 10(4), 505–510. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.04.07>
- International Coffee Organization, I. (2021). *Historical Data on the Global Coffee Trade*. International Coffee Organization. https://www.ico.org/new_historical.asp
- Kaveh, M., Abbaspour-Gilandeh, Y., Fatemi, H., & Chen, G. (2021). Impact of different drying methods on the drying time, energy, and quality of green peas. *Journal of Food Processing and Preservation*. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15503>
- Larasati, D. A., Kalandro, G. D., Fibriani, I., Hadi, W., Herdiyanto, D. W., & Sarwono, C. S. (2018). Optimization of Coffee Bean Drying Using Hybrid Solar Systems and Wi-Fi Data Communication. *2018 International Conference on Electrical Engineering and Computer Science (ICECOS)*, 29–32. <https://doi.org/10.1109/ICECOS.2018.8605196>
- Márquez Romero, F., Julca Otiniano, A., Canto Saenz, M., Soplín Villacorta, H., & Vargas Winstanley, S. (2016). Environmental sustainability in coffee farms after an organic certification process at la convencion (Cusco, Perú). *Ecología Aplicada*, 15(2), 125–132. <http://dx.doi.org/10.21704/rea.v15i2.752>

- Prada, Á., Vela, C. P., Bardález, G., & Saavedra, J. (2019). Effectiveness of a coffee drying process using solar dryers with a continuous air flow system powered by photovoltaic energy, in the San Martín region, Peru. *Informacion Tecnologica*, 30(6), 85–92. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000600085>
- Rodriguez, Y. F. B., Guzman, N. G., & Hernandez, J. G. (2020). Effect of the postharvest processing method on the biochemical composition and sensory analysis of arabica coffee. *Engenharia Agricola*, 40(2), 177–183. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-ENG.AGRIC.V40N2P177-183/2020>
- Specialty Coffee Association. (2003). *Protocols & Best Practices*. Specialty Coffee Association. <https://sca.coffee/research/protocols-best-practices>
- Sotelo-Valer, F., Huamán-Sayán, L., & Mamani-Arroyo, E. (2020). *Design and Implementation of an Automatic Coffee Dryer*. 69–73. <https://doi.org/10.1145/3429536.3429548>
- Villegas-Santiago, J., Gómez-Navarro, F., Domínguez-Niño, A., García-Alvarado, M. A., Salgado-Cervantes, M. A., & Luna-Solano, G. (2020). Effect of spray-drying conditions on moisture content and particle size of coffee extract in a prototype dryer. *Revista Mexicana de Ingeniera Quimica*, 19(2), 767–781. <https://doi.org/10.24275/rmiq/Proc767>
- Zuluaga-Bedoya, C., & Gómez, L. M. (2015). Dynamic modeling of coffee beans dryer. 2015 *IEEE 2nd Colombian Conference on Automatic Control (CCAC)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/CCAC.2015.7345214>

Financiamiento

Programa Nacional de Desarrollo Tecnológico e Innovación – ProInnovate que financió del proyecto “Desarrollo de un prototipo de secador solar tipo túnel con microclima auto controlado para obtener cafés honey de alta calidad en taza en la provincia de Moyobamba” con Contrato N° 292-INNOVATEPERU-PIECI-2019.

Conflicto de intereses

El artículo no presenta conflicto de intereses.

Contribución de autores

Dávila-Guamuro, Jhon: Coordinador general del subproyecto, encargado de su ejecución y del logro de los objetivos. Dio visto bueno y aprobó la versión final del artículo

Llanos-Pérez, Jossy: Asistente de investigación, responsable de la revisión de los informes de avance en la ejecución del proyecto. Dio visto bueno y aprobó la versión final del artículo.

Cabanillas-Pardo, Lenin: Responsable del diseño técnico del dispositivo. Dio visto bueno y aprobó la versión final del artículo.

Artículo original / Original article

Sistema automatizado de monitoreo de parámetros físico-químicos en producción de alevines Gamitana (*Colossoma macropomum*)

Automated monitoring system of physicochemical parameters in production of Gamitana fingerlings (*Colossoma macropomum*)

García-Castro, Juan  0000-0002-8890-8800¹; Ascón-Dionicio, Gilberto  0000-0002-5554-4262¹

¹Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto, Perú

✉ jcgarcia@unsm.edu.pe

Recibido: 29/10/2021;

Aceptado: 30/11/2021;

Publicado: 20/01/2022

Resumen: La acuicultura es fuente de producción de alimentos con alto valor nutricional, además de ser una actividad económica generadora de empleo e ingresos; en Perú es una alternativa importante para el desarrollo económico y social, sin embargo, es poco tecnificada. Frente a ello, el propósito fue disminuir la tasa de mortalidad de Gamitana durante los diez primeros días de vida en el proceso de reproducción artificial con la implementación de un sistema de control de los parámetros físico-químicos del agua en el laboratorio de una estación pesquera. Para tal efecto, se empleó un estudio aplicado de desarrollo tecnológico dividido en tres componentes: 1) análisis del proceso de reproducción artificial del *Colossoma macropomum*; 2) diseño e implementación de un sistema de medición y control de los parámetros físico-químicos del agua en el laboratorio de reproducción artificial y 3) medición de los parámetros físicos químicos del agua y la tasa de mortalidad de en los diez primeros días de vida del *Colossoma macropomum* con y sin sistema automatizado de control. Obteniéndose análisis de los procesos productivos, para luego diseñar el sistema de control de los parámetros del agua con el uso de sensores y microcontroladores (arduino), lográndose así disminuir la tasa de mortalidad de los alevines en un 21.7%.

Palabras clave: mortalidad; parámetros del agua; reproducción artificial; sistema de control

Abstract: Aquaculture is a source of food production with high nutritional value, in addition to being an economic activity that generates employment and income; In Peru, it is an important alternative for economic and social development, however, it is low-tech. Against this, the purpose was to reduce the mortality rate of Gamitana during the first ten days of life in the artificial reproduction process with the implementation of a control system of the physico-chemical parameters of the water in the laboratory of a fishing station. . For this purpose, an applied study of technological development was used divided into three components: 1) analysis of the artificial reproduction process of *Colossoma macropomum*; 2) design and implementation of a system for measuring and controlling the physical-chemical parameters of water in the artificial reproduction laboratory and 3) measurement of the physical-chemical parameters of water and the mortality rate in the first ten days of life *Colossoma macropomum* with and without automated control system. Obtaining analysis of the production processes, to then design the control system of the water parameters with the use of sensors and microcontrollers (Arduino), thus reducing the mortality rate of the fingerlings by 21.7%.

Keywords: mortality; water parameters; artificial reproduction; control system

Cómo citar / Citation: García-Castro, J. & Ascón-Dionicio, G. (2022). Sistema automatizado de monitoreo de parámetros físico-químicos en producción de alevines Gamitana (*Colossoma macropomum*). *Revista agrotecnológica amazónica*, 2(1), e240. <https://doi.org/10.51252/raa.v2i1.240>

I. Introducción

La acuicultura a nivel mundial tiene una importante relevancia, debido a que es una fuente de producción de alimento de alto valor nutricional por lo que se ha convertido en una actividad económica generadora de empleo e ingresos (Sánchez Calle et al., 2021). La acuicultura continental de peces de escama, el tipo de operación acuícola más habitual en el mundo, supuso el 65% del incremento de la producción pesquera en el período 2005-2014. El cultivo continental de peces de escama en estanques de tierra es, con mucho, la práctica acuícola que más contribuye a la seguridad alimentaria y la nutrición en los países en desarrollo (FAO, 2016).

En ese contexto, para la Región San Martín - Perú, la acuicultura se ha convertido en una alternativa para el desarrollo económico y social de la población en el marco de las políticas regionales, permitiendo la generación de empleo y el incremento de los niveles de ingresos; además genera oportunidades para mejorar la calidad de vida y puede integrarse con otras actividades como la agricultura; sin embargo, independiente de quien lo practique (grandes, medianos o pequeños productores), la acuicultura promueve la inclusión económica y social de manera sostenible (DIREPRO, 2014).

La Gamitana es el pez más representativo entre los peces escamosos del río Amazonas y es muy demandado por su carne, teniendo una mayor importancia económica entre las especies del género *Colossoma*, aportando la proteína animal a los habitantes de la Amazonía peruana (FONDEPES, 2004).

De acuerdo con Alvan-Aguilar et al. (2021), la acuicultura es el cultivo de organismos acuáticos en condiciones controladas o semi controlados, donde la calidad del agua es esencial para el desarrollo de las especies. Los parámetros que se toman en cuenta para determinar la calidad del agua son: temperatura, turbidez, transparencia, oxígeno disuelto, dióxido de carbono, pH, alcalinidad, dureza, amonio, nitritos NO₂, nitratos NO₃.

Entre las fases de la producción de alevinos de Gamitana luego del desove, la etapa de mayor pertinencia se da durante los diez primeros días de vida (Curonisy Velarde et al., 2018). Por lo tanto, existe la necesidad de cuidados especiales para minimizar la mortalidad que actualmente en algunos casos sobre pasa el 50% dado a los cambios bruscos de los parámetros físico-químicos del agua como la temperatura, oxígeno, pH, NH₄ y CO₂.

En el laboratorio de producción de alevinos de la Estación Pesquera Ahuashiyacu (EPA), espacio geográfico del presente estudio, se ha identificado la inexistencia de control de los parámetros físico-químicos del agua, por el contrario, en los estanques pretéritos se evidenciaron algunas mediciones de las cuales se deduce que el 71.6% y 16.25% de los datos registrados en relación a la temperatura y pH estuvieron fuera de los rangos permisibles.

De este modo, la alta tasa de mortalidad de Gamitana, está relacionada directamente con el monitoreo y control permanente de los parámetros físico-químicos del agua, además con la manipulación durante el desarrollo embrionario.

Bajo este panorama, el artículo busca determinar como la construcción de un sistema automatizado de control de parámetros físicos-químicos del agua reduce la tasa de mortalidad del *Colossoma macropomum* en los diez primeros días de vida en el proceso de reproducción artificial.

2. Materiales y métodos

El estudio se realizó en el periodo agosto-diciembre del 2015, en el laboratorio de reproducción artificial de la EPA, ciudad de Tarapoto departamento de San Martín, con una ubicación geográfica de latitud: -6.48778 y longitud: -76.3597 6° 29' 16" Sur, 76° 21' 35" Oeste. Para el experimento se utilizaron los reproductores de la especie Gamitana (*Colossoma macropomum*) y los materiales electrónicos descritos a continuación (Tabla 1):

Tabla 1. Materiales electrónicos utilizados

Material	Descripción
Incubadoras del tipo Woynarovich	Funcionan con abastecimiento constante de agua, a fin de mantener los huevos en movimiento ya que de otro modo se adhieren entre si y mueren.
Plataforma Arduino Uno Rev3	Placa electrónica basada en el chip de Atmel ATmega328. Tiene 14 pines digitales de entrada / salida.
XBEE	Utiliza el protocolo IEEE 802.15.4 para comunicaciones punto a punto y punto a multipunto. Cuenta con una baja latencia de transmisión, bajo consumo energético y largo alcance.
Módulo convertor de voltaje de 5VDC/3VDC y viceversa	Los convertidores de voltaje bidireccional usados para la transmisión y recepción de datos entre el microcontrolador ATMEGA 328/128AP con el módulo XBEE.
Sensor pH	La Sonda de pH (potencial de hidrógeno) mide la actividad de los iones de hidrógeno en un líquido.
Sensor Oxígeno Disuelto	Una sonda galvánica de oxígeno disuelto consta de una membrana de PTFE, un ánodo bañado en un electrolito y un cátodo.
Sensor de Temperatura	El DS18B20 es un sensor digital de temperatura que utiliza el protocolo 1-Wire para comunicarse, este protocolo necesita solo un pin de datos para comunicarse y permite conectar más de un sensor en el mismo bus.

Asimismo, se emplearon los siguientes componente electrónicos: Microcontrolador ATMEGA 328P-UP (incluye Bootloader); cristal de cuarzo de 16 MHz; socket para circuito integrado 28 pines; memoria EEPROM 24LC256; regulador de voltaje de 5V 5.55; regulador de voltaje de 3.3 V 5.55; circuito impreso fibra de vidrio doble cara metalizado 10 cmx 11 cm aprox; antena WiFi de 2.4 GHz con codo de 90°; caja de plástico según medida Fuente de poder de 1 Amp 12 V; chip convertor USB serial; módulo de tres convertidores de voltaje bidireccional de 3.3 V a 5V y de 5 V a 3.3 V; adaptador convertor USB y serial.

Respecto a la metodología empleada, se utilizó el método descriptivo experimental basado en tres componentes:

2.1. Análisis del proceso de reproducción artificial

Este componente se dividió en dos etapas: 1) Identificación de proceso de producción, que consistió en indagar los procesos productivos de la reproducción artificial en la estación pesquera, para lo cual se realizó la investigación bibliográfica, consulta a los expertos de la estación pesquera Ahuashiyacu y trabajo de campo en la estación; y 2) Análisis de procesos, una vez reconocido los procesos se analizaron los procedimientos y se identificaron los principales parámetros de la calidad del agua de las incubadoras para el diseño de los instrumentos

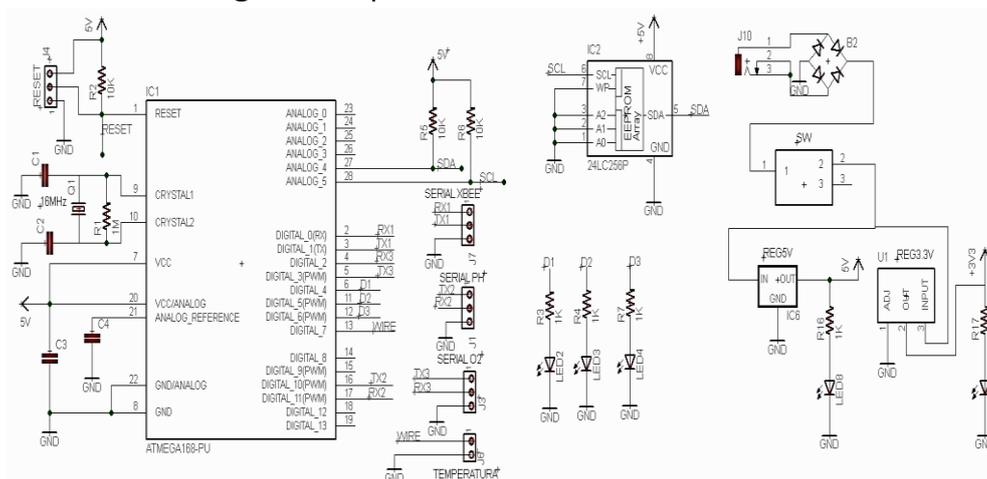
tecnológico para un mejor monitoreo y control de la producción de alevines en condiciones de laboratorio.

2.2. Diseño e implementación del sistema de medición y control de los parámetros físico-químicos

Se utilizó como elemento base el controlador Arduino. El nodo remoto tuvo por función adquirir los valores de los sensores de temperatura (T), Potencial de Hidrógeno (pH) y oxígeno disuelto (OD), así como también transmitir los datos de forma inalámbrica hacia el nodo concentrador, utilizando para ello el protocolo 802.15.4 o comercialmente denominado Zigbee. Dicho protocolo fue implementado en un transmisor/receptor XBEE. El nodo estuvo formado por los siguientes bloques (Figura 1):

- Bloque de energía.
- Bloque de control y administración de datos.
- Bloque de adquisición de datos de los tres sensores (T, pH y OD).
- Bloque de transmisión inalámbrica, formado por el XBEE en modo Router/Terminal.

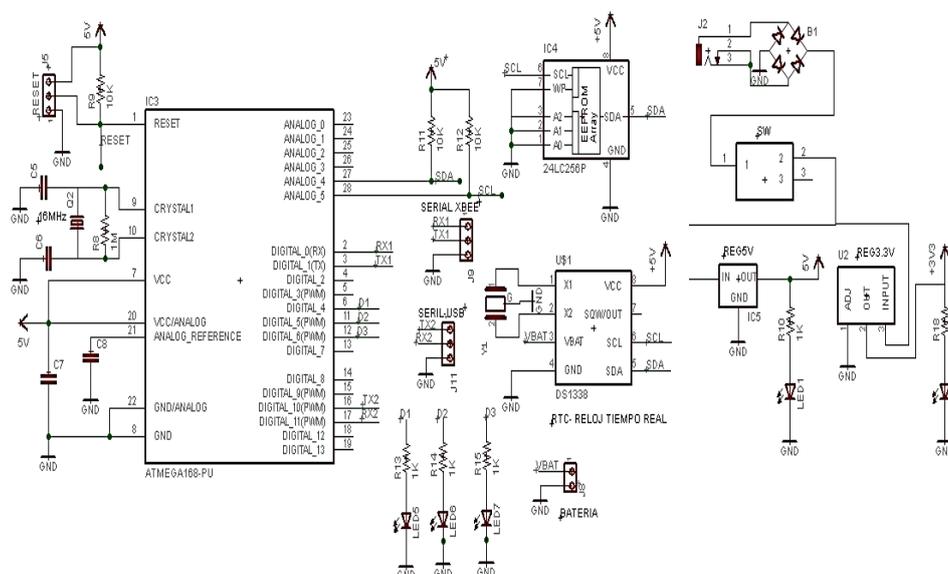
Figura 1. Esquema electrónico del nodo remoto.



En relación al nodo concentrador, tuvo por función recibir y acumular los valores de los parámetros físicos y químicos provenientes de los nodos remotos. Este se conformó por los siguientes bloques (Figura 2):

- Bloque de energía.
- Bloque de almacenamiento de datos en memoria EEPROM.
- Bloque del reloj de tiempo real – RTC.
- Bloque de comunicación por serial-USB.
- Bloque de transmisión inalámbrica.

Figura 2. Esquema electrónico del nodo concentrador.



El desarrollo del software de control se realizó en C++, lenguaje que soporta el micro controlador Arduino de la unidad concentradora de datos y de unidad remota o nodo de sensado. Posteriormente, se realizaron dos pruebas en el laboratorio de reproducción artificial, para finalmente implementar el sistema en las incubadoras.

2.3. Medición de los parámetros físico-químicos del agua y tasa de mortalidad

Con la implementación del sistema en el laboratorio de reproducción artificial de la EPA; se desarrolló el experimento en los laboratorios según los siguientes pasos: a) recolección de información, b) procesamiento de datos y c) validación de hipótesis.

Por otra parte, la investigación fue abordada por un Diseño Completamente Aleatorizado (DCA). Se realizaron tres replicas con dos tratamientos (grupo control y grupo experimental). Para el análisis de los datos se aplicó la estadística descriptiva e inferencial; además, se confeccionaron cuadros comparativos de estadígrafos con los resultados de los indicadores principales de la muestra antes y después, el mismo que permitió su medición de los cambios obtenidos en cuanto a su homogeneidad. Los datos contenidos fueron utilizados para la respectiva contrastación de la hipótesis, haciendo uso de la prueba estadística análisis de varianza, T de student.

3. Resultados y discusión

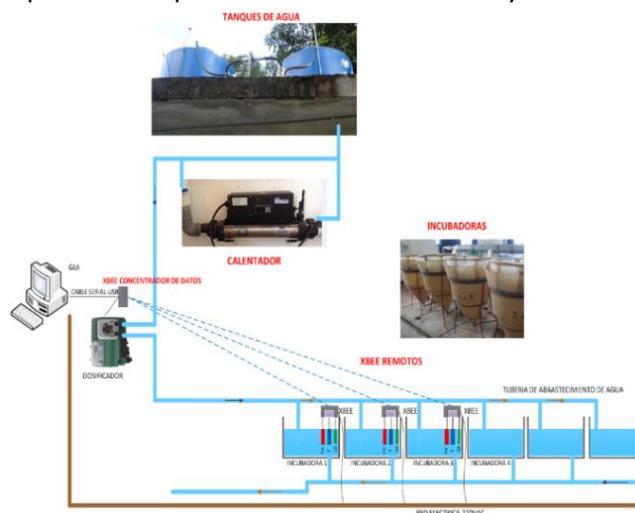
De la revisión bibliográfica de Verdi-Olivares et al. (2014), FONDEPES (2004), y la entrevista al director de la estación Biólogo Gilmer Raúl Montejó Sánchez, sobre los procesos productivos de la reproducción artificial en la estación pesquera, los protocolos de selección de reproductores para el tratamiento hormonal de Gamitana, con fines de inducción de la ovulación y desove, en condiciones controladas son coincidentes, obteniendo el siguiente diagrama de flujo de los procesos de reproducción artificial de larvas alevines (Figura 3).

Figura 3. Flujograma del proceso de reproducción artificial de larvas de Gamitana.

El sistema electrónico de monitoreo y control de los parámetros físico-químicos se conformó por una red de cuatro módulos XBEE formada por un coordinador (Nodo Concentrador) y tres routers (Nodos remotos). En la figura 4, se muestra su esquema en bloques. Cabe resaltar que poseyó dos tanques de agua como sistema de abastecimiento cuyo flujo o caudal fue de aproximadamente 1 000 l/h.

Luego, dicho caudal de agua pasó por un sistema calentador cuya temperatura fue regulada de forma manual mediante un teclado, lográndose tener un control máximo de 2 °C. Una vez temperada el agua, ingresó a 6 incubadoras con embriones de peces Gamitana, de los cuales tres se monitorearon electrónicamente por equipos remotos que incluyeron un microcontrolador ATMEGA 328/128AP, un transmisor XBEE en modo ROUTER y sensores de temperatura, pH y oxígeno disuelto.

Para equilibrar los cambios de pH del agua generada por los nitritos y nitratos se integró en el sistema un equipo dosificador que a través de una electroválvula y electrobomba logró dosificar el cambio de pH usando sustancias basadas en fosfatos o ácido clorhídricos.

Figura 4. Esquema en bloques del sistema de monitoreo y control de incubadoras.

De acuerdo a Montesinos Navarro (2013) se ha podido evidenciar las principales características de la tecnología de comunicación inalámbrica ZigBee, entre las que se ha destacado su sencillez y eficacia para el despliegue, configuración y administración de redes ad-hoc auto-configurables de bajo consumo, gran alcance, adaptabilidad frente a condiciones impredecibles y elevado número de nodos. Estas prestaciones convierten a ZigBee en una tecnología inalámbrica superior a otras alternativas como Wi-Fi.

El diseño y construcción del sistema al igual que la propuesta de (Navarro Pérez et al., 2013) persiguen los mismos objetivos del monitoreo, sin embargo, el procedimiento fue distinto. Se seleccionaron y caracterizaron los sensores para medir temperatura del agua, pH y oxígeno disuelto en el agua, obteniéndose las funciones de transferencia de cada sensor. Se elaboraron tarjetas electrónicas para la adquisición y el procesamiento de la información usando tecnología basada en datalogger y puerto de comunicaciones USB, para luego en un estanque mediano simular condiciones artificiales de estanque, a diferencia de nuestra propuesta que se implementó “in situ”, es decir en el laboratorio en condiciones reales, y se utilizó diferente tecnología.

La medición de los parámetros del agua se realizó en los diez días en intervalos de una hora cada uno, es decir, se obtuvieron 24 medidas por 10 días en tres replicas por dos tratamientos. Según el diseño propuesto, para mejor análisis de los datos obtenidos se calculó de la medida aritmética, desviación estándar y varianza, como se demuestran en la Tabla 2 y 3. En el grupo control con las condiciones habituales las mediciones de pH, temperatura y oxígeno disuelto, en promedio obtenidos no tuvieron variación significativa.

Tabla 2. Mediciones obtenidas antes y después del grupo experimental

N°	Medición antes			Medición después		
	pH	T	OD	pH	T	OD
1	6.999	25.066	6.23	7.699	26.115	8.132
2	7.199	25.010	6.792	7.806	26.223	8.225
3	6.732	24.825	7.003	7.705	26.221	8.250
4	5.997	25.246	6.954	7.701	26.253	8.407
5	7.536	24.828	6.883	7.807	26.131	8.207
6	7.059	24.568	7.000	7.780	25.928	8.191
7	7.404	24.073	6.057	7.689	25.586	8.258
8	7.516	24.711	5.902	7.576	25.624	8.208
9	7.422	24.739	5.691	7.226	25.663	8.171
10	7.182	24.522	6.187	7.352	25.647	8.216
Media	7.015	24.759	6.4699	7.634	25.939	8.233
Desv. Est.	0.464	0.328	0.507	0.196	0.281	0.074
Varianza	0.216	0.108	0.257	0.038	0.079	0.005

Tabla 3. Mediciones obtenidas antes y después del grupo control

N°	Medición antes			Medición después		
	pH	T	OD	pH	T	OD
1	6.999	25.066	6.23	6.999	25.066	6.23
2	7.199	25.010	6.792	7.199	25.010	6.792
3	6.732	24.825	7.003	6.732	24.825	7.003
4	5.997	25.246	6.954	5.997	25.246	6.954
5	7.536	24.828	6.883	7.536	24.822	6.883
6	7.059	24.568	7.00	7.059	24.568	7.00
7	7.404	24.073	6.057	7.404	24.073	6.057
8	7.516	24.711	5.902	7.516	24.711	5.902
9	7.422	24.739	5.691	7.422	24.739	5.691
10	7.182	24.522	6.187	7.182	24.522	6.187
Media	7.105	24.759	6.4699	7.105	24.759	6.469
Desv. Est.	0.464	0.328	0.507	0.464	0.328	0.507
Varianza	0.216	0.108	0.257	0.216	0.108	0.257

En la EPA se tuvo seis incubadoras de 210 l, para la presente investigación se decidió ocupar el total de incubadoras, tres para el grupo experimental y tres para el grupo control. Las reproductoras existentes presentaron un peso entre 4 Kg. a 5 Kg. Dependiendo de la calidad de alimento que han recibido los reproductores se obtiene en promedio 100 000 óvulos por kilogramo. Los datos obtenidos de las tres replicas con dos tratamientos, se muestran en las Tablas 4, 5 y 6 siguientes:

Tabla 4. Replicas en condiciones normales

N°	Cantidad	Huevos	N°	N°
Replicas	Óvulos	Fecundados	Larvas	Pos Larvas
1	240 000	192 000	134 400	67 200
2	240 000	180 000	117 000	58 500
3	240 000	187 200	163 200	81 600

Tabla 5. Replicas en condiciones controladas

N°	Cantidad	Huevos	N°	N°
Replicas	Óvulos	Fecundados	Larvas	Pos Larvas
1	240 000	157 440	1219 100	77 460
2	240 000	192 000	157 440	110 208
3	240 000	199 200	159 360	103 584

Tabla 6. Número de pos larvas en el grupo de control y grupo experimental

	Grupo control	Grupo experimental
1	67 200	77 460
2	58 500	110 208
3	81 600	103 584

La Tabla 7 muestra el análisis correspondiente a la medición ($O_2 - O_4$) para la comparación de la producción de pos larvas en condiciones normales y en condiciones controladas. Al aplicar la prueba T student, el valor de t calculada ($T_c = 2.268$) fue mayor al valor de t tabulada ($T_t = 2.219$), en la prueba unilateral de cola a la derecha, ubicándose en la región de rechazo. Por consiguiente, se rechazó la hipótesis nula, es decir, los resultados de la producción de pos larvas en el post test del grupo experimental son significativamente mayores a los del post test del

grupo control. Según este análisis la tasa de mortalidad de la especie Gamitana durante los diez primeros días de vida en reproducción artificial, disminuyó mediante el control automatizado de los parámetros físico-químicos del agua.

Tabla 7. Influencia del sistema automatizado en la supervivencia de pos larvas

Comparación entre grupos pre y post test del grupo experimental y grupo control				
Hipótesis	Nivel de significancia	T calculada	T tabulada	Decisión
H ₀ : $\mu_02 = \mu_01$ H ₁ : $\mu_02 > \mu_01$	5%	2.919	2.268	Rechaza H ₀ : $\mu_02 = \mu_04$

La veracidad de la hipótesis planteada permite inferir que es factible diseñar un prototipo capaz de registrar mediciones de los parámetros de la calidad del agua en un estanque tal cual lo sostienen los autores Rivera Herrera & Yopez Aroca (2015). Asimismo, se ha podido evidenciar que las variables físicas como son la temperatura, el pH y el oxígeno disuelto que intervienen en la tasa de mortalidad de los alevines de Gamitan, y que son perceptibles de medición por sensores, presentan una gran precisión en la medición de cada variable de acuerdo a los parámetros en condiciones de temperatura ambiente (Navarro Pérez et al., 2013).

4. Conclusiones

Se diseñó un sistema automatizado partiendo del análisis de los procesos de reproducción artificial, el sistema se constituyó por sensores, actuadores, nodo concentrador de sensores con base Arduino. La tasa de mortalidad en condiciones normales fue de 71.2%, mientras que con el uso del sistema de control la tasa pasó a 59.5%, es decir, con el uso del sistema se ha disminuido la tasa de mortalidad en un 21.7%.

