

METALNNOVA

ISSN 2619-2357

7

II SEMESTRE 2024

DISRUPCIONES TECNOLÓGICAS

EL PAPEL DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL
Y LAS CIENCIAS AEROSPAZIALES EN EL SENA



**Centro
Metalmecánico**
Regional Distrito Capital

SENNOVA
Sistema de Investigación,
Desarrollo Tecnológico e Innovación



METALNNOVA

VOLUMEN 7 ISSN 2619-2357

Centro Metalmecánico SENA - Regional Distrito Capital

Carrera 30 No. 17-91 Sur
Bogotá - Colombia
PBX: 6015960050

metalmecanicosenas.blogspot.com
atencionalciudadanocmm@misena.edu.co

Periodicidad anual
Enero – Diciembre de 2024
Correo: revistametalnova@gmail.com
Impreso en: Cenigraf
OJS: <https://revistas.sena.edu.co/index.php/metalnova>



www.sena.edu.co

@SENAComunica



**Centro
Metalmecánico**
Regional Distrito Capital

SENNNOVA
Sistema de Investigación,
Desarrollo Tecnológico e Innovación

SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE SENA

Dirección General
Dirección de Formación Profesional
Sistema de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación

Jorge Eduardo Londoño Ulloa

Director General

Claudia Patricia Forero Londoño

Directora de Formación Profesional

Gerardo Arturo Medina Rosas

Director (e) Regional Distrito Capital

Alicia Lara Ahumada

Subdirectora (e) Centro Metalmecánico

PRODUCCIÓN EDITORIAL REVISTA METALNNOVA

Marjy Munóz

Dinamizador SENNOVA Centro Metalmecánico

Carlos Ramos Velásquez

Diseño gráfico y Gestión editorial

Marjorye Villabona

Corrección de estilo y Gestión Biblioteca Complejo Sur

Modelos y frameworks de IA usadas en esta edición: Adobe Firefly, Leonardo AI, StableDiffusion, ChatGPT 4o, Grammarly, Gemini, Gemini DeepResearch, Research Rabbit, Concensus, Copilot, Upscale Media XL.

VISITA LA
REVISTA EN



Licencia Creative Commons

CC BY-NC-ND 4.0 Deed
Attribution-NonCommercial-NoDerivs 4.0 International
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Este tipo de política suscita el reconocimiento al derecho de autoría de carácter no comercial y que deben compartir la información tal y como está publicado en la página web.



CONTENIDO



05 J. CÓDOBA | C. MOLINA | D. RODRÍGUEZ
Aplicaciones de inteligencia artificial en el sector aeroespacial en Colombia



17 A. CASTILLO | Y. PARADA
Manufacture of Syringes made of Natural Polymers Derived from Avocado Seed



27 J. CÓDOBA | C. MOLINA | D. RODRÍGUEZ
Desarrollo de un producto en la categoría de agua potable embotellada para mejorar la hidratación corporal...



49 O. RIVERA
Análisis de variables agrícolas implementando un gemelo digital

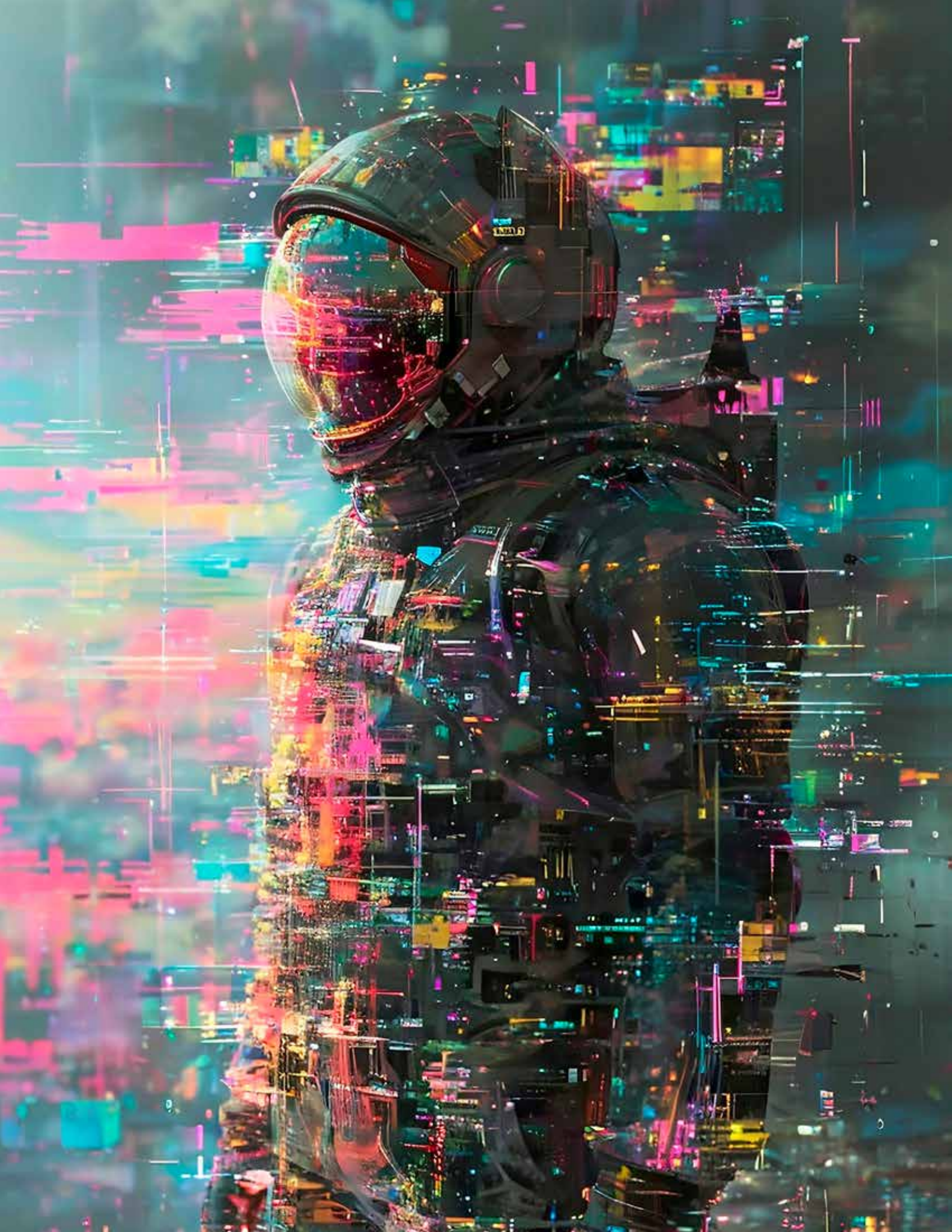


65 V. AMOROCHO | D. PEÑA
Diseño y desarrollo de impresora 3D, para la industria 4.0



79 T. LUNA | H. GALLARDO | C. HERNÁNDEZ
Herramientas Digitales que Integran la Formación Educativa del Técnico en Sistemas del SENA

El séptimo número de METALNNOVA presenta una recopilación de investigaciones y desarrollos tecnológicos enfocados en la innovación dentro de las industrias metalmecánica, aeroespacial y de manufactura avanzada. Este volumen destaca proyectos sobre el diseño y desarrollo de impresoras 3D integradas a la Industria 4.0, análisis de productos sostenibles para el tratamiento de agua potable y la implementación de gemelos digitales en la agricultura de precisión. A través de un enfoque interdisciplinario, METALNNOVA continúa consolidándose como un espacio para la divulgación científica y tecnológica, promoviendo soluciones innovadoras y sostenibles que fortalecen el sector productivo y académico.





Aplicaciones de inteligencia artificial en el sector aeroespacial en Colombia

Artificial Intelligence Applications in the Aerospace Sector in Colombia

Andrés Julián Moreno Moreno (1)

Gabriel Andrés Alzate Acuña (2)

Gustavo Vargas-Yara (3)

(1). Ingeniero Electrónico, Magister en Ciencias de la Información y las Comunicaciones, SENA.
Investigador experto en ciencias aeroespaciales 2024.
Grupo de Investigación del Centro Metalmecánico Gicemet, Bogotá D.C., Colombia.
ajmorenom@sena.edu.co

(2). Ingeniero Electrónico, Magister en Ciencias de la Información y las Comunicaciones, SENA.
Investigador experto en inteligencia artificial 2024.
Grupo de Investigación de Cenigraf - Ingraf, Bogotá D.C., Colombia.
galzatea@sena.edu.co

(3). Economista y Magister en Ciencias Económicas, SENA, Investigador en temas de política pública en ciencia, tecnología e innovación, Grupo de Investigación del Centro Metalmecánico Gicemet, Bogotá D.C., Colombia.
gvargas@sena.edu.co

RESUMEN

Este artículo analiza el impacto de la inteligencia artificial (IA) en el sector aeroespacial colombiano, destacando sus aplicaciones en monitoreo satelital, gestión de tráfico aéreo y optimización de rutas de vuelo. Los hallazgos muestran cómo estas tecnologías están transformando la vigilancia ambiental e infraestructura vial, posicionando a Colombia como líder regional en innovación. Sin embargo, se identifican retos en infraestructura, formación de talento y regulación ética. Se proponen estrategias como la colaboración público-privada y políticas públicas sólidas para impulsar su potencial en el desarrollo sostenible.

Palabras Claves: Inteligencia artificial, tecnologías aeroespaciales, drones, sistema de aeronaves no tripuladas, visión por computador, satélites, imágenes satelitales.

ABSTRACT

This article analyzes the impact of artificial intelligence (AI) in the Colombian aerospace sector, highlighting its applications in satellite monitoring, air traffic management, and flight route optimization. The findings show how these technologies are transforming environmental monitoring and infrastructure, positioning Colombia as a regional leader in innovation. However, challenges remain in infrastructure, talent development, and ethical regulation. Strategies such as public-private collaboration and robust public policies are proposed to maximize AI's potential for sustainable development.

Keywords: Artificial intelligence, aerospace technologies, drones, unmanned aircraft system, computer vision, satellites, satellite images.

1. INTRODUCCIÓN

En la última década, y en especial los recientes dos años, la inteligencia artificial (IA) ha revolucionado múltiples sectores industriales, entre ellos y ‘relevante para el futuro cercano’ el sector aeroespacial, al ofrecer herramientas avanzadas para la recopilación, procesamiento y análisis de datos, particularmente en aspectos como innovaciones en la predicción de tráfico aéreo, el monitoreo satelital de cultivos y territorios estratégicos, la gestión de flotas de drones, entre otros. Estas capacidades resultan particularmente útiles para optimizar operaciones y mejorar la seguridad en actividades que antes requerían una intervención humana intensiva [1].

En este contexto, el presente artículo surge como parte del desarrollo del proyecto “*Estudio prospectivo sobre el uso, apropiación y desarrollo de conocimiento derivado de tecnologías de vanguardia: Ciencias Aeroespaciales e Inteligencia Artificial*”, liderado por la Dirección Regional del SENA Distrito Capital, concebido como una iniciativa estratégica que busca fortalecer las capacidades nacionales en Ciencia, Tecnología e Innovación (CTeI), y responde a la necesidad de construir un panorama prospectivo que guíe la toma de decisiones estratégicas en torno a tecnologías clave para el futuro del país.

Durante su ejecución, el proyecto ha logrado avances en la caracterización de capacidades institucionales y tecnológicas, tanto en infraestructura como en talento humano, así como en la identificación de tendencias emergentes y desafíos relacionados con las tecnologías analizadas. Entre los principales resultados, se destacan el diseño de instrumentos metodológicos para el análisis prospectivo y la creación de un modelo conceptual que permite orientar el desarrollo de

proyectos de investigación, formación y transferencia tecnológica en áreas como las ciencias aeroespaciales y la inteligencia artificial.

Este artículo presenta un análisis algunos de estos resultados, explorando el aporte potencial de estas tecnologías en el desarrollo socioeconómico del país y destacando oportunidades para su implementación en sectores estratégicos. Además, se abordan los retos que enfrenta Colombia para consolidar su posición como referente en la adopción ética y sostenible de estas tecnologías. De esta manera, se busca aportar al fortalecimiento de las políticas públicas y al desarrollo de capacidades en tecnologías de vanguardia, alineando las acciones del SENA con las demandas del mercado laboral y los objetivos estratégicos del país en el ámbito de la CTeI.

Frente a la estructura del artículo en la siguiente sección se describe la metodología utilizada, seguido de un estado del arte en la sección 3 sobre los desarrollos históricos y las aplicaciones actuales de la IA en este ámbito; la sección 4 aborda las aplicaciones específicas en el sector aeroespacial colombiano, mientras que en la sección 5 se discuten los desafíos y oportunidades para el país. Finalmente, en la sección 6 se presentan las conclusiones en torno a la implementación de estas tecnologías en Colombia.

2. METODOLOGÍA

La metodología de este estudio se basó en un enfoque mixto de análisis bibliométrico, revisión de estado del arte, así como estudios de caso que contribuyen a un análisis comparativo de desarrollos locales y foráneos en relación con la inteligencia artificial (IA) y el sector aeroespacial en Colombia.

En este sentido, para identificar las tendencias y aplicaciones de la IA en el sector ae-

Otro grupo que concentra un importante número de correlaciones se encuentra en cuidado de la salud, diagnósticos y tratamiento de enfermedades, así como coronavirus Covid 19. Finalmente, resalta el clúster asociado con redes neuronales, internet de las cosas, blockchain, seguridad de redes, análisis de datos (big data) y toma de decisiones, entre otros.

Respecto al segundo ejercicio bibliométrico, se asociaron correlaciones entre inteligencia artificial y tecnologías aeroespaciales (Figura 2).

Los principales clústeres observados para estas correlaciones se reseñan en la tabla 1.

