

Desarrollo de Fermentador Inteligente con Regulación Dinámica de Microorganismos y Ambiente para el Cacao

Enríquez, Alvaro¹; Enríquez, Denisse².

¹Instituto Superior Tecnológico '17 Julio', Mecánica Industrial, 0009-0003-7285-1138, Ibarra, Ecuador

²Universidad Yachay Tech, Escuela de ciencias biológicas, 0000-0001-6136-4789, Urcuquí, Ecuador;

Recibido: 2025/10/28

Aceptado: 2026/01/05

Resumen: La fermentación del cacao es una etapa crítica en la generación de los compuestos que determinan el aroma, sabor y calidad del grano. Sin embargo, en muchos territorios productores, este proceso aún se realiza de manera artesanal, con escaso control sobre las variables microbiológicas y térmicas que lo gobiernan. Este trabajo presenta el diseño, construcción y evaluación de un prototipo de fermentador inteligente, orientado a pequeños y medianos productores, que permite regular dinámicamente las condiciones térmicas durante la fermentación. El sistema consta de seis celdas de biorreacción con control eléctrico y térmico automatizado, capaces de reproducir perfiles de temperatura ajustados a cada fase del proceso (anaerobia y aerobia), favoreciendo la acción secuencial de levaduras, bacterias ácido lácticas y bacterias ácido acéticas. Las pruebas demostraron estabilidad térmica con histéresis controlada (± 1 °C), alcanzando niveles de fermentación cualitativa entre 81 % y 90 %. Se observó además una adecuada transición microbiana, así como la aparición de compuestos deseables en el grano. En conjunto, los resultados evidencian el potencial del prototipo para estandarizar el proceso fermentativo, reducir defectos como el moho o la fermentación incompleta y aportar valor agregado al cacao fino de aroma mediante tecnologías accesibles, escalables y apropiadas para contextos rurales.

Palabras clave: fermentación de cacao; control térmico; microorganismos; automatización; calidad del grano.

Development of an intelligent fermenter with dynamic regulation of microorganisms and environment for cocoa

Abstract: Cocoa fermentation is a critical stage in the development of flavor and aroma precursors that define bean quality. However, in many producing regions, this process is still carried out using traditional methods, with limited control over key microbiological and thermal variables. This study presents the design, construction, and evaluation of a smart fermentation prototype aimed at small and medium-scale producers. The system features six bioreactor cells with automated electrical and thermal control, capable of replicating temperature profiles specific to each fermentation phase (anaerobic and aerobic), thus promoting the sequential activity of yeasts, lactic acid bacteria, and acetic acid bacteria. Test results showed thermal stability with controlled hysteresis (± 1 °C) and qualitative fermentation rates ranging from 81% to 90%. Proper microbial transitions were observed, along with the presence of desirable compounds in the beans. A vulnerability to power outages was noted, highlighting the need for backup energy systems. Overall, the prototype shows strong potential to standardize fermentation processes, minimize defects such as mold or incomplete fermentation, and add value to fine-flavor cocoa through accessible, scalable, and context-appropriate technology.

Keywords: cocoa fermentation; thermal control; microorganisms; automation; bean quality.

1. Introducción

Ecuador es uno de los países más importantes en la producción de cacao fino aromático en el mundo (García-Briones et al., 2021), dependiendo en gran

medida de la calidad alcanzada durante la etapa de fermentación dentro de su cadena de valor (Graziani de Fariñas et al., 2003). Este proceso bioquímico es crucial para el desarrollo de los

precursores del sabor y el aroma y para la reducción de compuestos indeseables que afectan la calidad final del grano (Hirko et al., 2023).

En este proceso de fermentación participan tres tipos principales de microorganismos: levaduras, bacterias ácido lácticas (BAL) y bacterias ácido acéticas (BAA) (Tigrero-Vaca et al., 2022). Las levaduras como *Saccharomyces* y *Pichia* transforman los azúcares en etanol y ayudan a descomponer la pulpa del cacao. Esto genera calor y cambia el pH, preparando el ambiente para otras bacterias.