Asimismo, se han medido los principales parámetros físicos químicos del agua de forma periódica y continua con el uso de sensores del sistema automatizado de los cuales se obtuvo que las mediciones de pH obtenidos presentaron diferencias significativas en el cálculo de la desviación estándar; en cuanto a la temperatura los datos obtenidos estuvieron por debajo del rango permitido, por lo que el actuador lo estabilizó en 25 °C; y el oxígeno disuelto se encontró sin variaciones significativas.

Referencias bibliográficas

- Alvan-Aguilar, M. A., Boullosa L., M. C., Valderrama C., S. A., Rodríguez Ch., L. A., Ruiz T., K. M., Ismiño O., R. A., & Chu-Koo, F. W. (2021). Evaluación de parámetros reproductivos de *Colossoma macropomum* "gamitana", en el Centro de Investigaciones Fernando Alcántara Bocanegra CIFAB-IIAP, Loreto, Perú. *Boletín Instituto Del Mar Del Perú*, 35(1), 134-142. <https://revistas.imarpe.gob.pe/index.php/boletin/article/view/297>
- Curonisy Velarde, Y., Ignacio Pastén, J., & Chong Chong, M. (2018). Proyecto de comercialización de la gamitana en Lima, Perú. *Industrial Data*, 21(2), 73-80. <https://doi.org/10.15381/idata.v21i2.15605>
- DIREPRO. (2014). *Plan Regional de Acuicultura de San Martín 2014 -2023. Ordenanza Regional N°024-2014-GRSM/CR*. Dirección Regional de la Producción de San Martín.
- FAO. (2016). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2016. Contribución a la seguridad*

- alimentaria y la nutrición para todos*. Roma. <https://www.fao.org/3/i5555s/i5555s.pdf>
- FONDEPES. (2004). *Manual de Cultivo de Gamitana*. Fondo Nacional de Desarrollo Pesquero. http://www2.produce.gob.pe/RepositorioAPS/3/jer/ACUISUBMENU4/manual_gamitana.pdf
- Montesinos Navarro, J. S. (2013). *Red de sensores auto-configurable mediante tecnología ZigBee y Arduino con monitorización por aplicación Android* [Universidad Politécnica de Cartagena]. <http://hdl.handle.net/10317/3678>
- Navarro Pérez, Á. A., Padilla Bejarano, J. B., & Prías Barragán, J. J. (2013). Construcción de un Sistema de Instrumentación para la Medición de la Temperatura, pH y Oxígeno Disuelto presentes en la Piscicultura bajo Condiciones de Estanque Artificial. *Scientia Et Technica*, 18(2), 401-408. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84929153017>
- Rivera Herrera, D. I., & Yepes Aroca, E. A. (2015). *Diseño e implementación de un prototipo para la medición de calidad del agua y control de la oxigenación en forma remota orientado a la producción acuícola*. [Universidad Politécnica Salesiana]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/10328>
- Sánchez Calle, J. E., Valles Coral, M. Á., & Gonzales Sánchez, P. A. (2021). Políticas promotoras de la tecnificación y su efecto en la productividad acuícola. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 22(3), e2100. https://doi.org/10.21930/rcta.vol22_num3_art:2100
- Verdi-Olivares, L., Alcántara-Bocanegra, F., Rodríguez-Chu, L., Chu-Koo, F., Ramírez-Arrarte, P., & Tello-Martín, S. (2014). Validación del Protocolo de Reproducción de *Colossoma macropomum*, *Piaractus brachypomus* y *Prochilodus nigricans* en Condiciones Controladas. *Ciencia Amazónica (Iquitos)*, 4(1), 54-59. <https://doi.org/10.22386/ca.v4i1.68>

Financiamiento

Universidad Nacional de San Martín mediante Resolución N° 138-2015-UNSM/CU-R/NLU.

Conflicto de intereses

El artículo no presenta conflicto de intereses.

Contribución de autores

García-Castro, Juan y Ascón-Dionicio, Gilberto: Investigadores y redactores del manuscrito. Ambos participaron en la conceptualización del estudio, aplicación de experimentos y procesamiento estadístico.

Artículo original / Original article

Prendimiento y crecimiento de injertos en plántones de guanábana (*Annona muricata* L.), en Satipo – Perú

Graft seizure and growth in soursop seedlings (*Annona muricata* L.), in Satipo - Peru

Alomia-Lucero, José  0000-0002-2081-0778¹; Atao-Surichanqui, Elisa  0000-0002-4367-6305¹; Erazo-Toscano, Elizabeth  0000-0002-6975-9483¹

¹Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Perú

✉ jalomia@uncp.edu.pe

Recibido: 25/10/2021;

Aceptado: 30/11/2021;

Publicado: 20/01/2022

Resumen: El objetivo fue evaluar el porcentaje de prendimiento y crecimiento de cuatro tipos de injerto (empalme, púa lateral, púa terminal y parche) de plántones de *Annona muricata* L. Se realizó un Diseño Completo al Azar con cuatro tratamientos y tres repeticiones, siendo el grupo de 20 plántones por unidad experimental, luego del injerto se evaluó a los 60 días las variables de prendimiento y crecimiento. Los resultados muestran diferencias significativas entre tratamientos a un alfa = 0,05, donde el injerto por empalme obtuvo un mayor porcentaje de prendimiento con 86,7%, seguido del injerto de púa lateral con 56,67%, consecutivamente con el injerto de púa central con 53,33% y el injerto de parche solo obtuvo un 32,67% de prendimiento respecto a los demás; asimismo en la evaluación de las mejores características de yemas está en el tipo de injerto por empalme con mayor diámetro de tallo con 21,2 mm, con mayor número de brotes alcanzando 3,13 brotes/planta, con mayor número de hojas alcanzando 7,8 hojas/planta y con mayor altura de brotes alcanzando 7,91%; el tipo de injerto púa lateral mostró mayor área foliar alcanzando un valor de 7,38 cm², seguido se encontró el injerto de púa central alcanzando 7,16 cm²; en la siguiente posición se encontró el injerto de empalme alcanzando 6,91 cm² y por último el injerto por parche con 5,73 cm². Respecto al diámetro de brotes no hubo diferencia significativa. Se recomienda usar el injerto por empalme para propagar este cultivo.

Palabras clave: brotes; diámetro; empalme; hojas; plántones

Abstract: The objective was to evaluate the percentage of seizure and growth of four types of graft (splice, lateral spike, terminal spike and patch) of *Annona muricata* L. seedlings. We carried out a Complete Random Design with four treatments and three repetitions, the group being of 20 seedlings per experimental unit, after grafting the seizure and growth variables were evaluated at 60 days. The results show significant statistical differences between treatments at alpha = 0.05, where the splice graft obtained a higher percentage of seizure with 86.7%, followed by the lateral spike graft with 56.67%, consecutively with the central spike graft with 53.33%. and the patch graft only obtained a grip of 32.67% compared to the others; Likewise, in the evaluation of the best characteristics of the buds, it is found in the type of splice graft with the largest diameter of the stem with 21.2 mm, with a greater number of shoots reaching 3.13 shoots / plant, with a greater number of buds leaves reaching 7, 8 leaves / plant and with greater height of bud reaching 7,91%; the type of lateral spike graft showed a larger leaf area reaching a value of 7.38 cm², followed by the central spike graft which reached 7.16 cm²; in the following position it was found that the splice graft reached 6.91 cm² and finally the graft per patch with 5.73 cm². Regarding the diameter of the shoots, there was no statistically significant difference. We recommended splicing grafting to propagate this crop.

Keywords: shoots; diameter; splice; leaves; seedlings

Cómo citar / Citation: Alomia-Lucero, J., Atao-Surichanqui, E. & Erazo-Toscano, E. (2022). Prendimiento y crecimiento de injertos en plántones de guanábana (*Annona muricata* L.), Satipo – Perú. *Revista agrotecnológica amazónica*, 2(1), e252. <https://doi.org/10.51252/raa.v2i1.252>

I. Introducción

El reciente interés por el cultivo de guanábana (*Annona muricata* L.) como árbol frutal de la familia de las anonáceas en la selva central del Perú ha incrementado por sus propiedades en la salud, de modo que la demanda en el mercado también ha crecido; de allí la necesidad de mejorar la producción y productividad del cultivo y la necesidad de contar con nuevas investigaciones sobre todo en la propagación por injertos. Las condiciones de clima y suelo favorecen la obtención de frutos grandes. En ese contexto, una de las principales limitantes en este cultivo ha sido la propagación por semilla como método tradicional, que ha dado como resultado mala formación del árbol, alta incidencia de plagas, enfermedades y baja producción. Frente a ello, la propagación vegetativa por injertos ha sido una alternativa, ya que ha garantizado una mayor productividad por la resistencia a plagas y enfermedades y facilitando el desarrollo de las labores culturales. Todo esto repercute en mejores ingresos económicos para los productores como señala Vidal (2002).

El injerto es la técnica de multiplicación más practicada en la fruticultura que viene a ser la unión que se va a desarrollar entre dos partes vegetales que van a llegar a unirse, siempre dependiendo una de otra. Una de las partes va a conformar el sistema radicular que se va a denominar portainjerto o patrón, la otra parte quedará en la parte aérea de la planta denominado injerto; que puede ser una yema o una varetta según Azcón-Bieto & Talón (2008).

Sobre los injertos Ruiz Bello (2011) indica que la unión del injerto de guanábana involucra procesos formativos de pegado que incluyen la muerte de células en la intersección de los tejidos, adhesión de componentes del injerto, formación de tejido tipo callo, puente cambial, diferenciación de tejido tipo callo, establecimiento y continuidad del cambium.

El Injerto en empalme conocido también como injerto de inglés simple y que generalmente se emplea por su rapidez con un número de 90 a 120 plantas injertadas por hora, mientras que para la vara yemera se corta en forma de una púa en sentido contrario del corte del patrón donde debe estar conformado mínimo por tres yemas; se le coloca haciendo coincidir las capas de cambium uno al otro, evitando que se resbalen cuando entra en contacto con la otra pieza (Rojas González et al., 2004).

El injerto en púa lateral se realiza mediante un corte a lo largo del tallo llegando a cortar ligeramente la madera, donde se va a introducir la vara yemera en el corte, donde deben coincidir el patrón y la yema; envolviéndolo con una cinta plástica hasta los 30 días, donde si ha tenido éxito se le va a realizar un corte al patrón dejando 1 a 2 hojas por encima del injerto; cuando el injerto se haya desarrollado unos 20 centímetros se realiza el corte total del patrón a la altura del injerto como señala Parada et al. (2001).

El injerto de parche o yema consiste en insertar una sección de la corteza de la vara yemera al patrón; se hace un corte debajo de la cicatriz del cotiledón en forma de una U invertida hasta tener contacto con la madera del patrón; se extrae de la vara yemera una porción haciendo cortes transversales y laterales promediando el tamaño de la zona del corte, se le inserta al patrón acomodándolo en el mejor lugar (ANECACAO, 2007).

El injerto en púa central o hendidura se hace cuando el tallo del patrón tenga la medida mínima de un centímetro de diámetro y la vara yemera debe tener un mínimo de tres yemas

libres y debe ser un aproximado del tamaño del tallo de manera que encaje con el cambium del patrón; seguidamente debe ser amarrado con una rafia (Ministerio de Agricultura y Riego, 2004).

Iglesias y Sánchez (1985) en una investigación que realizaron del comportamiento de *Annona muricata* L., *A. reticulata* L., *A. montana* Mac y *A. squamosa* L., se emplearon como patrones para injertar guanábano, con los tipos: empalme de costado, parche, púa terminal, doble yema y escudete de T invertido. Tuvieron como resultado un mayor porcentaje de prendimiento con el tipo de injerto parche en guanábano alcanzando un 82,5%, con empalme de costado en guanábano alcanzó un 47,5%, el tipo de injerto parche en guanábana del Chocó alcanzó un valor de 47,5% y el injerto por empalme de costado en *A. colorada* alcanzó un 35,0%. Los brotes más largos alcanzaron la guanábana del Chocó en los tipos de injertos parche y empalme de costado seguidamente de guanábana y *A. colorada*.

Asimismo, Vílchez Cáceres (2017) obtuvo resultados contrarios en el porcentaje de prendimiento en su investigación que realizó en plántulas de *Persea americana* Mill. empleando los tipos de injertos: inglés simple, inglés doble, corona, hendidura, y parche; obtuvo como resultado que el tipo de injerto empalme alcanzó un 85%, seguido del injerto inglés doble que alcanzó 80,25%, injerto de hendidura que alcanzó un 70,50%, injerto en corona con un 8,25% y por último el injerto tipo parche que alcanzó un 6,25% de prendimiento respectivamente.

Narciso Nieto (2020) informa que en un experimento de injertos en guanábana en la zona de Tingo María el mayor porcentaje de prendimiento se obtuvo con el injerto tipo hendidura modalidad púa central con un promedio de 73 %, seguido por el injerto tipo hendidura modalidad momia con un promedio de 66 %; sin embargo, el injerto tipo corteza modalidad escudete no tuvieron éxito. Sobre las variables diámetro, longitud, número de ramas y área foliar el injerto tipo hendidura modalidad púa central obtuvo los mejores resultados seguido por el injerto tipo hendidura modalidad momia.

Cevallos Falquez & Abad Quirola (2017) en una investigación sobre propagación de guanábana en Ecuador concluye que los tratamientos con atmósfera natural fueron parcelas perdidas ya que el porcentaje de mortalidad de plantas de estos fue alrededor del 100%; en atmósfera controlada la interacción para las variables agronómicas (longitud, número de hojas, diámetro, prendimiento, plantas aptas al trasplante) de los injertos por el método de injertación de púa terminal fue el mejor; asimismo alcanzó un 97,50% de prendimiento.

Vílchez Cáceres (2017) hizo técnicas de injerto en el cultivo de palto, los resultados fueron que al evaluar el prendimiento se obtuvo que el injerto por empalme obtuvo un 85%, seguido el injerto inglés doble en un 80,25 %, el injerto por hendidura o púa central con un 70,50%, injerto en corona con un 8,25% y el injerto en parche con un 6,25%; y al evaluar el número de hojas y altura foliar el injerto por empalme resultó mayor, habiéndose obtenido en promedio de hojas 30,04 unidades y altura foliar 29,28 cm. Por lo que se recomienda el tipo de injerto de empalme simple.

Miranda (2017) menciona que utilizando como patrones *Annona reticulata*, *A. purpurea*, *A. cheremol* y *A. muricata* para propagar la guanábana (*Annona muricata* L.) se obtuvo resultados que indican que el porcentaje de prendimiento a los 60 días después de la injertación con un 86,67% y 85,00% en la interacción portainjerto *Annona purpurea* con el método de púa lateral y empalme simple respectivamente.

Acuña Alvarez (2017) reporta que ha logrado un 100% de prendimiento en los injertos en púa central con las variedades Hass y Fuerte. La variedad Fuerte, yema terminal e injerto en púa central obtuvo el mayor número de ramillas número de hojas, diámetro de brote, longitud de yema y diámetro superando a los demás tratamientos. Yanac Jayo (2019) encontró que en La Convención-Cuzco el injerto en paltos más óptimo es el injerto en púa respecto al injerto inglés simple, debido a que tuvo un 100% de prendimiento; así como para variables número de hojas (3), altura de planta (6,25 cm), y diámetro (0,43 cm) a los 90 días del injerto.

En este contexto el problema formulado fue ¿Cuál de los cuatro tipos de injerto tendrá mayor porcentaje de prendimiento y crecimiento en plántones de *Annona muricata* L. en condiciones de vivero en la zona de Satipo? La hipótesis experimental fue: El injerto de tipo parche tendrá el mayor porcentaje de prendimiento y mejores características en plántones de *A. muricata* L. en condiciones de vivero en la zona de Satipo.

2. Materiales y métodos

La investigación se desarrolló en el Fundo “Even Ezer”, ubicado en el Centro Poblado de Unión Chavini, distrito de San Martín de Pangoa, provincia de Satipo, Región Junín. A una Latitud Sur de 11° 26' 46,4" de la Línea Ecuatorial, a una Longitud Oeste de 74° 32' 17,2" del meridiano de Greenwich y una altitud de 678 msnm.

La investigación fue aplicada y nivel experimental puro. Se utilizó el diseño completamente al azar (DCA) que constó de cuatro tratamientos y tres repeticiones. La población de cada unidad experimental estuvo constituida de 20 plántones de *Annona muricata* L., habiendo un total de 240 plántones existentes en el experimento. De cada unidad experimental se tomó como muestra cinco plántones, seleccionando un total de 60 en todo el experimento.

Las variables independientes, fueron los tipos de injertos: T1: Injerto en parche, T2: Injerto en púa central, T3: Injerto en púa lateral, T4: Injerto en empalme. En las variables dependientes, se evaluaron el porcentaje de prendimiento, diámetro de tallo, número de brotes, número de hojas, área foliar, altura de brotes y diámetro de brotes.

Para contrastar los datos se utilizó en análisis de varianza del diseño completamente al azar a un nivel de significación de 0,05 y 0,01 y la prueba de comparaciones de promedios de Tukey a un nivel de significación de 0,05%.

Los procedimientos iniciaron con la obtención de 240 plántones de guanábana de la misma edad y con diámetro de tallo aproximado al de un lápiz listos para injertar; todos procedentes del mismo vivero, los cuales estuvieron embolsadas con sustrato en bolsas plásticas de color negro de 7 x 13 pulgadas, todas fueron acondicionadas en un terreno plano en hileras dobles de plántones con un distanciamiento entre filas de 60 cm y entre grupos 40 cm y todo cubierto por malla rashell verde como protección del experimento. Los cuales recibieron un manejo agronómico uniforme, como riegos y cuidados. A los 15 días antes de hacer el injerto se procedió a preparar los plántones aplicando fertilizante NPK 10-30-10 con el fin de favorecer la actividad cambial de la planta.

Las varas yemeras fueron extraídas de plantas madre de guanábana con buena calidad y rendimiento. Como el vivero estuvo junto a las plantas madre las yemas fueron extraídas por la mañana y envueltas con papel periódico y depositadas en una caja Tecnopor por un tiempo

máximo de 20 minutos; luego fueron utilizadas inmediatamente en los injertos, a fin de evitar factores de sequedad de las yemas. Para el amarre se utilizó cinta plástica transparente y para cubrir el injerto también bolsas plásticas delgadas transparente a fin de evitar contaminación y sequedad en el corte.

El cambium se une de la yema y del patrón por ello se debe evitar la contaminación por hongos, que es lo que más afecta los injertos en esta zona de clima tropical. De igual manera, el corte de la yema y del patrón se hace lo más rápido, seguido del amarre con buena presión antes que el aire pueda oxidar el cambium y antes que las conidias de los hongos puedan establecerse en el corte. La navaja de injertar utilizada fue de acero y bien afilada, la que también era esterilizada con alcohol etílico de 70° en cada injerto. De igual manera las manos del injertador se lavaron con agua y jabón antes de injertar y posteriormente se iba esterilizando con alcohol etílico de 70°. Cuando las yemas empezaban a brotar se retiró las bolsitas plásticas a los 30 días y el desate se hizo a los 45 días. La evaluación de las variables se hizo a los 60 días después del injerto.

Los riegos continuaron según la necesidad de la planta para que el crecimiento de las yemas no sea afectado. Se practicaron desbrotes con los dedos en yemas del patrón, ya que estos pueden ganar savia a la yema y terminar atrofiándola o matándola. Los injertos se hicieron a una altura de 30 cm defoliando todo el patrón y cortando el brote principal en los 3 tipos de injerto con vara yemera, para favorecer la presión de la savia a la yema injertada; pero en el injerto tipo parche el tallo del patrón continua hasta que la yema haya alcanzado unos 20 cm.

Figura 1. Fotografías de los plantones de guanábana injertada en el experimento



La Figura 1 muestra fotografías del trabajo de injertos. A. Procedimiento de injerto de guanábana. B. Brotes en el patrón o portainjerto después del injerto. C. Plantones de guanábana en bolsas plásticas con sustrato recibiendo cuidados y el manejo agronómico.

3. Resultados y discusión

De los porcentajes de prendimiento

Tabla 1. Análisis de varianza de porcentaje de prendimiento.

F.V.	S.C.	G.L.	C.M.	Razón-F	Valor-P
Trat.	0.55883	3	0.18628	32.13	0.0001
Rsd.	0.04947	8	0.00618		
Total	0.6083	11			

S= 0.079 Prom. = 0.705 C. V= 11.2%

En la Tabla 1, de análisis de varianza de porcentaje de prendimiento se observa que entre los diferentes tipos de injerto en *Annona muricata* L. existe diferencias estadísticas altamente significativa; porque el (Valor $P < 0,05$), el cual nos demuestra que al menos un tipo de injerto influye en el porcentaje de prendimiento.

El coeficiente de variación es 11,2%, se considera como bajo, esto indica que el porcentaje de prendimiento en los tipos de injerto dentro de las fuentes de variación es homogéneo.

Tabla 2. Prueba de comparación de promedios de porcentaje de prendimiento

Media			
Trat.	Original	$\arcsen \sqrt{x/100}$	Grupos homogéneos
Púa central	53.3333	0.716667	b
Púa lateral	56.6667	0.755333	b
Empalme	86.6667	0.976667	c

ALS (T)0.05= 0.2057

En la Tabla 2, se observa que con el tipo de injerto parche presenta el menor valor con 31,67%, seguido de injerto por púa central con valor de 53,33% y púa lateral con valor de 56,67% y el tipo de injerto por empalme ha alcanzado el mayor porcentaje de prendimiento con un valor de 86,67% en plántones de *Annona muricata* L., el cual muestra diferencia estadística con relación a los otros tratamientos. El injerto por empalme ha alcanzado mayor porcentaje de prendimiento. Estos resultados confirman lo encontrado por Rojas et al., (2004), quien refiere que esta técnica de empalme es el más utilizado por la rapidez en su ejecución y es la técnica más recomendada por los especialistas por el mayor porcentaje de prendimiento y mayor vigor en las hojas.

Al respecto de los injertos muertos Adriazola (2007), refiere que la escasez de agua tiene influencia frente a todos los factores evaluados, y por ello los tejidos internos del patrón no tuvieron esa facilidad para unirse con la vara yemera.

El injerto parche tuvo el menor porcentaje de prendimiento, esto debido a que la incisión del corte al injertar fue mayor y esto causó la oxidación de los tejidos, respecto a esto Camacho & Fernández (2001) menciona que en injerto parche en cuanto mayor sea la herida al realizar el injerto va a llevar mayor tiempo en cicatrizar, por ello los tejidos en contacto van a ser más vulnerable a la oxidación. También se puede relacionar a la contaminación por patógenos que ingresaron a las heridas.

Umaña Campos (2000) refiere que los patógenos se suelen introducir por las heridas que se proceden al momento de realizar el injerto; por lo que se debe evitar en la mayor medida que estas sean demasiado grandes, utilizando algún cicatrizante químico que ayude a evitar estas infecciones y procurando realizar en mejores condiciones de asepsia posible. Este proceso de injertación y cicatrización concuerda con lo manifestado por Ruiz Bello (2011).

Los resultados no coinciden con lo encontrado por Yanac Jayo (2019) en injertos de paltos, quien encontró que en La Convención-Cuzco donde indica que el injerto más óptimo es el injerto en púa respecto al injerto inglés simple o empalme.

Del crecimiento de los injertos

Tabla 3. Resumen del Análisis de varianza del efecto de injertos en las características de la yema injertada.

Variables evaluadas	Razón- F	Valor-P
Diámetro	20.08	0.0004
Número de brotes	11.58	0.0028
Número de hojas	4.63	0.0368
Altura de brotes	33.07	0.0001
Área foliar	5.19	0.0279
Diámetro de brotes	0.55	0.6642

En la Tabla 3, del resumen de análisis de varianza del efecto de cuatro tipos de injertos en el diámetro de tallo (mm), número de brotes (unidades), se observa que entre los diferentes tipos de injerto existe diferencia estadística altamente significativas (Valor $P < 0,05$); el cual nos demuestra que al menos un tipo de injerto influye en las variables mencionadas. Asimismo, el efecto en el número de hojas/planta, altura de brotes/planta y área foliar, se observa que entre los diferentes tipos de injerto también existe diferencias estadísticas significativa porque el (Valor $P < 0,05$), el cual nos demuestra que al menos un tipo de injerto influye en las variables. En ambos casos esto se atribuye a que el crecimiento de la yema tiene efecto diferente según el tipo de injerto, porque las variables son diferenciables fácilmente.

Respecto al efecto en el diámetro de brotes, se observa que no presenta diferencia estadística significativa, porque el (Valor $P > 0,05$), el cual nos demuestra que los tipos de injertos no influyen en el diámetro de brotes de *Annona muricata* L. Esto se atribuye a que el diámetro viene por efecto del tallo del patrón o portainjerto y las raíces, que son los mismos, además que la yema es de la misma planta madre.

Tabla 4. Prueba de comparación de promedios de diámetro de tallo (milímetros)

Trat.	Medias	Grupos homogéneos
Parche	15.8000	a
Púa lateral	16.6000	a
Púa central	19.1333	b
Empalme	21.0667	b

$$ALS (T)0.05 = 2.4348$$

En la Tabla 4, se deduce que con el tipo de injerto parche presenta el menor valor con 15,80 mm, seguido de injerto por púa lateral con valor de 16,70 mm, púa central con valor de 19,13 mm y el tipo de injerto por empalme ha alcanzado el mayor diámetro de tallo con un valor de 21,07 mm en plantones de *Annona muricata* L., el cual muestra diferencia estadística con relación a los otros tratamientos.

El tipo de injerto por empalme ha alcanzado mayor diámetro del tallo en plántones de *Annona muricata* L., respecto a esto Grandez (2005), afirma que el diámetro de tallo no se manifiesta por el tipo de injerto, sino por las hormonas reguladoras de crecimiento. Por lo tanto, en la injertación se debe contar con portainjertos y varetas muy selectas, producidas bajo estándares de manejo adecuado. Sin embargo, los resultados no coinciden con lo encontrado por Yanac Jayo (2019) quien encontró que en La Convención-Cuzco en injerto de paltos, esto se atribuye a que los paltos tienen tallos más flexibles que dificultan al injerto por empalme.

Tabla 5. Prueba de comparación de promedios del número de brotes (unidades)

Trat.	Media		G.H.	
	Original	$\sqrt{x + 1}$		
Parche	1.6667	1.6300	a	
Púa lateral	2.3333	1.8233	a	b
Púa central	2.5333	1.8766		b
Empalme	3.1333	2.0366		b

ALS (T)0.05= 0,2219

En la Tabla 5, se deduce que con el tipo de injerto por parche presenta el menor valor con 1,67 unidades, seguido de injerto por púa lateral con valor de 2,33 unidades y púa central con valor de 2,41 unidades y la técnica de injerto por empalme ha alcanzado el mayor número de brotes con 3,13 unidades en plántones de guanábana, el cual muestra diferencia estadística con relación a los otros tratamientos.

La técnica de injerto por empalme alcanzó el mayor número de brotes con 3,13 unidades; Paredes (2003) en un ensayo que realizó con dos tipos de injertos, tuvo como resultado 4,10 brotes/planta con el injerto púa central y 4,4 brotes/planta con el injerto de empalme; pero contando a 100 días después haber realizado la operación del injerto.

Tabla 6. Prueba de comparación de promedios de número de hojas/planta (unidades).

Trat.	Medias	G.H.	
Parche	5.71667	a	
Empalme	6.91000	a	b
Púa central	7.15667	a	b
Púa lateral	7.38333		b

ALS (T)0.05= 0.4901

En la Tabla 6, prueba de comparación de número de hojas (unidades) con los diferentes tipos de injertos, se observa que con el tipo de injerto por parche presenta el menor valor con 5,00 unidades, seguido de injerto por púa lateral con valor de 6,00, púa central con valor de 7,07 unidades y el tipo de injerto por empalme alcanzó el mayor número de hojas con 7,80 unidades/planta en guanábana, el cual muestra diferencia estadística con relación a los otros tratamientos.

Respecto al número de hojas/ planta el tipo de injerto por empalme presentó mayor número de hojas con diferencia a los otros tipos de injerto; al respecto Grunberg & Sartori (1996) mencionan que la fuerza de soldadura entre el patrón e injerto va a depender de las condiciones ambientales, que facilitan o no la actividad fotosintética y radicular; por ello es indispensable generar adecuadas condiciones de nutrición, asegurando un buen desarrollo de los brotes en longitud y número de hojas, después del prendimiento. Respecto a esto, Barraza et al.