Tabla 1. Clústeres identificados, según temáticas correlacionadas

Clústeres	Temática
1	Navegación aérea. Vehículos aéreos no tripulados. Control de aeronaves y tráfico aéreo Antenas.
2	Vuelos espaciales e interplanetarios Exploración aeroespacial Investigación espacial Aprendizaje profundo Redes neuronales
3	Óptica espacial Sensores remotos
4	Electrónica aeroespacial Aprendizaje Optimización
5	Robots inteligentes Programación robótica Planeación de movimiento
6	Satélites Órbitas Aprendizaje profundo

Considerando la amplia producción científica, para realizar un análisis con mayor detalle, frente a las tendencias en las áreas de estudio, se priorizaron las referencias entre 2010 y 2023 que tuvieron un mayor índice de citación. Con base en ello, la temática de mayor interés es la de detección de defectos y diagnóstico de fallas en sistemas aeroespaciales en trabajos como [5], [6], [7], [8] y [9]. En un segundo grupo se encuentran los desarrollos asociados con procesamiento y fabricación de materiales, principalmente documentados en [10] y [11]. En cuanto al monitoreo de las estructuras aeroespaciales, sistemas de comunicación, navegación y control, reúne los aportes de [12], [13], [14], [15], [16] y [17]. Adicionalmente, es de notable importancia señalar las propuestas orientadas a la economía circular y sostenibilidad reseñadas en [18].

En este contexto, es importante señalar que las áreas resaltan la intersección entre la inteligencia artificial y las tecnologías aeroespaciales, subrayando la importancia de la innovación y la investigación en estos campos para mejorar la seguridad, eficiencia y rendimiento de los sistemas aeroespaciales.

Por otra parte, con base en un análisis de los proyectos del Servicio Nacional de Aprendizaje SENA relacionados con inteligencia artificial y tecnología en 2024, se observa un claro enfoque en la transformación digital del sector agropecuario colombiano. Los desarrollos se centran principalmente en la implementación de sistemas de monitoreo inteligente, visión artificial, Internet de las Cosas (IoT) y automatización de procesos agrícolas. Destacan proyectos como calculadoras de fertilización con IA, sistemas de riego inteligente, monitoreo de cultivos mediante drones y sensores, y aplicaciones móviles para

la detección temprana de enfermedades en cultivos como café, tomate y papa.

Un segundo grupo importante de desarrollos se enfoca en la ganadería y producción animal de precisión, donde se están implementando sistemas automatizados para el monitoreo y control de variables ambientales en granjas avícolas, sistemas acuapónicos y producción apícola. Estos proyectos integran sensores IoT, sistemas de control automatizado y plataformas de análisis de datos en tiempo real, permitiendo una gestión más eficiente de los recursos y mejorando significativamente la productividad. La mayoría de estas soluciones han alcanzado niveles de madurez tecnológica (*Technology Readiness Level TRL*) entre 5 y 7, lo que indica que están en fase de validación o demostración en entornos relevantes.

Las implicaciones de estos desarrollos son significativas para el sector agropecuario colombiano, ya que representan un paso importante hacia la agricultura 4.0. La integración de estas tecnologías está permitiendo a los pequeños y medianos productores acceder a herramientas de precisión que anteriormente solo estaban disponibles para grandes empresas, democratizando así el acceso a la tecnología agrícola. Además, estos proyectos están generando un impacto positivo en la sostenibilidad ambiental, la eficiencia en el uso de recursos y la productividad del sector, mientras contribuyen a la formación de una nueva generación de técnicos y tecnólogos capacitados en el uso y desarrollo de tecnologías agrícolas avanzadas.

4. APLICACIONES DE LA IA EN EL SECTOR AEROESPACIAL

En Colombia, la aplicación de IA en el sector aeroespacial ha comenzado a mostrar un impacto positivo en áreas críticas como el

monitoreo de la Amazonía, la agricultura de precisión y la vigilancia ambiental, con base en técnicas como el uso de drones equipados con sistemas de visión artificial que facilitan la detección de deforestación y actividades ilegales en zonas de difícil acceso, permitiendo la intervención temprana de las autoridades ambientales. Esta tecnología permite captar imágenes en tiempo real y utilizar algoritmos de IA para detectar cambios en el terreno, ofreciendo una herramienta poderosa para la conservación de los recursos naturales del país [19], [20].

Otra aplicación significativa es el uso de satélites en combinación con IA para monitorear la infraestructura vial y evaluar su condición, permitiendo la identificación de daños o el riesgo de derrumbes en áreas rurales y montañosas. Esta tecnología, utilizada por el Instituto Nacional de Vías (INVIAS), facilita el mantenimiento preventivo y mejora la seguridad de las carreteras, especialmente en zonas propensas a deslizamientos de tierra [21], [2].

Además, la IA ha empezado a ser aplicada en la planificación y optimización de rutas de vuelo en el espacio aéreo colombiano. La Aeronáutica Civil ha implementado sistemas de predicción basados en IA que ayudan a gestionar el tráfico aéreo en aeropuertos congestionados, mejorando la eficiencia de las operaciones y reduciendo las demoras en vuelos comerciales [3], [22]. Estas aplicaciones no solo representan un potencial económico significativo para Colombia, sino que también crean oportunidades para posicionar al país como un líder en tecnología aeroespacial en América Latina.

Por otra parte, en cuanto a los desarrollos tecnológicos del SENA, aunque principalmente enfocados en el sector agropecuario, muestran importantes vínculos con el desarrollo aeroes-

CUBESAT

Pequeños satélites con grandes oportunidades para Colombia

Los CubeSats representan una oportunidad única para que Colombia avance en la investigación espacial, la formación tecnológica y la observación ambiental. Podrían monitorear fenómenos climáticos, mejorar las comunicaciones en regiones apartadas y promover la innovación en el sector aeroespacial del país.

Permiten desarrollar misiones en pocos meses, facilitando la participación de países con presupuestos limitados en la exploración espacial.

1

2

3

4

Módulos electrónicos de un CubeSat

- 1 Módulo ACDS
- 2 Transceptor VHF/UHF
- 3 OBC / Computador a bordo
- 4 EPS / Subsistema de alimentación electrónica

Su versatilidad los hace ideales para aplicaciones como observación terrestre, telecomunicaciones e investigación científica.

Un CubeSat es un pequeño satélite de bajo costo, con dimensiones estandarizadas de 10x10x10 cm (1U), que puede expandirse a módulos de mayor tamaño (2U, 3U, etc.).



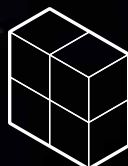
1U



2U



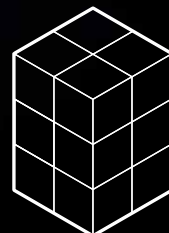
3U



4U



6U



12U

pacial, particularmente en el uso de tecnologías de sensores remotos y sistemas de navegación. El uso de drones equipados con sensores multi-espectrales para el monitoreo de cultivos, como se observa en varios proyectos, representa una aplicación directa de tecnologías originalmente desarrolladas para la observación satelital y la exploración espacial. Estos sistemas están utilizando principios de teledetección y procesamiento de imágenes similares a los empleados en satélites de observación terrestre, adaptados a una escala más local y accesible.

La implementación de sistemas de internet de las cosas (*IoT*) y redes de sensores en los proyectos agrícolas del SENA está estrechamente relacionada con las tecnologías de telemetría y control remoto utilizadas en la industria aeroespacial. Los sistemas de monitoreo en tiempo real, como los implementados en invernaderos inteligentes y sistemas de producción animal, utilizan arquitecturas de comunicación y protocolos similares a los empleados en las misiones espaciales. Además, el desarrollo de gemelos digitales para el monitoreo de cultivos representa una adaptación de tecnologías utilizadas en la industria aeroespacial para simular y monitorear sistemas complejos.

El desarrollo de sistemas autónomos y robots agrícolas en el SENA, como el Robot Agrícola Modular Tele-operado, comparte principios fundamentales con los “*Rover*” y sistemas robóticos utilizados en la exploración espacial. Estos sistemas incorporan tecnologías de navegación autónoma, sistemas de control remoto y capacidades de toma de decisiones que son análogas a las requeridas en vehículos de exploración espacial. La experiencia adquirida en el desarrollo de estos sistemas terrestres puede ser de alto valor para futuros desa-

rollos en robótica espacial y sistemas autónomos para exploración planetaria.

Los avances en el procesamiento de datos y el uso de inteligencia artificial en los proyectos del SENA también tienen aplicaciones potenciales en el sector aeroespacial. Las técnicas de análisis de imágenes y aprendizaje profundo utilizadas para la detección de enfermedades en cultivos pueden adaptarse para el análisis de imágenes satelitales y la detección de fenómenos atmosféricos o geológicos. Además, los sistemas de toma de decisiones basados en IA desarrollados para la agricultura de precisión pueden ser adaptados para su uso en sistemas de control de misiones espaciales y gestión de recursos en estaciones espaciales. Esta convergencia tecnológica está creando un ecosistema de innovación donde las tecnologías desarrolladas para aplicaciones terrestres pueden encontrar nuevos usos en el espacio, y viceversa.

Se observa entonces, que la inteligencia artificial se ha convertido en un componente fundamental en el desarrollo de proyectos aeroespaciales, transformando significativamente la forma en que se diseñan, operan y mantienen los sistemas espaciales. Las aplicaciones de IA abarcan desde el diseño optimizado de componentes espaciales mediante algoritmos generativos y simulaciones avanzadas, hasta el control autónomo de satélites y vehículos espaciales. Los sistemas de IA están permitiendo avances significativos en áreas críticas como la navegación autónoma, la optimización de trayectorias, la predicción de fallos en equipos espaciales y el procesamiento en tiempo real de grandes volúmenes de datos provenientes de sensores y sistemas de telemetría. Esta capacidad de procesamiento y análisis automático es particularmente relevante en misiones espacia-

les donde la comunicación con la Tierra puede tener retrasos significativos o ser intermitente, requiriendo sistemas capaces de tomar decisiones de manera autónoma.

Los desarrollos actuales en *deep learning* y redes neuronales están revolucionando aspectos específicos como el análisis de datos astronómicos, la detección y seguimiento de objetos espaciales, y la planificación de misiones espaciales complejas[23], [7]. Por ejemplo, los algoritmos de IA están siendo utilizados para identificar exoplanetas en grandes conjuntos de datos astronómicos, optimizar el uso de recursos en estaciones espaciales, y predecir condiciones espaciales que podrían afectar a las misiones. Además, la IA está jugando un papel crucial en el desarrollo de sistemas de mantenimiento predictivo para equipos espaciales, la automatización de procesos de ensamblaje y prueba de componentes espaciales, y la optimización de las comunicaciones espaciales. Estos avances, que se complementan con los desarrollos observados en proyectos como los del SENA, están acelerando la exploración espacial y haciendo más eficientes y seguros los proyectos aeroespaciales.

5. DESAFÍOS Y OPORTUNIDADES PARA COLOMBIA

La implementación de la inteligencia artificial (IA) en el sector aeroespacial en Colombia presenta un panorama diverso de desafíos y oportunidades, especialmente en el contexto de la hoja de ruta nacional para la adopción ética y sostenible de estas tecnologías [24]. A continuación, se analizan algunos aspectos considerados relevantes.

En cuanto a los desafíos, se observan brechas significativas en infraestructura tecnológica, particularmente en regiones rurales donde la

conectividad y el acceso a tecnologías avanzadas son limitados, lo que afecta la capacidad de desplegar aplicaciones como el monitoreo satelital y el uso de drones en zonas remotas. Por su parte, se requiere formar recurso humano que contribuya al crecimiento acelerado del sector. También es urgente contar con un marco normativo en materia de regulación y gobernanza ética, especialmente para las primeras etapas de desarrollo, para fomentar confianza pública y minimizar riesgos asociados. Finalmente, contar con inversión en investigación y desarrollo de proyectos de alto impacto como los sistemas de navegación autónoma y el análisis de datos satelitales.

Respecto a las oportunidades, en cuanto a monitoreo ambiental y seguridad nacional, la IA ofrece herramientas útiles en la protección de ecosistemas críticos, como la Amazonía, análisis de imágenes satelitales y monitoreo de deforestación, que son ya una realidad en el país y pueden potenciarse. En la gestión de tráfico aéreo, la implementación de sistemas inteligentes mejora la eficiencia operacional y posiciona a Colombia como un referente regional en innovación aeroportuaria. Integración en proyectos de desarrollo rural, como el monitoreo de cultivos y la gestión de recursos naturales, generan impactos positivos en la productividad agrícola y en la calidad de vida de las comunidades. En conjunto, se constituye como oportunidad en el país para liderar iniciativas de cooperación que impulsen el desarrollo tecnológico del país.

Por lo anterior, resulta oportuno avanzar en acciones que contribuyan a fortalecer la colaboración público-privada para movilizar recursos y conocimientos. Así mismo establecer políticas públicas robustas, marcos regulatorios claros que promuevan la innovación responsable

y protejan los intereses nacionales. Fomentar la investigación aplicada con proyectos que conecten la academia con las necesidades del sector productivo y la sociedad. Finalmente, promover la alfabetización para capacitar comunidades y fortalecer las competencias en estas tecnologías en los diferentes niveles educativos.

6. CONCLUSIONES

A manera de conclusión, a nivel conceptual se observa como las tecnologías asociadas a la inteligencia artificial y aeroespacial se consideran emergentes por su dinámica de desarrollo científico, por lo que se asume un potencial para el desarrollo de iniciativas y proyectos intra e interinstitucionales que contribuyan a la implementación de políticas públicas de impacto.

Se considera adecuado trabajar de manera coordinada entre actores de la cuádruple hélice de ecosistema de ciencia, tecnología e innovación, con el fin de aprovechar sinergias y lograr un mayor impacto de las iniciativas en los temas objeto de análisis.