Luego, las BAL, como *Lactiplantibacillus* y *Leuconostoc*, producen ácido láctico y compuestos aromáticos como el diacetilo, que aporta notas de sabor. Estas bacterias también ayudan a controlar hongos no deseados y mejoran la calidad del grano. En la fase final, las BAA, como *Acetobacter*, convierten el etanol en ácido acético, aportando acidez y complejidad al sabor (Guerra et al., 2022). A pesar de esta relevancia, la fermentación en las zonas productoras del país sigue realizándose principalmente mediante métodos tradicionales, con poco control de las variables críticas que producen heterogeneidad entre lotes, lo que limita la obtención de productos de alto valor añadido (Rios-Jara & Lévano-Rodríguez, 2022).

Álvaro Enríquez

Autor por correspondencia

Los estudios indican que los trozos del interior del grano de cacao bien fermentado (nibs) muestran características fisicoquímicas que se indican en Tabla 1. La humedad final debe estar por debajo del 7.5 % (idealmente entre 6.3 y 6.6 %), lo que evita el desarrollo de hongos y garantiza una buena conservación durante el almacenamiento. El pH del nib debe situarse entre 5.0 y 5.5, un rango que favorece la formación óptima de los precursores del aroma. Valores fuera de este rango podrían señalar un exceso de acidez o contaminación. Además, los granos correctamente fermentados presentan un porcentaje de nibs entre 80 y 85 %, una proporción de cáscara entre 15 y 19 %, y un contenido graso del 49 al 52 %, lo cual es típico de semillas sanas y aptas para su transformación (Assa et al., 2019).

Tabla 1. Parámetros de nibs con buena fermentación.

Parámetro	Valor Óptimo	Importancia
Humedad	< 7.5 %	Evita hongos y mejora estabilidad
pH	5.0 – 5.5	Favorece precursores aroma
Proporción	80 – 85 % nibs 15 – 19 % cáscara	Buena fermentación
Grasa	49 – 52%	Semillas sanas

Elaboración propia

Controlar la temperatura con precisión es clave para guiar la actividad microbiana durante cada etapa de la fermentación del cacao. En la fase anaerobia, mantener un rango moderado entre 30 y 37 °C favorece el trabajo de levaduras y bacterias lácticas. Estas se encargan de descomponer el mucílago, generar etanol y comenzar a formar compuestos que más adelante darán lugar al aroma del cacao.

Con el avance del proceso y la entrada de oxígeno, comienza la fase aerobia. Aquí, la temperatura sube gradualmente hasta alcanzar entre 42 y 52 °C, lo cual activa a las bacterias acéticas (García González et al., 2019). Estas transforman el etanol en ácidos, aportando la acidez distintiva de un cacao bien fermentado (Salous et al., 2019).

Cuando estas variaciones térmicas se mantienen estables, se facilita una transición ordenada entre los diferentes grupos microbianos. Esto no solo mejora la eficiencia y uniformidad del proceso, sino que también ayuda a evitar problemas como la aparición de moho o una fermentación incompleta. Por eso el objetivo de este trabajo es desarrollar un prototipo de fermentador para cacao automatizado de control eléctrico y térmico (Toapanta et al., 2023).

2. Revisión Literaria

Algunos de los métodos que se han propuesto en los últimos años para la fermentación del cacao son los descritos a continuación. Uno de los métodos más comunes y usado por su bajo costo en nuestro país es la fermentación en montones que consiste en apilar la masa de cacao sobre pisos de caña o madera y cubrirla con hojas de plátano y sacos para conservar el calor. Pero tiene limitaciones importantes, como la mayor ocupación de espacio, el menor control de temperatura, la alta variabilidad en la fermentación y la necesidad de realizar