(2004) mencionan que al tener mayor área foliar, la planta va a realizar mayor cantidad de fotosíntesis.

Tabla 7. Prueba de comparación de promedios de altura de brotes (cm)

Trat.	Medias	G.H.
Parche	3.79333	a
Púa central	6.72667	b
Púa lateral	7.25333	b
Empalme	7.90667	b

ALS (T)0.05= 1,4309

En la Tabla 7, se deduce que con la técnica de injerto por parche presenta el menor valor con 3,79 cm, seguido de injerto por púa central con valor de 6,73 cm, el tipo de injerto púa lateral con valor de 7,25 y el tipo de injerto por empalme ha alcanzado el mayor valor en altura de brotes con 7.91 cm en plántones de guanábana en vivero, en el cual muestra diferencia estadística con relación a los otros tratamientos.

Con respecto a la altura de los brotes el tipo de injerto por empalme alcanzó mayor altura en comparación de los otros injertos (Ramírez Chamorro, 2006), al realizar el injerto tipo empalme, reportan una altura de brotes entre 7,68 y 8,98 cm, a los 45 días después del injerto en plántones de cacao.

Tabla 8. Prueba de comparación de promedios de área foliar (cm²)

Trat.	Medias		G.H.	
	Original	$\sqrt{x + 1}$		
Parche	5.0000	2.4333	a	
Púa lateral	6.0000	2.6466	a	b
Púa central	7.0706	2.8400	a	b
Empalme	7.8000	2.9667		b

ALS (T)0.05= 1,4761

En la Tabla 8, se deduce que con la técnica de injerto por parche presenta el menor valor con 5,72 cm², seguido de injerto por empalme con valor de 6,91 cm² y púa central con valor de 7,16 cm² y el tipo de injerto por púa lateral ha alcanzado el mayor valor en área foliar con 7,38 cm² en plántones de guanábana, el cual muestra diferencia estadística con relación a los otros tratamientos. Estos datos refuerzan los manifestado por Vilchez Cáceres (2017) en injertos de palto y Miranda Tejada (2017) en guanábana.

4. Conclusiones

El tipo de injerto por empalme ha obtenido un 86,67 % de prendimiento en plántones de *Annona muricata* L., respecto a los tipos de injerto de púa lateral alcanzando 56,67% y púa central con 53,33% respectivamente y un 31,67% de prendimiento en el injerto tipo parche.

En las características del diámetro de tallo en el tipo de injerto por empalme con 21,07 mm, en el número de brotes con 3,1 brotes/planta, mayor número de hojas/planta con 7,80 unidades, mayor altura de brotes con 7,91 cm. Entre las mejores características de área foliar, el tipo de injerto en púa lateral ha mostrado mayor área foliar con 7,38 cm², además el tipo de injerto. En relación al diámetro de brotes no existe diferencia estadística significativa. En consecuencia, se rechaza la hipótesis planteada.

Se recomienda emplear el tipo de injerto en empalme porque se obtienen mejor porcentaje de prendimiento y mejores características de las yemas después de la injertación, manteniendo en condiciones adecuadas. También se recomienda realizar investigaciones en diferentes fases lunares con el tipo de injerto empalme que muestra un mejor resultado.

Agradecimientos

Los autores agradecen al propietario del Fundo “Even Ezer” de Sr. David Atao Chuquimantari, en Unión Chavini, por haber bridado su material genético de guanábana y su apoyo en los injertos y cuidados del experimento.

Referencias bibliográficas

- Acuña Alvarez, J. (2017). *Evaluación de tres métodos de injerto de palto (Persea americana Mill) en vivero, Vilcabamba - La Convención-Cusco* [Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco]. <http://hdl.handle.net/20.500.12918/1909>
- Adriazola, J. (2007). *Multipliación del cacao*. Universidad Nacional Agraria de la Selva.
- ANECACAO. (2007). *Guía de manejo de Theobroma cacao*. Asociación Nacional de Exportadores e Industriales de Cacao del Ecuador.
- Azcón-Bieto, J., & Talón, M. (2008). *Fundamentos de fisiología vegetal*. McGraw-Hill Interamericana.
- Barraza, F. V., Fischer, G., & Cardona, C. E. (2004). Estudio del proceso de crecimiento del cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en el Valle del Sinú medio, Colombia. *Agronomía Colombiana*, 22(1), 81–90. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/17771>
- Camacho, F., & Fernández, E. (2001). *Evaluación de patrones en sandía bajo el método de plástico, en Almería*. Cajamar.
- Cevallos Falquez, O. F., & Abad Quirola, J. S. (2017). *Propagación del cultivo de guanábana (Annona muricata L.) mediante enjertación en atmósfera controlada*. Universidad Técnica Estatal de Quevedo.
- Grandez, G. (2005). *Comparativo de cinco métodos de injerto en cacao, utilizando el clon CC-51 en San Martín*.
- Grunberg, P., & Sartori, E. (1996). *El arte de injertar frutales* (6th ed.). Editorial universitaria de Buenos Aires EUDEBA.
- Ministerio de Agricultura y Riego. (2004). *Manual del cultivo cacao*. Programa para el Desarrollo de la Agricultura.
- Miranda Tejada, F. (2017). *Tipos de injertación para la multiplicación de Annona muricata, L* [Universidad Rafael Landívar]. <http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesisjcem/2017/06/17/Miranda-Felton.pdf>
- Narciso Nieto, K. G. (2020). *Producción de plántones de guanábana (Annona muricata L.) con dos tipos y cinco métodos de injertos a nivel de vivero en Tingo María* [Universidad Nacional

- Agraria de la Selva]. <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/1803>
- Parada, F., Jaén, D., Becerril, A., & García, E. (2001). Desarrollo y calidad del portainjerto de chicozapote inoculado con *Glomus mosseae*, aspersión de AG3 y fertilización NPK al suelo y foliar. *Terra Latinoamericana*, 19(2), 133–139.
- Paredes, M. (2003). *Guía de siembra del Theobroma cacao*. PROAMAZONÍA.
- Ramírez Chamorro, R. E. (2006). *Manual técnico cacao :producción de clones de cacao de calidad para el departamento del Huila*. AGROSAVIA. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/13274>
- Rojas González, S., García Lozano, J., & Alarcón Rojas, M. (2004). *Propagación asexual de las plantas : conceptos básicos y experiencias con especies amazónicas*. Corpoica. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/17056>
- Ruiz Bello, R. (2011). *Formación de la unión del injerto en guanábano (Annona muricata L.)*. [Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas]. <https://hdl.handle.net/20.500.12753/1593>
- Umaña Campos, C. (2000). *Injertación del zapote*. IPGRI. <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A0886e/A0886e.pdf>
- Vidal, L. (2002). *Separación y parámetro de las catequinas envueltas en el antagonismo en incrustaciones de Annona muricata L*. Universidad de Colima.
- Vílchez Cáceres, S. (2017). *Evaluación de diferentes tipos de injerto en plantones de palto (persea americana mill) variedad hass en condiciones de vivero en pachachaca baja – Abancay - 2016* [Universidad Tecnológica de los Andes]. <http://repositorio.utea.edu.pe/handle/utea/76>
- Yanac Jayo, S. (2019). *Evaluación de dos tipos de injerto en palto de la variedad HASS, en patrón mexicano (Persea americana) a 2,800 m.s.n.m. en Sanachgan, distrito de Fidel Olivas Escudero, provincia de Mariscal Luzuriaga.”- Ancash* [Universidad Nacional San Antonio Antúnez de Moyolo]. <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/3463>

Financiamiento

Ninguno.

Conflicto de intereses

El presente artículo no presenta conflicto de intereses.

Contribución de autores

Alomia Lucero, José: Coordinación del proyecto y experimentación.

Atao Surichaqui, Elisa: Trabajo de injertos y redacción.

Erazo Toscano, Elizabeth: Análisis estadístico e interpretación.

Artículo original / Original article

Beneficio del cacao clones CCN-51, ICS-39 y cacao Nativo (*Theobroma cacao L.*)

Benefit of cacao clones CCN-51, ICS-39 and Native cacao (*Theobroma cacao L.*)

Chávez-Salazar, Ángel [ID 0000-0001-7430-2181]¹; Cueva-Benavides, Armando [ID 0000-0003-3422-3176]¹;

Muñoz-Delgado, Víctor [ID 0000-0002-9693-8591]¹; Document-Petrlik, Karen [ID 0000-0001-9545-7561]¹;

Vidaurre-Rojas, Pierre [ID 0000-0002-2727-3717]¹

¹Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto, Perú

✉ pvidaurre@unsm.edu.pe

Recibido: 26/10/2021;

Aceptado: 30/11/2021;

Publicado: 20/01/2022

Resumen: Se determinaron el efecto del escaldado a 90 °C por 5 min, la fermentación y tres métodos de secado (secado solar, secado con flujo de aire caliente y expuesto al sol), sobre la conservación del contenido de polifenoles totales en granos de cacao clones CCN-51, ICS-39 y cacao Nativo (*Theobroma cacao L.*). Se aplicó un DCA con pruebas de Tukey para los tratamientos con diferencia significativa para $p < 0.05$. Los resultados evidencian mayor conservación de los polifenoles en los granos de cacao del clon CCN-51 y cacao Nativo escaldados y secados con flujo de aire caliente, estos presentaron de 80.6% y 84.4% respectivamente. Asimismo, se alcanzó el menor grado de conservación de los polifenoles en los granos de cacao del clon ICS-39 y cacao Nativo (*Theobroma cacao L.*) en el proceso de fermentado con secado directo al sol con 43.83% y 45% respectivamente, cuantificado por el método de Folin Ciocalteu utilizando espectrofotómetro Genesys a una longitud de onda de 700 nm. El escaldado y secado con flujo de aire caliente presentaron mayor conservación de polifenoles totales en granos de cacao Nativo (79.25%) y en CCN-51 (77.33%). Se concluye que el mejor tratamiento para la conservación de fenoles totales, es escaldado a 95 °C por 5 min, secado en flujo de aire caliente a 55 °C para granos de cacao CCN-5 (11.69 g EAG/100 g) y en cacao ICS-39 (11.68 g EAG/100 g); y para el cacao Nativo (7.093 g EAG/100 g) escaldado y secado directo al sol.

Palabras clave: escaldado; fermentación; inactivación; polifenoles

Abstract: The effect of blanching at 90 °C for 5 min, fermentation and three drying methods (solar drying, drying with hot air flow and exposed to the sun), on the conservation of the total polyphenol content in cocoa beans clones were determined. CCN-51, ICS-39 and Native cacao (*Theobroma cacao L.*). A DCA with Tukey's tests was applied for the treatments with significant difference for $p < 0.05$. The results show greater conservation of polyphenols in cocoa beans of clone CCN-51 and Native cocoa (*Theobroma cacao L.*) blanched and dried with hot air flow, these presented 80.6% and 84.4% respectively. Likewise, the lowest degree of conservation of polyphenols was achieved in the cocoa beans of the ICS-39 clone and Native cocoa in the fermentation process with direct sun drying with 43.83% and 45% respectively, quantified by the Folin Ciocalteu method using Genesys spectrophotometer at a wavelength of 700 nm. Blanching and drying with hot air flow showed greater conservation of total polyphenols in Native cocoa beans (79.25%) and in CCN-51 (77.33%). It is concluded that the best treatment for the conservation of total phenols is blanching at 95 °C for 5 min, drying in a hot air flow at 55 °C for CCN-5 cocoa beans (11.69 g EAG/100 g) and in ICS-39 cocoa (11.68 g EAG/100 g); and for Native cocoa (7.093 g EAG/100 g) blanched and dried directly in the sun.

Keywords: scalding; fermentation; inactivation; polyphenols

Cómo citar / Citation: Chávez-Salazar, A., Cueva-Benavides, A., Muñoz-Delgado, V., Document-Petrlik, K. & Vidaurre-Rojas, P. (2022). Beneficio del cacao clones CCN-51, ICS-39 y cacao Nativo (*Theobroma cacao L.*). *Revista agrotecnológica amazónica*, 2(1), e255. <https://doi.org/10.51252/raa.v2i1.255>

I. Introducción

Las semillas de cacao (*Theobroma cacao L.*) presentan elevado contenido energético y son fuentes de vitaminas, minerales y antioxidantes, por lo que se han considerado como un superalimento dado a su capacidad antioxidante y contenido de polifenoles beneficiosos para la salud humana. Es por ello que su cultivo y comercialización se ha extendido a nivel mundial (López Medina & Gil Rivero, 2017)(Waizel-Haiat et al., 2012).

En este sentido, el estudio del cacao y sus derivados ha suscitado actualmente gran interés entre los científicos, y es considerado para su uso como alimento funcional en la prevención y/o la prevención de enfermedades cardiovasculares y patologías asociadas al estrés oxidativo (Ibero-Baraibar et al., 2017)(Pascual et al., 2009)(Perea-Villamil et al., 2009).

Los polifenoles pueden actuar de manera beneficiosa sobre numerosas patologías, poseen efectos vasodilatadores, antitrombóticos, antiinflamatorios y anti apoptóticos (tipo de muerte celular)(Ordoñez et al., 2019). Según datos de la OMS (2014), las enfermedades cardiovasculares fueron la causa principal de defunción por enfermedades no transmisibles en el año 2012 y fueron responsables de 17,5 millones de fallecimientos, o el 46% de las muertes por enfermedades no transmisibles. De estas muertes, se estima que 7.4 millones se debieron a ataques cardíacos (cardiopatía isquémica) y 6.7 millones a accidentes cerebrovasculares.

En el Perú se cultiva el cacao para la producción de chocolate y sus derivados por su importante nivel de producción; sin embargo, en la poscosecha o beneficio, durante la fermentación y secado hay pérdida no cuantificadas del contenido de polifenoles totales y se complican por técnicas no adecuadas de control, manipulación y/o condiciones no aptas de almacenamiento, por consiguiente, una variabilidad de producción y los agricultores entregan granos no estandarizados. La pérdida es mayor a medida que se alarga las operaciones de beneficio en el tiempo (Del Rosario Castro et al., 2017).

Durante la fermentación de los granos de cacao, los polifenoles se difunden desde los compartimientos celulares y se oxidan para producir taninos insolubles de alto peso molecular. Las reacciones de oxidación son catalizadas por la enzima polifenol oxidasa, no obstante, esta enzima es fuertemente inactivada durante el primer día de fermentación pasando de una actividad enzimática del 50% al 6% durante los días 1 y 2, la ocurrencia de las reacciones de condensación es confirmada por la disminución drástica en el contenido de epicatequina, durante el segundo y tercer día de la fermentación (Silva et al., 2016).

Otro aspecto relevante del secado es que continúa la fase oxidativa iniciada en la fermentación y se completa la formación de los compuestos del aroma y sabor. Además, en esta etapa ocurre el desarrollo de los pigmentos de color marrón a partir de los compuestos fenólicos (Efraim et al., 2010).

Este trabajo busca determinar el efecto del escaldado a 90 °C por 5 min, la fermentación y tres métodos de secado, sobre la conservación del contenido de polifenoles totales en granos de cacao clones CCN-51, ICS-39 y cacao Nativo (*Theobroma cacao L.*), procedente de la región de San Martín – Perú. El cacao CCN-51 contiene aproximadamente 12% a 16% de polifenoles totales, mientras que un grano de cacao estándar presenta entre un 3% a 5% (Quiñones Téllez, 2010)(Vera Chang et al., 2021).

2. Materiales y métodos

Lugar de estudio y materia prima

Los análisis físicos químicos de las muestras se realizaron en los laboratorios de Investigación de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial, ubicado en la ciudad universitaria de la Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto. Se utilizaron 280 kg de granos en baba de cacao como unidad de análisis de los tipos CCN-51, ICS-39 y Cacao Nativo (*Theobroma cacao L.*).

Materiales y equipos

Se emplearon: tijera cosechadora, podón (pico de loro), machete sin filo, baldes de plástico, bolsas plásticas, cajón fermentador de madera (0.5 m x 0.4 m x 0.6 m), costal de yute, paletas de madera, rastrillo de madera, cuchilla, plumón, lápices, cinta maskin tape. Material de vidrio y accesorios de laboratorio necesarios para análisis.

Reactivos y soluciones

Se utilizaron: Ácido clorhídrico (HCl) (Merk) pureza 36.5 %; ácido gálico (C₇H₆O₅) al 98.1% Sigma Aldrich; cloruro de potasio (KCl) (sigma) pureza 99.5%; acetato de sodio (CH₃COONa) (Merk) pureza 99%; Folin–ciocalteu' sphenolreagent, 2N Sigma Aldrich; carbonato de sodio (Na₂CO₃) p.a. ISO. Scharlau; metanol al 99% de pureza; etanol al 99.99% Merck KGaA; agua destilada desionizada (H₂O_{dd}) y cloroformo 99.8% marca Merck. Germany, Fenoltaleína 0.1%, NaOH al 0,1N, Alcohol etílico y éter dietílico.

Determinación de polifenoles totales

Los granos en baba fueron separados manualmente de la cascara y el mucilago de las almendras, así como los granos fermentados; luego secadas mediante liofilización, y los granos secos fueron descascarillados de forma manual, para la obtención de las almendras. Posteriormente, las muestras se desagregaron por el método de Folch (Santana Brum et al., 2009) y se molieron utilizando un mortero y pilón, para reducir el tamaño de partícula. Seguidamente, se tomó una muestra de 20 g y se maceró por 24 h en 50 mL de solvente (1:2 v/v. metanol y cloroformo), en agitación, luego se filtró y separó la torta de la grasa; la torta fue secado en estufa a 45 °C/15 min para evaporar el solvente y las muestras de cacao desengrasadas fueron envasados en frascos de vidrio de color ámbar.

Se pesaron 3 g de muestra desengrasada, luego se enrasó a 30 mL de solución hidroalcohólica (50/50 v/v agua: etanol) y se transfirió en frascos de color ámbar, se tapó herméticamente y se realizó una extracción asistida mediante ultrasonido por 50 min a 50 °C, se filtró y se almacenó a -18 °C en frascos de color ámbar. Se aplicó el método espectrofotométrico desarrollado por Folin Ciocalteu et al. (1927), reportado por Sandoval et al. (2002).

Se preparó una solución de 100 mg/mL de ácido gálico a una concentración de 2 mg/mL, a partir de ello se prepararon diluciones con concentraciones siguientes: 0.0625; 0.1250; 0.25; 0.50 y 1.00 mg/mL, cada dilución se preparó por triplicado. Primero se agregó a cada tubo 1580 µL de agua desionizada, 20 µL de muestra control y estándares (ácido gálico), para el control se adicionó 20 mL de agua desionizada; se homogenizó ligeramente, luego se agregó 100 µL de solución de fenol Folin Ciocalteu, se incubó por 1 minuto a temperatura ambiente; se neutralizó la reacción agregando 300 µL de Na₂CO₃ al 20 por ciento y finalmente se incubó por 2 horas

a temperatura ambiente y en oscuridad, transcurrido ese tiempo se realizó la lectura en espectrofotómetro UV/VIS a 700 nm; con los resultados se determinó la concentración respecto a absorbancia.

Considerando el extracto hidroalcohólico 100 mg/mL (filtrado y centrifugado 10000 rpm/10 min a 4 °C), se realizó la dilución del extracto de acuerdo a la concentración encontrada, con 3 repeticiones por tratamiento, se adicionaron en los tubos de ensayos para cada tratamiento 1580 µL de agua desionizada, 20 µL de extracto diluido, 100 µL de fenol Folin Ciocalteu y finalmente 300 µL de Na₂CO₃ al 20 por ciento y se incubaron por 2 h a temperatura ambiente y oscuridad, luego se realizó la lectura en espectrofotómetro UV/VIS a una longitud de onda de 700 nm.

Las absorbancias obtenidas fueron reemplazadas en la ecuación de la curva estándar y expresadas en equivalente de ácido gálico (g EAG/100 g muestra).

Metodología

Cosecha. Se realizó cuando el fruto o mazorca estaba maduro, teniendo en cuenta las recomendaciones de Arciniegas Leal (2005) e Indecopi (2008), que consideran lo siguiente: La madurez de la mazorca se logra apreciando el cambio de pigmentación de verde al amarillo o rojo fuerte, al golpear los frutos con los dedos de la mano, produce un sonido hueco siendo señal de que el fruto está maduro y se encuentra en condiciones óptimas para realizar la cosecha

Selección. Se separaron aquellas mazorcas secas, dañadas o en proceso de descomposición y con enfermedades, estas fueron recogidas y tratadas adecuadamente mediante un proceso de compostaje (Crespo, 1997)(Cubillos et al., 2008).

Quebra y separación. Se realizó con el objetivo de extraer las almendras de la placenta, se realizó utilizando un machete sin filo mediante un corte diagonal y teniendo cuidado de no causar heridas a las almendras. Se extrajeron los granos de cacao con los dedos, evitando ensuciarlos con hojas u otro tipo de impurezas (Cubillos et al., 2008).

Fermentado. Con el objetivo de lograr el cambio fisicoquímico y sensorial de la semilla de cacao se realizó el fermentado en fermentadores especiales (cajas de madera) tal como lo recomiendan Cubillos et al. (2008) y Fedecacao (2004).

Secado. Se realizó con el objetivo de reducir el contenido de agua en el grano, y de este modo evitar el deterioro microbiológico, logrando la estabilidad de la semilla de cacao, así mismo sirve para la formación de los precursores del sabor y aroma. Se debe llevar hasta 7 - 7,5 por ciento de humedad (Cubillos et al., 2008).

Empacado. Los granos secos y previamente enfriados a temperatura ambiente fueron empacados en sacos de yute.

Almacenado. Se almacenó en un ambiente desinfectado, ventilado, exento de olores extraños provenientes de pesticidas, petróleo, libre de materias extrañas; sobre parihuelas, de baja humedad relativa.

Métodos de análisis

Se tomó 500 g de muestra de los granos de cacao fresco (T1) por cada repetición (tres) o lote de cosecha. Finalizada la fermentación, se tomaron muestras que fueron analizadas por: color,

pH, acidez titulable, sólidos solubles y contenido de polifenoles. El muestreo para cacao a granel se realizó de acuerdo a lo establecido por (INACAL, 2016).

La mejor muestra obtenida en la fermentación, fue sometido a tres tipos de secado: Secado directo al sol, en secador solar y en un secador con flujo de aire a 55 °C, cuyo objetivo fue determinar la influencia del método de secado en el contenido de polifenoles totales. El secado terminó cuando la humedad final en las muestras reportó 7.0% a 7.5%.

Metodología experimental

Los granos de cacao fueron fermentados y escaldados. Este proceso consistió en aplicar a las muestras (20 Kg) de granos de cacao por cada clon CCN-51, ICS-39 y cacao Nativo (*Theobroma cacao* L.) por triplicado a fermentación (180 kg) y a escaldado (180 Kg). Los mismos que se fueron secados aplicando tres métodos de secado (Secado directo al sol, Secado en secador solar y Secado en secador con flujo de aire caliente a 55 °C). Los granos secos y previamente enfriados fueron empacados en sacos de yute, y se almacenaron en un ambiente libre de humedad y ventilado.

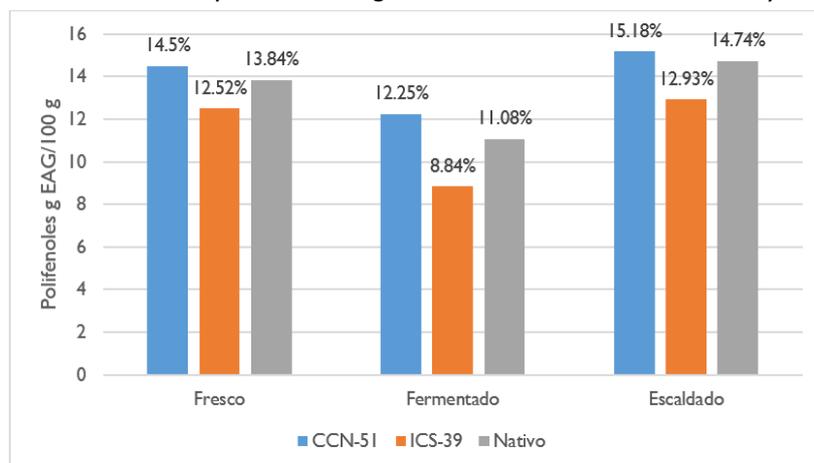
Diseño y análisis estadístico

Con la finalidad de evaluar el efecto de la inactivación de la polifenol oxidasa mediante el escaldado a 95 °C y los métodos de secado (secado directo al sol, secado en secador solar y secado en secador con flujo de aire caliente a 55 °C), sobre la conservación de los polifenoles totales inicial en los granos frescos de cacao, de cada lote tanto durante la fermentación y expuesto a cada método de secado, se extrajeron muestras periódicamente hasta llegar a la humedad comprendida entre 7.0% y 7.5 %, para evaluar la pérdida del contenido de polifenoles totales.

Para decidir sobre el efecto de la inactivación enzimática y el mejor método de secado, los resultados del contenido de polifenoles totales fueron evaluadas mediante el análisis estadístico DCA con pruebas de Tukey para los tratamientos con diferencia significativa para $p < 0.05$.

3. Resultados y discusión

En la figura 1 se observa que la media del contenido de polifenoles totales en cacao fresco en los clones CCN-51, ISC-39 y cacao Nativo fue 14.5 g, 12.52 g y 13.84 g EAG/100 g respectivamente. Luego del proceso de fermentación, el contenido de polifenoles totales en los clones CCN-51, ISC-39 y cacao Nativo fue de 12.25 g, 8.84 g y 11.08 g EAG/100 g. Posterior del tratamiento de escaldado a 95 °C por 5 min que produce inactivación enzimática de la polifenol oxidasa, el contenido de polifenoles totales en los clones CCN-51, ISC-39 y cacao Nativo fue 15.18 g; 12.93 g y 14.74 g EAG/100 g, observando un incremento del contenido de polifenoles totales en promedio de 4.75%.

Figura 1. Contenido de polifenoles en granos de cacao fresco, fermentado y escaldado

Al respecto Serra Bonvehi & Ventura Coll (1997) y Brito et al. (2002) mencionan que los polifenoles totales en el cacao fresco se encuentran compactados en vacuolas de células específicas; durante el proceso de fermentación o escaldado se difunden a través del cotiledón sufriendo una modificación bioquímica a través de la polimerización y la complejación con sus proteínas, dando como resultado la solubilidad y la astringencia de las almendras del cacao sin fermentar; la oxidación de los polifenoles se asocian de forma reversible con las proteínas mediante enlaces de hidrógeno, pero irreversible cuando hay condensación con grupos reactivos de aminoácidos, péptidos, proteínas y polisacáridos.

En la tabla I se observa que los clones fermentados de cacao CCN-51, ICS-39 y Nativo retienen polifenoles en 84.46%, 70.59% y 80.06% respectivamente. Sin embargo, el contenido de polifenoles para granos de cacao CCN-51, ICS-39 y Nativo escaldados a 95 °C por 5 min incrementaron su contenido de polifenoles en 40.24%, 3.29% y 6.51% respectivamente con respecto a granos frescos; posiblemente debido a la transferencia de los polifenoles desde la cascarilla hacia las almendras.

Las almendras del cacao clon Nativo alcanzan mayor incremento en el contenido de polifenoles totales por su alto contenido en antocianinas tal como se muestra la coloración del grano después del escaldado. Santhanam Menon (2017), realizó un tratamiento previo con blanqueo en agua caliente para cacao fresco y fermentado y descubrió que el método de pre-tratamiento de escaldado mostraba contenido polifenólico total significativamente más alto en comparación con el cacao no escaldado.

Tabla I. Efecto de la conservación de polifenoles (g EAG/100 g)

Clon	Cacao fresco	Cacao fermentado	% de conservación	Cacao escaldado	% de incremento	Tipo de secador	Cacao fermentado seco	% de conservación en cacao fermentado seco	Cacao escaldado seco	% de conservación en cacao escaldado seco
CCN-51	14.50	12.25	84.46	15.18	4.24	T1	6.81	46.97	7.89	48.90
						T2	6.70	46.21	6.07	41.86
						T3	8.08	55.72	11.69	80.62
ICS-39	12.52	8.84	70.59	12.93	3.29	T1	4.73	38.00	4.50	57.00
						T2	6.03	48.16	6.06	48.40
						T3	7.14	57.03	6.61	52.80
Nativo	13.84	11.08	80.06	14.74	6.51	T1	6.24	45.09	7.09	51.23
						T2	5.61	40.53	6.07	43.86
						T3	7.69	55.56	11.68	84.39

Nota. T1= Secado directo al sol, T2= Secado con secador solar y T3= Secado con flujo de aire caliente

El secado por flujo de aire caliente fue el método de secado con mayor conservación de polifenoles totales en el grano fermentado para los clones de cacao CCN-51 (8.08 g EAG/100 g), ICS-39 (7.14 g EAG/100 g) y cacao Nativo (7.69 g EAG/100 g) y para granos de cacao escaldado las muestras con mayor contenido de polifenoles totales fueron los secados con flujo de aire caliente de los clones CCN-51 (11.69 g EAG/100 g), ICS-39 (6.61 g EAG/100 g) y cacao Nativo (11.68 g EAG/100 g) y el secado directo al sol. Sin embargo, no existe diferencias estadísticamente significativas.