AGRADECIMIENTOS.

El presente artículo hace parte del desarrollo del proyecto “*Estudio prospectivo sobre el uso, apropiación y desarrollo de conocimiento derivado de tecnologías de vanguardia: ciencias aeroespaciales e inteligencia artificial*”, código SGPS-13226-2024, se agradece el apoyo y dirección de Director Sena Regional Distrito Capital y Subdirectores de Centro Metalmecánico y Centro para la Industria de la Comunicación Gráfica. 

REFERENCIAS

- [1] R. Chai, A. Tsourdos, y A. Savvaris, «Review of advanced guidance and control algorithms for space/aerospace vehicles», *Progress in Aerospace Sciences*, vol. 122, 2021.
- [2] R. Molina, «Uso de inteligencia artificial en el monitoreo de infraestructura vial y prevención de desastres en Colombia», *Ingeniería y Sociedad*, vol. 12, n.º 1, pp. 44-58, 2021.
- [3] D. Serrano y G. Martínez, «Inteligencia artificial para la predicción de tráfico aéreo en Colombia», *Revista Aeroespacial Colombiana*, vol. 11, n.º 2, pp. 70-83, 2022.
- [4] McCarthy, «J.; Minsky», *M Rochester N 2006 Propos. Dartm. Summer Res. Proj. Artif. Intell. AI Mag V 27 N 4 P 12 – 14*.
- [5] E. M.; K. K.D, «(2021)», *Fault Diagn. Progn. Aerosp. Syst. Using Grow. Recurr. Neural Netw. LSTM IEEE Aerosp. Conf. Proc.*
- [6] E. D.; H. A. E.; D. A.; Y. M.; A. A.; A. S, «(2021)», *Multi-Object. Hybrid Artif. Intell. Approach Fault Diagn. Aerosp. Syst. IEEE Access V 9*.
- [7] W. J.; S. J. A.; I. J. A.; A. I, «(2019)», *Geom. Defect Detect. Thewire Electr. Disch. Mach. Fir-Tree Slots Using Deep Learn. Tech. Appl. Sci. Switz. V 9 N 1*.
- [8] P. M. L.; W. M, «(2020)», *Real World Object Detect. Dataset Quadcopter Unmanned Aer. Veh. Detect. IEEE Access V 8*.
- [9] D. M. D.; S. Z.; J. I.K, «(2021)», *Integr. Mach. Learn. Model Aircr. Compon. Rare Fail. Progn. Log-Based Dataset ISA Trans. V 113*.
- [10] A. P. R.; D. S. R. B.; G. T. M.; F. M. N.; B. E.C, «(2017)», *Estim. High Precis. Hole Diameters Aerosp. Alloys Using Artif. Intell. Syst. Comp. Anal. Differ. Tech. J. Braz. Soc. Mech. Sci. Eng. V 39 N 1*.
- [11] M. N.; B. K.; P. D.; G. P. M.; A. D.; B. J.S, «(2019)», *Mach. Anal. ANFIS Model. Adv. Mach. Hybrid Met. Matrix Compos. Aerosp. Appl. Mater. Manuf. Process. V 34 N 16*.
- [12] H. H.; G. M.; K. M.; H. C. H.; P. H.-H, «(2019)», *Temp. Eff. Electromechanical Response Deposited Piezoelectric Sens. Used Struct. Health Monit. Aerosp. Struct. Sens. Switz. V 19 N 12*.

- [13] F. T. ; I. M. ; G. A. ; S. R., «(2021)», *Laser Beam Atmospheric Propag. Model. Aerosp. LIDAR Appl. Atmosphere V 12 N 7*.
- [14] C. Y. ; L. W. ; N. Z. ; F. Z. ; H. Q. ; J. T., «(2020)», *Pervasive Intell. Endog. 6G Wirel. Syst. Prospects Theor. Key Technol. Digit. Commun. Netw. V 6 V 3*.
- [15] H. D., «(2017)», *Platf. Directly Evolves Multirotor Controll. IEEE Trans. Evol. Comput. V 21 N 6*.
- [16] C. C. ; J. Y. ; K. C.A. (2013), «Artificial Intelligence learning based on proportional navigation guidance», *Proc. 2013 Int. Conf. Adv. Comput. Commun. Inform. ICACCI 2013*.
- [17] E. C. M. ; S. Z. ; J. I.K. (2019), «The application of reasoning to aerospace Integrated Vehicle Health Management (IVHM): Challenges and opportunities», *Prog. Aerosp. Sci. V 105*.
- [18] R. D. V. M. ; J. D. ; de C. F. P. ; R. C. D. A. ; P. P. M.A., «(2022)», *Possibilities Appl. Circ. Econ. Aerosp. Ind. Pract. Oppor. Chall. J. Air Transp. Manag. 102*.
- [19] J. Gomez y M. Herrera, «Aplicación de drones para la vigilancia ambiental en Colombia», *Revista de Tecnología y Ambiente*, vol. 9, n.º 2, pp. 55-67, 2022.
- [20] C. Pardo y L. Rodríguez, «Deforestación y minería ilegal en la Amazonía: el papel de los drones en la protección ambiental», *Revista Colombiana de Ciencia y Tecnología Ambiental*, vol. 15, n.º 3, pp. 112-117, 2023.
- [21] J. C. Agudelo y F. Torres, «Evaluación de infraestructura vial en áreas montañosas con IA y satélites», *Instituto Nacional de Vías - INVIAS, Informe Técnico*, 2023.
- [22] P. González y H. Lopez, «Aplicación de algoritmos predictivos en la gestión del tráfico aéreo colombiano», *Aeronáutica Civil de Colombia, Informe de Innovación*, 2021.
- [23] D. A. ; P. P. P. ; E. V. V. ; R. N. ; H. J. (2020), «Deep learning as an alternative to super-resolution imaging in UAV systems», *Imaging Sens. Unmanned Aircr. Syst. Deploy. Appl.*.
- [24] Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación, *Hoja de ruta para el desarrollo y aplicación de la inteligencia artificial en Colombia*. Bogotá, 2024.



Manufacture of Syringes made of Natural Polymers Derived from Avocado Seed

*Fabricación de jeringas a partir de polímeros naturales
derivados de la semilla de aguacate*

Javier Hernando Barrera Salgado (1)
Yesid Leonardo Bejarano Romero (2)
Gustavo Andrés Castiblanco Castañeda (3)
Alexander Castillo Cabra (4)
Yonathan Ferney Parada Valencia (5)

(1) (2) (3) (4) (5), Tecnología en transformación de Plásticos por Inyección y Soplado.
Servicio Nacional de Aprendizaje SENA Centro Metalmecánico.
Semillero Carplast grupo Gicemet, Regional Distrito Capital, Colombia.
Correos electrónicos: herbas77@gmail.com
yesidbejarano@outlook.com
andrescastiblanco1019@gmail.com
accabra@sena.edu.co
yparada246.y@gmail.com

ABSTRACT

This project aims to develop a biodegradable syringe to reduce plastic waste pollution, especially in sectors like healthcare and livestock production. The premise is to study the avocado seed through processes like grinding, decantation, drying, and mixing to create an environmentally friendly biopolymer plastic. Current syringes are made of non-biodegradable and non-recyclable plastic materials, worsening pollution due to their handling and hazardous nature. In contrast, our product can be disposed of in landfills, degrading within 180 days without causing contamination. This approach offers a sustainable alternative to conventional plastics, which are challenging to control, recycle, and separate due to their properties.

Keywords: Biodegradable Syringe, Avocado Seed, Bio-based Material, Common Polymers, Avocado Starch Blends, Decantation.

RESUMEN

Este proyecto busca desarrollar una jeringa biodegradable para reducir la contaminación por desechos plásticos, especialmente en sectores como la salud y la producción pecuaria. La premisa es estudiar la semilla de aguacate mediante procesos como el molido, decantación, secado y mezclas, para crear un biopolímero plástico amigable con el medio ambiente. Las jeringas actuales están hechas de materiales plásticos no biodegradables y no reciclables, lo que agrava la contaminación debido a su difícil manejo y peligrosidad. En cambio, nuestro producto podrá ser desechado en vertederos, donde se degradará en un plazo de 180 días, sin generar contaminación. Este enfoque ofrece una alternativa sostenible frente a los plásticos convencionales que, por sus propiedades, son difíciles de controlar, reciclar y separar.

Palabras Claves: Jeringa Biodegradable, Semilla de Aguacate, Material Biobasado, Polímeros Comunes, Mezclas del Almidón de Aguacate, Decantación.

1. INTRODUCTION

According to Rodríguez [1], around 1.4 million tons of plastic materials are produced annually in Colombia, including polypropylene, PVC, polystyrene, and low-density polyethylene, among others. The plastic products industry processes more than 1.3 million tons each year, producing a wide variety of items such as packaging, containers, pipes, automotive parts, and toys. Of the total, 54% of consumed plastics are used for packaging, utilized in food, hygiene, cleaning, industrial products, and lubricants.

The use of plastics is widespread across virtually all industrial and economic sectors. In the agricultural sector, low-density polyethylene is the most widely used material, although PVC and EVA copolymers are also employed in greenhouses. These materials are used in the cultivation of fruits, vegetables, and flowers. In the automotive sector, polypropylene dominates due to its excellent properties and cost-effectiveness. In construction, PVC makes up 60% of the plastics used, primarily in the manufacture of pipes and fittings, followed by polyethylene and polyurethanes. Polypropylene accounts for 51% of the plastics used in industrial parts, with polyester being the second most used plastic.

Given the environmental impact of plastics, alternatives such as bioplastics have been investigated. These biodegradable materials are derived from renewable sources. Biopolymers, made from agricultural waste, cellulose, or starch, have properties comparable to conventional plastics but are more sustainable. For example, polyethylene (PE) and polyethylene terephthalate (PET) bioplastics possess identical properties to their traditional versions and are recyclable, contributing to a reduced carbon footprint.

A fully biodegradable and compostable bioplastic has been developed from avocado seeds. The result is Biocom, a thermoplastic resin for the manufacture of biodegradable and compostable products, along with Bioblend, an additive that accelerates the decomposition of materials such as polyethylene, polypropylene, PVC, polystyrene, and cellulose polymers. Approximately 1.5 kilograms of avocado seeds are required to produce one kilogram of bioplastic, although this amount varies according to the characteristics of the final product. The resulting products can degrade within a period of six months to five years, compared to conventional plastics, which can take between 100 and 1,000 years to decompose [2].

2. METHODOLOGY

According to Mahecha [1], previous studies conducted by the Polymer and Adhesives Research Group (GIPA) showed that, after dehydrating, grinding, and sieving the avocado seed, its protein content is approximately 3.7%. This data indicates that it is a good source of soluble and insoluble fiber (19%) and is rich in starch, with more than 60%, making it an interesting compound for those exploring renewable sources of polymers.

2.1. Phase 1: Obtaining starch from avocado seeds

The extraction of starch from the avocado seed is an essential step for the production of biodegradable syringes and other sustainable products that aim to reduce the use of traditional plastic materials in medical applications (Figure 1). This phase is developed in six main stages:

- **Seed collection:** The process begins with the collection of avocado seeds, which will serve as the starch source.

- **Seed cleaning:** The collected seeds undergo a cleaning process to remove any external residue (pulp or cuticle) that could affect the quality of the starch.
- **Seed grating:** Once clean, the seeds are grated or crushed, breaking them down into smaller particles. This step facilitates starch extraction in later stages.
- **Starch decantation from the seed:** The grated material is subjected to a decantation process, which separates the

starch from other seed components, yielding a purer extract.

- **Decanted starch:** The decanted starch is collected and prepared for its final transformation.
- **Starch powder:** In this final stage, the decanted starch is dried and turned into powder, completing the extraction process and obtaining the starch in an optimal form for use in the manufacture of biodegradable products.