remociones cada 48–72 horas para evitar fermentaciones incompletas (Caiza Puma, 2015). En otros estudios se propone nuevas alternativas como en el estudio (Putranto et al., 2023) presenta un reactor de fermentación de cacao con calentamiento óhmico (ORF) como alternativa al método tradicional en cajas de madera (WBF), buscando reducir tiempos y mejorar la calidad. El equipo, con capacidad de 7 kg, incluye electrodos de acero inoxidable, sensores tipo J, ventilador y control térmico, manteniendo 43 °C constantes para acelerar la fermentación de microorganismos como *Lactobacillus* y *Acetobacter*, reduciendo el proceso de 6 a 3 días. El ORF logró un 99.97 % de granos fermentados, sin presencia de moho tras 20 días y con menor humedad (6.14 %) que el WBF. La limitante es en la escalabilidad ya que se probó con poca muestra. En otro estudio (Ilham et al., 2020), se ha desarrollado un sistema automático de fermentación de cacao en una caja para 3 kg, controlado por Arduino Uno. Usa un sensor LM35 y un motor que se activa a 40 °C para agitar los granos. Sus componentes son económicos y accesibles, aunque solo controla la temperatura. Mejora la homogeneidad y evita el sobrecalentamiento, pero su capacidad es limitada. Por otro lado, en el estudio (Koffi et al., 2017) se diseñó un sistema que consiste en un fermentador mejorado con un tambor giratorio dentro de un tanque cilíndrico, diseñado para mezclar los granos de cacao de forma continua y uniforme durante la fermentación, sin uso de sensores ni control electrónico. Los resultados mostraron una fermentación más homogénea, sin embargo, el sistema no mide variables críticas como temperatura o pH y fue probado solo a escala piloto, por lo que se requiere validación a mayor escala. Otro estudio (Delgado & Lazarte, 2018), el fermentador diseñado es un sistema automático de madera con rotación mecánica, sensores de temperatura y pH, controlado por un Arduino Mega y con pantalla LCD. Permite mezclar los granos de forma uniforme y monitorear el proceso en tiempo real. Los resultados mostraron una fermentación controlada, con pH reducido de 6 a 3.3 y temperatura estable (hasta 40 °C), obteniendo granos con buen aroma y color. Como limitación,

el equipo solo se probó con 410 g de cacao, por lo que se requiere validarlo a mayor escala.

3. Metodología

3.1. Materiales

El sistema de fermentación fue construido empleando materiales de bajo costo y disponibilidad local. La estructura principal se fabricó con madera de pallets, reforzada con un sistema de aislamiento térmico interno compuesto por cartón tipo cubeta, espuma expansiva SikaBoom y planchas de MDF. El interior fue recubierto con papel aluminio para mejorar la reflectancia térmica. Las conexiones del sistema de circulación de aire se fabricaron en plancha galvanizada de 0,7 mm, incluyendo ductos y codos de 5 pulgadas. Las puertas del equipo se elaboraron con MDF sellado con caucho automotriz para asegurar hermeticidad. El sistema eléctrico incluyó resistencias de 1000 W, un ventilador axial de 5" (110 V), un PLC con dos relés de estado sólido, dos termocuplas tipo K y el cableado para automatización y control térmico.

Las unidades de procesamiento, denominadas celdas de bioreacción, se construyeron con un volumen útil de 20 L cada una, distribuidos en tres compartimentos funcionales destinados al drenaje de lixiviados, almacenamiento de la masa fresca de cacao y expansión durante la fermentación.

3.2. Determinación de la capacidad de procesamiento

El dimensionamiento del sistema se basó en la productividad de una hectárea de cacao en la región Rocafuerte–Lita (700–900 m s. n. m.), donde el rendimiento promedio es de 600 kg de cacao seco por año. Como la producción anual efectiva se concentra en aproximadamente ocho meses, se estimó una demanda semanal cercana a 30 kg de cacao seco para su transformación. Este valor definió la escala operativa del fermentador.