Al respecto Nazario et al. (2013), reportan resultados de cuantificación de polifenoles totales en los granos de cacao criollo y siete clones, encontrando el mayor contenido de polifenoles totales en clones de cacao forastero y trinitario con valores de 5.721 ± 0.039 y 5.592 ± 0.051 g EAG/100 g respectivamente, en segundo lugar, en contenido de polifenoles por el CCN-51 con 5.184 ± 0.03 g EAG/100 g.

Asimismo, se observa que la conservación de polifenoles totales en grano de cacao fermentado y secados directo al sol, en secador solar y por flujo de aire caliente; el mayor nivel de conservación de polifenoles totales se encontró en los clones CCN-51, ICS-39 y cacao Nativo con valores de 55.72%, 57.03% y 55.56% respectivamente, secadas por flujo de aire caliente. Luego del escaldado de los granos de cacao a 95 °C por 5 min secados por diferentes tipos de secador (directo al sol, en secador solar y por flujo de aire caliente), se observó que los granos escaldados y secados mediante secador con flujo de aire caliente es el que conserva el mayor nivel de polifenoles totales 80.62% y 84.39% para los clones CCN-51 y cacao Nativo respectivamente.

Para los granos de cacao ICS-39 el mayor porcentaje de conservación (57%) fue de los granos de cacao secados directo al sol. De acuerdo a García-Alamilla et al. (2007), el proceso de secado produce varios cambios químicos y bioquímicos necesarios para formar el aroma y los precursores del aroma que se producirán en el proceso de tostado. Sin embargo, esto no conocida como “dorado” debido al efecto térmico. Aunque los polifenoles en el grano de cacao se degradan considerablemente durante el secado, la cantidad restante presente todavía imparte un sabor astringente a los productos de chocolate después del procesamiento (Kyi et al., 2005).

4. Conclusiones

La conservación total de polifenoles de cacao escaldado seco con relación a su contenido de polifenoles en granos frescos fue de 80.62%, 57% y 84.39% para los clones CCN-51, ICS-39 y cacao Nativo respectivamente. Con diferencia estadísticamente significativa ($p < 0,05$) el cacao CCN-51 (Anexos 1 y 2) escaldado y secado con flujo de aire caliente conserva mayor cantidad de polifenoles en comparación con el secado al sol y con secador solar.

Referencias bibliográficas

- Arciniegas Leal, A. M. (2005). *Caracterización de árboles superiores de cacao (Theobroma cacao L.) seleccionados por el programa de mejoramiento genético del CATIE* [CATIE - Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza].
<https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/4571>

- Brito, E. S. de, García, N. H. P., & Amâncio, A. C. (2002). Effect of polyphenol oxidase (PPO) and air treatments on total phenol and tannin content of cocoa nibs. *Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 22(1). <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=XS2002110108>
- Crespo, F. (1997). *Cultivo y beneficio del cacao CCN-51 (1ra ed.)*. Editorial El Conejo.
- Cubillos, G., Merizalde, G., & Correa, E. (2008). *Manual de Beneficio del Cacao. Para técnicos profesionales del sector agropecuario y productores*. https://chocolates.com.co/wp-content/uploads/2020/06/manual_beneficio_cacao.pdf
- Del Rosario Castro, M., Hernández, J. A., Marcilla, S., Córdova, J. S., Solari, F. A., & Chire, G. C. (2017). Efecto del contenido de grasa en la concentración de polifenoles y capacidad antioxidante de theobroma cacao l. «cacao». *Ciencia e Investigación*, 19(1), 19-23. <https://doi.org/10.15381/ci.v19i1.13623>
- Efraim, P., Pezoa-García, N. H., Jardim, D. C. P., Nishikawa, A., Haddad, R., & Eberlin, M. N. (2010). Influência da fermentação e secagem de amêndoas de cacau no teor de compostos fenólicos e na aceitação sensorial. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 30, 142-150. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612010000500022>
- Fedecacao. (2004). *El beneficio y características físico químicas del cacao (Theobroma cacao L.)*. Corporación colombiana de investigación agropecuaria. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/18060>
- García-Alamilla, P., Salgado-Cervantes, M. A., Barel, M., Berthomieu, G., Rodríguez-Jimenes, G. C., & García-Alvarado, M. A. (2007). Moisture, acidity and temperature evolution during cacao drying. *Journal of Food Engineering*, 79(4), 1159-1165. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.04.005>
- Ibero-Baraibar, I., Abete, I., Alfredo Martínez, J., Rodríguez Mateos, A., & Ángeles Zulet, M. (2017). Guías para el consumo de chocolate negro ¿Placer y salud cognitiva? *Nutrición Hospitalaria*, 34(4), 759-760. <https://doi.org/10.20960/nh.1430>
- Indecopi. (2008). *Manual de buenas prácticas para la cosecha y beneficio del cacao*. Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual. <https://dl-manual.com/doc/manual-de-buenas-practicas-para-la-cosecha-y-beneficio-del-cacao-y7vmrd89jyon>
- Kyi, T. M., Daud, W. R. W., Mohammad, A. B., Wahid Samsudin, M., Kadhum, A. A. H., & Talib, M. Z. M. (2005). The kinetics of polyphenol degradation during the drying of Malaysian cocoa beans. *International Journal of Food Science and Technology*, 40(3), 323-331. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.00959.x>
- López Medina, S. E., & Gil Rivero, A. E. (2017). Características germinativas de semillas de *Theobroma cacao* L. (Malvaceae) “cacao”. *Arnaldoa*, 24(2), 609-618. <https://doi.org/10.22497/arnaldoa.242.24212>
- Nazario, O., Ordoñez, E., Mandujano, Y., & Arévalo, J. (2013). Polifenoles totales, antocianinas, capacidad antioxidante de granos secos y análisis sensorial del licor de cacao (*theobroma cacao* l.) criollo y siete clones. *Investigación y Amazonía*, 3(1), 51-59. <https://revistas.unas.edu.pe/index.php/revia/article/view/85>

- OMS. (2014). *Informe sobre la situación mundial de las enfermedades no transmisibles 2014*. Organización Mundial de la Salud.
- Ordoñez, E., Leon-Arevalo, A., Rivera-Rojas, H., & Vargas, E. (2019). Cuantificación de polifenoles totales y capacidad antioxidante en cáscara y semilla de cacao (*Theobroma cacao* L.), tuna (*Opuntia ficus indica* Mill), uva (*Vitis Vinífera*) y uvilla (*Pourouma cecropiifolia*). *Scientia Agropecuaria*, 10(2), 175-183. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.02.02>
- Pascual, V., Valls, R. M., & Solà, R. (2009). Cacao y chocolate: ¿un placer cardiosaludable? *Clínica e Investigación en Arteriosclerosis*, 21(4), 198-209. [https://doi.org/10.1016/S0214-9168\(09\)72047-9](https://doi.org/10.1016/S0214-9168(09)72047-9)
- Perea-Villamil, J. A., Cadena-Cala, T., & Herrera-Ardila, J. (2009). El cacao y sus productos como fuente de antioxidantes: Efecto del procesamiento. *Revista de la Universidad Industrial de Santander*, 41(2), 128-134. <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/lil-548894>
- Quiñones Téllez, M. del M. (2010). *Efecto de Cocoanox, un cacao rico en polifenoles, en ratas espontáneamente hipertensas*. Universidad Complutense de Madrid.
- Sandoval, M., Okuhama, N. N., Angeles, F. M., Melchor, V. V., Condezo, L. A., Lao, J., & Miller, M. J. S. (2002). Antioxidant activity of the cruciferous vegetable Maca (*Lepidium meyenii*). *Food Chemistry*, 79(2), 207-213. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00133-4](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00133-4)
- Santana Brum, A. A., Ferraz de Arruda, L., & Bismara Regitano-d'Arce, M. A. (2009). Métodos de extração e qualidade da fração lipídica de matérias-primas de origem vegetal e animal. *Química Nova*, 32(4), 849-854. <https://www.scielo.br/j/qn/a/bVRjZz6Qz7DRHhGksbrfVt/?format=pdf&lang=pt>
- Santhanam Menon, A. (2017). *Effects of blanching and drying on the production of polyphenols rich cocoa beans and product quality* [University of Nottingham (PhD)]. <http://eprints.nottingham.ac.uk/id/eprint/43219>
- Serra Bonvehi, J., & Ventura Coll, F. (1997). Evaluation of bitterness and astringency of polyphenolic compounds in cocoa powder. *Food Chemistry*, 60(3), 365-370. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(96\)00353-6](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(96)00353-6)
- Silva, F. W. M., Sousa, R. S. R., Goncalves, C. G., & Souza, J. N. S. (2016). Avaliação dos processos de fermentação e secagem de sementes de cacau (*theobroma cacao* l.) sobre os compostos fenolicos, a atividade da enzima peroxidase e a qualidade das amendoas. *XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Química*.
- Vera Chang, J., Álvarez Escaleras, M., & Ibáñez Astaburuaga, A. (2021). Sistema de producción de la almendra y del cacao: Una caracterización necesaria. *Revista de Ciencias Sociales*, 27, 372-390. <https://doi.org/10.31876/rcs.v27i.36525>
- Waizel-Haiat, S., Waizel-Bucay, J., Magaña-Serrano, J. A., Campos-Bedoya, P., & Esteban-Sosa, J. E. S. (2012). Cacao y chocolate: seducción y terapéutica. *Anales Médicos de la Asociación Médica del Centro Médico ABC*, 57(3), 236-245. <https://www.medigraphic.com/pdfs/abc/bc-2012/bc123k.pdf>

Financiamiento

Universidad Nacional de San Martín mediante Resolución N° 239-2016-UNSM/CU-R/NLU.

Conflicto de intereses

Los autores declararan que el artículo no presenta conflicto de intereses.

Contribución de autores

Chávez-Salazar, Ángel; Cueva-Benavides, Armando y Muñoz-Delgado, Victor: Conceptualizaron la investigación, realizaron el trabajo en campo y analizaron y procesaron los datos. Asimismo, participaron en la redacción del artículo.

Document-Petrlík, Karen y Vidaurre-Rojas, Pierre: Colaboraron en el proceso experimental del estudio y apoyaron en el análisis y procesamiento de datos. Además, redactaron y aprobaron la versión final del manuscrito.

Anexos

Anexo 1. Análisis de variancia para el contenido de polifenoles de granos de cacao secado por diferentes métodos.

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Sec_Fermentado	Entre grupos	25.46	8	3.18	70.93	0.00
	Dentro de grupos	0.81	18	0.05		
	Total	26.27	26			
Sec_Escalado	Entre grupos	126.26	8	1578	247.76	0.00
	Dentro de grupos	1.15	18	0.06		
	Total	127.41	26			

Anexo 2. Comparaciones múltiples (HSD Tukey) para conservación de polifenoles durante el secado de cacao fermentado.

Variable: Secado Fermentado				Variable: Secado Escalado			
(I) Tratamiento		Diferencia de medias (I-J)	Sig.	(I) Tratamiento		Diferencia de medias (I-J)	Sig.
CCN51 SDS	CCN51 SSS	.10867	.999	CCN51 SDS	CCN51 SSS	1.01700*	.003
	CCN51 SFAC	-1.22600*	.000		CCN51 SFAC	-4.60467*	.000
	Nativo SDS	.56900*	.076		Nativo SDS	-.00400	1.000
	Nativo SSS	1.20100*	.000		Nativo SSS	1.02067*	.003
	Nativo SFAC	-.88000*	.002		Nativo SFAC	-4.59433*	.000
	ISC39 SDS	2.07500*	.000		ISC39 SDS	-.00667	1.000
	ISC39 SSS	.77867*	.007		ISC39 SSS	1.02233*	.003
	ISC39 SFAC	-.32800*	.624		ISC39 SFAC	.47833*	.380
CCN51 SSS	CCN51 SDS	-.10867	.999	CCN51 SSS	CCN51 SDS	-1.01700*	.003
	CCN51 SFAC	-1.33467*	.000		CCN51 SFAC	-5.62167*	.000
	Nativo SDS	.46033*	.229		Nativo SDS	-1.02100*	.003
	Nativo SSS	1.09233*	.000		Nativo SSS	.00367	1.000
	Nativo SFAC	-.98867*	.001		Nativo SFAC	-5.61133*	.000

	ISC39 SDS	1.96633*	.000		ISC39 SDS	-1.02367*	.003
	ISC39 SSS	.67000*	.024		ISC39 SSS	.00533	1.000
	ISC39 SFAC	-.43667*	.283		ISC39 SFAC	-.53867*	.247
CCN51 SFAC	CCN51 SDS	1.22600*	.000	CCN51 SFAC	CCN51 SDS	4.60467*	.000
	CCN51 SSS	1.33467*	.000		CCN51 SSS	5.62167*	.000
	Nativo SDS	1.79500*	.000		Nativo SDS	4.60067*	.000
	Nativo SSS	2.42700*	.000		Nativo SSS	5.62533*	.000
	Nativo SFAC	.34600*	.561		Nativo SFAC	.01033	1.000
	ISC39 SDS	3.30100*	.000		ISC39 SDS	4.59800*	.000
	ISC39 SSS	2.00467*	.000		ISC39 SSS	5.62700*	.000
Nativo SDS	ISC39 SFAC	.89800*	.002	ISC39 SFAC	5.08300*	.000	
	CCN51 SDS	-.56900*	.076	CCN51 SDS	.00400	1.000	
	CCN51 SSS	-.46033*	.229	CCN51 SSS	1.02100*	.003	
	CCN51 SFAC	-1.79500*	.000	CCN51 SFAC	-4.60067*	.000	
	Nativo SSS	.63200*	.037	Nativo SSS	1.02467*	.002	
	Nativo SFAC	-1.44900*	.000	Nativo SFAC	-4.59033*	.000	
	ISC39 SDS	1.50600*	.000	ISC39 SDS	-.00267	1.000	
Nativo SSS	ISC39 SSS	.20967*	.943	ISC39 SSS	1.02633*	.002	
	ISC39 SFAC	-.89700*	.002	ISC39 SFAC	.48233*	.370	
	CCN51 SDS	-1.20100*	.000	CCN51 SDS	-1.02067*	.003	
	CCN51 SSS	-1.09233*	.000	CCN51 SSS	-.00367	1.000	
	CCN51 SFAC	-2.42700*	.000	CCN51 SFAC	-5.62533*	.000	
	Nativo SDS	-.63200*	.037	Nativo SDS	-1.02467*	.002	
	Nativo SFAC	-2.08100*	.000	Nativo SFAC	-5.61500*	.000	
Nativo SFAC	ISC39 SDS	.87400*	.002	ISC39 SDS	-1.02733*	.002	
	ISC39 SSS	-.42233*	.320	ISC39 SSS	.00167	1.000	
	ISC39 SFAC	-1.52900*	.000	ISC39 SFAC	-.54233*	.240	
	CCN51 SDS	.88000*	.002	CCN51 SDS	4.59433*	.000	
	CCN51 SSS	.98867*	.001	CCN51 SSS	5.61133*	.000	
	CCN51 SFAC	-.34600*	.561	CCN51 SFAC	-.01033	1.000	
	Nativo SDS	1.44900*	.000	Nativo SDS	4.59033*	.000	
ISC39 SDS	Nativo SSS	2.08100*	.000	Nativo SSS	5.61500*	.000	
	ISC39 SDS	2.95500*	.000	ISC39 SDS	4.58767*	.000	
	ISC39 SSS	1.65867*	.000	ISC39 SSS	5.61667*	.000	
	ISC39 SFAC	.55200*	.091	ISC39 SFAC	5.07267*	.000	
	CCN51 SDS	-2.07500*	.000	CCN51 SDS	.00667	1.000	
	CCN51 SSS	-1.96633*	.000	CCN51 SSS	1.02367*	.003	
	CCN51 SFAC	-3.30100*	.000	CCN51 SFAC	-4.59800*	.000	
ISC39 SSS	Nativo SDS	-1.50600*	.000	Nativo SDS	.00267	1.000	
	Nativo SSS	-.87400*	.002	Nativo SSS	1.02733*	.002	
	Nativo SFAC	-2.95500*	.000	Nativo SFAC	-4.58767*	.000	
	ISC39 SSS	-1.29633*	.000	ISC39 SSS	1.02900*	.002	
	ISC39 SFAC	-2.40300*	.000	ISC39 SFAC	.48500*	.363	
	CCN51 SDS	-.77867*	.007	CCN51 SDS	-1.02233*	.003	
	CCN51 SSS	-.67000*	.024	CCN51 SSS	-.00533	1.000	
ISC39 SFAC	CCN51 SFAC	-2.00467*	.000	CCN51 SFAC	-5.62700*	.000	
	Nativo SDS	-.20967*	.943	Nativo SDS	-1.02633*	.002	
	Nativo SSS	.42233*	.320	Nativo SSS	-.00167	1.000	
	Nativo SFAC	-1.65867*	.000	Nativo SFAC	-5.61667*	.000	
	ISC39 SDS	1.29633*	.000	ISC39 SDS	-1.02900*	.002	
	ISC39 SFAC	-1.10667*	.000	ISC39 SFAC	-.54400*	.237	
	CCN51 SDS	.32800*	.624	CCN51 SDS	-4.7833*	.380	
ISC39 SSS	CCN51 SSS	.43667*	.283	CCN51 SSS	.53867*	.247	
	CCN51 SFAC	-.89800*	.002	CCN51 SFAC	-5.08300*	.000	
	Nativo SDS	.89700*	.002	Nativo SDS	-.48233*	.370	
	Nativo SSS	1.52900*	.000	Nativo SSS	.54233*	.240	
	Nativo SFAC	-.55200*	.091	Nativo SFAC	-5.07267*	.000	
	ISC39 SDS	2.40300*	.000	ISC39 SDS	-4.8500*	.363	
	ISC39 SSS	1.10667*	.000	ISC39 SSS	.54400*	.237	

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.95.

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.95.

Artículo original / Original article

**Calidad organoléptica del café bajo el efecto de la Roya Amarilla
(*Hemileia vastatrix*) en Alto Shamboyacu - Lamas**

**Organoleptic quality of coffee under the effect of Yellow Rust
(*Hemileia vastatrix*) in Alto Shamboyacu - Lamas**

Documet-Petrlik, Karen [ID 0000-0001-9545-7561]¹; Dávila-Rivera, Arbel [ID 0000-0002-3175-0942]¹; Chávez-Salazar, Ángel [ID 0000-0001-7430-2181]¹; Chappa-Santa María, Víctor [ID 0000-0003-3475-8277]¹

¹Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto, Perú

✉ kgdocumet@unsm.edu.pe

Recibido: 30/10/2021;

Aceptado: 4/12/2021;

Publicado: 20/01/2022

Resumen: El trabajo tuvo por objetivo determinar el efecto en la calidad del café en taza debido al porcentaje de incidencia y el grado de severidad con el que afectó la Roya Amarilla (*Hemileia vastatrix*) a los cafetos. Se identificaron las zonas cafetaleras en el caserío de Alto Shamboyacu a 11 kilómetros aproximadamente de la provincia de Lamas, con una altitud entre los 800 a 1000 m.s.n.m., donde se evaluaron 10 parcelas de no más de 0.5 Ha cada una. La severidad del ataque de la Roya Amarilla (*Hemileia vastatrix*) del café se encontró en grado 3 con un 21% al 50% del área afectada de las hojas. La incidencia de la Roya Amarilla (*Hemileia vastatrix*) del café se encontró alrededor del 53.18% de infestación, en las parcelas estudiadas. En el rendimiento del café, se obtuvieron valores máximos de 77% y valores muy bajos de 59.55%. La calidad organoléptica se encuentra en un promedio de 79,3 puntos, valor por debajo para considerarse café especial. La Roya Amarilla (*Hemileia vastatrix*) afecta sensorialmente en el cuerpo del café, perdiendo intensidad en atributos como la acidez, dulzor, sabor, sabor residual.

Palabras clave: café; calidad organoléptica; incidencia; roya amarilla; severidad

Abstract: The objective of this work was to determine the effect on the quality of cup coffee due to the incidence percentage and the degree of severity with which Roya Amarilla (*Hemileia vastatrix*) affected coffee trees. We identified coffee growing areas in the Alto Shambuyacu hamlet approximately 11 kilometers from the province of Lamas, with an altitude between 800 and 1000 meters above sea level, where 10 plots of no more than 0.5 Ha each were evaluated. The severity of the attack of Roya Amarilla (*Hemileia vastatrix*) of coffee was found in grade 3 with 21% to 50% of the affected area of the leaves. The incidence of Roya Amarilla (*Hemileia vastatrix*) of coffee was found around 53.18% infestation, in the studied plots. In the coffee yield, maximum values of 77% and very low values of 59.33% were obtained. The organoleptic quality is an average of 79.3 points, a value below to be considered special coffee. The Roya Amarilla (*Hemileia vastatrix*) has a sensorial effect on the body of coffee, losing intensity in attributes such as acidity, sweetness, flavor, residual flavor.

Keywords: coffee; organoleptic quality; incidence, yellow rust; gravity

Cómo citar / Citation: Documet-Petrlik, K., Dávila-Rivera, A., Chávez-Salazar, A. & Chappa-Santa María, V. (2022). Calidad organoléptica del café bajo el efecto de la Roya Amarilla (*Hemileia vastatrix*) en Alto Shamboyacu Lamas. *Revista agrotecnológica amazónica*, 2(1), e260. <https://doi.org/10.51252/raa.v2i1.260>

I. Introducción

Se trata de un arbusto siempre verde originario de Etiopía. Es sin duda hoy uno de los vegetales más conocidos en el mundo entero. Una versión dice que el cafeto o café fue descubierto casualmente por un pastor al ver que sus cabras, que habían comido el fruto de esta planta, se ponían nerviosas e intranquilas. Otra versión, en cambio, afirma que el café lo descubrieron unos monjes que lo utilizaban para proporcionarse insomnio en sus horas de oración nocturna. Sea como fuere, el caso es que se conocen unas 30 especies de café (Agrinova, 2014).

La roya del cafeto (*Hemileia vastatrix*) es considerada la enfermedad más importante del cultivo de café a nivel mundial y causante de importantes pérdidas económicas. En el Perú fue reportada por primera vez el año 1979 en la selva central del Perú (localidad de Satipo) y durante 35 años estuvo presente en nuestros cafetales, pero sin alcanzar niveles de importancia económica como ha ocurrido nuevamente (Julca Otiniano et al., 2013)

En el Perú, el efecto económico se ha estimado en pérdidas de 158,907 has de café equivalente a 108.17 toneladas, afectando socialmente al 5.88% de productores de los cuales el 23.53% de productores abandonaron temporalmente sus unidades agropecuarias, calculándose en 16.28 millones de jornales perdidos (Nahuamel Jacinto, 2019).

Durante los años 2012 y 2013, se ha presentado brotes epidémicos de la roya amarilla del café causado por el hongo *Hemileia vastatrix* en todas las regiones productoras del país. Este fenómeno se debe principalmente al efecto del cambio climático y a la baja tecnología empleada por los agricultores dedicados a esta actividad, cuyos campos presentan escasa fertilidad, excesivo sombreado en las plantaciones, desconocimiento de métodos adecuados de control y no cuentan con variedades tolerantes o resistentes a la roya del café (Gamarra Gamarra et al., 2015).

Las condiciones climáticas favorables para el hongo son temperaturas entre 23°C a 28°C; humedad relativa superior al 80%, que mantiene la hoja mojada y altitudes debajo de 1,500 m. El ataque es severo en plantaciones viejas de variedades susceptibles y en plantías con control fitosanitario inadecuado, nutrición desbalanceada y manejo de sombra, podas o limpiezas deficientes (Pappa & Calderón, 2013).

En la región San Martín el nivel de infección por *Hemileia vastatrix* fue de 35% a 41% del total de cultivos de café, siendo las provincias más afectadas Rioja y El Dorado.

El cultivo de café representa para la región San Martín, uno de los productos agrícolas más representativos y con más importancia por su presencia en el comercio internacional. El impacto económico de *Hemileia vastatrix* en el cultivo del café no solo se debe a la reducción de la cantidad y la calidad de la producción, sino también a la necesidad de implementar costosas medidas de control en los cultivares susceptibles (Tirabanti et al., 2014).

La incidencia de la enfermedad presente, permite conocer los puntos de la finca o lote, donde existe una mayor presencia de la Roya. Este conocimiento además puede ayudar a relacionar la incidencia de Roya en estos sitios, como aspectos de manejo que puedan estar favoreciendo la enfermedad (Barquero, 2013).

Para medir la severidad de la roya se crearon un total de 15 patrones de área foliar (10 - 100 cm²) y de tamaño de lesión. Estos permiten ver el crecimiento de las hojas y de las lesiones de la roya a través del tiempo (López Bravo, 2010).

El problema se encuentra en la calidad del café en taza, ya que esta determina el precio del café y el nicho de mercado para los cafés especiales y esto afecta directamente los niveles de vida de los productores cafetaleros.

Es de interés determinar el efecto de la calidad del café mediante análisis organoléptico de los granos de café afectados por el grado de severidad y porcentaje de incidencia de la roya amarilla (*Hemileia vastatrix*).

2. Materiales y métodos

2.1. Materia prima

Las muestras de café se recolectaron de las fincas del caserío Alto Shamboyacu, distrito de Lamas, Provincia de Lamas del Departamento de San Martín, caserío que se encuentra ubicado a 11 kilómetros de la ciudad de Lamas entre 800 a 1000 m.s.n.m., con una temperatura promedio de 20 – 21°C. La variedad predominante en esta zona y con la que se trabajó es la variedad Catuai.

Las parcelas de donde se recogieron las muestras se ubicaron al azar tomando como referencia los caminos de herradura existentes considerando los dos extremos de estas en forma de zigzag. En cada parcela se seleccionaron 10 plantas al azar y en cada planta se analizó 3 ramas, para un total de 30 ramas por parcela. Se contó y registró en cada rama el número total de hojas y el número de hojas con roya amarilla.

La recolección de los granos de café se realizó en las primeras horas de la mañana y de forma manual, proceso que se le conoce como la recolección tal cual, teniendo en cuenta el porcentaje de incidencia y el grado de severidad con que fue atacado los cafetos por la roya (*Hemileia vastatrix*).

2.2. Grado de severidad

Se observó cada hoja de las ramas antes seleccionar el porcentaje de área afectada, para ello se dobló la hoja en cuatro partes tomando cada cuadrante como un 25%, de acuerdo a las porciones afectadas se puede inferir la severidad. Para evaluar la severidad se utilizó la tabla 1 y la figura 1 donde se muestra la escala de la severidad de la roya en las hojas, según lo detallado por Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria.

Tabla 1. Escala de severidad de la roya del cafeto en las hojas

Clase	Hoja (% daño)
0	Sana sin síntomas visibles
1	1 – 5% de área afectada
2	6 – 20% de área afectada
3	21 – 50% de área afectada
4	> 50% de área afectada

Fuente: (SENASICA, 2013).

Figura I. Escala de severidad de la roya del cafeto en las hojas

Grado 0	Grado 1	Grado 2	Grado 3	Grado 4
Planta sana	1 - 5%	6 - 20%	21 - 50%	> 50%

Fuente: (SENASICA, 2013)

2.3. Porcentaje de incidencia

Para determinar el porcentaje de incidencia de la roya del café, se escogieron 10 plantas al azar y se evaluaron 3 ramas de cada planta (1 de la parte baja, 1 de la parte media y 1 de la parte superior) (García Rosales, 2013).

Para calcular la incidencia se utilizó la ecuación (1) teniendo en cuenta que se considera una hoja enferma a cualquier hoja que tenga al menos una lesión y para la cantidad total de hojas se considera a tanto a las hojas sanas y a las enfermas (García Rosales, 2013).

$$\% \text{ incidencia} = \frac{\text{total de hojas enfermas por rama}}{\text{total de hojas en la rama}} \times 100 \quad (1)$$

2.4. Análisis organoléptico de los granos de café

Las cerezas de café se recolectaron en sacos de yute para ser transportadas, este traslado se realizó antes de las ocho horas de haber sido recolectados los cerezos (Marín Ciriaco, 2013).

Para obtener las características organolépticas del café se realizó el proceso de beneficio, que consiste en el despulpado del café, la fermentación en cajones fermentadores, el lavado de los granos de café para la eliminación del mucílago y culminando con el secado hasta una humedad de 11% a 12% obteniéndose café pergamino.