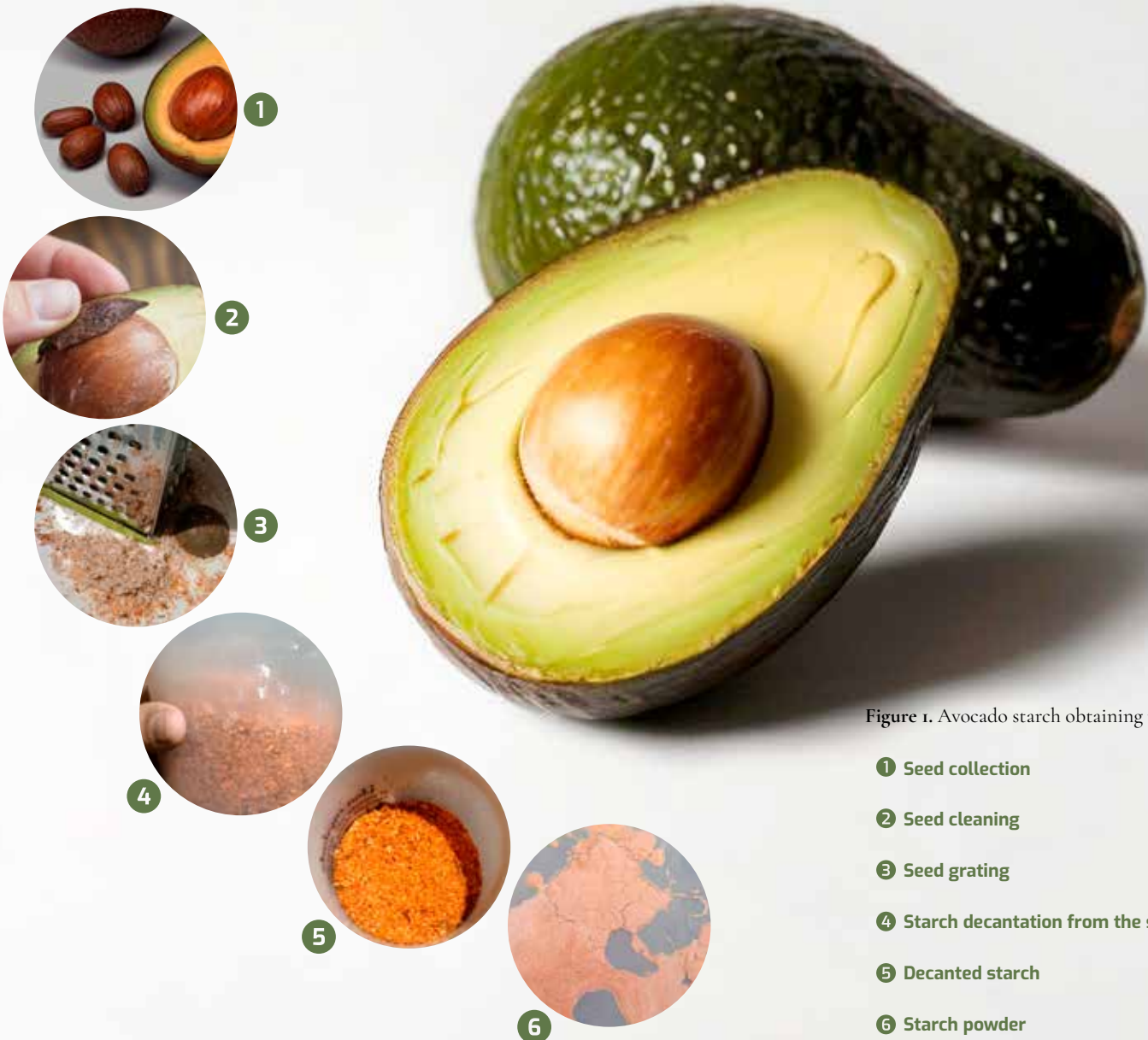


Figure 1. Avocado starch obtaining process

- 1 Seed collection
- 2 Seed cleaning
- 3 Seed grating
- 4 Starch decantation from the seed
- 5 Decanted starch
- 6 Starch powder

2.2. Phase 2: Mixture of avocado seed starch to inject

In Figure 2, the mixing process to obtain an injection material based on avocado seed starch can be seen, composed of the following elements:

- **Polymer:** Represented in a yellow oval at the top.
- **Avocado starch:** Represented in a green oval in the center.
- **Binder:** Represented in a light blue oval at the bottom.

The combination of these three elements results in “Phase 2,” the material that will be used for injections, aimed at achieving an optimal mixture for the creation of biodegradable products.

2.3. Phase 3: Injection of test tubes in different proportions

Different test specimens were prepared using varying proportions of polymer and starch. These included 40% polymer with 60% starch, 50% polymer with 50% starch, and 60% polymer with 40% starch.

Figure 3 shows the test specimens corresponding to the proportions of 70% polymer with 30% starch, 80% polymer with 20% starch, and 90% polymer with 10% starch.

These proportions reflect different configurations of the material that will undergo physical and mechanical tests in the next phase to evaluate their performance.



Figure 2. Proportional mixing process



Figure 3. Proportional mixing combinations

2.4. Phase 4: Physical and mechanical tests

To understand the material's strength and ductility, the following tests were developed:

- **Aging Chamber:** Allows samples to be exposed alternately to cycles of ultraviolet light and condensation, with controlled temperature.
- **Bending Test:** Measures the behavior of materials subjected to a simple load.
- **Impact Test (Charpy and Izod):** These are short-duration tests that provide information on the behavior of materials or components when subjected to impact loads.
- **Hardness Test:** Evaluates a material's resistance to permanent deformation by penetrating it with a harder material.
- **Tensile Test:** Involves applying axial stress to a specimen until it breaks. The strain rate must be low to avoid distorting the results, measuring the force and extension of the specimen.
- **Fatigue Test:** Determines the resistance of a part subjected to cyclic loads, where fatigue occurs when the loads are below the material's critical breaking point.
- **Wear Test:** Measures changes in conditions caused by friction. The result is obtained from deformation, scratches, and notches on the surfaces in contact.

2.5. Phase 5. Conclusions

2.5.1 Results

In the context of the project, Table 1 corresponds to the schedule or list of key activities for developing biodegradable material from avocado seed starch. These activities include tasks ranging from market research to the formulation and testing of the material, evaluating its performance, costs, and degradation processes.

2.5.2. List of customer requirements

The following list describes the features that customers would like to find in the product:

- Material used for the barrel (avocado seed starch).
- Material used for the plunger (avocado seed starch).
- The syringe must not have leaks.
- It should be ergonomic.
- It must provide safety.
- The packaging should be easy to open.
- It should comply with hygiene standards.
- The boxes must meet the printed unit specifications.
- It should not pose an environmental risk.
- Proper functionality.
- The measurement scale on the barrel should be legible.
- Low cost.
- The manufacturing date should be legible.
- Sufficient installed capacity to meet projected production units.
- Short degradation period (less than 180 days).

Table 1. Results of the activity. Project monitoring and evaluation

ACTIVITY	PERCENTAGE (%)
Market research.	90
Consult advertisements.	100
Papers resources.	100
Step-by-step process of decanting the seed to obtain the biopolymer.	100
Obtaining avocado seeds.	100
Monitoring of a injected part, then leaving it in the environment to see its degradation time.	50
Go to specific sites for aging chamber testing.	20
Make mixtures of avocado seed starches, varying the polymer percentages.	80
Mechanical and organoleptic tests..	20
Cost study of materials for the manufacture of the product.	90
Identify the competition to compare product costs.	90
Marketing study by areas and locations.	50

Table 2a. Description monetary value of the project

DESCRIPCION	VALOR MONETARIO
Mano de obra preparación del proyecto	\$1.228.800 se utilizan 4 personas, 4 horas a la semana durante 3 meses.
Transporte	camión de acarreo de 1 ton \$20.000
Almacenamiento de la materia prima por mes	\$200.000
Proceso	Todo se hace por kilos horas o unidades minuto 1. triturado, rayado o molido de la materia (mortero o licuadora) \$25.000 2. mezclado de la materia con agua hervida o filtrada \$ 7.000 3. Secado de la materia prima (pepa) ya triturada, al sol o en un horno. \$40.000 4. granular o pulverizar la materia ya deshidratada, (licuadora o molino casero). \$6.000
Inyección	
Máquina	Usando moldes de probeta e inyectora durante un día (800\$ KW/HR inyectora de 30 KW/HR). \$192.000
Polímero	Valor de 1 kilo \$6.500
Catalizador	Valor de 30 c.c \$5.000
Total	\$1.730.300

Table 2b. Description monetary value of the project

Descripción	VALOR
Mano de obra	\$ 1.228.800
Transporte	\$ 20.000
Almacenamiento	\$ 200.000
Proceso	
Rayado	\$ 25.000
Agua	\$ 7.000
Secado	\$ 40.000
Pulverizado	\$ 6.000
Inyección	
Maquina	\$ 192.000
Polímero	\$ 6.500
Catalizador	\$ 5.000
Total	\$ 1.730.300

2.5.3. Cost study

Tables 2a and 2b summarize the project costs and mention additional resources required to carry it out.

3. CONCLUSIONS

To produce one kilogram of bioplastic, approximately 1.5 kilograms of avocado seeds are required, although this figure varies depending on the desired final characteristics of the product. The resulting products can degrade within a period ranging from six months to five years, depending on their final application, with minimal environmental impact.

This initiative aims to promote circular bioeconomy commitments by generating materials that are more environmentally friendly and facilitating better waste management. According to World of Statistics [1], Mexico

leads global avocado production with 2,442 million tons, followed by Colombia (979,000), Peru (777,000), and Indonesia (669,000).

Ramos [2] points out that the efficient use of waste generated by the agro-industry has attracted global interest, as it seeks to obtain alternative chemicals and proteins through sustainable technologies and closed systems, contributing to environmental preservation.

According to a study by the National Planning Department (DNP) [3], approximately 10,000 kilograms of avocado are wasted in Corabastos out of an average purchase of 400,000 kilograms, representing a 10% loss of the total fruit.

Monsalve and Ramos [4] state that “this avocado waste not only represents losses for the marketing organizations but also has a negative environmental impact due to the way the fruit unfit for sale is disposed of.”

REFERENCES

- [1] “Bioplásticos: la solución sostenible del futuro”, *Infinita*, 20 de julio de 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.infinitiaresearch.com/noticias/bioplasticos-definicion-tipos-ventajas/>. [Accedido: 18-oct-2023].
- [2] “¿Cuánto tarda en degradarse el plástico?”, *Ecoembes*, 18 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://reducereutilizarecicla.org/cuanto-tarda-en-degradar-el-plastico/>. [Accedido: 18-oct-2023].
- [3] “El rol de los plásticos en diferentes sectores económicos,” Representaciones industriales R.D.V. Ltda. [En línea]. Disponible en: <https://rdv.com.co/usos-los-plasticos-diferentes-sectores-economicos/>. [Accedido: 18-oct-2023].
- [4] E. Kate, “Cómo calcular la productividad en todos los niveles: Empleado, organización y software,” Smartsheet, 10 de diciembre de 2015. [En línea]. Disponible en: <https://es.smartsheet.com/blog/how-calculate-productivity-all-levels-organization-employee-and-software>. [Accedido: 18-oct-2023].
- [5] “El rol de los plásticos en diferentes sectores económicos,” Representaciones industriales R.D.V. Ltda. [En línea]. Disponible en: <https://rdv.com.co/usos-los-plasticos-diferentes-sectores-economicos/>. [Accedido: 18-oct-2023].
- [6] C. Higuera, N. Rodríguez, y K. Zuluaga, “Bioplásticos a partir de la semilla de aguacate,” Universidad EAN, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://repository.universidadean.edu.co/bitstream/handle/10882/10904/HigueraCamilo2021.pdf>. [Accedido: 18-oct-2023].
- [7] C. Juárez, “Fabrican plásticos a partir de semillas de aguacate,” Foodtech, 14 de diciembre de 2012. [En línea].

- Disponible en: <https://thefoodtech.com/insumos-para-empaque/fabrican-plasticos-a-partir-de-semillas-de-aguacate/>. [Accedido: 18-oct-2023].
- [8] LABVA Biomateriales, **“Biomateriales DIY / Biopolímero Artesanal de Aguacate,”** YouTube, 07 de octubre de 2020. [Video]. Disponible en: <https://youtu.be/iHoHQ6EYQk>. [Accedido: 18-oct-2023].
- [9] C. Monsalve y Y. Ramos, **“Estudio de pre-factibilidad en la cadena productiva del aguacate para aprovechamiento de residuos del fruto en la industria cosmética,”** Tesis de pregrado, Universidad Agustiniiana, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uniagustiniana.edu.co/bitstream/handle/123456789/906/RamosGarcia-YudyLorena2019.pdf>. [Accedido: 18-oct-2023].
- [10] **“Obtienen plástico natural a partir de pepa de aguacate Hass y remolacha,”** Universidad Nacional de Colombia, 07 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/obtienen-plastico-natural-a-partir-de-pepa-de-aguacate-hass-y-remolacha/>. [Accedido: 18-oct-2023].
- [11] **“¿Qué es y cómo calcular el índice OEE de su producción?,”** Delta Maquinas Texteis. [En línea]. Disponible en: <https://deltamaquinastexteis.com.br/es/que-es-y-como-calcular-el-indice-oe-e-de-su-produccion/>. [Accedido: 18-oct-2023].
- [12] **“¿Quiénes son los mayores productores de aguacates del mundo?,”** El Jornalero, 28 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://eljornalero.com.mx/noticia/quienes-son-los-mayores-productores-de-aguacates-del-mundo-177>. [Accedido: 18-oct-2023].
- [13] I. Ramos, **“Caracterización química de tres residuos lignocelulósicos generados en la región del Cantón Alausí,”** Revista de instituto de investigaciones de la facultad de geología, minas, metalurgia y ciencias geográficas, vol. 20, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/14393>. [Accedido: 18-oct-2023].
- [14] Redacción, **“Plásticos biodegradables hechos con semillas de aguacate,”** Ecologismos, 31 de enero de 2020. [En línea]. Disponible en: <https://ecologismos.com/plasticos-biodegradables-hechos-con-semillas-de-aguacate/>. [Accedido: 18-oct-2023].
- [15] D. Rodríguez, **“Colombia produce 1,4 millones de toneladas de plástico al año,”** Portafolio, 02 de junio de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.portafolio.co/economia/colombia-produce-1-4-millones-de-toneladas-de-plastico-al-ano-566367>. [Accedido: 18-oct-2023].
- [16] **“¿Cuánto tarda en degradarse el plástico?,”** Ecoembes, 18 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://reducereutilizarecicla.org/cuanto-tarda-en-degradar-el-plastico/>. [Accedido: 18-oct-2023].
- [17] G. Samaniego, **“Cómo hacer la justificación de una investigación [paso a paso],”** Mi asesor de tesis, 23 de junio de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://miasesor detesis.com/como-hacer-la-justificacion-de-una-investigacion-paso-a-paso/>. [Accedido: 18-oct-2023].
- [18] D. Torres, **“8 indicadores de productividad en ventas que debes conocer,”** Hubspot, 30 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://blog.hubspot.es/sales/indicadores-productividad>. [Accedido: 18-oct-2023].