3.3. Cálculo de las unidades de fermentación

Para satisfacer la demanda semanal, se seleccionaron seis celdas de bioreacción con capacidad para procesar el equivalente a 5 kg de cacao seco por unidad. Dado que para obtener dicha

cantidad es necesario cargar aproximadamente 15 kg de masa fresca por celda, el volumen útil se estableció en 20 L, distribuidos en compartimentos para lixiviados (1,5 L), masa fresca (15 L) y expansión (3,5 L). El diseño permite realizar fermentación anaerobia inicial, fermentación aerobia controlada, drenaje continuo y presecado parcial.

3.4. Diseño del fermentador principal

El fermentador principal se diseñó para alojar las seis celdas distribuidas en dos niveles. Sus dimensiones internas fueron 1,20 m de largo, 0,60 m de ancho y 1,30 m de altura, con un volumen útil total de 0,936 m³. El equipo incorpora un sistema de circulación y recirculación de aire mediante un ventilador axial y dos resistencias de 1000 W, lo cual permite programar perfiles térmicos escalonados entre 30 °C y 55 °C, específicos para las etapas del proceso fermentativo (32, 37, 42, 47 y 52 °C).

3.5. Automatización y control térmico

El control de temperatura se realizó mediante un PLC conectado a dos termocuplas tipo K, una para la regulación principal y otra como mecanismo de protección por sobrecalentamiento. Las resistencias fueron accionadas mediante relés de estado sólido, manteniendo una histéresis térmica de ± 1 °C. El sistema fue reforzado con aislamiento térmico para asegurar estabilidad aún en condiciones ambientales adversas (Figura 1).

3.6. Ciclo operativo

Cada lote semanal se sometió a un ciclo de fermentación de cinco días. La fase anaerobia se extendió por dos días con los recipientes sellados de forma hermética. Posteriormente, la fase aerobia se mantuvo durante tres días con ventilación controlada. Este ciclo permite procesar de manera eficiente la producción anual de una hectárea de cacao.



Fig 1. Fermentador diseñado.

4. Resultados

4.1. Condiciones iniciales de operación

Durante las pruebas preliminares se observó que la exposición directa a radiación solar generaba temperaturas internas superiores a 35 °C antes de iniciar el programa térmico. Para evitar interferencias, las pruebas definitivas se realizaron bajo sombra, demostrando estabilidad térmica incluso con temperaturas ambientales nocturnas de 10–15 °C. En estas condiciones, el equipo mantuvo adecuadamente los valores programados.

4.2. Comportamiento térmico del fermentador

Para evaluar el desempeño térmico, se cargaron dos celdas con 15 kg de masa fresca cada una (20 L). La operación automática permitió validar el comportamiento del sistema en cada fase.

4.2.1. Fase anaerobia (días 1 y 2)

La primera etapa se realizó con un set point de 32 °C, obteniéndose valores estables entre 31 y 33 °C. Tras 24 horas, el set point se incrementó a 37 °C, alcanzándose 36–38 °C de manera estable. El muestreo cualitativo realizado al finalizar esta fase mostró 81 granos fermentados en la Celda 1 y 88 en la Celda 2.

4.2.2. Fase aerobia (días 3, 4 y 5)

En esta fase se aplicaron temperaturas progresivas de 42, 47 y 52 °C durante periodos consecutivos de 24 horas. En todos los casos, el sistema mantuvo la

histéresis y estabilidad térmica requeridas (± 1 °C). Los muestreos realizados evidenciaron porcentajes de fermentación cualitativa entre 85 % y 90 %, con valores constantes en ambos recipientes.

4.2.3. Prueba de falla del sistema

Durante una de las pruebas se produjo una interrupción eléctrica durante la fase aerobia. Tras 24 horas sin operación, la temperatura descendió a 16 °C y se observó proliferación de mohos en la capa superficial. Este evento permitió identificar la necesidad de incorporar un sistema de alerta por pérdida de energía y una fuente auxiliar (UPS o batería).