Para determinar el análisis físico del café se realizó procesos de pesado tomando como base 400 gr de café pergamino por cada muestra y proceder al trillado para determinar la cantidad de cisco o cascara, determinación de humedad, determinación de la granulometría (café de descarte) mediante el paso de los granos por zarandas de malla 14, 15 y 16, cálculo del rendimiento (café exportable).

El análisis de atributos organolépticos del café (catación), se realizó con un panel de 6 expertos basándose en la metodología Specialty Coffee Association of America (SCAA, 2015), donde se evaluaron atributos como fragancia/aroma, sabor, acidez, cuerpo, balance, dulzor, uniformidad, taza limpia. Además, es importante el puntaje del catador para valorar los posibles defectos.

Asimismo, para evaluar los efectos de la roya amarilla (*Hemileia vastatrix*) en los cafetales, se utilizó un diseño factorial (5x5) con tres repeticiones. Se realizó análisis de la varianza

(ANOVA) para comprobar los posibles efectos y las interacciones entre los factores (incidencia – severidad).

3. Resultados y discusión

3.1. Grado de severidad

Evaluación en forma visual de todas las parcelas, para proceder a la selección y delimitación de la zona de donde se extraerán las muestras.

Los indicios de la presencia de la Roya Amarilla (*Hemileia vastatrix*) en los cafetales se notaron por las manchas de coloración amarillo pálido en algunas plantas, en otras se encontraron manchas color café marrón y en algunos casos se encontraron plantas sin hojas.

De acuerdo a la tabla 1 y figura 1 la evaluación de la severidad se encontró con mayor prevalencia en las parcelas estudiadas, fue de grado 3 de infestación donde las hojas se encontraron necrosadas de manera muy notoria, afectadas entre el 21 al 50% del área total de la hoja. El 10% de las parcelas presentaron plantas con defoliación total.

La evaluación de la severidad de la roya del café fue estudiada por Garcia Rosales (2013) en parcelas de la zona de Chimaltenango – Guatemala donde determinó un grado de severidad de 2 a 3 de infestación, expresándose en un rango que va de 9,72% hasta un 58,89%, siendo más severa el ataque de la roya en estas parcelas. Al igual que en las parcelas estudiadas en nuestra región la severidad del ataque la roya de café trajo como consecuencia la caída prematura de las hojas, propiciando la reducción de la capacidad fotosintética, así como el debilitamiento de los árboles y la poca producción de cerezos.

3.2. Porcentaje de incidencia

La evaluación de la incidencia de la Roya Amarilla (*Hemileia vastatrix*) se encontró alrededor del 53,18% de infestación en las parcelas evaluadas.

Del total de plantas evaluadas el 30% de los cafetos infectados se encontraron con una incidencia del 75% al 100%, el 50% con una incidencia de entre el 50%–75%, el 16% en una incidencia del 25%–50% y un 4% en una incidencia del 0–25%, representa por las parcelas estudiadas.

La incidencia de la Roya Amarilla (*Hemileia vastatrix*), se encontró en un porcentaje alto debido a que la gran mayoría son cafetales adultos y existe en una misma parcela muchas variedades de café las cuales se encuentran mezcladas, lo que dificulta la implementación de prácticas agronómicas, dado que cada variedad tiene características de crecimiento, desarrollo y resistencia a plagas y enfermedades diferenciadas.

En el estudio realizado por Tirabanti et al. (2014) sobre el impacto económico de *Hemileia vastatrix* en 11 caseríos del ámbito de influencia del proyecto café, distrito de Alonso de Alvarado, provincia de Lamas, región San Martín, determinó que en cada parcela el promedio de plantas infestadas era del 72,85 % y el nivel de incidencia fue de 63,55%, al igual que los resultados obtenidos en la zona de estudio de Alto Shamboyacu - Lamas, nos mostró que el nivel de incidencia se encuentra superior al 50% (53,18%), superando también más de la mitad de las plantaciones infestadas.

3.3. Análisis organoléptico de los granos de café

Análisis físico del café: Este proceso se inicia después del beneficio del café y del proceso de trillado.

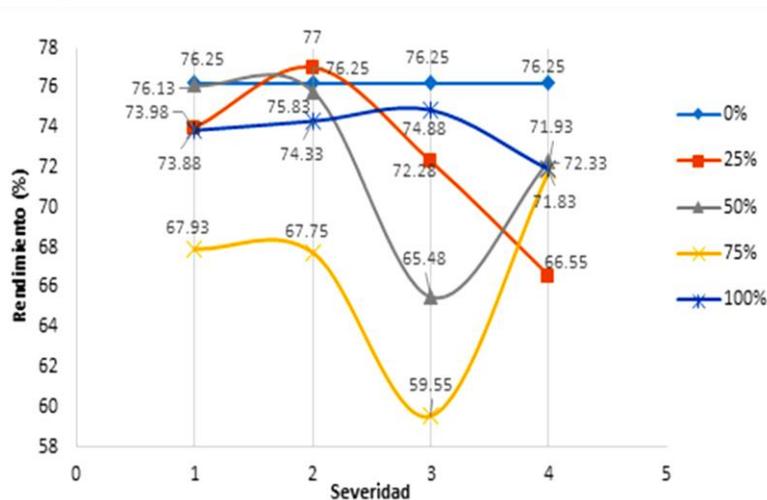
El pesado es la primera operación que permitió conocer la cantidad de cisco o cascara el cual representó en promedio el 18,88%, la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (2010) establece que el promedio de cisco o cascara del café pergamino representa el 19,74% siendo menor el porcentaje obtenido, contando con más granos de café verde; según Montilla-Pérez et al. (2008) quienes indican que los factores que puedan variar el rendimiento es la composición química del grano de café pueden modificarse por factores como la especie, la variedad, la naturaleza y la fertilidad del suelo, las condiciones atmosféricas y ambientales, el manejo agronómico, la edad de la plantación, plagas y enfermedades y el control, el período de cosecha, el contenido de humedad del café cereza y la recolección. Se obtuvo menos café trillado en aquella muestra con severidad de grado 3 e incidencia del 75% (21,35% de cisco).

La humedad promedio de las muestras fue del 14,1%. La muestra con grado 3 de severidad e incidencia del 75% fue la que presentó la más baja humedad (12,1%), considerando que la humedad óptima en el grano de café se encuentra entre 10 - 12%, esto le permite adquirir al café una condición latente. Puerta (2006) indica que humedades superiores a 12,5% existe el riesgo de deterioro microbiológico por bacterias u hongos, daño físico, pergamino manchado y decoloración de la almendra, sabores sucios, mohosos, terrosos y de reposo, además la humedad es un factor que determina la calidad y el precio del grano de café.

Después del proceso de zaranda se pudo determinar que la muestra con 25% de incidencia y grado 4 de severidad es la que más café con defectos (458 gr) y café de descarte presentó (16,6 gr), la SCAA (2015) indica que el café de descarte es un parámetro que determina los posibles contratos comerciales del café. Gomez Posada (2019) indica que un café con buena calidad física debe tener café de descarte de 18% o menos.

El rendimiento promedio de las muestras (Figura 2) fue de 71,6%, se podría considerar como un café bueno teniendo en cuenta que el mínimo promedio con el que la Cooperativa Agraria Cafetalera ORO VERDE Coop. (2014) reciben café a sus socios hasta con 69% de rendimiento.

Figura 2. Rendimiento en relación a la incidencia y la severidad



Análisis organoléptico del café: La catación del café nos permitió conocer las características organolépticas y en forma específica los atributos con los que cuentan las muestras de café analizadas.

Los atributos favorables encontrados en las muestras fueron a chocolate, dulce, cítrico, nueces, frutas secas y los desfavorables fueron a madera, terrosos. Estos atributos desfavorables hicieron que las muestras tengan un promedio de puntaje de 79,3 puntos. Según IICA (2010) indica que la experiencia de los sabores agradables que tenga el catador con la muestra se califica como positivos a la calidad, y ocurre lo contrario con las sensaciones no agradables, los cuales se consideran defectos y estos son calificados negativamente restando a la calidad de la muestra.

Tabla 2. Valores promedios de catación de café en taza

Incidencia	Severidad				
	0	1	2	3	4
0	81	-	-	-	-
25	-	79,5	79,3	79,0	79,7
50	-	80,3	80,0	79,5	79,8
75	-	79,5	79,6	79,3	79,7
100	-	79,8	79,4	80,3	79,0

La Tabla 2 muestra los valores que en promedios no superan los 80 puntos como valor mínimo para ser considerado un café de calidad, según la SCAA (2008) no se podría considerar como cafés especiales, se podrían considerar como café corriente o comercial. Esta disminución de la calidad en taza del café es provocada por roya amarilla causante de la defoliación de los cafetos, siendo las hojas parte importante para el proceso de fotosíntesis, encargadas de convertir la energía lumínica en energía química, la cual es aprovechada por la planta para este caso para la formación de frutos.

El análisis de los resultados indica que existió una diferencia significativa en la severidad y de igual manera en la incidencia, que influyeron en la calidad del café procedente del caserío de Alto Shambuyacu – Lamas, potenciaron desfavorablemente sobre el valor en la calidad del café en taza, siendo la severidad con la que fueron atacados los cafetos la que marcó más los valores bajos dados durante la catación del café.

4. Conclusiones

El grado de severidad del ataque de la roya del café en la zona de Alto Shamboyacu - Lamas, se encontró en grado 3 donde las hojas estaban necrosadas de manera muy notoria, afectando entre el 21 al 50% del área sana. La incidencia se encontró alrededor del 53,18% de infestación.

El rendimiento del café, expresado en café exportable tiene como valor promedio de 71,6% pudiendo ser aceptable en algunas empresas cafetaleras.

La calidad organoléptica se encuentra en un promedio de 79,3 puntos, este valor coloca la calidad del café en corriente o comercial, con atributos favorables a chocolate, dulce, cítrico, nueces, frutas secas y desfavorables como madera, terrosos, con cuerpo plano y baja intensidad en atributos como la acidez, dulzor, sabor, sabor residual.

Para mejorar la calidad organoléptica del café de la zona de Alto Shamboyacu – Lamas, se podría hacer una cosecha selectiva, lo que permitirá obtener un buen puntaje en taza.

Referencias bibliográficas

- Agrinova. (2014). *El cultivo del café*. InfoAgro.Com.
<https://infoagro.com/herbaceos/industriales/cafe.htm>
- Barquero, M. (2013). *Recomendaciones para el combate de la roya del cafeto*. ICAFE.
- Cooperativa Agraria Cafetalera ORO VERDE Coop. (2014). *Proceso de catación*. Oro Verde.
<https://oroverde.com.pe/cafe-2/>
- Gamarra Gamarra, D., Torres Suarez, G., Casas Samaniego, J., & Riveros Izarra, H. (2015). Caracterización y manejo integrado de la roya amarilla del café en Selva Central del Perú. *Convicciones*, 2(1). <https://revistas.uncp.edu.pe/index.php/convicciones/article/view/53>
- García Rosales, D. (2013). *Incidencia y severidad de la roya del café (Hemileia vastatrix) y evaluación de alternativas químicas para su control*. Universidad Rafael Landívar.
- Gómez Posada, S. (2019). *¿Cómo se determina la calidad del café?* QueCafe.Info.
<https://quecafe.info/como-se-determina-la-calidad-del-cafe/>
- IICA. (2010). *Protocolo de análisis de calidad de café*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. <http://repiica.iica.int/docs/b2063e/b2063e.pdf>
- Julca Otiniano, A., Echevarría Anyosa, C., Ladera Manyari, Y., Borjas Ventura, R., Cruz Janampa, R., Bello Amez, S., & Crespo Costa, R. (2013). Una revisión sobre la roya del café (*hemileia vastatrix*) algunas experiencias y recomendaciones para el Perú. *Agro Enfoque*, 28(189), 28–31.
http://repebis.upch.edu.pe/articulos/agro_enfoque/v28n189/a1.pdf
- López Bravo, D. (2010). *Efecto de la carga fructífera sobre la roya (Hemileia vastatrix) del café, bajo condiciones microclimáticas de sol y sombra, en Turrialba, Costa Rica* [Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza]. <https://agritrop.cirad.fr/558831/>
- Marín Ciriaco, G. (2013). *Control de calidad del café – Manual técnico* (1st ed.). Centro de Estudios y Promoción del Desarrollo.
- Montilla-Pérez, J., Arcila-Pulgarín, J., Aristizábal-Loaiza, M., Montoya-Restrepo, E. C., Puerta-Quintero, G. I., Oliveros-Tascón, C. E., & Cadena Gómez, G. (2008). *Propiedades Físicas y Factores de Conversión del Café en el Proceso de Beneficio*.
<https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/358/1/avt0370.pdf>
- Nahuamel Jacinto, E. (2019). *Efecto económico de la roya amarilla en el comercio mundial de café. Caso Perú: periodo 2011-2015* [Universidad Nacional Mayor de San Marcos].
<https://hdl.handle.net/20.500.12672/12597>
- Pappa, F., & Calderón, G. (2013). Recomendaciones para el control de la roya. *El Cafetal*, 35, 10–13. <https://www.anacafe.org/uploads/file/994322fc9be142579b05ddaea4c84e43/El-Cafetal-14.pdf>
- Puerta, G. (2006). *La humedad controlada del grano preserva la calidad del café*.

<https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/418>

SCAA. (2008). *Protocolos de catación*. Speciality Coffee Association of America.

SCAA. (2015). *Cupping Specialty Coffee*. Specialty Coffee Association of America.
<http://www.scaa.org/PDF/resources/cupping-protocols.pdf>

SENASICA. (2016). *Roya del cafeto - Hemileia vastatrix Berkeley & Broome*. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Dirección General de Sanidad Vegetal. https://prod.senasica.gob.mx/SIRVEF/ContenidoPublico/Roya_cafeto/Fichas_tecnicas/Ficha_Técnica_de_Roya_del_cafeto.pdf

Tirabanti, J., Santos, P., Carrión, Ó., & Arévalo, F. (2014). *Impacto económico de Hemileia vastatrix en 11 caseríos del ámbito de influencia del proyecto Café, distrito de Alonso de Alvarado, provincia de Lamas, región San Martín*. InfoCafés. <http://infocafes.com/portal/>

Financiamiento

Universidad Nacional de San Martín mediante Resolución N° 234-2014-UNSM/CU-R

Conflicto de intereses

El artículo no presenta conflicto de intereses.

Contribución de autores

Documet-Petrlik, Karen: Conceptualizó el estudio y redactó el manuscrito.

Dávila-Rivera, Arbel y Chávez-Salazar, Ángel: Colaboraron en el análisis de los datos y redacción del manuscrito.

Chappa-Santa María, Victor: Aprobó la versión final del manuscrito.

Artículo original / Original article

Determinación de parámetros óptimos de tostado de semilla de copoazú (*Theobroma grandiflorum* (Willd ex Spreng) Schum) para la obtención de licor o pasta

Determination of optimal roasting parameters of copoazu seed (*Theobroma grandiflorum* (Willd ex Spreng) Schum) for obtaining liquor or pasta

Cajo-Pinche, María  0000-0003-4753-4029¹; Díaz-Viteri, Javier  0000-0002-5384-5539¹

¹Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, Puerto Maldonado, Perú

✉ mcajo@unamad.edu.pe

Recibido: 06/11/2021;

Aceptado: 06/12/2021;

Publicado: 20/01/2022

Resumen: El copoazú es uno de los cultivos de mayor importancia en Madre de Dios, departamento con mayor producción; la semilla de copoazú sirve de materia prima para chocolate de copoazú. Siendo una operación importante el tostado; etapa en la cual se desarrollan aroma, color y sabor del chocolate. Por ello es importante definir la temperatura y el tiempo óptimo de tostado de la semilla de copoazú. Se utilizó semillas con índices de fermentación bien fermentados 80% estas fueron sometidas a proceso de tostado utilizando tres temperaturas de 110 °C, 120 °C y 130 °C por tiempos de tostado de 20 min, 30 min y 40 min, aplicando un diseño experimental completamente al azar (DCA) con arreglo factorial 3 x 3, siendo los factores: la temperatura de tostado y los niveles tiempos de exposición al tostado, la pasta de copoazú fue evaluada por un panel entrenado de APPCACAO. Se evaluó los atributos de olor, acidez, amargor, astringencia, sabor y aroma, limpieza, postgusto, obteniendo puntuaciones de los atributos desde 41 a 60; bajo el tratamiento de 130 °C x 20 min ocurre una significancia de 95%. El mejor tratamiento de tostado es de 130 °C x 20 min ya que así se obtiene un puntaje de 60 sobre 100 respecto a los atributos del licor de copoazú; asimismo, este licor de copoazú tiene las siguientes características proximales: humedad: 1.66, proteína: 9.33, grasa: 56.40, ceniza: 1.45, fibra: 2.72, carbohidratos: 2916 y cadmio: 0.009

Palabras clave: características; físicas; sensoriales; temperatura, tiempo

Abstract: The copoazú in Madre de Dios is one of the most important crops, we have to note that in Peru it is the department with the highest production; copoazú seed serves as raw material for copoazú chocolate. Roasting being an important operation; stage in which the aroma, color and flavor of the chocolate develop. For this reason, it is important to define the optimum temperature and time for toasting the copoazú seed. Seeds with 80% well fermented fermentation indices were used, these were subjected to a roasting process using three temperatures of 110 °C, 120 °C and 130 °C for roasting times of 20 min, 30 min and 40 min By applying a completely randomized experimental design (DCA) with a 3 x 3 factorial arrangement, the factors being: the roasting temperature and the levels of exposure to roasting, the copoazu paste was evaluated by a trained APPCACAO panel. The attributes of smell, acidity, bitterness, astringency, flavor and aroma, cleanliness, aftertaste were evaluated, obtaining scores of the attributes from 41 to 60; under the treatment of 130 °C x 20 min, a significance of 95% occurs. The best roasting treatment is 130 °C x 20 min since this gives a score of 60 out of 100 regarding the attributes of the copoazu liquor; Likewise, this copoazu liquor has the following proximal characteristics: humidity: 1.66, protein: 9.33, fat: 56.40, ash: 1.45, fiber: 2.72, carbohydrates: 2916 and cadmium: 0.009

Keywords: characteristics; physical; sensory; temperature; time

Cómo citar / Citation: Cajó-Pinche, M. & Díaz-Viteri, J. (2022). Determinación de parámetros óptimos de tostado de semilla de copoazú (*Theobroma grandiflorum* (Willd ex Spreng) Schum) para la obtención de licor o pasta. *Revista agrotecnológica amazónica*, 2(1), e265. <https://doi.org/10.51252/raa.v2i1.265>

I. Introducción

El copoazú (*Theobroma grandiflorum* (Willd ex Spreng) Schum), conocido como cacao amazónico; “es un árbol típicamente amazónico que produce frutos carnosos, pertenece a la familia de las Malvaceae, que se encuentra en estado silvestre en la parte sur y sur-este de la amazonia oriental” (Giorgini Augusto Venturieri & Aguiar, 1988)(Aldave Palacios, 2016)(G.A. Venturieri, 1990), planta típica de la región Madre de Dios en Perú. Después de todo, el *Theobroma Grandiflorum* ya lleva algunos años siendo anunciado como la próxima "superfruta", debido a sus numerosos nutrientes y antioxidantes (Wallace, 2012). La Asociación de Agricultores Agropecuarios de la Comunidad El Progreso de Madre de Dios, organización que realizó su primera exportación de 15 toneladas de semilla seca de copoazú a Rusia (Agencia Agraria de Noticias, 2020) a través de la Cooperativa Sur Oriente. Constituyendo un agente económico en la región Madre de Dios.

Según Dirección Regional de Agricultura (2021) el copoazú tiene un rendimiento 1352 Kg/Ha, en el 2020 fue de 36 ha y este 2021 hasta julio ya van 41 ha sembradas esto implica que será mayor la producción de copoazú en Madre de Dios. Asimismo, El Gobierno Regional de Madre de Dios promueve la producción del copoazú un fruto oriundo del Brasil, cuyo aroma y sabor es similar al del cacao (Agencia Agraria de Noticias, 2020). Cáritas Madre de Dios, el copoazú ha sido catalogado como uno de los frutos más promisorios de la Amazonía tiene gran aceptación en el mercado regional, donde se consume en forma de refrescos, helados, yogur, chupetines y en tragos exóticos, elaborados a partir de su pulpa (Agencia Agraria de Noticias, 2020) (Quintero, 2020).

Del fruto, similar al coco en apariencia, también se puede aprovechar su almendra para elaborar chocolate, como se hace en Brasil y Bolivia. Tiene muy buenos contenidos de grasas e incluso mejores que el cacao, de acuerdo con información nutricional brindada por Caritas Madre de Dios, el copoazú posee calcio, fósforo y vitamina C, entre otros compuestos. rendimiento puede alcanzar de 1500 kg de pulpa por Ha y su precio, S/. 8 Kg en temporada, es decir, entre enero y marzo. Por año suelen obtener entre 50 y 60 mil Kg, La composición porcentual del fruto fresco de copoazú es: Cáscara 46.47%, Pulpa 36.79%, Almendras 16.74% (Giorgini Augusto Venturieri & Aguiar, 1988).

El tostado es; “una operación que contribuye a disminuir la humedad de las semillas por debajo del 2%, en el caso del cacao estas condiciones facilitan su desprendimiento y las semillas son más rígidas facilitando su posterior molienda, además durante el tostado se producen reacciones de Maillard que desarrollan características finales de color, sabor y aroma a chocolate, es decir definir sabores del cacao (Domínguez-Pérez et al., 2019). Un buen tostado facilita la eliminación de microorganismos y ácidos volátiles que generen sabores amargos y ácidos. Para ello se exponen las semillas a temperaturas de entre 110 °C a 150 °C por tiempos de entre 15 min a 60 min” (Alegría Vargas, 2015).

En la producción de licor o pasta de copoazú materia prima del chocolate, es importante definir la temperatura y el tiempo óptimo de tostado de la semilla de copoazú ya que estos parámetros nos permitirán buen aroma, color y sabor. En Madre de Dios se produce de forma tradicional ya que los parámetros de tostado relacionados a la temperatura y tiempo no son medidos y controlados repercutiendo en sus características organolépticas y fisicoquímicas, por lo que su calidad hace difícil que sea introducido en el mercado nacional e internacional. El interés

de optimizar los parámetros del tostado, es para obtener un chocolate de calidad como lo exige el mercado en la actualidad, de esta manera contribuir con el aporte tecnológico a los empresarios que se dedican a este rubro para que puedan incrementar sus ventas, incursionar en otros mercados, etc.

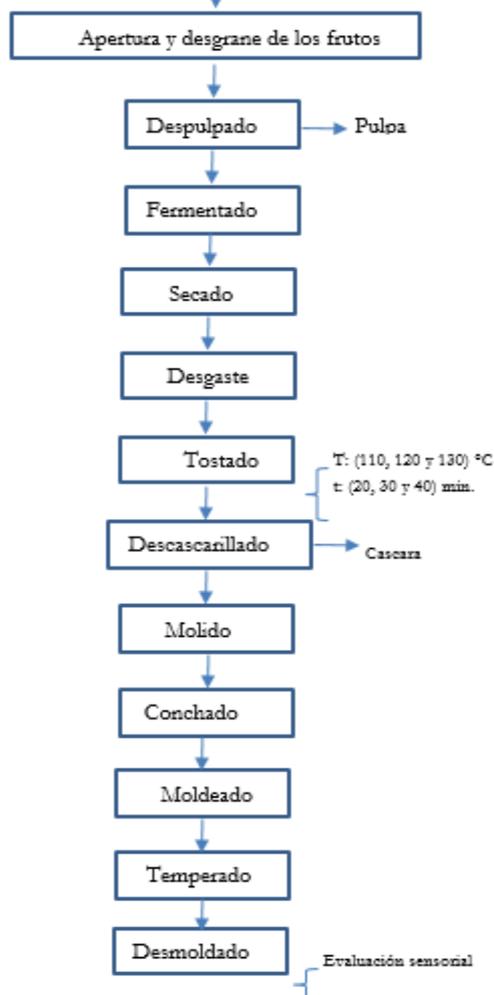
La semilla de copoazú, tiene un alto potencial para la obtención de chocolate y manteca de copoazú. A la fecha no se ha desarrollado investigaciones que permitan estandarizar los productos antes mencionados, que en pocas cantidades se procesan. Es por ello que la presente investigación pretendió determinar: parámetros óptimos de temperaturas y tiempos de exposición del tostado de la semilla, operación muy importante que permite obtener un chocolate con buenas características físicas químicas y organolépticas y de alto valor nutritivo. Generando así un alto valor agregado y un potencial agroindustrial. Generando mayores ingresos a los empresarios dedicados a este rubro ya que podrán entrar en el mercado nacional e internacional; siendo el principal beneficiario el consumidor final.

Durante la investigación se tuvo limitantes en cuanto a la poca información respecto a los antecedentes de trabajos realizados en cuanto al: tostado de la semilla de copoazú y la estacionalidad de la fruta.

El objetivo principal fue Determinar los parámetros óptimos de tostado de la semilla de copoazú (*Theobroma grandiflorum* (Willd ex Spreng) Schum), para la obtención de un licor o pasta de copoazú de calidad con buenas características organolépticas, propiedades físico químicas y con alto valor nutritivo.

2. Materiales y métodos

Las semillas de copoazú provenientes del fundo Yanahoca, Asociación de Agricultores Agropecuarios “El Progreso”, ubicado en Unión Progreso, km 85 carretera Puerto Maldonado – Cusco, distrito de Inambari, provincia de Tambopata, departamento de Madre de Dios, que está ubicado a 238 m s. n. m. de altitud, latitud Sur: 12° 52' 48" S y longitud Oeste: 69° 49' 35.1" W. El presente proyecto se realizó en la Planta Piloto de Frutas Tropicales de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios. El estudio fue de tipo aplicativo, de corte experimental con un diseño experimental completamente al azar (DCA) con arreglo factorial 3 x 3, siendo los factores: la temperatura de tostado (110 °C, 120 °C y 130 °C) y los niveles tiempos de exposición al tostado (20 min, 30 min y 40 min), cada tratamiento se efectuó por triplicado. se utilizó el programa estadístico design-expert (stat ease. uk), el universo fue de 100 kilos frutos de copoazú con una muestra de 20 kg, para caracterizar la semilla de copoazú se procedió a pesar, medir el volumen y la densidad en una probeta con agua; asimismo, se tomó medidas de longitud y espesor. Una vez caracterizadas las semillas de copoazú se procedió a la obtención del licor de copoazú. Luego las muestras de licor de copoazú fueron envasados en bolsas laminadas y enviados a APPCACAO para su evaluación sensorial, ya que en Perú no existe catadores especializados en copoazú y siendo el cacao un *Theobroma* se optó por ello. Se debe seguir un esquema ordenado: diseño, ámbito, periodo de estudio, población y muestra, fuentes de información, intervenciones (caso de estudios experimentales), instrumentos, variables (dependientes e independientes), aspectos éticos y plan estadístico.

Figura 1. Flujograma de obtención de chocolate de copoazúCopoazú - *Theobroma grandiflorum* (Willd ex Spreng) Schum.

Descripción del flujograma

Material: El material vegetal de copoazú se adquirió del fundo del Yanahoca, Unión Progreso, km 85 carretera Puerto Maldonado – Cusco, distrito de Inambari, provincia de Tambopata, departamento de Madre de Dios.

Materia prima: debe ser homogénea en cuanto al tamaño, grado de madurez y variedad, excepto de daños físicos.

Apertura y desgrane de los frutos: Se realizó de forma manual, golpeando el fruto con un mazo de madera, para facilitar la apertura de este; luego se retiró las semillas de la cascara.

Despulpado: fue mecánico, para ello se utilizó la despulpadora, separando la pulpa de la semilla; la pulpa fue de 70% y lo restante semilla. Y la semilla se destinó a la fermentación.

Fermentado: Se realizó en cajones de madera rectangulares de 40 cm x 40 cm. y 50 cm. de profundidad, los cajones contaron con aberturas en la parte interna y media que facilitaron el drenado del licor; asimismo se hizo la toma de temperatura y pH en un punto medio por

triplicado, a partir del día cero hasta el día siete. La masa utilizada fue de 40 kg. de almendra húmeda por cada tratamiento. Con remoción cada 24 horas

Secado: Los granos fermentados se secaron a temperatura ambiente por aproximadamente 4 días en día soleado y en días nublados siete días, en mesa de acero inoxidable. La exposición solar durante 3 horas en el día y en la noche bajo ventilación.

Desgaste: se realizó en una maquina peladora centrifuga de capacidad de 500 kg /hora, con una potencia de 2 hp, velocidad de rotación del cilindro 36 rpm eficiencia del equipo de 78 a 86% por 4 min.