Desarrollo de un producto en la categoría de agua potable embotellada para mejorar la hidratación corporal mediante el aumento de los niveles de pH, con características nutricosméticas

Development of a Product in the Bottled Drinking Water Category for Enhanced Body Hydration through Increased pH Levels, with Nutricosmetic Values

Christian Javier Molina Castillo (1)

Jonathan Córdoba Fontecha (2)

Darwin Dubay Rodríguez Pinto (3)

(1) Ingeniero en Recursos Hídricos y Gestión Ambiental, Universidad de Cundinamarca.
Grupo de investigación: Agricultura Orgánica y Salud del Suelo AOSS, Fusagasugá, Colombia.
jcordobaf@ucundinamarca.edu.co

(2) Ingeniero Ambiental, Universidad de Cundinamarca. Bogotá, Colombia.
crismoliz40@gmail.com

(3) Ingeniero de Sistemas. Universidad Distrital, Bogotá, Colombia.
drodriguezp@sena.edu.co

RESUMEN

Dentro de los aspectos de interés para la salud humana, la deshidratación crónica es una preocupación importante. Para una hidratación óptima, el pH del agua es esencial: un pH inferior a 7 es ácido, mientras que un pH superior a 7 es alcalino. El agua alcalina se produce naturalmente cuando el agua adquiere minerales al pasar por sustratos, aumentando su nivel alcalino. La deshidratación, causada por factores como actividad física excesiva, desgaste fisiológico y enfermedades, provoca un desequilibrio intracelular, extracelular e intersticial que afecta severamente al organismo. Sin embargo, el agua alcalina, considerada un producto nutricosmético, ofrece una solución. Esta agua, sometida a un proceso de filtración que la pone en contacto con sustratos alcalinos, estimula la vitalidad, neutraliza los daños químicos acidificantes y mejora el transporte de nutrientes y oxígeno en el cuerpo, acelerando así la hidratación corporal.

Palabras Claves: Agua alcalina, Hidratación corporal, Nutricosmética, Salud tegumentaria.

ABSTRACT

Among the aspects of interest for human health, chronic dehydration is a significant concern. For optimal hydration, the pH of water is essential: a pH below 7 is acidic, while a pH above 7 is alkaline. Alkaline water is naturally produced when water acquires minerals as it passes through substrates, increasing its alkaline level. Dehydration, caused by factors such as excessive physical activity, physiological wear and tear, and diseases, causes an intracellular, extracellular, and interstitial imbalance that severely affects the body. However, alkaline water, considered a nutricosmetic product, offers a solution. This water, subjected to a filtration process that brings it into contact with alkaline substrates, stimulates vitality, neutralizes acidifying chemical damage, and improves the transport of nutrients and oxygen in the body, thereby accelerating body hydration.

Keywords: Alkaline Water, Body Hydration, Nutricosmetics, Integumentary Health.

1. INTRODUCCIÓN

Apparently, it is summarized in a simple formula: H_2O , which is the characteristic most general of the large masses that cover 71% of the surface of the Earth (oceans, ice sheets, glaciers, surface waters and subterranean) and that conform what is called the hydrosphere. According to some authors, in particular oceanographers, this large mass of water distributed uniformly on the surface of the Earth would form a layer 4 km thick. [1] Para Fernández (2012):

“El agua es la fuente y el sustento de la vida, contribuye a regular el clima del mundo y con su fuerza formidable modela la Tierra. Posee propiedades únicas que la hacen esencial para la vida. Es un material flexible: un solvente extraordinario, un reactivo ideal en muchos procesos metabólicos, tiene una gran capacidad calorífica y tiene la propiedad de expandirse cuando se congela. Con su movimiento, puede modelar el paisaje y afectar el clima. Los océanos representan casi el 97,5% del agua del planeta. Únicamente un 2,5% es agua dulce. Los glaciares, la nieve y el hielo de los casquetes polares representan casi el 80% del agua dulce, el agua subterránea el 19% y el agua de superficie accesible rápidamente solo el 1%. Esta baja cantidad de agua de superficie fácilmente accesible se encuentra principalmente en lagos (52%) y humedales (38%)”. [2]

La clasificación de las aguas se da según el valor de la dureza total, para lo cual se relaciona en la tabla 1.

Para la Organización Mundial de la Salud (OMS), el agua blanda se define como aquella que presenta concentraciones inferiores a 60 mg/L de carbonato de calcio ($CaCO_3$), medianamente dura entre 61 y 120 mg/L, dura entre 121 y 180 mg/L, y muy dura aquella con valo-

res superiores a 180 mg/L. El calcio se disuelve prácticamente de todas las rocas, y, por lo tanto, se detecta en todas las aguas. [4]

Tabla 1. Clasificación de las aguas según valor de la dureza total [3]

Tipo de agua	Ppm $CaCO_3$
Muy blanda	0 – 15
Blanda	16 – 75
Semidura	76 – 150
Dura	151 – 300
Muy dura	> 300

Considerando lo anterior, podemos reflexionar basándonos en el libro *Consejos sobre el régimen alimenticio*. Podemos citar textualmente la siguiente reflexión:

“Los que trabajan con las manos deben alimentarse para poder cumplir con el trabajo, y también los que trabajan con palabra y doctrina deben fortalecerse por la alimentación; porque Satanás y sus ángeles están haciéndoles la guerra con el fin de destruir su vitalidad. Deben buscar descanso para su cuerpo y su mente, evitar extremos en el régimen alimenticio y el desgaste siempre que puedan, y deben ingerir alimentos nutritivos para mantener su fuerza; porque estarán obligados a ejercitar toda la fuerza que tengan”. [5]

Con la reflexión anterior sobre la importancia del agua y una buena alimentación, se procederá a definir otros conceptos relacionados con la nutricosmética. El concepto de «nutricosmético» o la utilización de principios activos por vía oral busca aportar al organismo esos nutrientes que pueden actuar directamente sobre la piel y el cabello y, así, mejorar su salud y su aspecto. [6]

La nutricosmética son tratamientos que deben ser aplicados por profesionales de la medici-

na preventiva o estética, a base de suplementos nutricionales o complementos alimentarios especialmente orientados a mejorar la piel, cabello y uñas. Estos suplementos actúan sobre todo el organismo y pueden tener repercusiones también sobre el tejido conectivo y la visión. [7]

Los estudios sobre la nutricosmética han cobrado mayor relevancia gracias a equipos interdisciplinarios que involucran a profesionales de las ciencias de la salud, ciencias exactas e ingenierías, siendo Brasil un país líder en esta investigación. [8]

Teniendo la definición de los conceptos anteriormente mencionados, procedemos a relacionar las propiedades y beneficios del agua en el sistema tegumentario, específicamente en el cabello, la piel y las uñas. Los productos nutricosméticos se consideran aquellos que se ingieren por vía oral y cuyos principios activos buscan aportar al organismo los nutrientes que actúan principalmente en la piel, el cabello y el sistema tegumentario.

Siendo el agua un producto que se consume con gran frecuencia y es esencial para la existencia de la vida, le empresa Bonett Colombia S.A.S. elabora un producto con propiedades nutricosméticas. Se afirma para dicho producto, enmarcado en el agua embotellada, que tiene un pH incrementado para acelerar la hidratación corporal.

Para comprender mejor el agua, es de gran importancia tener en cuenta su clasificación.

2. RESULTADOS

2.1. Propiedades del agua en el sistema tegumentario (Cabello, piel y uñas)

En el Informe Final complementario dermatológico, se analizan los parámetros físicos,

químicos y microbiológicos, la concentración, y la presencia y/o ausencia de estos, correlacionados con la hidratación y la salud corporal desde el interior hasta el exterior, manifestados en la belleza de la piel, el cabello, las cejas, las pestañas y las uñas. Este informe es de gran importancia y sirve como insumo vital para la justificación científica del presente artículo, brindando explicaciones para comprender la relevancia del agua alcalina en el sistema tegumentario, ya que el agua alcalina es un producto nutricosmético.

Para comprender lo anterior, es importante entender que la sangre, como principal sustancia que transporta proteínas y componentes químicos y microbiológicos necesarios para los diferentes órganos del cuerpo humano, juega un papel fundamental. Los autores [9] resaltan la importancia y veracidad de la transferencia de estos elementos a través del plasma, cuya mayor composición es agua. Esto nos permite inferir que una mayor ingesta directa de agua alcalina podría ofrecer beneficios cosméticos en el sistema tegumentario. [9]

Para comprender mejor lo mencionado por [10], es necesario entender la fisiología de la sangre. La sangre es una solución que contiene solutos y células, y desempeña funciones como las siguientes:

- **Transporte:** Conduce multitud de sustancias, disueltas y unidas químicamente a diferentes componentes. Según el compuesto transportado, la función puede ser denominada:
 - o *Respiratoria:* Transporte de gases entre los tejidos y los pulmones.
 - o *Nutritiva:* Distribución de nutrientes desde el intestino hasta los tejidos.

- o **Excretora:** Transporte de productos de desecho del metabolismo desde el lugar de producción hasta el lugar de eliminación.
- **Homeostática:** Controla parámetros tan importantes como el pH, la temperatura, el volumen hídrico y los electrolitos corporales a través de la sangre.
- **Comunicación y defensa:** El transporte de mediadores informativos, como las hormonas, se realiza mediante la sangre. La protección del organismo incluye algunas células y proteínas de la sangre que participan en los procesos de defensa orgánica contra la invasión de gérmenes patógenos y la eliminación de cuerpos extraños. [11]

2.2. Composición de la sangre

La composición de la sangre se caracteriza de la siguiente manera: La densidad es ligeramente mayor a la del agua, con un rango de 1,05 a 1,06. La viscosidad es considerablemente mayor que la del agua (3,5-5) debido a la presencia de elementos celulares y solutos macromoleculares. El volumen de sangre en un individuo se conoce como *volemia*, y los valores normales representan aproximadamente el 7-8% del peso corporal (equivalente a 75 cc/kg). En recién nacidos, estos valores son superiores, aproximadamente un 10%. Si estos valores están incrementados, se considera *hipervolemia*, y si están disminuidos, *hipovolemia*.

La composición de la sangre es la siguiente:

- **Células:** O elementos formes que están en suspensión y ocupan alrededor del 46% del volumen.
- **Plasma o solución plasmática:** Solución acuosa que ocupa alrededor del 54% del volumen sanguíneo.
La proporción en volumen que ocupan los elementos celulares respecto al plasma se conoce como hematocrito. Los valores normales son $45 \pm 7\%$ para los varones y $42 \pm 15\%$ para las mujeres. Esta medida proporciona de forma aproximada la cantidad de células sanguíneas presentes en la sangre. Si la medida está dentro de los valores de referencia, se considera al sujeto normocitémico. Si presenta valores superiores, se considera que está en policitemia, y si son inferiores, estaría en oligocitemia.
Otra medida de interés desde el punto de vista clínico es la velocidad de sedimentación globular (VSG). La sedimentación de las células sanguíneas puede aumentar en algunos procesos patológicos. Los valores normales son: para los hombres, 3-5 mm medidos en la 1ª y 2ª hora, y para las mujeres, 8-10 mm.
El plasma está compuesto en su mayor parte por agua (92-93%) y en menor proporción por solutos (7-8%). Presenta una osmolaridad de 280-300 miliOsmoles/litro, lo que equivale a una solución de 72,5 gr/litro. Los solutos pueden clasificarse de la siguiente manera:
- **Solutos inorgánicos o electrolitos:** Constituyen el 0,9% de los solutos y se localizan principalmente en el líquido extracelular. Incluyen Na^+ , Ca^{++} , K^+ , Mg^{++} , Cl^- , PO_4 , HCO_3^- , CO_2 , N_2 , O_2 , etc.
- **Solutos orgánicos:** Glucosa, aminoácidos, enzimas, hormonas, vitaminas hidrosolubles y liposolubles, ácidos grasos, productos de desecho como urea, ácido úrico, creatinina, bilirrubina,

etc.; y proteínas plasmáticas, que constituyen el 7% de los solutos plasmáticos.

Las funciones de las proteínas plasmáticas:

- Mantenimiento de la presión coloidosmótica del plasma.
- Viscosidad sanguínea.
- Regulación del equilibrio ácido-base.
- Transporte de iones, ácidos grasos, esteroides, hormonas, drogas, etc.
- Fuente de aminoácidos para los tejidos en caso de ayuno.
- Hemostasia.

- Defensa del organismo.

Uno de los sistemas de separación de los diferentes grupos de proteínas se realiza mediante electroforesis, que permite una separación por carga eléctrica. De esta forma, quedan distribuidas en: albúminas, α 1-globulinas, α 2-globulinas, β -globulinas y γ -globulinas.