4.2.4. Desempeño global

El sistema demostró capacidad para alcanzar y mantener el perfil térmico requerido para la fermentación de cacao, con una histéresis controlada de ± 1 °C. La evaluación cualitativa evidenció fermentaciones entre 81 % y 90 % (Figura 2).



Fig 2. Granos de cacao fermentados con la metodología propuesta.

5. Discusión

Los resultados obtenidos muestran con claridad que el fermentador desarrollado es capaz de replicar, de forma controlada, los perfiles térmicos necesarios para el adecuado desarrollo de los microorganismos involucrados en la fermentación del cacao. Estos perfiles coinciden con los rangos establecidos en la literatura especializada como óptimos para un proceso exitoso. Durante la fase anaerobia inicial,

la temperatura se mantuvo estable entre 31 y 33 °C, un rango que favorece particularmente la actividad de levaduras como *Saccharomyces* y *Pichia*, las cuales juegan un papel clave en la descomposición del mucílago y la producción de etanol. Este comportamiento está en línea con lo reportado por Hirko et al. (2023), quienes destacan que la actividad metabólica de las levaduras en las primeras etapas depende en gran medida de temperaturas moderadas, idealmente por debajo de los 35 °C. Además, los porcentajes de granos fermentados observados al final de esta fase (entre 81 % y 88 %) sugieren que se generó un ambiente adecuado para avanzar con éxito hacia la siguiente etapa microbiana.

Durante la fase aerobia, el sistema respondió con precisión a los incrementos térmicos programados (42, 47 y 52 °C), facilitando así la transición natural hacia la actividad de bacterias ácido-lácticas y acéticas. Estas bacterias son responsables de oxidar el etanol producido previamente y generar compuestos aromáticos fundamentales en la calidad final del grano. Los niveles de fermentación cualitativa registrados (entre 85 % y 90 %) se ubican dentro del rango esperado para procesos técnicamente controlados, y guardan similitud con los resultados reportados por Putranto et al. (2023) y Delgado & Lazarte (2018), quienes también observaron mejoras notables en la homogeneidad y eficiencia del proceso al aplicar perfiles térmicos dirigidos. Esto refuerza la idea de que, aun utilizando materiales de bajo costo, el diseño del fermentador puede alcanzar un rendimiento comparable al de equipos más sofisticados desde el punto de vista tecnológico.

Sin embargo, uno de los puntos críticos detectados fue la vulnerabilidad del sistema ante interrupciones eléctricas. En una prueba específica, la temperatura descendió hasta los 16 °C tras 24 horas sin operación, lo cual resultó en la aparición de mohos no deseados. Este fenómeno confirma lo que ya advertían Tigrero-Vaca et al. (2022): la continuidad térmica es esencial en la fermentación del cacao, ya que cualquier alteración prolongada puede abrir paso a microorganismos indeseables. Este hallazgo pone de relieve la necesidad de incorporar una fuente de alimentación auxiliar —

como una batería o sistema solar— junto con un sistema de alerta temprana, especialmente en contextos rurales donde los cortes eléctricos son comunes.

En términos generales, el desempeño del prototipo sugiere que es posible combinar materiales accesibles con una automatización básica para obtener un sistema funcional, escalable y apropiado para pequeños y medianos productores. La capacidad de procesar el volumen semanal estimado para una hectárea, sumada a la consistencia térmica alcanzada, indica que este fermentador tiene un alto potencial para contribuir a la estandarización del proceso y reducir la variabilidad entre lotes, uno de los principales desafíos en la producción de cacao fino de aroma en el país. No obstante, de cara a futuras versiones, será clave integrar sensores adicionales para monitorear variables como el pH y la humedad interna del grano. Asimismo, será necesario comparar los nibs resultantes con parámetros fisicoquímicos de referencia —como los propuestos por Assa et al. (2019)— a fin de validar no solo la calidad del proceso fermentativo, sino también la del producto final.