Tostado: se realizó en una estufa con capacidad de 5 litros, con un rango de 5 a 250 °C, de 220 voltios, a temperaturas (110 °C, 120 °C y 130 °C) y tiempos de 20 min, 30 min y 40 min.

Descascarillado: se realizó de forma manual con ayuda de tijeras

Molido: se realizó en un molino artesanal.

Conchado: se realizó en APPCACAO en un canchador de piedras nivel laboratorio con capacidad de carga de 4 kg. Por un tiempo de 18 h de conchado.

Moldeado: en moldes de policarbonato.

Temperado: se congelo por 10 min en la nevera y luego se refrigero por 10 min. Esta operación se realiza para la dureza del chocolate y para la estabilidad de la grasa (a mayor grasa el temperado es menor).

Desmoldado: se retiró de los moldes, asimismo se realizó la evaluación sensorial con un panel entrenado.

Análisis de datos

El diseño experimental completamente al azar (DCA) con arreglo factorial 3 x 3, siendo los factores: la temperatura de tostado (110 °C, 120 °C y 130 °C) y los niveles tiempos de exposición al tostado (20 min, 30 min y 40 min), cada tratamiento se efectuó por triplicado. Se utilizó el programa estadístico Design-Expert (Stat Ease. UK).

3. Resultados y discusión

Características físicas de la semilla de copoazú

Tabla I. Característica física de la semilla de copoazú (*T. grandiflorum*)

Largo (mm)	Espesor (mm)	Ancho (mm)	Peso promedio (g)	Volumen (cm ³)	Densidad
26,98	11,71	22,29	5,84	5,89	0,99

En la Tabla I se presentan los datos promedio respecto a las características físicas de la semilla de copoazú.

Las características físicas de la semilla de copoazú usadas para la pasta o licor de copoazú son en promedio las que se muestran en la Tabla I que coinciden con los reportados por Rojas

Corrales & Villagra Halanocca (2016) y Zapata Ortiz et al. (1996) los cuales presentaron datos de longitud de la semilla de 22 mm a 35 mm, y ancho entre 15 mm a 28 mm.

Evaluación sensorial del licor de copoazú *T. grandiflorum*.

Tabla 2. Atributos sensoriales del licor de copoazú *T. grandiflorum*.

Atributos	110°C			120°C			130°C		
	20	30	40	20	30	40	20	30	40
Olor	5	6	6	5	5	5	7	7	5
Acidez	5	5	4	6	5	5	5	5	5
Amargor	5	4	5	3	4	5	7	5	5
Astringencia	2	3	3	4	5	7	7	7	4
Sabor y aroma	8	10	9	10	10	11	12	12	8
Limpieza	10	10	10	10	10	10	9	10	10
Postgusto	2	3	5	3	7	3	6	6	4
Puntaje del catador	4	6	5	4	6	6	7	7	4
Puntuación de atributos	41	47	47	45	52	52	60	59	45

Fuente: APPCACA (2017)

Tabla 3. Análisis de varianza de un factor - resumen

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
20/110°C	8	41	5.125	7.55357143
30/110°C	8	47	5.875	7.83928571
40/110°C	8	47	5.875	5.83928571
20/120°C	8	45	5.625	8.26785714
30/120°C	8	52	6.5	5.42857143
40/120°C	8	52	6.5	7.42857143
20/130°C	8	60	7.5	4.57142857
30/130°C	8	59	7.375	5.98214286
40/130°C	8	45	5.625	4.83928571

Tabla 4. Análisis de varianza de un factor

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	42.1944444	8	5.27430556	0.8219697	0.58627118	2.08918504
Dentro de los grupos	404.25	63	6.41666667			
Total	446.444444	71				

En la Tabla 2 se puede ver que hay 04 muestras aceptables con un promedio de puntaje superior a los 50 puntos, destacando el tratamiento de tostado de 130 °C x 20 min. Es el que obtuvo mayor puntaje respecto a los atributos sensoriales seguido del tratamiento de tostado de 130 °C x 20 min. Este resultado comparado con el estudio realizado por Aldave Palacios (2016) en cuanto a la temperatura de 130 °C es igual a lo obtenido en tostado de cacao (*Theobroma cacao* L.) CCN-51 e ICS-6, procedentes del distrito de Uchiza, provincia de Tocache, departamento de San Martín, en Perú. Diferente a lo reportado por Moncada Rodríguez & Hernández (2006) quienes recomiendan para el tostado de cacao silvestres y copoazú (*Theobroma grandiflorum*),

parámetros óptimos de 14 min por 140 °C, se podría indicar que a mayor temperatura menor tiempo. Esto podría deberse que en nuestro caso se realizó desgaste de la cascara antes del tostado.

4. Conclusiones

Se estudiaron tres temperaturas de 110 °C, 120 °C y 130 °C y tres tiempos de 20 min, 30 min y 40 min para la operación de tostado de los cuales el mejor tratamiento para el tostado de semilla de copoazú fue 130 °C x 20 min. Habiendo alcanzado el puntaje de 60, puntaje que corresponde a la suma de las calificaciones de los atributos: olor, acidez, amargor, astringencia, sabor y aroma, limpieza, postgusto

Se determinó las características físicas promedios de la semilla de copoazú, utilizadas para la obtención de licor de copoazú; longitud de 26,98 mm, espesor de 11,71 mm, ancho de 22,29 mm, peso promedio de 5,84 g, volumen de 5,89 cm³ y densidad de 0,99 g/cm³.

Agradecimiento

A la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, por financiar esta investigación y por facilitarnos la Planta Piloto de Frutas Tropicales donde se desarrolló la parte experimental.

Referencias bibliográficas

- Agencia Agraria de Noticias. (2020). *Productores de Madre de Dios exportaron 15 toneladas de copoazú a Rusia*. Agraria.Pe. <https://agraria.pe/noticias/productores-de-madre-de-dios-exportaron-15-toneladas-de-copo-21910>
- Aldave Palacios, G. J. (2016). *Efecto de la temperatura y tiempo de tostado en los caracteres sensoriales y en las propiedades químicas de granos de cacao (Theobroma cacao L.) procedente de Uchiza, San Martín – Perú para la obtención de NIBS* [Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. <https://hdl.handle.net/20.500.12672/5009>
- Alegría Vargas, E. A. (2015). *Evaluación de tratamientos previos al proceso de tostado de semillas de cacao para el diseño del área de producción de pasta de cacao (Theobroma cacao)* [Escuela Politécnica Nacional]. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/9130>
- Dirección Regional de Agricultura. (2021). *Información Agrícola*. DRA. <https://www.dramdd.gob.pe/informacion-agricola/>
- Domínguez-Pérez, L. A., Lagunes-Gálvez, L. M., Barajas-Fernández, J., Olán-Acosta, M. de los Á., García-Alamilla, R., & García-Alamilla, P. (2019). Caracterización vibracional de grupos funcionales en granos de cacao durante el tostado usando espectroscopía de infrarrojo por transformada de Fourier. *Acta Universitaria*, 29, 1–17. <https://doi.org/10.15174/au.2019.2172>
- Moncada Rodríguez, L. M., & Hernández, M. S. (2006). *Obtención de una cobertura de chocolate a partir de cacao silvestres, copoazú (Theobroma grandiflorum), y maraco (Theobroma bicolor), de la amazonia co-lombiana*. [Universidad de la Salle].

https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_alimentos/110/

- Quintero, M. L. (2020). *El copoazú: Ficha técnica, propiedades, beneficio, para la piel*. Del Amazonas. <https://delamazonas.com/plantas/frutas/copoazu/>
- Rojas Corrales, A. V., & Villagra Halanocca, J. (2016). *Evaluación de los métodos de fermentación y secado para el beneficio de semilla del copoazú (theobroma grandiflorum) y sus efectos en la calidad de pasta de chocolate natural en la provincia de tambopata-m.d.d* [Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios]. <http://repositorio.unamad.edu.pe/handle/UNAMAD/212>
- Venturieri, G.A. (1990). *Variabilidade em plantas jovens de cupuacu (Theobroma grandiflorum (Willdenow ex Sprengel) Schumann) estimada por descritores morfológicos fisiológicos e isoenzimáticos e sua utilização em caracterização de germoplasma*. Manaus.
- Venturieri, Giorgini Augusto, & Aguiar, J. P. L. (1988). *Composição do chocolate caseiro de amêndoas de cupuaçu (Theobroma grandiflorum (Willd ex Spreng) Schum)*. *Acta Amazonica*, 18(1-2), 3-8. <https://doi.org/10.1590/1809-43921988182008>
- Wallace, A. (2012). *El copoazú quiere ser la próxima superfruta amazónica*. BBC News Mundo. https://www.bbc.com/mundo/ultimas_noticias/2012/06/120625_colombia_copoazu_fruta_aw
- Zapata Ortiz, J. A., Pereira, A. E., Varón, E., Cárdenas, C., Cadena, F. M., & Rojas González, S. (1996). *El cultivo de copoazú (Theobroma grandiflorum) en el Piedemonte Amazónico colombiano*. AGROSAVIA. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/31918>

Financiamiento

Ninguno.

Conflicto de intereses

La presente publicación no presenta conflicto de intereses.

Contribución de autores

Cajo-Pinche, María: Investigador y redactor del presente artículo.

Díaz-Viteri, Javier: Investigador y redactor del presente artículo.

Artículo de revisión / Article review

Importancia de los dispositivos usados en la fermentación de Cacao (*Theobroma cacao* L.)

Importance of the devices used in the Cacao fermentation (*Theobroma cacao* L.)

Rios-Jara, Jonathan [ORCID: 0000-0002-8407-0297]¹; Lévano-Rodríguez, Danny [ORCID: 0000-0002-1783-1105]¹

¹Universidad Peruana Unión, Perú

✉ jonathanrios@upeu.edu.pe

Recibido: 17/11/2021;

Aceptado: 18/12/2021;

Publicado: 20/01/2022

Resumen: Lograr las mejores características organolépticas en el grano de cacao resultante, implica un adecuado tratamiento, mejores prácticas aplicadas y la incorporación de un tipo de fermentador que garantice el éxito del proceso. En esta investigación realizamos una exhaustiva revisión bibliográfica de las mejores prácticas para la construcción y uso de prototipos de fermentación en artículos publicados por países que tienen por excelencia la obtención de granos de calidad. Presentamos de manera organizada los resultados de dispositivos o prototipos fermentadores que han sido utilizados para mejorar los resultados del proceso de fermentación, publicados en revistas científicas indexadas en Latindex, Scielo y de preferencia Scopus, con un alto factor de impacto. Encontramos tres tipos de fermentador, con diferentes características, inversión para su implementación y distintos resultados en la obtención de la calidad organoléptica del cacao. Identificamos que el dispositivo con mejores resultados es el de tambor giratorio ya que se adecúa a las características del proceso de fermentación que se realiza en la Región San Martín, Perú.

Palabras clave: cacao; chocolate; dispositivos; fermentación; mecatrónicos; organolépticas

Abstract: Achieving the best organoleptic characteristics in the resulting cocoa bean implies an adequate treatment, best practices applied and the incorporation of a type of fermenter that guarantees the success of the process. In this research, we carried out an exhaustive bibliographic review of the best practices for the construction and use of fermentation prototypes in articles published by countries that have quality grains par excellence. We present in an organized way the results of fermenting devices or prototypes that used to improve the results of the fermentation process, published in scientific journals indexed in Latindex, Scielo and preferably Scopus, with a high impact factor. We found three types of fermenter, with different characteristics, investment for their implementation and different results in obtaining the organoleptic quality of cocoa. We identified that the device with the best results is the one with a rotating drum, since it is adapted to the characteristics of the fermentation process carried out in the San Martín Region, Peru.

Keywords: cocoa; chocolate; devices; fermentation; mechatronics; organoleptic

Cómo citar / Citation: Rios-Jara, J. & Lévano-Rodríguez, D. (2022). Importancia de los dispositivos usados en la fermentación de Cacao (*Theobroma cacao* L.). *Revista agrotecnológica amazónica*, 2(1), e281. <https://doi.org/10.51252/raa.v2i1.281>

I. Introducción

El cacao (*Theobroma cacao L.*) es un cultivo ampliamente difundido en la región amazónica tropical de Colombia, Ecuador, Perú y Brasil según Toapanta Ramos et al. (2019). Es una de las especies que se considera la más explotada comercialmente y uno de los productos agrícolas de mayor importancia económica, tanto a nivel local, nacional y mundial (Aracely Vera Loo et al., 2018).

La calidad del sabor del cacao se desarrolla además a partir de la fermentación, secado y buenas prácticas agroindustriales aplicadas como expresan Peláez et al. (2016). Sin embargo, las prácticas mal realizadas en el proceso de fermentación de cacao por lo general bajan la calidad y dan paso a enfermedades como señalan Marcillo Plaza et al. (2019). Por ende, son actividades determinantes para la obtención final de un sabor refinado del cacao como mencionan Ortiz S. et al. (2019), en donde se desarrollan los precursores del sabor y el aroma que son característicos del chocolate según afirman Cardona Velásquez et al. (2016a). En la práctica los métodos que se utilizan para la fermentación, respecto al tiempo al cual se realiza, frecuencia de remoción, secado y las condiciones ambientales atmosféricas de la ubicación geográfica según Moreno-Martínez et al. (2019), varían entre países, regiones y entre los agricultores del mismo sector, los cuales son determinantes para la calidad y a la par condicionan el precio por el mismo como expresan Vázquez-Ovando et al. (2016).

Las investigaciones realizadas en los procesos en la cual se ha visualizado la transformación del cacao son diversas y todas tienen la finalidad de mejorar el proceso de fermentación del cacao en sus atributos sensoriales, para así poder facilitar los procesos de transformación dentro de los sistemas de producción industrial, artesanal e incluso en lo gastronómico de acuerdo a Brunetto et al. (2020). Una forma de lograr la optimización de los sistemas de fermentación es el uso de prototipos de fermentadores de diversos materiales, formas e implementación del uso tecnológico, sobre las características fisicoquímicas que se presentan después de la fermentación y teniendo de respaldo la evaluación sensorial como lo menciona El Salous (2019).

De acuerdo a la revisión realizada con respecto al tipo de fermentador adecuado para aprovechar de manera máxima los precursores organolépticos del cacao como expresan Vázquez-Ovando et al. (2016), se han estudiado tipos de fermentadores tales como de acero inoxidable, de forma cilíndrica, caja cuadrada tradicional, realizada en madera y tambor giratorio de madera, en donde se pudo visualizar diferentes resultados entre estos tipos de fermentadores, todo esto en beneficio para asegurar la obtención benéfica eficaz organoléptica del cacao (Hernández-Hernández et al., 2016).

Como beneficio para el proceso de fermentación con el prototipo de fermentador de acero inoxidable, los valores adquiridos con este tipo de fermentador, monitoreado con sistemas de sensores, un software sistematizado y un diseño adecuado (Amorim Homem de Abreu Loureiro et al., 2017), se obtuvo mejoras en las condiciones que influyen directamente en la calidad de los granos, como por ejemplo lograr la uniformidad de la temperatura con una adecuada remoción y por consecuencia una buena ventilación de los granos según Mejía Córdoba (2018).

De manera que, para el fermentador tradicional de madera en forma cuadrada, se vieron desventajas tales como: falta de uniformidad de temperatura durante el proceso, dificultad para

realizar la frecuencia de remoción del grano y la fácil contaminación de las cajas (crecimiento de microorganismos inadecuados contaminantes) (Toapanta Ramos et al., 2019).

Los procesos agroindustriales que permiten asegurar buena calidad del sabor de cacao en el Perú y sobre todo en la región San Martín, que es una región exportadora por excelencia según las estadísticas (DEVIDA, 2018), se caracterizan porque los procesos de fermentación son los que representan mayor problema para obtener la calidad organoléptica sensorial adecuada, y la deficiente adecuación tecnológica que se existe al realizar el proceso (García González, 2019).

Según la revisión realizada de los dispositivos fermentadores en cuanto a tipos, características, forma y capacidad, el que mejor se adecua a la deficiente tecnificación agroindustrial en la Región San Martín, es el fermentador de tipo tambor giratorio, metálico de acero inoxidable, que incorpora un diseño de aspas que le permite realizar movimientos peristálticos, simulando el movimiento de un estómago a fin de garantizar homogeneidad en la distribución de la materia prima y alta calidad de las características organolépticas resultantes. Además, este incluye la incorporación de tecnología emergente como sensores de medición como pH, humedad y temperatura que unidos a un software de captura y procesamiento de datos dispara alertas o mecanismos de regulación y control para realizar el movimiento indicado.

En esta investigación se ha realizado una revisión bibliográfica exhaustiva de las mejores prácticas para la construcción y uso de prototipos de fermentación, que han sido realizadas en países que tienen una alta calidad organoléptica del sabor del cacao y así poder llegar a los estándares adecuados asegurando el éxito del proceso, de manera que logren ser más competitivos en el mercado.

2. Materiales y métodos

Lo que se realizó en primer lugar en la investigación, fue el estudio de los aspectos que los prototipos influyen en la obtención de un cacao de calidad, en el proceso de fermentación de la producción agrícola del cacao, de manera que comprendió principalmente la revisión de fuentes secundarias, publicaciones de revistas agrícolas e investigaciones del sector productivo del cacao.

En segundo lugar, se han revisado artículos originales de investigaciones ejecutadas en países donde la competitividad del sector cacaotero los ubica como referentes a nivel mundial. De manera parcial, se revisaron diversas tecnologías incorporadas en sus procesos, tales como sensores, prototipos mecatrónicos y software para la captura y procesamiento de datos.

Los artículos que han sido tomados para esta investigación comprenden entre los años 2016 y 2019. Para la búsqueda de la literatura para la elaboración se realizó sobre el tipo básico de información según Vera Carrasco (2009), El medio de búsqueda fue el motor de Google Académico asegurándonos que los artículos están publicados en revistas indexadas mínimamente en Doaj, Latindex Catálogo, Scielo, WoS, IEEE, de preferencia Scopus. Además, nos hemos asegurado de que tengan un alto factor de impacto, el mismo que se verifica por la posición de búsqueda, así como la cantidad de citas realizadas a dichos documentos de acuerdo a Slafer (2009) según lo menciona en su investigación.

Para tener en cuenta todo lo ya mencionado y establecido, se obtuvo un total de 46 artículos, donde los cuales comprenden de manera local como extranjera.

Se especificarán las características fundamentales de las bibliografías consultadas tales como periodo histórico abarcado, fuentes, localidades geográficas, criterios de selección, entre otros aspectos que se consideren necesarios. Se debe redactar en tercera persona y en tiempo pasado.

3. Resultados y discusión

La fermentación del grano de cacao es una etapa del proceso agroindustrial muy importante en el que, mediante la intervención de levaduras, bacterias ácido lácticas y bacterias acéticas, se desencadena una serie de reacciones bioquímicas que dan como resultado los compuestos llamados “precursores del aroma y sabor” (Díaz & Hernández, 2020). Un cacao con un proceso de fermentación deficiente posee características de sabor desagradables, como astringencia, y una acidez elevada, afectando directamente la calidad eficiente sensorial del grano (Brunetto et al., 2020).

Los factores que influyen sobre el proceso de fermentación son el tipo de cacao, las condiciones ambientales, el almacenamiento de la mazorca, así como el sistema empleado, el volumen de la masa, el volteo durante el proceso y como más resaltante el tipo de fermentador la cual se va a adecuar para el proceso según Hernández-Hernández et al. (2016), que tenga las características adecuadas y pueda ayudar a asegurar la calidad organoléptica del cacao tal como afirman Ramírez et al. (2019), dentro de estos tipos de fermentadores tenemos: Fermentador de madera forma cuadrada, fermentador de acero, fermentación tambor giratorio.

Características de Prototipos de fermentadores

Fermentador caja de madera: Dentro de la fermentación en cajones de madera que son muy usados en Perú y Ecuador según Atanacio-Andrade et al. (2019) se tiene dos tipos: fermentación en cajones de madera a un mismo nivel y fermentación en cajones de madera tipo escalera. Los cajones han sido realizados a base de tablones de maderas finas, resistentes a la humedad, tales como: el cedro o nogal, y otras de tipo blando según Soto Bohorquez et al. (2018), que carecen de resinas y no desprende sustancias un tanto extrañas que interfieran en la calidad del grano. Las dimensiones para este tipo de fermentadores varían entre las cantidades cuales se desean fermentar según lo mencionan Hernández-Hernández et al. (2016) en su investigación realizada, para 100 kg de cacao las dimensiones fueron 50 cm x 50 cm x 50 cm, para 300 kg fueron 75 kg x 75 kg x 75 kg, en el fondo de las cajas se tuvieron ranuras no menores de 0.5 cm, ni mayores de 1 cm, la separación del suelo unos 20 cm y el grosor de la madera debe ser de 2 cm, para poder cubrir los cajones se utilizaron hojas de plátano, sacos de yute, o una lámina de polietileno negro, además de la cubierta que tiene el propio cajón, todo esto con el fin de evitar pérdidas de temperatura. Los cajones de madera tipo escalera están formados por una o varias series de tres cajones, son colocados en diferentes niveles como si se estuviera formando una escalera.

Existen principales motivos por el cual los productores de cacao suelen usar cajas de madera y no la de otro material, se debe a que en el proceso de fermentación se genera la elevación de la temperatura según Garcia Gonzalez (2019) en base a su investigación, por la cual, si se utiliza otro material como aluminio o plástico, en la noche se enfría provocando un gradiente de temperatura muy elevado que perjudica la fermentación del cacao, la ventaja que tiene, es que puede fermentar cualquier volumen y ocasiona costos bajos. Un aspecto relevante

e importante a tener en cuenta cuando se trabaja con este tipo de fermentadores, es el lugar o espacio en la cual se ubicarán los cajones, estos se deben colocar en sitios cubiertos para así poder mantener la temperatura constante y se pueda mantener una fermentación completa según Cardona Velásquez et al. (2016b).

Actualmente la fermentación del cacao en este tipo de fermentador, es uno de los más utilizados y el que mejores resultados en cuanto a la calidad del grano ha generado; la mayoría de estudios e investigaciones se han realizado con este tipo de fermentador.

Fermentador tambor giratorio: Los fermentadores de tambor giratorio son construidos a base de madera finas, que se han resistidas a la humedad tales como: laurel, melina y otras de tipo blando según Quevedo et al. (2018), que carecen de resinas y no desprende sustancias un tanto extrañas que interfieran en la calidad del grano.

Para las dimensiones de este tipo, se recomienda 250 kg máximo, para facilitar la operación y además es equivalente a una hectárea de cacao, o también puede ser equivalente a la cantidad que se desea fermentar, el tipo de fermentador de tambor giratorio consta de un cilindro de 1.0 m de largo por 75 cm de diámetro, equipado de una tapa y dos paredes laterales. Es en base a listones de madera de 7 cm de ancho y 3 cm de espesor. El cuerpo del tambor debe reforzarse con cintas para evitar que ocurra una deformación. La tapa del fermentador debe tener un tamaño de 35 cm de ancho como mínimo según Hernández-Hernández et al. (2016), el tambor tiene un diámetro de 75 cm y 4,5 de espesor, en el centro del fermentador tiene un orificio, en donde encaja la balinera que permite la rotación del eje.

La manivela se utiliza para darles vueltas al eje y su ubicación es en los extremos, la longitud es de 1.20 m y debe ser resistente a la fuerza aplicada por el operario. El freno del tambor es un pasador de hierro que permite que el tambor pueda mantenerse estático o quieto, para que el operario pueda cargarlo y descargarlo. Este tipo de fermentador contiene una base, que consta de pilares o columnas de madera o cemento con la capacidad suficiente para soportar 250 kg.

Uno de los aspectos importantes dentro del proceso de fermentación es el alza de la temperatura y que la masa pueda tener una correcta aireación, por otro lado en la zona central de la masa no se consigue un 100% de fermentación de los granos de cacao, siempre suelen existir un grupo de granos que no obtienen una buena fermentación, es por ello para evitar todo esto, se han ideado los tambores giratorios para la fermentación del cacao y de tal manera que los granos puedan obtener buena aireación en el proceso según lo afirman Ruiz Reyes et al. (2016).

En base a la revisión que sea realizado según Córdova et al. (2019) en Machala Ecuador, afirma que existe resultados que, con la incorporación de este dispositivo de fermentación, se visualiza un incremento del 14% de granos bien fermentados; además se pueden obtener granos con mayor volumen, mejor color, olor y textura a comparación de los granos fermentados en cajón.

Sin embargo, son pocas las investigaciones realizadas y publicaciones con respecto a las mejoras del cacao con este tipo de fermentador debido al costo alto.

Fermentador acero inoxidable: Este tipo de fermentador es en base de acero inoxidable, existen diversos tipos de acero, en las cuales los más utilizados para la industria alimenticia son e AISI304, AISI304L, AISI316 y AISI316L; de las cuales se usó el AISI316L ya que es resistente a

la corrosión localizada, en equipos químicos, petroleras, cubas de fermentación (Aguilar-Sierra et al., 2015). La estructura de soporte está realizada de tubos cuadrados ASTM A36. Se utilizó un perfil cuadrado de 22 mm x 22 mm con un espesor de 1.2 mm.

La cama interna es recubierta con planchas de acero ASTM A 36 de 0.8 mm de espesor, la función es de proteger la estructura y generar un espacio entre la pared para colocar tecnopor para evitar que el calor de la masa fermentada se transfiera con facilidad. Tienen paletas en forma de C que permite coger una cantidad adecuada de granos y removerlos, la altura de la paleta es 120 mm, el material utilizado es de acero inoxidable AISI 304. El eje este hecho de acero inoxidable AISI 316L, la tapa del fermentador está conformada por una lámina de acero inoxidable de AISI 316L de 2 mm de espesor, una lámina de acero ASTM A36 de 0.8 mm de espesor y una estructura de tubo cuadrado ASTM A36 de 22 x 22 mm con un espesor 1.2 mm. Contiene un sistema de sensores para poder captar cada característica organoléptica del cacao, sistema embebido y una interfaz web para el monitoreo y trazabilidad.

En base a la revisión realizada según Castillo Ramos (2019) en Piura, con el prototipo de acero inoxidable se mejoró de forma notable la higiene en el proceso de fermentación y se minimizó la contaminación de los granos, además permitió que se pueda llevar una fermentación constante del grano y en donde se pudo controlar la aireación y la velocidad de remoción. Este prototipo es una nueva forma de fermentar granos de cacao, que permite el uso de agentes esterilizantes químicos y llevar un control sobre el proceso de fermentación mediante sistema de sensores y sistema web que recolecta información en tiempo real.

Sin embargo, son pocas las investigaciones realizadas y publicaciones con respecto a las mejoras del cacao con este tipo de fermentador debido al costo alto que genera el implementar este tipo de fermentador.

De acuerdo con toda la revisión bibliográfica que se realizó, los fermentadores son variados tanto en metodología como en tecnología, las modalidades de las actividades del tratamiento postcosecha desarrollados son de manera similar citando a Marcillo Plaza et al. (2019), ya que mantuvieron toda la secuencia de ejecución ordenada y pueden ser bien controladas para la obtención benéfica adecuada y la producción de granos con sabores organolépticos bien desarrollados. Las diferencias entre estos dispositivos radican entre la tecnología acoplada a los fermentadores (sensores, sistemas, softwares), formas características de cada dispositivo, dimensiones (medidas), material con la cual fueron fabricados y el rendimiento que cada dispositivo tuvo durante el proceso de fermentación.

Los resultados de cada dispositivo empleado en el proceso de fermentación fueron favorables para la obtención benéfica organoléptica de los granos de cacao, donde tuvieron buen desempeño, lo más común es la implementación de los fermentadores de madera cuadrado, tanto en el ámbito local, regional y nacional, debido a los bajos costos de producción que maneja, a comparación de los dispositivos de tambor giratorio y acero inoxidable, que emplean un costo más alto de producción, pero donde los resultados son mucho más favorables y no requieren de mucho personal que se encargue del manejo de estos dispositivos. Existe un factor importante que es mantener la higiene de los dispositivos, en la cual los fermentadores de madera son muchos más fáciles de ser contaminados, algo que no sucede con el fermentador de acero inoxidable y además tiene un valor agregado que es la inclusión de tecnología para mejorar el proceso fermentativo.

La realidad agroindustrial nacional, regional y local impide aprovechar las oportunidades de comercialización que menciona Barrientos Felipa (2015). Recomendamos adoptar el fermentador de tipo tambor giratorio propuesto por Quevedo et al. (2018), debido a las características organolépticas resultantes del proceso de fermentación, que permite mejorar la calidad comercial de los granos.

A continuación, en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** hacemos un resumen de la evaluación de las características de los prototipos de fermentación identificados en esta revisión. Tomamos en cuenta capacidad, material usado para su construcción, desempeño logrado, costo, adaptabilidad para la incorporarle tecnología de información y mecanismos de control, construcción y validación.