- **Seroalbúminas o albúminas séricas:** Se sintetizan en el hígado, presentan el menor tamaño y la mayor concentra-

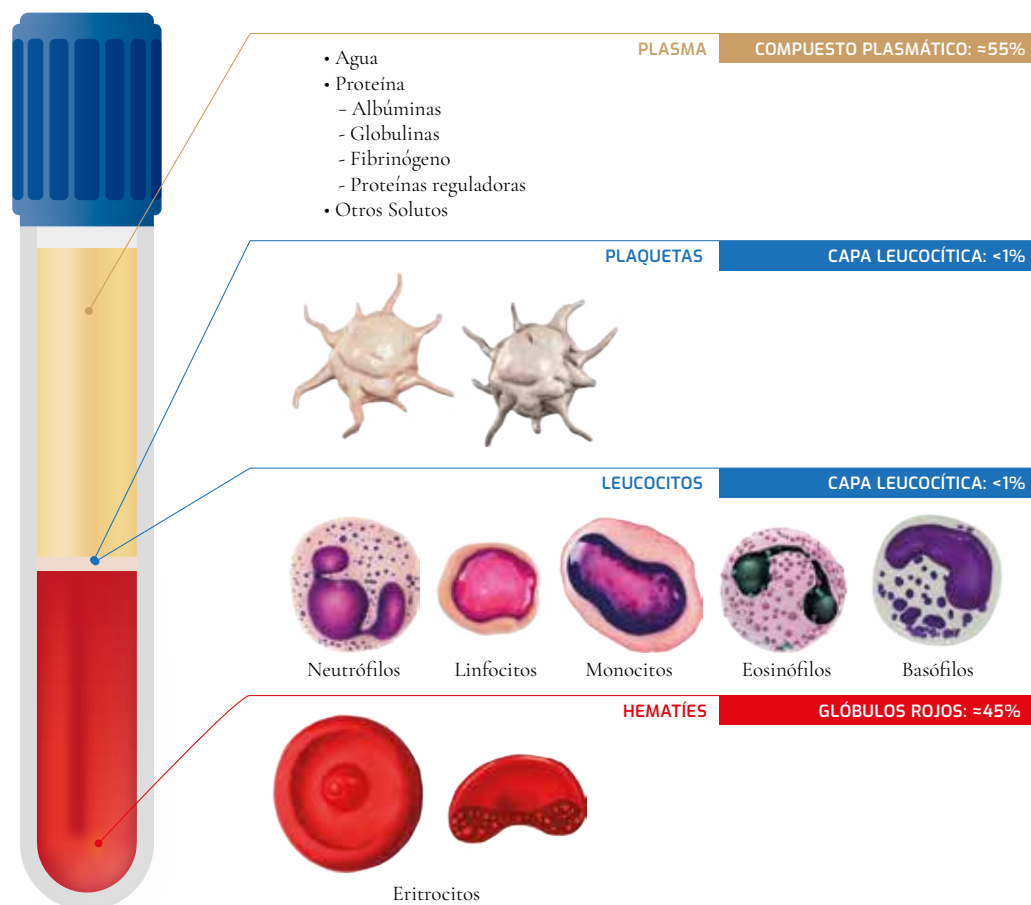


Figura 2. Composición de la sangre

ción. Actúan como transportadoras de lípidos y hormonas.

- **Glucoproteínas:** Proteínas con grupos glucídicos: hexosa, hexosamina, ácido siálico, etc.
- **Lipoproteínas:** Proteínas con grupos lipídicos. Sirven para el transporte de lípidos.
- **Transferrina:** Es una glucoproteína que se une al Fe^{++} de forma reversible y lo transporta hasta la médula ósea.
- **Haptoglobinas:** Son globulinas que se unen a la hemoglobina, evitando la pérdida de Fe y protegiendo al riñón del daño de la hemoglobina.
- **Ceruloplasmina:** Es una globulina que fija Cu.
- **Fetúina:** Se encuentra en el feto y en el recién nacido, interviene en la proliferación celular.

Factores de coagulación.

- **Inmunoglobulinas:** Intervienen en mecanismos de defensa.
- Reguladores hormonales de la hematopoyesis y de la granulopoyesis. [11]
- Según [9], se observa una relación directa entre el sistema tegumentario y los compuestos químicos y microbiológicos presentes en el agua alcalina debido a sus componentes beneficiosos para este sistema. En las uñas, proporciona mayor dureza y crecimiento continuo; en la piel, mejora la tonicidad, el color y la regeneración celular de las áreas superficiales, aumentando la hidratación y disminuyendo la rese-

quedad, ya que el plasma, compuesto en su mayoría por agua, se transporta por el sistema circulatorio y llega a todas las superficies de la piel.

El consumo de agua alcalina proporciona elementos químicos y microbiológicos necesarios para disminuir la acidez del cuerpo y contrarrestar el uso de productos con componentes ácidos, lo cual aumenta el brillo y la firmeza del cabello, cejas y pestañas.

Según la investigación de [9], las propiedades químicas del agua alcalina son beneficiosas tanto interna como externamente para el cuerpo humano. Esto se debe a las propiedades asociadas con las dietas alcalinas, las cuales han sido investigadas por diversos autores y profesionales del área de la salud, con el objetivo de manejar enfermedades en pacientes crónicos y terminales, aumentando los beneficios y mejorando la calidad de vida y la salud de los pacientes. A continuación, se presenta una tabla que demuestra las propiedades químicas del agua alcalina.

2.3. La piel

La piel es un órgano, ya que se compone de múltiples tejidos que trabajan juntos para llevar a cabo actividades específicas. Es uno de los órganos más grandes del cuerpo, tanto en superficie como en peso. En los adultos, la piel cubre un área de 2,4 metros cuadrados y tiene un peso entre 4,5 y 5 kg. Su grosor oscila entre 0,5 y 4 mm, dependiendo de la localización. La piel no es solo una cobertura fina y sencilla que mantiene al organismo unido, proporcionándole protección; además, realiza varias funciones esenciales. La dermatología es la especialidad médica dedicada al diagnóstico y tratamiento de las enfermedades cutáneas [12].

2.2.1. Absorción del agua

Tras ser ingerida, el agua es absorbida por el tracto gastrointestinal. Entra en el sistema vascular, va a los espacios intersticiales, y es transportada a cada célula. El agua intracelular supone el 65% del contenido total de agua en el cuerpo.

Después de pasar por el estómago, el agua es absorbida principalmente en los primeros segmentos del intestino delgado, el duodeno y el yeyuno. Una pequeña parte de toda la absorción de agua se produce en el estómago y el colon [10]: el intestino delgado absorbe 6,5L/día, mientras que el colon absorbe 1,3L/día. Estas cantidades corresponden al agua ingerida a diario, además del agua producida por las secreciones de las glán-

dulas salivales, el estómago, el páncreas, el hígado y el propio intestino delgado [13]. El proceso de absorción es muy rápido: un estudio publicado recientemente demostraba que el agua ingerida aparece en el plasma y las células de la sangre tan sólo cinco minutos después de ser ingerida [14].

2.2.2. Envejecimiento de la piel y radicales libres

Los radicales libres son moléculas que se producen en nuestro organismo. Estos atacan el colágeno y la elastina, generando una pérdida de elasticidad y firmeza, lo que conlleva a la aparición de arrugas y líneas de expresión, es decir, al envejecimiento de la piel.

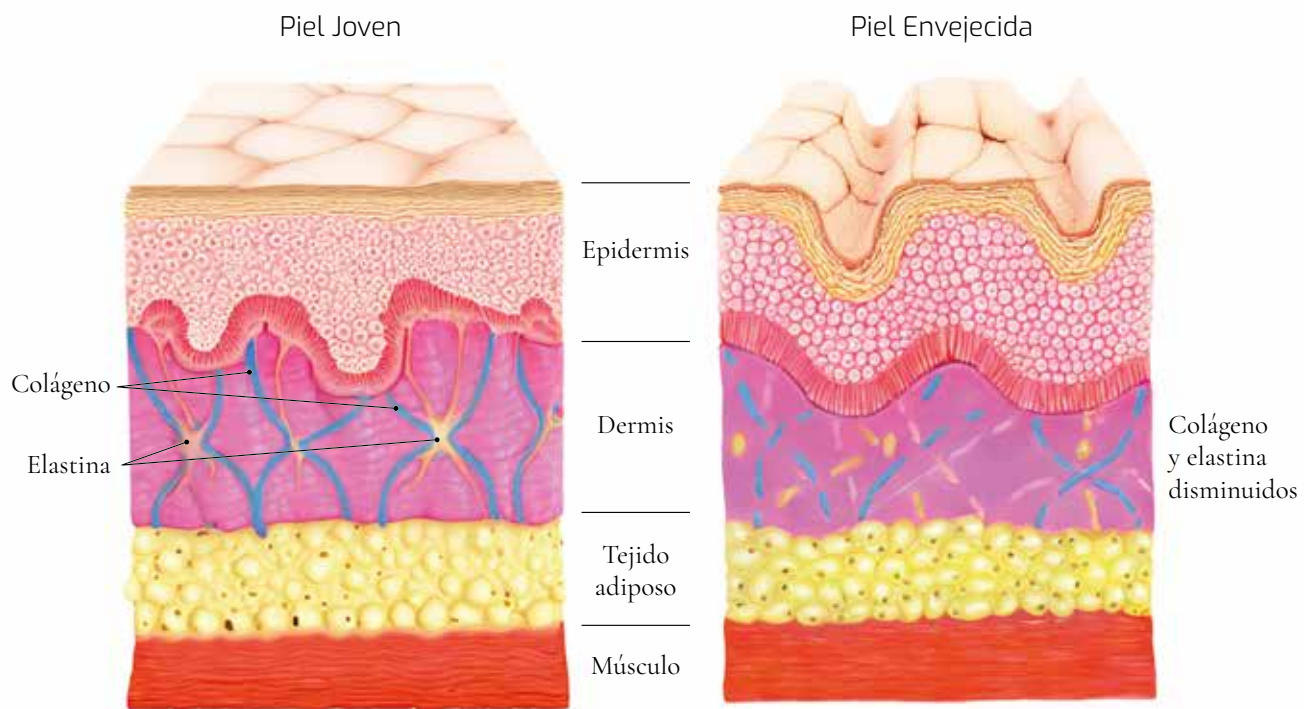


Figura 2. Sección esquemática de una comparativa entre una piel joven y una piel envejecida. Elaboración: METALNNOVA.

2.2.3. Estrés oxidativo

Cuando los antioxidantes no son suficientes para contrarrestar los radicales libres, se produce un aumento de la presencia de estos en la célula, generando lo que se denomina estrés oxidativo. Este se caracteriza por un incremento de la actividad oxidativa en el interior de la célula, originando un cambio estructural y funcional que acelera su envejecimiento y favorece la apoptosis (muerte celular). En el anexo 1 se identifican diferentes elementos químicos que actúan como radicales libres en el cuerpo humano.

3. METODOLOGÍA

Con los antecedentes anteriormente expuestos, Bonnet Colombia S.A.S. delimita un nuevo producto nutricosmético de la categoría de agua potable embotellada, que se forma mediante el incremento del pH, acelerando la hidratación corporal.

Para esto, se debe mostrar la ejecución del proceso de alcalinización del agua mediante un proceso experimental de exposición y contacto del agua con diferentes sustratos alcalinos, obteniendo como resultado un producto garantizado para el consumo humano y con un pH alcalino.

3.1. Desarrollo de la investigación

Para el desarrollo de la investigación se plantearon los siguientes objetivos los cuales se desarrollan en 4 etapas.

3.1.1. Objetivos

- Definir variables a controlar y métodos aplicables al agua alcalina.
- Implementar el tratamiento y alcalinización definida para agua potable embotellada.
- Validar el cumplimiento del marco normativo de agua potable para consumo humano y las condiciones de alcalinidad propuestas para la adecuada hidratación corporal con la ingesta del producto desarrollado.
- Realizar transferencia tecnológica al SENA

Para la definición de las variables a controlar y los métodos aplicables del agua alcalina, se plantea como actividad principal La determinación de las especificaciones técnicas del proceso de exposición y contacto del agua tratada con sustratos alcalinizadores que permitan el incremento del pH del agua, esto se realiza mediante el siguiente método experimental.

3.2. Método experimental

Este método se hace a partir de la exposición del agua al contacto con los siguientes sustratos:

- **Bola de piedra Maifan:** La bola de piedra Maifan está hecha de polvo de piedra mineral Maifan de calidad, arcilla y materiales cerámicos saludables multifuncionales calentados a 800 grados. La piedra Maifan tiene el carácter de purificar la calidad del agua, restaurar el equilibrio del PH, activar el agua, mejorar la función fisiológica del cuerpo, etc.
- **Bola de cerámica alcalina:** La bola alcalina adopta la última tecnología y materiales minerales como las conchas naturales. Es un nuevo tipo de mineral alcalino con la última tecnología de micro liberación porosa sostenida y el proceso de tostado a alta temperatura. Tiene una



Figura 3. Bola de piedra Maifan. Cortesía de Taiyuán Lanlang Tecnologías Industriales Corp.



Figura 5. Bola cerámica ORP. Cortesía de Taiyuán Lanlang Tecnologías Industriales Corp.



Figura 4. Bola de cerámica alcalina. Cortesía de Taiyuán Lanlang Tecnologías Industriales Corp.



Figura 6. Bolas de cerámica infrarroja.

larga vida útil, segura y controlable y de bajo precio. Al aumentar la concentración de Ca^{+} en el agua, las bolas tienen una muy buena capacidad para aumentar el pH con el nivel 7-11 para crear agua potable alcalina como usted lo requiera con el estado líquido el calcio de fácil absorción por el cuerpo humano.

- **Bola cerámica ORP:** Produce agua de ORP alcalina antioxidante (ORP: potencial de reducción de oxidante: -100 ~ -500 mV) - Hace agua alcalina (pH: 8.5 ~ 9.8) - Elimina los radicales libres del agua y

produce hidrógeno activo - (SINCE 2008 UBS Water is life & Your health, 2020).

- **Bola cerámica de infrarrojo lejano:** La bola de cerámica de infrarrojo lejano está especialmente diseñada para la purificación de agua, el tratamiento de agua y el dispensador de agua mejorado. La bola de cerámica de agua mineral de infrarrojo lejano puede liberar una corriente eléctrica débil en el proceso de tratamiento del agua. Tiene una adsorción eficaz de plomo (Pb^{++}), cromo (Cr^{++}) y otros metales pesados

de toxicidad, y produce zinc, litio, yodo, selenio y otros oligoelementos disueltos en más de 20. Las bolas de cerámica de infrarrojo lejano tienen un excelente rendimiento antibacteriano., activación, absorción, filtrado y depuración de agua.

Se realiza por medio de un cartucho alcalinizador, alkaline mineral Ball Cartridge.



Figura 7. Filtro alcalinizador model No: T-33Q(A).
Cortesía: Cabone Plus.