6. Conclusión

La implementación del prototipo de control térmico automatizado representa un avance significativo en la tecnificación de la postcosecha del cacao fino de aroma. Gracias a una precisión técnica que limita la histéresis a ± 1 °C, el sistema garantiza la transición óptima entre las fases anaerobia y aerobia, logrando una eficiencia fermentativa de hasta el 90 %. Este rendimiento no solo supera los métodos tradicionales, sino que asegura una estandarización de la calidad indispensable para acceder a mercados de exportación exigentes.

Asimismo, el estudio valida la viabilidad de la "tecnología de precisión de bajo costo". Al utilizar materiales reciclados y aislantes accesibles, el diseño se posiciona como una herramienta democrática y escalable, diseñada específicamente para satisfacer las necesidades de producción de una hectárea. De esta manera, el prototipo cierra la brecha entre la innovación industrial y la realidad del pequeño productor rural, permitiendo una

producción constante de 30 kg semanales con una inversión mínima.

Finalmente, si bien el prototipo es altamente eficaz, su dependencia de la red eléctrica convencional constituye una vulnerabilidad crítica que podría comprometer la integridad del grano ante fallos energéticos. Para garantizar la resiliencia del sistema en entornos rurales remotos, es imperativo que las futuras iteraciones integren fuentes de energía renovable y sensores complementarios de pH y humedad. Estas mejoras permitirán una supervisión integral del ciclo, transformando el prototipo en una solución robusta y autónoma para la industria cacaotera.

Referencias

- Assa, A., Rosniati, & Yunus, M. R. (2019). Effects of cocoa clones and fermentation times on physical and chemical characteristics of cocoa beans (*Theobroma cacao* L.). *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 528(1), 012079. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/528/1/012079>
- Caiza Puma, M. de L. (2015). Métodos de fermentación en la calidad del cacao (*Theobroma cacao*) nacional y CCN-51, en el recinto Guapara, cantón Pangua, Moraspungo. Quevedo : UTEQ. <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/2373>
- García Gonzalez, E., Milena Serna Murillo, A., Armando Córdoba Pantoja, D., Gabriel Marín Aricapa, J., Montalvo Rodríguez, C., & Alejandra Ordoñez Narváez García, G. (2019). Estudio de la fermentación espontánea de cacao (*Theobroma cacao* L.) y evaluación de la calidad de los granos en una unidad productiva a pequeña escala. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, ISSN-e 2422-4456, Vol. 6, No. 1, 2019 (Ejemplar Dedicado a: Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales), Págs. 29-40, 6(1), 29–40. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8739280&info=resumen&idioma=SPA>
- García-Briones, A. R., Pico-Pico, B. F., Jaimez, R., García-Briones, A. R., Pico-Pico, B. F., & Jaimez, R. (2021). La cadena de producción del