Tabla I. Evaluación de las características de los prototipos de fermentación.

Tipo	Capacidad	Material	Desempeño	Costo	Adaptable	Construcción	Validación
Acero	250 kg	AISI316L	Muy Bueno	Elevado	No	Difícil	Difícil
Tambor	250 kg	Madera	Muy Bueno	Bajo	Sí	Intermedio	Fácil
Tradicional	100 kg	Madera	Bueno	Bajo	No	Fácil	Fácil

4. Conclusiones

Con esta investigación se ha realizado una revisión bibliográfica exhaustiva de las mejores prácticas para la implementación de prototipos de fermentación que han sido utilizadas por países que logran alta calidad organoléptica en el sabor resultante del cacao, para poder llegar a los estándares adecuados asegurando el éxito del proceso y que logran ser más competitivos en el mercado, pero debido a la deficiente y heterogénea tecnología mal controlada utilizada para el proceso de fermentación y secado no se lo permiten. Y teniendo en cuenta que, si existe un buen desempeño de los procesos principales para la obtención de un grano de calidad, se obtendrán mejoras tanto en rentabilidad y muchas más oportunidades en el comercio exterior por ende la entrega de un buen grano

Referencias bibliográficas

- Aguilar-Sierra, S. M., Serna-Giraldo, C. P., & Aristizábal-Sierra, R. E. (2015). Transformaciones Microestructurales en Soldaduras Disímiles de Acero Inoxidable Austenítico con Acero Inoxidable Ferrítico. *Soldagem & Inspeção*, 20(1), 59–67. <https://doi.org/10.1590/0104-9224/SI2001.07>
- Amorim Homem de Abreu Loureiro, G., Reis de Araujo, Q., René-Valle, R., Andrade-Sodré, G., & Moreira de Souza, S. M. (2017). Influencia de factores agroambientales sobre la calidad del clon de cacao (*Theobroma cacao* L.) PH-16 en la región cacaotera de Bahia, Brasil. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 4(12), 579. <https://doi.org/10.19136/era.a4n12.1274>
- Aracely Vera Loor, M., Bernal Cabrera, A., Leiva Mora, M., Edison Agustín Vera Loor, A., Vera Coello, D., Peñaherrera Villafuerte, S., Solís Hidalgo, K., Terrero Yépez, P., & Eduardo Jiménez Guerrero, V. (2018). Microorganismos endófitos asociados a *Theobroma cacao* como agentes de control biológico de *Moniliophthora roreri*. *Revista Centro Agrícola*, 45(3), 81–87. <http://cagricola.uclv.edu.cu/index.php/es/volumen-45-2018/numero-3->

2018/1081

- Atanacio-Andrade, J., Rivera-García, J., Chire-Fajardo, G. C., & Ureña-Peralta, M. O. (2019). Physical and chemical properties of cacao cultivars (*Theobroma cacao* L.) from Ecuador and Peru. *Enfoque UTE*, 10(4), 1–12. <https://doi.org/10.29019/enfoque.v10n4.462>
- Augusto Marcillo Plaza, Tayron Martínez Carriel, Elicia Cruz Ibarra, Wilmer Baque Bustamante, C. S. B. (2019). Fermentation of cocoa CCN-51, on the basis of three methods, in different times. *Journal of Asia Pacific Studies*, 5(3), 394–410. <https://uploads.documents.cimpress.io/v1/uploads/01e8ee6d-e79d-4887-9e53-e1262d3506eb~110/original?tenant=vbu-digital>
- Barrientos Felipa, P. (2015). La cadena de valor del cacao en Perú y su oportunidad en el mercado mundial. *Semestre Económico*, 18(37), 129–156. <https://doi.org/10.22395/seec.v18n37a5>
- Brunetto, M. D. R., Gallignani de Bernardi, M. A., Orozco Contreras, W. J., Clavijo Roa, S. D. S., Delgado Cayama, Y. J., Ayala Montilla, C. D., & Zambrano García, A. (2020). RP-HPLC-DAD determination of free amino acids in cocoa samples during fermentation and roasting. *Revista Colombiana de Química*, 49(1), 11–19. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v1n49.77811>
- Brunetto, M. del R., Gallignani, M., Orozco, W., Clavijo, S., Delgado, Y., Ayala, C., & Zambrano, A. (2020). The effect of fermentation and roasting on free amino acids profile in Criollo cocoa (*Theobroma cacao* L.) grown in Venezuela. *Brazilian Journal of Food Technology*, 23. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.15019>
- Cardona Velásquez, L. M., Rodríguez-Sandoval, E., & Cadena Chamorro, E. M. (2016a). Diagnóstico de las prácticas de beneficio del cacao en el departamento de Arauca. *Revista Lasallista de Investigación*, 13(1), 94–104. <https://doi.org/10.22507/rli.v13n1a8>
- Cardona Velásquez, L. M., Rodríguez-Sandoval, E., & Cadena Chamorro, E. M. (2016b). Diagnóstico de las prácticas de beneficio del cacao en el departamento de Arauca. *Revista Lasallista de Investigación*, 13(1), 94–104. <https://doi.org/10.22507/rli.v13n1a8>
- Castillo Ramos, J. (2019). *Diseño de un fermentador orientado a mejorar el proceso de fermentación del cacao criollo blanco de Piura* [Universidad de Piura]. <https://hdl.handle.net/11042/4017>
- Córdova, P. R., Bohórquez, José Nicasio Quevedo Guerrero, Rigoberto García Batista, M., & Reyes, S. H. (2019). Automatización de un sistema de fermentación de almendra de cacao (*Theobroma cacao* L.) para pequeños productores. *Revista Científica Agroecosistemas*, 7(2), 149–156. <https://aes.ucf.edu/cu/index.php/aes/article/view/287>
- DEVIDA. (2018, May). *Cacao de Tocache es atractivo para mercados españoles*. <https://www.devida.gob.pe/-/cacao-de-tocache-es-atractivo-para-mercados-espanoles>
- Díaz, R. O., & Hernández, M. S. (2020). Theobromas from the Colombian Amazon: A healthy alternative. *Informacion Tecnológica*, 31(2), 3–10. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642020000200003>
- El Salous, A. (2019). Acceleration of cocoa fermentation through the action of bacteria (*Acetobacter aceti*) and yeast (*Saccharomyces cerevisiae*). *Espirales Revista Multidisciplinaria de Investigación*, 3(28), 1. <https://doi.org/10.31876/er.v3i28.572>

- García Gonzalez, E. (2019). Evaluación de los parámetros físico-químicos, microbiológicos y de calidad en la fermentación espontánea de granos de cacao en una unidad productiva de la unión, Florida (Valle del Cauca). *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 6(1). <https://doi.org/10.23850/24220582.1635>
- Hernández- Hernández, C., López- Andrade, P. A., Ramírez- Guillermo, M. A., Guerra Ramírez, D., & Caballero Pérez, J. F. (2016). Evaluation of different fermentation processes for use by small cocoa growers in Mexico. *Food Science & Nutrition*, 4(5), 690–695. <https://doi.org/10.1002/fsn3.333>
- Mejía Córdoba, C. A. (2018). Validación de un modelo matemático para predicción de la fermentación y secado del grano de cacao. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 9(1), 59–69. <https://doi.org/10.22490/21456453.2088>
- Moreno-Martínez, E., Gavanzo-Cárdenas, Ó. M., & Rangel-Silva, F. A. (2019). Evaluation of the Physical and Sensory Characteristics of Cocoa Liquor Associated with Sowing Models. *Ciencia y Agricultura*, 16(3), 75–90. <https://doi.org/10.19053/01228420.v16.n3.2019.9890>
- Ortiz S., J., Chungara, M., Ibieta, G., Alejo, I., Tejeda, L., Peralta, C., Aliaga-Rossel, E., Mollinedo, P., & Peñarrieta, J. M. (2019). Determinación de Teobromina, Catequina, Capacidad Antioxidante Total y Contenido Fenólico Total en Muestras Representativas de Cacao Amazónico Boliviano y su Comparación Antes y Después del Proceso de Fermentación. *Revista Boliviana de Química*, 1(36.1), 40–50. <https://doi.org/10.34098/2078-3949.36.1.4>
- Peláez, P. P., Guerra, S., & Contreras, D. (2016). Changes in physical and chemical characteristics of fermented cocoa (*Theobroma cacao*) beans with manual and semi-mechanized transfer, between fermentation boxes. *Scientia Agropecuaria*, 07(02), 111–119. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2016.02.04>
- Quevedo, J., Romero, J., & Tuz, I. (2018). Calidad Físico Química y Sensorial de Granos y Licor de Cacao (*Theobroma Cacao* L.) Usando Cinco Métodos de Fermentación. *Revista Científica Agroecosistemas*, 6(1), 115–127. <https://doi.org/https://aes.ucf.edu/cu/index.php/aes/article/view/172>
- Ramírez, B., María José, V., & Romero, J. M. (2019). Características Físicoquímicas y Colorimétricas de Licores de Cacao Obtenidos de los Clones tcs 06, fear 5 y fsv 41. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 17(1), 40–59. http://revistas.unipamplona.edu.co/ojs_viceinves/index.php/ALIMEN/article/view/4001
- Ruiz Reyes, J. M., Soto Bohorquez, J., & Ipanaque, W. (2016). Evaluation of spectral relation indexes of the Peruvian's cocoa beans during fermentation process. *IEEE Latin America Transactions*, 14(6), 2862–2867. <https://doi.org/10.1109/TLA.2016.7555266>
- Slafer, G. (2009). ¿Cómo escribir un artículo científico? *Revista de Investigación En Educación*, 6, 124–132. <https://reined.webs.uvigo.es/index.php/reined/article/view/59>
- Soto Bohorquez, J. C., Ruiz Reyes, J. M., Ipanaque Alama, W., & Chinguel Alama, C. (2018). New Hyperspectral Index for Determining the State of Fermentation in the Non-Destructive Analysis for Organic Cocoa Violet. *IEEE Latin America Transactions*, 16(9), 2435–2440. <https://doi.org/10.1109/TLA.2018.8789565>

- Toapanta Ramos, L. F., Andrade, C., Dávalos Álvarez, E., Landázuri Zaldumbide, S., & Quitiaquez, W. (2019). Thermal Analysis of heat sink with Heat Pipes for High Performance Processors. *Enfoque UTE*, 10(2), 39–51. <https://doi.org/10.29019/enfoque.v10n2.469>
- Vázquez-Ovando, A., Ovando-Medina, I., Adriano-Anaya, L., Betancur-Ancona, D., & Salvador-Figueroa, M. (2016). Alcaloides y polifenoles del cacao, mecanismos que regulan su biosíntesis y sus implicaciones en el sabor y aroma. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 66(3), 239–254. <https://doi.org/10.3362/9781780441368.003>
- Vera Carrasco, O. (2009). ¿Cómo escribir artículos de revisión? *Revista Médica La Paz*, 15(1), 63–69. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-89582009000100010

Financiamiento

Ninguno.

Conflicto de intereses

La presente publicación no presenta conflicto de intereses.

Contribución de autores

Rios-Jara, Jonathan: Investigador y redactor del presente artículo.

Lévano-Rodríguez, Danny: Investigador y redactor del presente artículo.

Artículo original / Original article

Fermentador inteligente con tecnología de fermentación controlada para estandarizar procesos de fermentación de cafés de especialidad

Smart fermenter with controlled fermentation technology to standardize specialty coffee fermentation processes

Carbajal-Guerreros, Ismael [ID 0000-0003-3881-8572]¹; Pilco-Valles, Herberth [ID 0000-0002-7768-2359]¹; García-Herrera, Flor Aracely [ID 0000-0003-2090-3146]¹; Coronel-Rufasto, Ivan [ID 0000-0002-4010-0239]¹; Gonzales-Diaz, Jose Rolando [ID 0000-0003-0277-5742]¹; Cabanillas-Pardo, Lenin [ID 0000-0002-1059-8064]¹

¹ProInnovate, Perú

✉ gerenciafrutosdeselva@gmail.com

Recibido: 10/12/2021;

Aceptado: 10/01/2022;

Publicado: 20/01/2022

Resumen: El cultivo del café como materia prima es muy apreciada por la bebida resultante de agradable sabor y valor socioeconómico. Nuestro objetivo fue diseñar un dispositivo fermentador inteligente con tecnología de fermentación controlada para estandarizar procesos de fermentación de cafés de especialidad. Para ello realizamos un estudio con diseño descriptivo comparativo con enfoque basado en desarrollo tecnológico que dividimos en cuatro etapas de construcción y para validarlo se utilizaron 150 kilos batch de grado de café despulpado fresco. Logramos construir un dispositivo fermentador inteligente con tecnología de fermentación controlada para estandarizar procesos de fermentación de cafés de especialidad con el que se aplica un protocolo de funcionamiento de prototipo eficiente, con la capacidad de estandarizar procesos de fermentación controlada para cafés de especialidad. El prototipo construido permite a través de un protocolo fermentar de forma controlada y eficiente el café a partir del cual obtuvimos 84 puntos SCAA de valoración y el control de la temperatura logrado ayuda a equilibrar los procesos bioquímicos que se ve reflejado en las puntuaciones de tasas con características de sabores, fragancias uniformes y perfiles suaves que le otorgan al café 84 puntos.

Palabras clave: café; fermentación; medición; pergamino; taza; procesos

Abstract: The cultivation of coffee as a raw material is highly appreciated for the resulting beverage with a pleasant taste and socioeconomic value. Our objective was to design an intelligent fermentation device with controlled fermentation technology to standardize fermentation processes for specialty coffees. For this, we carried out a study with a comparative descriptive design with an approach based on technological development that we divided into four construction stages and to validate it, 150 batch kilos of fresh pulped coffee grade were used. We managed to build an intelligent fermentation device with controlled fermentation technology to standardize specialty coffee fermentation processes with which an efficient prototype operating protocol is applied, with the ability to standardize controlled fermentation processes for specialty coffees. The built prototype allows, through a protocol, to ferment the coffee in a controlled and efficient way, from which we obtained 84 SCAA assessment points and the temperature control achieved helps to balance the biochemical processes that is reflected in the rate scores with characteristics of flavors, uniform fragrances and smooth profiles that give the coffee 84 points.

Keywords: bowl; coffee; fermentation; measurement; parchment; processes

Cómo citar / Citation: Carbajal-Guerreros, I., Pilco-Valles, H., García-Herrera, F. A., Coronel-Rufasto, I., Gonzales-Diaz, J. R. & Cabanillas-Pardo, L. (2022). Fermentador inteligente con tecnología de fermentación controlada para estandarizar los procesos de fermentación de cafés de especialidad. *Revista agrotecnológica amazónica*, 2(1), e303. <https://doi.org/10.51252/raa.v2i1.303>

I. Introducción

Dentro del campo agrícola el café es uno de los cultivos de mayor importancia y ha demostrado tener peso socioeconómico a lo largo de la historia (Al-Abdulkader et al., 2018). Asimismo, en muchos países es un producto de alto consumo y grandes extensiones de plantación (Sayed et al., 2019). Su consumo llega a tener una tasa de crecimiento media anual del 3,5% que va en aumento (Magalhães Júnior et al., 2021). En este sentido, (Smith Dumont et al., 2019) consideran pertinente el conocimiento técnico-agrícola para su productividad y sostenibilidad; caso contrario, el rendimiento del cultivo y futura comercialización se verán afectados.

La producción y comercialización del café (*Coffea arabica*) representa el sustento de millones de agricultores (Pham et al., 2019), siendo un producto básico e importante en el mundo (Lopes et al., 2020) por brindar beneficios a la salud humana (Bonilla Medina, 2017). De acuerdo al análisis estadístico realizado por (Ocampo Lopez & Alvarez-Herrera, 2017) sobre las cafeteras reportadas por la Organización Internacional del Café, países como Brasil, Vietnam, Indonesia, Honduras, Nicaragua y Perú, son tendencias de surgimiento en su producción.

En el Perú, el café es uno de los principales productos de agroexportación, contando con 420 mil ha dedicadas al cultivo, además la producción representa el sustento de 223 mil familias (Julca-Otiniano et al., 2018). Asimismo, Perú es un referente a nivel mundial de cafés especiales, ocupando el 2do lugar a nivel mundial como productor/exportador de café orgánico, siendo el principal proveedor de café de Estados Unidos con el sello de Fair Trade (Estevez et al., 2017). Pese a las dificultades logísticas del proceso de cosecha y embarque incitados por la pandemia de la covid-19, la producción y exportación de café sumaron un total de 4 739 000 quintales, por un valor de 658 millones de dólares, lo que evidencia su importancia en el crecimiento económico de una nación (Junta Nacional del Café, 2021).

En la región San Martín, el Valle del Alto Mayo es considerado una de las principales zonas productora de café, pues su principal actividad socio-económica es la caficultura, teniendo a más de 35 mil familias dedicadas a la producción (Rojas-Ruiz et al., 2020). Por tal motivo, la mayoría de empresas del rubro se encuentran ubicadas en esta parte de la región, siendo las organizaciones y cooperativas formadas por pequeños productores las que ofertan cafés especiales certificados de alta calidad.

La empresa, Frutos de selva, es una de las empresas ubicadas en el Valle del Alto Mayo que tiene como actividad principal la comercialización de grano de café logrando vender el año 2016 la cantidad de 12 contenedores de grano de café verde, el 80% al mercado nacional y el 20% al mercado internacional, además, la empresa aumento sus alianzas institucionales y comerciales para incrementar su capacidad exportable de grano de café, junto a esto la Cooperativa ha desarrollado proyectos productivos con apoyo de entes del estado, logrando con ello mejorar la productividad y calidad del producto, haciéndolo más competitivo en el ámbito comercial, además de implementar con tecnología eficaz para mejorar los procesos.

Por otra parte, Frutos de selva tiene un manejo post cosecha donde el proceso de fermentación se realiza de forma convencional y artesanal, se cuenta con un protocolo, sin embargo, no es posible el control de tiempo, humedad, temperatura y pH, por lo que no es posible conocer volúmenes de masa concentrado por tipo de cajón, variedad y pisos actitudinales. Al no tener el control de las citadas variables, el proceso de fermentación es bastante heterogéneo, razón por lo cual al solo se llega a obtener en el mejor de los casos 82.5 SCAA de puntuación de calidad, pues, las características del grano no se desarrollan, perdiendo

su valor para el mercado de cafés especiales, pasando el 97% a ser convencionales y por ende su valor de precio decrece.

La post cosecha es una actividad muy importante para la obtención del producto final, la misma que el productor en un 80% no lo lleva a cabo aplicando criterios técnicos que ayuden a que este proceso sea llevado de manera eficiente, siendo la fermentación un cuello de botella, ya que el productor no tiene conocimiento del tiempo óptimo, temperatura y otros factores importantes, y determinantes en el proceso, razón por la cual lo llevan de acuerdo a su criterio no garantizando la calidad del producto final.

Por tal motivo, es urgente mejorar los procedimientos de manejo de post cosecha, especialmente el proceso de fermentación, que es donde el grano de café mediante cambios biológicos y químicos adquiere los atributos deseables que lo convierte en un café superior. Estos tipos de café son vendidos a tostadores de EE.UU y Europa a precios superiores a los \$200.00 dólares americanos por quintal de 46 kg. La Cooperativa busca incrementar el volumen de oferta de estos tipos de cafés, ya que no satisface la demanda de sus clientes.

Por lo descrito, el objetivo del proyecto es diseñar y construir prototipo fermentador inteligente con tecnología de fermentación controlada que permita estandarizar los procesos de fermentación para la obtención de cafés de especialidad, pues para la estandarización de los procesos de fermentación es necesario controlar y manejar de manera eficiente el tiempo, temperatura, ph, al momento del proceso, el cual tiene que ser evaluado en diferentes tiempos, hasta lograr encontrar el perfil ideal del grano en estudio.

2. Materiales y métodos

Unidad de Análisis

El diseño es descriptivo comparativo; por que busca caracterizar un fenómeno o hecho en base a la información recogida de varias muestras, en base a la comparación de los resultados encontrados en las mismas como también recoge información de una situación sin ejercer un control de un tratamiento. La población es el prototipo fermentador con 150 kilos batch de grano de café despulpado fresco, el cual se acopiará durante la ejecución del proyecto. El prototipo fermentador construido funcional es el p.

Frutos de selva contó con infraestructura para el acopio de grano de café, la misma que estuvo implementada por un laboratorio de control de calidad con los equipos básicos para realizar el análisis físico sensorial de grano de café, asimismo se encuentro comercializando granos de café convencionales al mercado nacional y especiales al mercado internacional, este último con oferta creciente cada año. Asimismo, con la aparición de nuevos segmentos de mercados la demanda de este tipo de café fue cada vez más, incrementando la producción de cafés especiales de la empresa en un 10 %, mediante el cual pretendió abarcar más el segmento de cafés especiales, ya que se contó con clientes potenciales para estos tipos de café.

Plan metodológico del proyecto

La ejecución del proyecto estuvo dada por etapas (pasos críticos), donde en cada uno de ellos se realizó actividades direccionadas a cumplir los objetivos del proyecto, y se desarrolló de la siguiente manera:

Primera etapa: Se realizó el diseño técnico del prototipo con aporte de experiencias en campo y un especialista que brindó asesoramiento para diseño y elaboración de los planos de dos modelos de prototipos con capacidad de estandarizar los procesos de fermentación basados en temperatura, ph, volumen de masa, tiempos de proceso. Se desarrolló la evaluación de la estructura física de acuerdo a los parámetros de uso, y por último la simulación del prototipo y su potencial funcionamiento de todas sus partes.

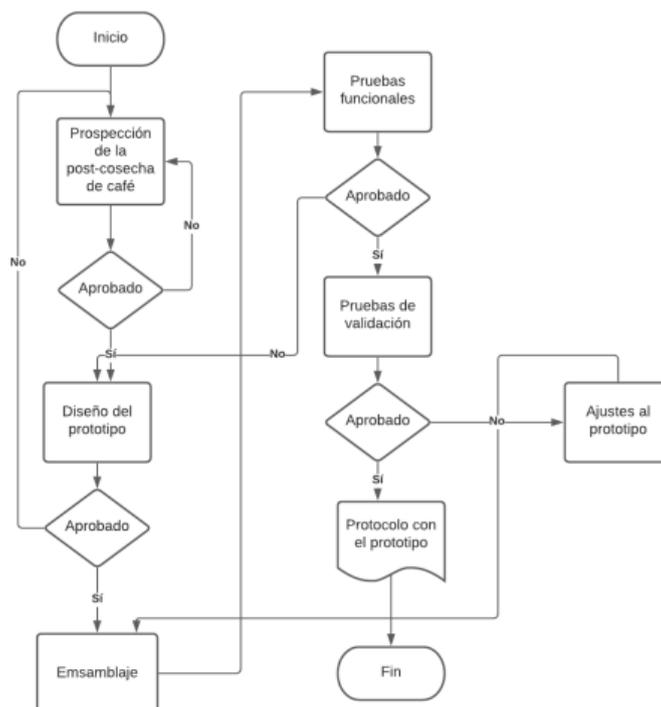
Segunda etapa: Desarrollo y funcionamiento de uno de los dos prototipos funcionales, se identificó las zonas con potencial para la recolección de muestras, que fueron evaluadas para su viabilidad y uso con el prototipo. Primeras pruebas de funcionamiento del prototipo, las muestras evaluadas fueron analizadas en laboratorio tanto físico como organoléptico.

Tercera etapa: Establecimiento de los parámetros óptimos de funcionamiento y validación, múltiples evaluaciones, hasta estandarizar el proceso; las muestras evaluadas analizadas en laboratorio para determinar la calidad físico sensorial del grano, con los resultados eficientes finales se elaboró un protocolo de funcionamiento de prototipo para su aplicación continua.

Cuarta etapa: Gestión y cierre del proyecto.

Flujograma del proceso de desarrollo del prototipo fermentador Clasificación del café cosechado

Figura 1. Flujograma del proceso de desarrollo del prototipo fermentador inteligente



Criterios de las variables vinculantes al prototipo

Utilizamos el beneficio semi húmedo – Honey, los frutos maduros son despulpados y secados con el mucílago adherido al grano (Rodríguez et al., 2020). Utilizamos el prototipo construido, esparciendo los granos en capas delgadas de 3 cm y removiendo cada 20 minutos a temperaturas

máximas de 35 °C y mínimas de 20 °C controladas con colectores de aire a base de energía solar evitando mezclar granos con diferente contenido de humedad. Se realizó monitoreo con el software del prototipo (da Costa et al., 2021). La clasificación antes del despulpado y el secado son las etapas importantes en la calidad final para que presente atributos sensoriales dulces y frutales, conservando el nivel de acidez para ser comercialmente bien valorado. Las muestras humedad entre 12% a 14% se dejaron en reposo en parihuelas de madera separadas de la pared, con una altura entre 10 y 15 cm del suelo durante una semana en una bodega seca y ventilada, con temperatura menor a 20°C y humedad relativa del 65% al 70% para evitar rehumedecimiento del producto (Sotelo-Valer et al., 2020). El almacén de café estuvo separado del centro de beneficio y cerca de la bodega se evitaron olores.

De la experiencia del equipo técnico, productores y experto consultor se determinó que se debe tener la siguientes variables o criterios para el diseño del prototipo.

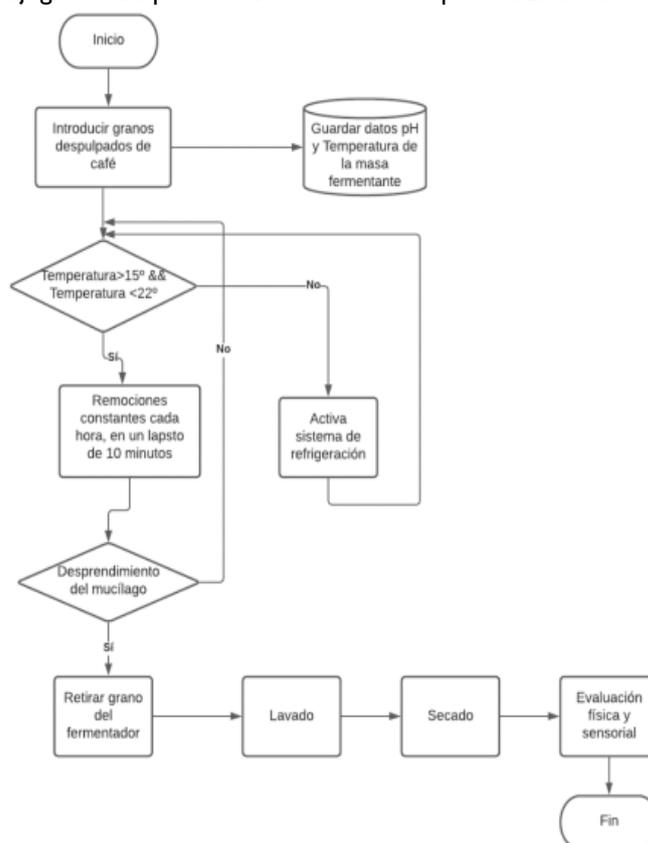
Tabla 1. Criterios de las variables vinculantes al prototipo

Requisitos	Propuesta
Debe contener los granos de café en baba durante la fermentación y drenar el mucilago en las horas de fermentación	A través de agujeros incorporados en el prototipo fermentador.
Debe permitir el drenado del mucílago.	Por gravedad y presión.
Debe permitir remover los granos de café durante la fermentación sin causar daños.	A través de un mecanismo automatizado, paletas o tornillo sin fin.
Deber permitir la aireación de los granos de café durante la fermentación.	A través de ranuras que permitan cerrar y abrir tipo agujeros.
Debe mantener la temperatura durante la fermentación.	Cajón fermentador cerrado enchaquetado con un material aislante de calor.
Debe permitir la homogenización de la masa de café fermentante.	Giro automatizado del cajón fermentador.
Debe permitir la medición de la temperatura y pH de la masa fermentante.	Sensores de temperatura y pH instalador en el cajón fermentador.

3. Resultados y discusión

Flujograma del proceso de fermentación que realiza el fermentador diseñado

Este subproceso se desarrolló dentro del proceso de postcosecha de café, el cual se tuvo en cuenta para la validación. Aquí se trata la fermentación. Presentamos el siguiente diagrama de flujo (Figura 2) para esquematizar y partir con los diseños del prototipo.

Figura 2. Flujograma del proceso de fermentación que realiza el fermentador diseñado.

Como se observa en el siguiente diagrama de flujo, el fermentador se basará en su control de temperatura. Con base en esto se inició el diseño de la propuesta, del cual hemos codificado y se definió un fermentador adecuado con las expectativas descritas, el fermentador fue diseñado para una capacidad de 150 kilos de grano despulado para fermentarse.