Para este estudio experimental se realizaron diferentes pruebas dentro de las cuales se encontraron los siguientes resultados:

En la realización de las pruebas 1 y 2 se llevaron a cabo mediante la técnica 1 en la cual consiste en llenar la botella de 300 ml y dejarlas a un pH mayor a 8.0 teniendo en cuenta que no pase del valor máximo permitido por la “res 12186 de 1991” esto con el fin de optar para que el pH del agua se sostenga en un valor de 8.5 el cual es el pH propuesto en el proyecto. En la realización de las pruebas 4 y 5 se llevaron a cabo mediante la técnica 2 diferente a la mencionada anteriormente la cual consiste

en ajustar el flujo de agua acorde con el pH objetivo, es decir consiste en ir el pH del agua a 8.5 según el flujo del agua, recordando que el pH del agua es indirectamente proporcional al flujo de agua aclarando que a mayor tiempo de retención en los filtros alcalinizadores el pH aumentará y a menor tiempo de retención el pH disminuirá. Cabe resaltar que el caudal y los tiempos de retención del agua en el proceso de alcalinización en las pruebas mencionadas anteriormente se han obtenido de forma experimental, cumpliendo con las condiciones de ajuste de pH. Dando como hallazgos técnicos que el agua fluya a través del proceso de alcalinización a un caudal aproximado de 5,90 ml/s aproximadamente puesto que el sistema de alcalinización está adaptado al proceso completo de tratamiento y potabilización del agua, se debe tener en cuenta que en caso de que se llegase a cambiar el sistema de alcalinización como los cartuchos alcalinizadores se deberá realizar nuevamente las pruebas correspondientes para volver a adaptar el nuevo sistema. Por lo tanto, es recomendable utilizar el mismo sistema de alcalinización para no alterar los datos de las especificaciones técnicas.

3.2.1. Técnica 1

Seguido que para este nivel en el estudio del tratamiento de agua es recomendable que el agua tenga en promedio de un caudal total y por cada material debe haber un tiempo de retención y un caudal específico, así se sabe cuánto tiempo y con cuanto flujo corre el agua a través de estos materiales alcalinos, tal y como se muestra en la tabla 2. Por otro lado, las especificaciones técnicas descritas anteriormente garantizan que el agua obtenga un pH alcalino mayor a 8.0.

Tabla 2. Tiempos de retención calculados dentro del proceso de alcalinización Técnica 1.

Prueba #	Filtro #	Tipo de material alcalinizador	Tiempo de retención por material alcalinizador	Caudal de operación total (s)	Tiempo de retención hidráulica total
1	1	Maifan Stone Ball	2,129	8,517	79,64
		Alkaline Ceramic Ball	2,129		
		ORP Ceramic Ball	2,129		
		Far Infrared Ball	2,129		
	2	Maifan Stone Ball	2,129	8,517	79,64
		Alkaline Ceramic Ball	2,129		
		ORP Ceramic Ball	2,129		
		Far Infrared Ball	2,129		
2	1	Maifan Stone Ball	2,129	8,517	79,64
		Alkaline Ceramic Ball	2,129		
		ORP Ceramic Ball	2,129		
		Far Infrared Ball	2,129		
	2	Maifan Stone Ball	2,129	8,517	79,64
		Alkaline Ceramic Ball	2,129		
		ORP Ceramic Ball	2,129		
		Far Infrared Ball	2,129		

Tabla 3. Caudales calculados dentro del proceso de alcalinización.

Prueba #	Filtro #	Tipo de material alcalinizador	Tiempo de retención por material alcalinizador	Caudal de operación total (s)	Tiempo de retención hidráulica total
1	1	Maifan Stone Ball	2,129	8,517	79,64
		Alkaline Ceramic Ball	2,129		
		ORP Ceramic Ball	2,129		
		Far Infrared Ball	2,129		
	2	Maifan Stone Ball	2,129	8,517	79,64
		Alkaline Ceramic Ball	2,129		
		ORP Ceramic Ball	2,129		
		Far Infrared Ball	2,129		
2	1	Maifan Stone Ball	2,129	8,517	79,64
		Alkaline Ceramic Ball	2,129		
		ORP Ceramic Ball	2,129		
		Far Infrared Ball	2,129		
	2	Maifan Stone Ball	2,129	8,517	79,64
		Alkaline Ceramic Ball	2,129		
		ORP Ceramic Ball	2,129		
		Far Infrared Ball	2,129		

Tabla 4. Tiempos de retención calculados dentro del proceso de alcalinización.

Prueba #	Filtro #	Tipo de material alcalinizador	Tiempo de retención por material alcalinizador	Caudal de operación total (s)	Tiempo de retención hidráulica total
1	1	Maifan Stone Ball	2,129	5,813	79,64
		Alkaline Ceramic Ball	2,129		
		ORP Ceramic Ball	2,129		
		Far Infrared Ball	2,129		
	2	Maifan Stone Ball	2,129	5,813	79,64
		Alkaline Ceramic Ball	2,129		
		ORP Ceramic Ball	2,129		
		Far Infrared Ball	2,129		
2	1	Maifan Stone Ball	2,129	5,904	79,81
		Alkaline Ceramic Ball	2,129		
		ORP Ceramic Ball	2,129		
		Far Infrared Ball	2,129		
	2	Maifan Stone Ball	2,129	5,904	79,81
		Alkaline Ceramic Ball	2,129		
		ORP Ceramic Ball	2,129		
		Far Infrared Ball	2,129		

Tabla 5. Tiempos de retención calculados dentro del proceso de alcalinización.

Prueba #	Filtro #	Tipo de material alcalinizador	Tiempo de retención por material alcalinizador	Caudal de operación total (s)	Tiempo de retención hidráulica total
4	1	Maifan Stone Ball	1,453	5,813	80,06
		Alkaline Ceramic Ball	1,453		
		ORP Ceramic Ball	1,453		
		Far Infrared Ball	1,453		
	2	Maifan Stone Ball	1,453	5,813	80,06
		Alkaline Ceramic Ball	1,453		
		ORP Ceramic Ball	1,453		
		Far Infrared Ball	1,453		
5	1	Maifan Stone Ball	1,453	8,517	79,64
		Alkaline Ceramic Ball	1,453		
		ORP Ceramic Ball	1,453		
		Far Infrared Ball	1,453		
	2	Maifan Stone Ball	1,453	8,517	79,64
		Alkaline Ceramic Ball	1,453		
		ORP Ceramic Ball	1,453		
		Far Infrared Ball	1,453		

3.2.2. Técnica 2

Con los resultados obtenidos en las pruebas 4 y 5 realizadas en la fase anterior, se recomendó aplicar los siguientes tiempos de retención hidráulica.

Durante la realización de las pruebas 1 y 2 se llevaron a cabo mediante la técnica 1 en la cual consiste en llenar la botella de 300 ml y dejarlas a un pH mayor a 8.0 teniendo en cuenta que no pase del valor máximo permitido por la “res 12186 de 1991” esto con el fin de optar para que el pH del agua se sostenga en un valor de 8.5 el cual es el pH propuesto en el proyecto.

En la realización de las pruebas 4 y 5 se llevaron a cabo mediante la técnica 2 diferente a la mencionada anteriormente la cual consiste en ajustar el flujo de agua acorde con el pH objetivo, es decir consiste en ir el pH del agua a 8.5 según el flujo del agua, recordando que el pH del agua es indirectamente proporcional al flujo de agua aclarando que a mayor tiempo de retención en los filtros alcalinizadores el pH aumentará y a menor tiempo de retención el pH disminuirá. Cabe resaltar que el caudal y los tiempos de retención del agua en el proceso de alcalinización en las pruebas mencionadas anteriormente se han obtenido de forma experimental, cumpliendo con las condiciones de ajuste de pH.

4. RESULTADOS

Las especificaciones de los hallazgos informan los requisitos que se deben cumplir para que el agua tenga las condiciones requeridas para el consumo humano. Por ejemplo, para este caso de estudio es recomendable que el agua fluya a través del proceso de alcalinización a un caudal aproximado de 5.90 ml/s, ya que el sistema de alcalinización está adaptado al proceso completo de tratamiento y potabilización del agua.

Para dar cumplimiento al segundo objetivo propuesto en la investigación, se realiza la siguiente actividad:

Se comparan el estándar de referencia, las características cualitativas (tales como pruebas organolépticas) y cuantitativas (tales como valores límites admisibles por tipo y por parámetro) obtenidas en los resultados de los análisis de laboratorio, a fin de fijar las condiciones requeridas para el avance a la siguiente fase.

Se realiza mediante el desarrollo de la construcción de un cuadro comparativo con la finalidad de dar cumplimiento de esta actividad, el cuadro se construyó teniendo en cuenta todos los parámetros de calidad de agua establecidos por la resolución 12186 de 1991 a fin de caracterizar si el agua alcalina tratada envasada está cumpliendo con lo establecido por la norma, por lo tanto se envió una muestra de agua alcalina al laboratorio Instrumental Service Lab SAS con el objetivo de realizar un análisis exhaustivo de cada uno de los parámetros que conforman la norma, es decir un análisis completo, una vez con los resultados obtenidos se proceden a registrar en dicho cuadro para dar cumplimiento a la actividad y avanzar a la siguiente fase.

Lo resultados obtenidos durante la ejecución la actividad 3, se comparan con los resultados obtenidos del laboratorio con el estándar de referencia, es decir la resolución 12186 de 1991, la cual muestra un punto de referencia en cuanto a la calidad del agua, por lo tanto se aprecia que dentro de los parámetros que evaluó el laboratorio, se encuentran por debajo del valor máximo permisible admitido por la norma, evidenciando que la calidad del agua es apta para consumo humano, posteriormen-

te se realizará un nuevo análisis de agua potable tratada para consumo humano, evaluando absolutamente todos los parámetros emitidos por la norma.

Cabe resaltar que se presentó un inconveniente con la entrega de los resultados del análisis completo del agua alcalina por lo tanto nos hicieron entrega de los resultados de algunos de los parámetros que alcanzaron a realizar, si observamos el cuadro comparativo elaborado para esta actividad cabe resaltar que todos los parámetros analizados hasta ahora están cumpliendo con los límites establecidos por la normatividad vigente, el agua es de buena calidad y apta para consumo humano, hasta el momento puesto que no ha presentado ningún valor por encima de los límites establecidos por la resolución 12186 de 1991.

5. CONCLUSIONES

Con los datos obtenidos en se concluye que el caudal al cual debe fluir el agua es de 5,90 ml/s aproximadamente para que se cumplan el pH óptimo del agua de 8,5 “cabe resaltar que estos valores se hallaron durante la fase experimental para exclusivamente este caso de estudio”

Se concluye que el agua es apta para consumo humano también, pues dentro del proceso de tratamiento y de potabilización se eliminan todos los agentes patógenos y químicos garantizando que el agua sea de la mejor calidad, aplicando también para el agua alcalina.

Se logró comparar las características cualitativas y cuantitativas obtenidos del análisis del laboratorio con los estándares de referencia como la resolución 12186 de 1991 los cuales determinaron que el agua es apta para el consumo humano. Te-

niendo en cuenta que los valores arrojados por los resultados del laboratorio se encuentran bajo los valores máximos permisibles evidenciando que la calidad de agua es apta para consumo humano, además se pretende realizar un segundo análisis de agua evaluado absolutamente todos los parámetros registrados en la norma como un análisis a fondo acerca del estado de la calidad del agua.

Se relaciona que el agua alcalinizada con este método es un producto nutricosmético que favorece el sistema tegumentario en salud y belleza.

Existe una relación directa entre el consumo de agua con propiedades alcalinas y el bienestar físico y cosmético del pelo, uñas y piel ya que su principal medio de transporte de los nutrientes se da por el plasma que en su mayor composición es de agua.

Se observa que los productos alcalinos son de beneficio para el humano según investigaciones realizadas por profesionales interdisciplinarios y el agua al ser una sustancia que ingresa de manera más directa y la absorción de los nutrientes es más rápida que la de los alimentos sólidos generara mayor visibilidad en la parte cosmética del sistema tegumentario.

Se concluye que beber agua alcalina diariamente puede neutralizar la acidez y eliminar los productos de desechos ácidos de las células y los tejidos.

El agua alcalina actúa como antioxidante, elimina y neutraliza los radicales libres dañinos.

El agua alcalina ayuda a equilibrar el pH del cuerpo, que tiende a ser ácido debido a una dieta alta en ácidos, estrés y exposición a toxinas ambientales como el smog.

En caso de deshidratación inducida por ejercicio, el agua alcalina ha demostrado reducir la viscosidad sanguínea de alto cizallamien-

to, un coeficiente para definir las propiedades viscosas de la sangre.