- Cacao en Ecuador: Resiliencia en los diferentes actores de la producción. *Revista Digital Novasineria*, 4(2), 152–172. <https://doi.org/10.37135/NS.01.08.10>
- Graziani de Fariñas, L., Ortiz de Bertorelli, L., Alvarez, N., & Trujillo de Leal, A. (2003). Fermentación del cacao en dos diseños de cajas de madera. *Agronomía Tropical*, 53(2), 175–188. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2003000200005&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Guerra, L. S., Cevallos-Cevallos, J. M., Weckx, S., & Ruales, J. (2022). Traditional Fermented Foods from Ecuador: A Review with a Focus on Microbial Diversity. *Foods* 2022, Vol. 11, Page 1854, 11(13), 1854. <https://doi.org/10.3390/FOODS11131854>
- Hirko, B., Mitiku, H., & Getu, A. (2023). Role of fermentation and microbes in cacao fermentation and their impact on cacao quality. *Systems Microbiology and Biomanufacturing* 2023 3:4, 3(4), 509–520. <https://doi.org/10.1007/S43393-023-00160-9>
- Ilham, D. N., Balkhaya, B., Candra, R. A., Hardisal, H., & Hasbaini, H. (2020). Designing an Arduino-based Automatic Cocoa Fermentation Tool. *Sinkron: Jurnal Dan Penelitian Teknik Informatika*, 5(1), 92–99. <https://doi.org/10.33395/SINKRON.V5I1.10611>
- Koffi, A. S., Yao, N., Bastide, P., Bruneau, D., & Kadjo, D. (2017). Homogenization of cocoa beans fermentation to upgrade quality using an original improved fermenter. *International Journal of Food Science and Nutrition Engineering*.
- Putranto, A. W., Nugroho, O. P., Maulidah, W., Risaldi, Saputro, I. H. E., & Mulyono, A. W. D. A. (2023). Application of Ohmic Heating Technology on Cocoa Beans Fermentation: Design, Physicochemical Properties and Techno-Economic Analysis. *Food Science and Technology (United States)*, 11(1), 71–83. <https://doi.org/10.13189/FST.2023.110108>
- 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–e281. <https://doi.org/10.51252/RAA.V2I1.281>
- Salous, A. El, Angulo-González, A., & Flores, L. S. (2019). Acceleration of cocoa fermentation through the action of bacteria (*Acetobacter aceti*) and yeast (*Saccharomyces cerevisiae*). *Espirales Revista Multidisciplinaria de Investigación*, 3(28), 1–20. <https://doi.org/10.31876/ER.V3I28.572>
- Tigrero-Vaca, J., Maridueña-Zavala, M. G., Liao, H. L., Prado-Lince, M., Zambrano-Vera, C. S., Monserrate-Maggi, B., & Cevallos-Cevallos, J. M. (2022). Microbial Diversity and Contribution to the Formation of Volatile Compounds during Fine-Flavor Cacao Bean Fermentation. *Foods*, 11(7), 915. <https://doi.org/10.3390/FOODS11070915/S1>
- Toapanta, M. G. C., Toapanta, M. G. C., Pilay, G. K. M., Paula, G. T. S., & Cano, H. A. M. (2023). Métodos de fermentación en el cacao ccn-51 con norma inen 176 en la parroquia Guasaganda. *Polo Del Conocimiento*, 8(6), 613–633. <https://doi.org/10.23857/pc.v8i6.5702>

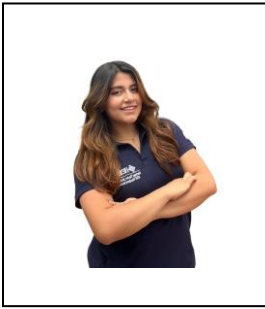
BIOGRAFÍAS



Enríquez, Álvaro, nacido el 28 de mayo de 1969, es ingeniero mecánico y magíster en Gerencia Empresarial por la Escuela Politécnica Nacional. Reside en Aurelio Gómez Jurado/2-21/César Morales.

Es jefe de Mantenimiento en el Ingenio Azucarero del Norte desde 1996 y docente en el Instituto Superior Tecnológico 17

de Julio desde noviembre de 2016. Ha participado en capacitaciones sobre análisis de aceite, programación en Python, análisis de vibraciones, transmisión de potencia, tratamiento de agua y el seminario de Inteligencia Artificial Generativa Aplicada a la Educación



Enríquez, Denisse, es egresada de ingeniera biomédica ecuatoriana con destacada trayectoria en investigación, liderazgo y divulgación científica. Ha desarrollado proyectos en nano biomateriales, inteligencia artificial aplicada a la salud y síntesis verde de nanopartículas, con publicaciones en Springer y MDPI. Su tesis se centra en

hidrogeles antimicrobianos a partir de biomasa vegetal. Ha recibido múltiples becas de Excelencia Académica y reconocimientos internacionales por su liderazgo en IEEE, incluyendo el primer lugar como “Success Case” en Latinoamérica. Comprometida con la educación STEM, impulsa iniciativas para inspirar a jóvenes, especialmente mujeres, en ingeniería.