Prototipo

Los resultados obtenidos se elaboraron en base a los requerimientos determinados:

- Fermentador cilindro, con chaqueta de agua (aislante de factores externos, sistema de aireación, motor rotatorio de palancas tipo hélices dentro de la masa).
- Sistema de sensores conectados a la masa (Ph, Ox y Temperatura) para controlar los sistemas del motor, y con los datos determinar el algoritmo inteligente para afinar el proceso de fermentación controlada.
- Sistema conecta a ductos de agua, para facilitar el lavado del grano.
- Sistema de salida de mucílago y del grano.

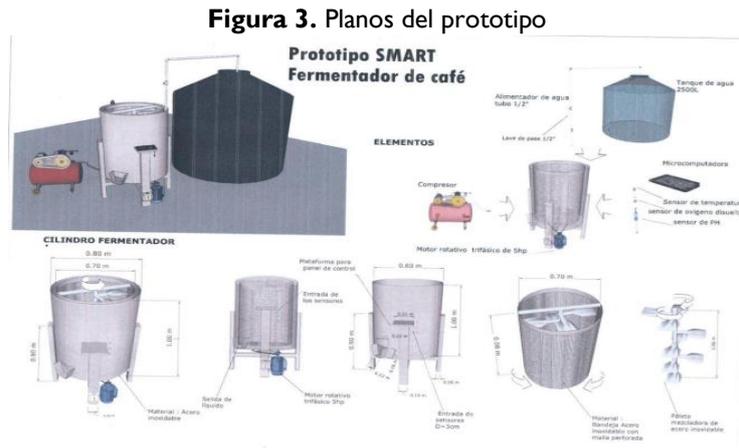
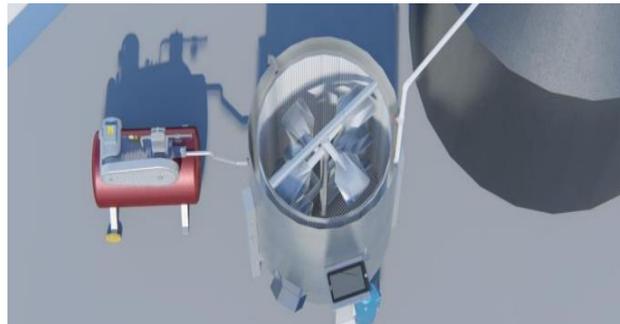


Figura 4. Planos del Prototipo



El diseño del prototipo permitió:

- El modelo cilíndrico garantiza una homogeneidad de fermentación de sustrato de café en al menos 99% respecto al modelos cuadrados puede llegar a un 90% de homogeneidad
- El modelo cilíndrico ayuda a escurrir en menos tiempo el mucilago del sustrato por su posición vertical y el sustrato apilado se presiona, generando un 30% más efectivo que modelo tipo cuadrado.
- El proceso de lavado es más versátil y utilización de menos agua por la posición y la presión que genera por la gravedad.
- El sistema de sensores se adapta para ambos modelos.
- El algoritmo inteligente sería más provechoso con el modelo cilíndrico.

Ensamblaje del prototipo fermentador de café

Mecánica-eléctrica

El proceso de ensamblaje se inició de acuerdo al modelo de diseño elegido por el cual se inició a partir de ahí y realizar el prototipo, el cual se basó de bandeja redonda con dimensiones de 0.80 centímetros de diámetro con altura de 100 centímetros.

- Base de la estructura. Se lograron realizar el rolado de la parte base del cilindro, el cual fue con planchas de acero inoxidable de 2 mm de espesor, el cual se lograron realizar

rolar en las dimensiones antes descritas de 100 centímetros de altura y 0,80 centímetros de diámetro.

Figura 5. Base ensamblada del Prototipo



Seguidamente se logró adherir sistema de tapas y patas (sostener su estructura).

Figura 6. Base ensamblada del prototipo y su tapa.



Sistema interno de paletas. Se hizo un eje principal de 1 1/5 el diámetro de tubo redondo de acero inoxidable, esto está conectado a dos chumaceras y de ahí a un motoreductor de 2 HP. Paralelamente se adhirió planchas cortadas de acero inoxidable en forma de remo para generar movimiento de uniformidad en la masa.

Figura 7. Sistema interno de paletas por dentro.



Sistema de entradas y salidas. El sistema de entrada del grano es por la parte de la tapa, que se realizó un ajuste de diseño final, el cual se hizo una compuerta para el ingreso y su sellado hermético para garantizar las dos fases: Anaeróbico y aeróbico. Para la salida del CO₂ acumulado se hizo una salida por la tapa con una manguera hacia un sistema de acuoso para evitar el ingreso de bacterias ajenas y oxígeno.

Figura 8. Sistema de entradas y salidas de grano.



Sistema de alimentación eléctrica. Se procedió a instalar sistema de inyección eléctrico, tomando en cuenta que el local de la cooperativa cuenta con una potencia activa destinada de 10 KW en trifásica de parte del proveedor de generación (Electro oriente). Se procedió a poner sistema de cuchillas y contactores:

Motor Cuchilla térmica de 100 amperios y un contactor de igual proporción de potencia. Sistema de válvulas de inyección de agua Cuchilla térmica de 40 amperios y un contactor de igual proporción de potencia. Modulo electrónico. Cuchilla térmica de 40 amperios y un contactor de igual proporción de potencia.

Ensamblaje Electrónico

El sistema electrónico del prototipo se dividió en dos fases:

- Control Dentro del sistema de control se realizó una conexión al sensor de temperatura de masa y se conectó a una placa con microprocesador ATmega640 del cual se procedió a codificarle para darle rangos para el control respectivo.

Figura 9. Flujograma del proceso electrónico de control.



Monitoreo (captura y guardado de datos). El monitoreo de los datos se realizó instalando sensores conectados a la placa ATmega640 y a la conexión de microcomputadora para su guardado final, y se pueda descargar los datos para su análisis respectivo.

Figura 10. Sistema electrónico



Figura 11. Sistema de monitoreo en construcción operando

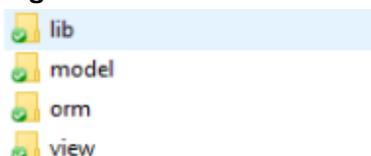


Las conexiones de la placa ATM256 con la microcomputadora se hicieron mediante protocolo MODBUS por puerto serial. La programación de bajo nivel fue desarrollada en C++, la captura y guardado de datos en JAVA y Gestor de base de datos MYSQL.

Software. El proceso de desarrollo se hizo en dos fases:

- Programación de la placa ATM256(control) La placa se codificó en C++ el cual a través de librerías se conectó a los sensores de pH y temperatura. La misma placa se generó el algoritmo de control poniendo los parámetros que se necesitan.
- Codificación del software monitoreo El software se elaboró con el lenguaje de programación java, con multihilo continuo para conectarse mediante serial a la placa ATM256. La estructura de archivos fue la siguiente:

Figura 12. Estructura de archivos



Donde: lib contiene las librerías de conexiones seriales y base de datos. model contiene los archivos para manejador de datos y conexión ORM. orm contiene los archivos ORM para conexión a la base de datos. View son los formularios desktops del programa. En la base de datos un registro de evaluaciones se guarda cada vez que se inicia un batch de evaluación, y otro registro de cada 30 segundos.

Figura 13. Pantalla inicial donde se dan las opciones de generar una evaluación y exportar los datos.

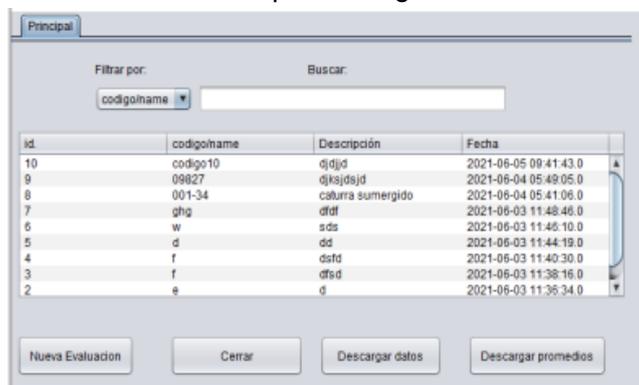


Figura 14. Pantalla del registro de una evaluación.

Figura 15. Pantalla de muestra del monitoreo en tiempo real.

Estructura de la validación del prototipo fermentador.

Operacionalidad de las variables

- Variable independiente: Prototipo fermentador inteligente con tecnología de fermentación controlado.

Tabla 1. Indicadores de la variable independiente

Item	Indicador	Dimensión	Escala de medición	Instrumento
1	Resultados sensoriales final del grano procesado por el prototipo	Catación de las muestras	Puntos según formato SCAA	Fichas de recolección con formatos SCAA
2	Medición de temperatura en tiempo real	Temperatura de la masa del grano de café durante el proceso de fermentación	Grados centígrados/30 segundos	Base de datos
3	Medición de pH en tiempo real	pH de la masa de grano de café durante el proceso de fermentación	Grados centígrados/30 segundos	Base de datos

Tabla 2. Evaluaciones realizadas a las pruebas con el prototipo.

Código Evaluación	Origen del grano	Repetición	Puntaje SCAA	Condición
EVA01	Zona baja (1130 msnm), Nuevo Edén, productor Sr. Jeremías Aponte Jiménez.	Primera	82.5	Anaeróbico seco.
EVA02		Primera	83.7	Anaeróbico 30%.
EVA03		Primera	83.00	Anaeróbico 50%.
EVA04	Zona alta (1600 msnm), Alto Carrizal, productor Abilio Sayago Sónдор.	Segunda	84.5	Anaeróbico seco.
EVA05		Segunda	85.00	Anaeróbico 30%.
EVA06		Segunda	84.7	Anaeróbico 50%.

Primera Repetición

Evaluación EVA01

Se realizaron el análisis de calidad física y organoléptica de 40 muestras de café Honey; los resultados se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 3. Evaluación de la fermentación anaeróbico solido (sin agua)

	0	1	2	3	4	5	6	10	13	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
° Brix	10.1	11.0	11.0	11.1	11.3	11.9	12	12	12	12	12.3	12.5	12	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5
pH	5.40	5.37	5.34	5.30	5.27	5.23	5.21	5.18	5.16	5.15	5.03	4.93	4.69	4.47	4.34	4.08	3.86	3.51	3.3
T° masa (°C)	22.6	20.6	20.5	19.9	19.1	18.8	18.1	16.6	17.9	18.6	21	21.5	22	27.8	26.8	30	28.8	28.4	24
T° ambiente (°C)	23.3	20.3	20.1	19.1	18	17.3	16	15.8	17.3	18.8	20.1	21	23	29	26	28	28	23	22

Las temperaturas presentaron variaciones en masa y ambiente; ambos factores presentan similitudes en comportamiento durante el proceso siendo estadísticamente iguales, decreciente en la noche y madrugada y aumenta con el paso de las horas de la tarde. Con relación a los grados Brix, se tiene una lectura inicial de 10.1 °Bx y estos aumentan gradualmente, debido a la sedimentación o acumulación de mucílago desprendido en el balde durante las 18 primeras horas, luego las lecturas se tornan decrecientes hasta la hora 20 y se mantuvo estático hasta su interrupción (con una Lf: 11.5 °Bx). El pH del café fresco en baba es ácido al inicio (teniendo una Li: de 5.40) disminuye durante toda la fermentación debido a la disociación de ácidos y temperaturas de masa y ambiente, principalmente el ácido láctico y el aumento de la temperatura ambiental y de masa. Esta se vio interrumpida a un pH de 3.3 y duró 24 horas con 40 minutos.

Evaluación EVA02

Tabla 4. Evaluación de la fermentación anaeróbico (al 30% sumergido en agua).

	0	1	2	3	4	5	6	10	13	16	17	18	19	20	21	22	23
	4:15 PM	5:15 PM	6:15 PM	7:15 PM	8:15 PM	9:15 PM	10:15 PM	2:15 AM	5:15 AM	8:15 AM	9:15 AM	10:15 AM	11:15 AM	12:15 PM	1:15 PM	2:15 PM	3:10 PM
° Brix	9.5	9.5	10	10.5	10.8	11.5	11.5	12	12	12	12.5	12.5	12	12	11.5	11.3	10.5
pH	5.91	5.83	5.75	5.68	5.6	5.51	5.46	5.38	5.29	5.11	5.03	4.7	4.21	3.99	3.76	3.45	3.20
T° masa (°C)	22	22.5	20.9	20	20.1	18.2	18	17.3	18.6	18	20.1	21.7	22	27.2	27.1	25	26.9
T° amb. (°C)	23.3	20.3	20.1	19.1	18	17.3	16	15.8	17.3	18.8	20.1	21	23	29	26	28	28

Las temperaturas presentaron variaciones de masa y ambiente y ambos factores presentan similitudes durante la fermentación, siendo estadísticamente iguales, con una forma decreciente en horas de la noche y madrugada y aumenta con el transcurrir de las horas de la tarde.

Con relación a los grados Brix, se tiene una lectura inicial de 9.5 °Bx y estos aumentan gradualmente a medida que transcurre el tiempo, debido a la sedimentación o acumulación de mucílago desprendido en el balde durante las 18 primeras horas, pero luego las lecturas se tornan decrecientes hasta su interrupción (con una Lf: 10.5 °Bx).

El pH del café fresco en baba (mucílago) es ácido al inicio (teniendo una Li: de 5.91) disminuye gradualmente durante toda la fermentación debido a la disociación de ácidos y temperaturas de masa y ambiente, principalmente el ácido láctico y el aumento de la temperatura ambiental y de la masa. La interrupción de esta la fermentación fue con un pH de 3.2 y duró 22 horas con 55 minutos.

Evaluación EVA03

Tabla 5. Evaluación de la fermentación anaeróbico (al 50% sumergido en agua).

	0	1	2	3	4	5	6	10	13	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
	4:15 PM	9:15 PM	10:15 PM	5:15 PM	6:15 PM	7:15 PM	8:15 PM	2:15 AM	5:15 AM	8:15 AM	9:15 AM	10:15 AM	11:15 AM	12:15 PM	1:15 PM	2:15 PM	3:15 PM	4:15 PM	5:15 PM
° Brix	8.5	8.5	8.5	9.1	9.1	9.5	9.5	10.3	10	10	9.8	9.5	9	9	9	9	9	9	9
pH	5.71	5.65	5.61	5.58	5.55	5.5	5.45	5.38	5.31	5.25	5.14	5.08	4.84	4.64	4.24	3.98	3.83	3.45	3.1
T° masa (°C)	22.3	20.9	20.7	20.5	20.0	19.6	18.1	16.4	19.5	19.7	21.0	21.7	23.0	25.5	25.5	28	29	28.4	25.5
T° amb (°C)	23.3	20.3	20.1	19.1	18	17.3	16	15.8	17.3	18.8	20.1	21	23	29	26	28	28	23	22

La temperatura presentó variaciones de masa y ambiente, su comportamiento tiene similitud con la fermentación anaeróbico sólido y anaeróbico sumergido al 30% en agua; es decir, con tendencia primero decreciente, luego creciente y por último siendo estadísticamente iguales.

Con relación a los grados Brix, se tiene una lectura inicial de 8.5 °Bx, aumentan lentamente debido a la disolución de sustancias en agua durante las 10 primeras horas, luego las lecturas se tornan decrecientes hasta las 18 horas, a partir de las 19 horas de fermentación, los °Bx se tornan estáticos hasta el momento de su interrupción (con una Lf: 9 °Bx).

El pH del café fresco en baba (mucílago) es ácido al inicio (teniendo una Li: de 5.71) y disminuye durante todo el proceso de fermentación debido a la acumulación de agua, poca presencia de oxígeno y la disociación de ácidos es lenta pero progresiva, principalmente el ácido alcohólico y láctico. La interrupción de esta fermentación fue con un pH de 3.1 y duró 25 horas.

Para todos, existe tendencia creciente de °Bx con el transcurrir de las horas y solo para la fermentación anaeróbica sumergido al 50% en agua es la que menos °Bx tuvo en esta práctica, esto se debe a la cantidad de agua colocada en el balde, pudo haber sido que se colocó una proporción más de lo estimado, haciendo que la lectura inicial sea baja a diferencia de los 3 tipos de fermentación restantes y que a las 19 horas se mantiene estático las lecturas en 9 °Bx, estas 3 últimas fermentaciones (anaeróbico sumergido al 30% en agua, aeróbico y anaeróbico sólido) la acumulación de azúcares crece al iniciar la fermentación y luego decrece a las 18 horas sin estabilidad alguna hasta su interrupción para el proceso de lavado a excepción de la fermentación Anaeróbico sólido que decreció hasta mantener una estática de 11.5 °Bx hasta su interrupción.

Segunda Repetición

Evaluación EVA04

Tabla 6. Evaluación de la fermentación anaeróbico sólido.

	0	1	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
	4:30 PM	5:30 PM	7:30 AM	8:30 AM	9:30 AM	10:30 AM	11:30 AM	12:30 PM	1:30 PM	2:30 PM	3:30 PM	4:30 PM	5:30 PM	7:30 AM	8:30 AM	9:30 AM	10:30 AM	11:30 AM	12:30 PM	1:30 PM	2:30 PM	3:30 PM	4:00 PM
° Brix	13.5	13.5	14.9	14.5	14.5	14.3	14.3	14.3	14.3	14.3	14.3	14.3	14	13.8	13.8	13.8	13.3	12.9	12.9	12.9	12.5	12.5	12.5
pH	4.42	4.40	4.38	4.36	4.31	4.30	4.30	4.29	4.26	4.26	4.26	4.26	4.25	4.17	4.15	4.14	4.14	4.13	4.08	3.89	3.58	3.33	3.11
T° masa (°C)	23.4	22.3	16.9	18	18	19.6	21	22	23.6	23.8	23.4	22.7	21	16.3	16.9	17.4	19.7	21	22.1	22.7	23	23.9	23
T° amb (°C)	24.3	20.3	20.1	23.3	25.9	27.7	28.1	27.7	27.7	27.6	22.4	20.5	18.6	19.2	20.1	22.3	26.7	26.9	26.3	23.9	28	29.4	27

La temperatura presentó variaciones tanto de masa y ambiente y se manifiesta de forma decreciente hasta la hora 15 y la hora 39, luego aumenta conforme está pasando el tiempo desde las 16 y 41 horas, llegando aumentar más de 29 °C, pudiendo acelerar la fermentación.

Con relación a los grados Brix en cerezo, lectura promedio 17.5 °Bx inicial 13.5 en masa fermentada que aumenta debido a la sedimentación o acumulación de mucílago desprendido en el balde durante las 15 horas, luego las lecturas van decreciendo hasta las 45 horas y por último, se tornan estáticas desde las 46 hasta su interrupción, a medida que transcurre el tiempo disminuye los °Bx hasta su última hora con una Lf: 12.5 °Bx.

El pH del café fresco en baba (mucílago) es ácido al inicio (teniendo una Li: 4.42), disminuye lentamente durante todo el proceso de fermentación debido al piso altitudinal y en relación al comportamiento de la T° de la masa, la interrupción a esta fermentación se dio a un pH de 3.1 y esta fermentación duró 47 horas con 30 minutos.

Evaluación EVA05

Tabla 7: Evaluación de la fermentación anaeróbica (al 50% sumergido en agua)

	0	1	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
	4:30 pm	5:30pm	7:30 am	8:30 am	9:30 am	10:30 am	11:30 am	12:30 pm	1:30 pm	2:30 pm	3:30 pm	4:30 pm	5:30 pm	7:30 am	8:30 am	9:30 am	10:30 am	11:30 am	12:30 pm	1:30 pm	2:30 pm	3:30 pm	4:30 pm
° Brix	8.3	8.3	12	12.5	12.5	12.5	13	13	13	12.5	12.5	12.5	12.5	12	12	12	11.8	11.3	11.1	11.1	11	11	11
pH	5.39	5.32	5.18	5.16	5.13	4.93	4.72	4.52	4.33	4.31	4.29	4.29	4.27	4.18	4.18	4.15	4.15	4.13	3.93	3.87	3.59	3.35	3.10
T° masa (°C)	23.3	22	17.1	17.2	18	19.4	21	21.7	23.1	23.3	23.1	22.6	20.3	16	16.6	17.5	19.5	20.9	21.9	22.4	22.7	23.3	23
T° ambiente (°C)	24.3	20.3	20.1	23.3	25.9	27.7	28.1	27.7	27.7	27.6	22.4	20.5	18.6	19.2	20.1	22.3	26.7	26.9	26.3	23.9	28	29.4	25.9

Las temperaturas durante esta fermentación presentaron variaciones tanto de masa y ambiente, además, presentan similitudes durante el proceso de fermentación, forma decreciente en horas de la noche y madrugada y luego aumenta con el transcurrir de las horas de la tarde.

Con relación a los grados Brix en cerezo, lectura promedio 17.5 °Bx y lectura inicial 8.3 °Bx en masa fermentada, estos aumentan debido a sedimentación de mucílago en balde durante las 21 primeras horas, luego las lecturas se tornan decrecientes (con una Lf: 11 °Bx).

El pH del café fresco en baba es ácido al inicio (teniendo una Li: de 5.39) disminuye debido a la disociación de ácidos y temperaturas, el ácido láctico y el aumento de la temperatura ambiental y de masa. La interrupción de la fermentación fue con un pH de 3.1 y duró 48 horas.

Evaluación EVA06

Tabla 8: Evaluación de la fermentación anaeróbica (al 50% sumergido en agua)

	0	1	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
	4:30 pm	5:30pm	7:30 am	8:30 am	9:30 am	10:30 am	11:30 am	12:30 pm	1:30 pm	2:30 pm	3:30 pm	4:30 pm	5:30 pm	7:30 am	8:30 am	9:30 am	10:30 am	11:30 am	12:30 pm	1:30 pm	2:30 pm	3:30 pm	4:30 pm	4:30 pm
° Brix	7	7.5	11.5	11.1	11.1	11.1	11	11	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10	10	10	9.6	9.1	9.1	9	9	9	8.7	8.5
pH	5.54	5.51	5.31	5.26	4.93	4.62	4.42	4.39	4.36	4.36	4.36	4.33	4.33	4.16	4.16	4.15	4.15	4.14	4.11	5.97	3.84	3.69	3.45	3.2
T° m (°C)	23.7	22.7	17.4	17.9	18.4	19.9	21	22.6	23	23	23.1	22.5	20.1	16.2	17.1	17.5	19.3	20.9	21.7	22.2	22.6	23	24.5	24.1
T° amb (°C)	4.3	20.3	20.1	23.3	25.9	27.7	28.1	27.7	27.7	27.6	22.4	20.5	18.6	19.2	20.1	22.3	26.7	26.9	26.3	23.9	28	29.4	25.9	22.8

4. Conclusiones

Se logró desarrollar un prototipo de fermentación inteligente el cual cuenta con automatización para una fermentación controlada, se obtuvieron promedios de 84 puntos SCAA de acuerdo al objetivo del proyecto, con el control de la temperatura y el monitoreo de la misma y del pH.

En la primera repetición se incrementó la temperatura debido a factores ambientales, por el cual a la siguiente repetición se modificó el sistema de entrada de aire para inyectar mayor

presión, pasando de inyección de 0.5 m³/minuto a 1.5 m³/minuto cuando la temperatura esta x encima de 23 grados.

Los procesos anaeróbicos con sumergidos al 50% dan mejores resultados, aunque con tiempo en horas más prologados.

El proceso de fermentación con el prototipo fermentador genera una eficiencia, llegando a las metas esperadas para los clientes, con ajustes respectivos para sobrepasar los 85 puntos SCA.

El control de la temperatura ayuda a equilibrar los procesos bioquímicos los cuales se ven reflejados en las puntuaciones de tasas donde se ven que las características de sabores y fragancias son uniformes, y de perfiles suaves que le dan una característica al café por encima de 84 puntos.

Referencias bibliográficas

- Al-Abdulkader, A. M., Al-Namazi, A. A., AlTurki, T. A., Al-Khuraish, M. M., & Al-Dakhil, A. I. (2018). Optimizing coffee cultivation and its impact on economic growth and export earnings of the producing countries: The case of Saudi Arabia. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 25(4), 776–782. <https://doi.org/10.1016/j.SJBS.2017.08.016>
- Bonilla Medina, J. (2017). Los beneficios del consumo de café. *Revista Facultad Ciencias de La Salud. Universidad Del Cauca*, 19(2), 47–48.
- Estevez, C. L., Bhat, M. G., & Bray, D. B. (2017). Commodity chains, institutions, and domestic policies of organic and fair trade coffee in Bolivia. 42(3), 299–327. <https://doi.org/10.1080/21683565.2017.1359737>
- Julca-Otiniano, A., Alarcón-Águila, G., Alvarado-Huamán, L., Borjas-Ventura, R., & Castro-Cepero, V. (2018). *COMPORTAMIENTO DE TRES CULTIVARES DE CAFÉ (CATIMOR, COLOMBIA Y COSTA RICA 95) EN EL VALLE DE EL PERENÉ, JUNÍN, PERÚ*. CHILEAN JOURNAL OF AGRICULTURAL AND ANIMAL SCIENCES. <https://scielo.conicyt.cl/pdf/chjaasc/v34n3/0719-3890-chjaasc-00504.pdf>
- Junta Nacional del Café. (2021, February 1). *PRODUCCIÓN Y EXPORTACIONES DE CAFÉ APUNTAN A SER MEJORES DURANTE EL 2021*. <https://juntadelcafe.org.pe/produccion-y-exportaciones-de-cafe-apuntan-a-ser-mejores-durante-el-2021/>
- Lopes, A. C. A., Andrade, R. P., de Oliveira, L. C. C., Lima, L. M. Z., Santiago, W. D., de Resende, M. L. V., das Graças Cardoso, M., & Duarte, W. F. (2020). Production and characterization of a new distillate obtained from fermentation of wet processing coffee by-products. *Journal of Food Science and Technology*, 57(12), 4481–4491. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04485-4>
- Magalhães Júnior, A. I., de Carvalho Neto, D. P., de Melo Pereira, G. V., da Silva Vale, A., Medina, J. D. C., de Carvalho, J. C., & Soccol, C. R. (2021). A critical techno-economic analysis of coffee processing utilizing a modern fermentation system: Implications for specialty coffee production. *Food and Bioproducts Processing*, 125, 14–21. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2020.10.010>

- Ocampo Lopez, O. L., & Alvarez-Herrera, L. M. (2017). Tendencia de la producción y el consumo del café en Colombia. *APUNTES DEL CENES*, 36(64). <https://doi.org/10.19053/01203053.v36.n64.2017.5419>
- Pham, Y., Reardon-Smith, K., Mushtaq, S., & Cockfield, G. (2019). The impact of climate change and variability on coffee production: a systematic review. *Climatic Change*, 156(4), 609–630. <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02538-y>
- Rojas-Ruiz, R., Alvarado-Huamán, L., Borjas-Ventura, R., Carbonell Torres, E., Castro-Cepero, V., & Julca-Otiniano, A. (2020). Caracterización de fincas productoras de café convencional y orgánico en el valle del Alto Mayo, región San Martín, Perú. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 7(2), 100–111.
- Sayed, O. H., Masrahi, Y. S., Remesh, M., & Al-Ammari, B. S. (2019). Coffee production in southern Saudi Arabian highlands: Current status and water conservation. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 26(7), 1911–1914. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2019.03.002>
- Smith Dumont, E., Gassner, A., Agaba, G., Nansamba, R., & Sinclair, F. (2019). The utility of farmer ranking of tree attributes for selecting companion trees in coffee production systems. *Agroforestry Systems*, 93(4), 1469–1483. <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0257-z>

Financiamiento

Programa Nacional de Desarrollo Tecnológico e Innovación – ProInnovate que financió del proyecto “Desarrollo de un prototipo de secador solar tipo túnel con microclima auto controlado para obtener cafés honey de alta calidad en taza en la provincia de Moyobamba” con Contrato N° 283-INNOVATEPERU-PIECI-2019.

Conflicto de intereses

El artículo no presenta conflicto de intereses.

Contribución de autores

Carbajal-Guerreros, Ismael: Coordinador general del subproyecto, encargado de su ejecución y del logro de los objetivos. Dio visto bueno y aprobó la versión final del artículo

Pilco-Valles, Herberth: Asistente de investigación. Dio visto bueno y aprobó la versión final del artículo

García-Herrera, Flor Aracely: Asistente de investigación. Dio visto bueno y aprobó la versión final del artículo.

Coronel-Rufasto, Ivan: Análisis formal. Dio visto bueno y aprobó la versión final del artículo.

Gonzales-Diaz, Jose Rolando: Validación. Dio visto bueno y aprobó la versión final del artículo.

Cabanillas-Pardo, Lenin: Responsable del diseño técnico del dispositivo. Dio visto bueno y aprobó la versión final del artículo.