El consumo de agua alcalina también ha mostrado efectos beneficiosos en la promoción

de la longevidad de la piel. Las toxinas son la causa número uno del envejecimiento y pueden originarse por una dieta poco saludable, contaminación y estrés. ☯

REFERENCIAS

- [1] K. S. Losiev, *El agua*, San Petersburgo: Guidrome-teoizdat, 1989.
- [2] A. Fernández Cirelli, *El agua: un recurso esencial*, Química Viva, pp. 147-170, 2012.
- [3] G. Siebert, *Laboratorio básico de química*, vicerrectorado académico UCV, pp. 130-138, 1998.
- [4] J. Rodríguez Zamora, "Parámetros fisicoquímicos de dureza total en calcio y magnesio pH, conductividad y temperatura del agua potable analizados en conjunto con las Asociaciones Administradoras del Acueducto, (ASADAS), de cada distrito de Grecia, Cantón de Alajuela", Nov 2008, *Revista de Pensamiento Actual*, Universidad de Costa Rica, pp. 125-124, 2009.
- [5] E. G. White, *Consejos sobre el régimen alimenticio*, 1975. [En línea]. Disponible: [https://egwwritings-a.akamaihd.net/pdf/es_CRA\(CD\).pdf](https://egwwritings-a.akamaihd.net/pdf/es_CRA(CD).pdf). [Último acceso: 21 01 2021].
- [6] A. Lizarraga Dallo, "Nutricosméticos ¿Son Peligrosos?" *Más Dermatol*, pp. 17-21, 2008.
- [7] Infosalus, *INFOSALUS*, 21 12 2020. [En línea]. Disponible: <https://www.infosalus.com/estetica/noticia-nutricosmetica-20151221072735.html> [Último acceso: 03, 02, 2021].
- [8] K. Soffner Mashorca, E. E. Spers, J. de Proença Vettucci y Moretti, "A beleza e a vaidade em relação a novos tipos de alimentos", *Revista brasileira de marketing*, pp. 401-417, 2016.
- [9] Galeano Parra, A. P., *Informe Final complementario dermatológico, de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos, concentración, presencia y /o ausencia de los mismos, correlacionados con la hidratación y la salud corporal desde el interior al exterior manifestados en l*, Bonnet Colombia SAS, Bogotá, 2021.
- [10] E. Shaffer y A. Thomson, "First principles of gastroenterology: the basis of disease and an approach to management" *Canadian Association of Gastroenterology*, 1994.
- [11] U. D. Cantabria, *Open Course Ware*, 12 06 2017. [En línea]. Disponible: <https://ocw.unican.es/mod/page/view.php?id=544>. [Último acceso: 10 02 2021].
- [12] G. Tortora y S. Reynolds, *Principios de Anatomía y Fisiología*, Madrid: Mosby/Doyma Libros S.A., 1996.
- [13] E. B. Zhang, Sitrin y D. B. Balack, "Intestinal water and electrolyte transport", *Gastrointestinal, Hepatobiliary, and Nutritional Physiology*, pp. 91-118, 1996.
- [14] F. Peronnet, d. S. Mignault D, V. S, B. Le, L. Jimenez, Rabasa y R. Lhoret, "Pharmacokinetic analysis of absorption, distribution and disappearance of ingested water labeled with D(2)O in humans", *Euro Journal of Apply Physiology*, pp. 2213-2222, 2012.
- [15] S. Gallego, Y. Martínez, C. Serna, A. Pérez, J. Aparecido y A. Ortiz, *Revista Española de Salud Pública*, 2019. [En línea]. Disponible: <https://scielosp.org/article/resp/2019.v93/e201912110/>. [Último acceso: 2020, 12, 31].
- [16] G. Cazaña, S. Gonzáles, C. Parrado, Á. Juarranz y Y. Gilaberte, "La influencia del exposoma en el cáncer de piel", *Actas Dermo-Sifiliográficas*, pp. 460-470, Julio-Agosto 2020.
- [17] Agencia para sustancias tóxicas y el registro de enfermedades, "Cianuro", Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE.UU, Atlanta, 2006.

BIBLIOGRAFÍA

- Cheuvront, S. N., Carter, R., Montain, S. J., & Sawka, M. N. (s.f.). *Variabilidad y estabilidad diaria de la masa corporal en hombres activos sometidos a estrés por ejercicio y calor*. Obtenido de Biblioteca Nacional de Medicina- Centro Nacional de Información Biotecnológica.
- Clark, W. F., Sontrop, J. M., Macnab, Suri, R. S., Húmedo, L., Salvadori, M., & Garg, A. X. (s.f.). "Volumen de orina y cambio en la TFG estimada en un estudio de cohorte basado en la comunidad". Recuperado el 2020, de Biblioteca Nacional de Medicina- Centro Nacional de Información Biotecnológica.
- Coran, A. G. (08 de 1994). *ResearchGate*. Recuperado el 07 de 11 de 2020, de Reseña del libro "Nutrition of Normal Infants: Fomon SJ". (1993). *Nutrition of normal infants*. Saint- Louis: Mosby.
- Córdoba, A., Bueno, I., Monterrubio, J., & Alzugaray, R. (julio de 2002). "Sepsis por *Escherichia coli* y lesiones cutáneas ampollosas. Recuperado el 04 de 12 de 21", en *Medicina intensiva*, Disponible: <https://medintensiva.org/es-sepsis-por-escherichia-coli-lesiones-articulo-13036166>
- De Torres, M. T. (2002). "Tratamiento del agua para el consumo humano: un toque de atención". En A. Bodalo, E. Gomez, & M. Fuensanta Maximo, *Química en Murcia* (págs. 59-76). Murcia: Universidad de Murcia, servicio de publicaciones.
- EFSA - European Food Safety Authority. (s.f.). Obtenido de *La base de datos completa sobre el consumo de alimentos en Europa de la EFSA*:
- EFSA. (2008) The EFSA Concise European Food Consumption Database. <http://www.efsa.europa.eu/en/datex foodcdb/datexfooddb.htm>. Accessed July 2013.
- EFSA. (2010). Panel on Dietetic Products Nutrition and Allergies (NDA). *Scientific Opinion on Dietary Reference Values for water*, 1459- 1507.
- EFSA, & Grandjean et. (02 de septiembre de 2009). *European Journal of Clinical Nutrition - EJC*N. Recuperado el 1 de 01 de 21, de El agua como nutriente esencial: la base fisiológica de la hidratación: <https://www.nature.com/articles/ejc n2009111>
- Engell. (1996). *Efectos del esfuerzo y el modelado social sobre la bebida en humanos*. Recuperado el 28 de 11 de 2020, de APA PsycNet: <https://psycnet.apa.org/record/1996-03681-003>
- Engell, D. (1988). APA PsycNet. Recuperado el 5 de 11 de 2020, de *Interdependencia de la ingesta de alimentos y agua en los seres humanos*: Engell D. (1988) Interdependency of food and water intake in humans. *Appetite*. 10:133- 141.
- Engell, D., Kramer, M., Malafi, T., Salomon, M., & Leshner, L. (s.f.). APA PsycNet. Recuperado el 08 de 11 de 2020, de Efectos del esfuerzo y el modelado social sobre la bebida en humanos.: Engell D, Kramer M, Malafi T, Salomon M, Leshner L. (1996) Effects of effort and social modeling on drinking in humans. *Appetite*. 26:129-138.
- Eropea, C. (04 de 12 de 2009). *Opinión científica sobre los valores dietéticos de referencia para el agua*. Recuperado el 2020, de EFSA European Food Safety Authority: EFSA Panel on Dietetic Products Nutrition and Allergies (NDA). (2010) Scientific Opinion on Dietary Reference Values for water. *EFSA Journal*. 8(3): 1459-1507
- Estrella, V., Nipotti, J., Orive, M., & Fernandez Bussy, R. (2015). La piel y sus nutrientes. *Revista Argentina de Dermatología*.
- Fernández Cirelli, A. (2012). El agua: un recurso esencial. *Química Viva*, 147-170.
- Food Standards Agency. (2002). Recuperado el 21 de 01 de 21, de <https://www.food.gov.uk/business-guidance/general-food-law>
- Food Standards Agency. (07 de 2020).

- Food Standadrs Agency. Recuperado el 11 de 02 de 2021, de <https://www.food.gov.uk/sites/default/files/media/document/food-and-feed-law-guide-july-2020.pdf>
- Galindo, C. A. (diciembre de 2015). "Relación de la carga ácida renal potencial de la dieta con la densidad minearal ósea de mujeres adultas hermosillenses". Obtenido de <https://ciad.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1006/79>
- Gallego, S., Martinez, Y., Serna, C., Pérez, A., Aparecido, J., & Ortíz, A. (2019). *Revista Española de Salud Pública*. Recuperado el 2020 de 12 de 31, de Concentración de flúor y metales pesados en aguas embotelladas: medidas barrera frente a caries dental y fluorosis: <https://scielosp.org/article/resp/2019.v93/e201912110/>
- García Carmona, F. J., Huerta, J. P., Fernández Morato, D., Trincado Villa, L., & Arcas Lorente, C. (2015). "Anatomía quirúrgica ungeal". *Revista Española de Podología*, 64- 74.
- Ginebra, O. M. (1998). *Guía para la Calidad del agua Potable-Segunda Edicion*. Recuperado el 2 de 12 de 2020, de Volumen 3- Vigilancia y control de los abastecimientos de agua a la comunidad: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/41985/9243545035-spa.pdf>
- Grandjean, A. C., Reimers, K. J., & Buyckx, M. E. (agosto de 2003). *NIH Biblioteca Nacional de Medicina*. Recuperado el 12 de 11 de 2020, de Hidratación: problemas para el siglo XXI: Grandjean AC, Reimers KJ, Buyckx ME. (2003) Hydration: issues for the 21st century. *Nutr Rev*. 61:261-271.
- Guyton, A. C., & Hall, J. E. (1956- 2006). *Textbook of Medical Physiology Eleventh Edition*. Recuperado el 8 de 10 de 2020, de <https://www.moscomm.org/pdf/Guyton%20physiology.pdf>
- Guzmán Sánchez, D. A., Noé, A. A., & Sandoval, C. (2010). "Estructura molecular y desarrollo del pelo". *DermatologíaCMQ*, 54-61.
- Health, S. C. (2020). *Stanford Children's Health*. Obtenido de: <https://www.stanfordchildrens.org/es/topic/default?id=anatomadelapie-l-85-Po4436>
- Hernández Sánchez, Y., Estrada Amador, B., Agramonte, I., & Herrera Porro, J. A. (2018). Elevación de la ceja y abordaje mínimamente invasivo. *Revista Cubana de Oftalmología*, 1-9.
- Hew, T. D., Chorley, J. N., Cianca, J. C., & Divine, J. G. (01 de 2003). *NIH Biblioteca Nacional de Medicina*. Recuperado el 09 de 10 de 2020, de Incidencia, factores de riesgo y manifestaciones clínicas de la hiponatremia en corredores de maratón: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12544163/>
- Hill, J. W., & Kolb, D. K. (1999). *Química para el nuevo milenio*. México: Pearson 8 Edición.
- Humanos, D. d. (s.f.). *ATSDR- Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades*. Obtenido de https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs26.html#
- Infobae. (2 de octubre de 2019). Recuperado el 15 de diciembre de 2020, de *Qué es el agua alcalina, furor en el mundo fit, y cómo se puede obtener de la canilla*: <https://www.infobae.com/salud/2019/10/02/que-es-el-agua-alcalina-que-es-furor-en-el-mundo-fit-y-como-se-puede-obtener-de-la-canilla/>
- Infosalus. (21 de 12 de 2020). *Infosalus*. Recuperado el 03 de 02 de 2021, de <https://www.infosalus.com/estetica/noticia-nutricosmetica-20151221072735.html>
- Inmaculada, S., & Lourdes, M. (2012). *Cosmetología para estética y belleza*. Madrid: McGraw-Hill/Interamericana de España.
- Instyle. (13 de octubre de 2019). Recuperado el 9 de diciembre de 2020, de https://www.instyle.es/belleza/cara/propiedades-magnesio-ingrediente-secreto_45549#:~:text=El%20magnesio%20se%20encarga%20de,alergias%20y%20el%20temido%20acn%C3%A9
- IOM (Institute of Medicine of the National Academies). (2004). *Dietary reference intakes for water,*

- potassium, sodium, chloride, and sulfate*. National Academies Press, 73-185.
- Johnson, B. (2011). *Aguas Curativas*. Madrid: Editorial Edaf.
- Johnson, B. (s.f.). *Aguas Curativas*. Obtenido de Los poderosos beneficios para la salud del agua ionizada: https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=arbzAwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT4&dq=el+agua+alcalina+y+beneficios+para+la+piel&ots=J9vtzhR-n5X&sig=p7e7CcO2p_Db7f-ive3Y8wlo438#v=onepage&q=el%20agua%20alcalina%20y%20beneficios%20para%20la%20piel&f=false
- Lawrence, A. E. (octubre de 2007). *Evaluación del estado de hidratación: el estándar de oro elusivo*. Recuperado el 2020, de Biblioteca Nacional de Medicina, Centro Nacional de Información Biotecnológica: Armstrong LE. (2007) Assessing hydration status: the elusive gold standard. *J Am Coll Nutr*. 26:575S-584S
- Lenntech. (1993). *Lenntech*. Recuperado el 20 de 02 de 2021, de Lenntech: <https://www.lenntech.es/biblioteca/index.htm>
- Livingstone. (1963). Chemical composition of rivers and lakes. *US Geol Surv Prof Paper* 440, 1-63.
- Lizarraga Dallo, A. (2008). "Nutricosméticos ¿Son Peligrosos?". *Más Dermatol*, 17-21.
- López, E. P. (2016). *Control de calidad en aguas para consumo humano en la región occidental de Costa Rica*. Costa Rica: Universidad de Costa Rica.
- Losiev, K. S. (1989). *El agua*. San Petersburgo: Guidrometeoizdat.
- M, S., Shirreffs, Armstrong, L. E., & Cheuvront, S. (2004). *Necesidades de líquidos y electrolitos para la preparación y recuperación del entrenamiento y la competición*. Recuperado el 09 de 11 de 20, de Revista de ciencias del Deporte: <https://www.tandfonline.com/doi/a bs/10.1080/0264041031000140572>
- Marieb, E., & Hoehn, K. (2007). "Agua e hidratación: Bases fisiológicas en adultos". Recuperado el 21 de 01 de 21, de *Hydratacion for Heath*: Marieb EN and Hoehn K. (2007) Fluid, electrolyte, and acid-base balance. En: *Human Anatomy and Physiology*. 7th ed. San Francisco: Benjamin-Cummings Publishing Company, 1036-1048.
- Marieb, E. &. (2007). "Agua e hidratación: Bases fisiológicas en adultos". *Human Anatomy and Physiology*, 1036-1048.
- Marrieb, E. N., & Hoehn, K. (2007). "Fluid, electrolyte, and acid-base balance". En: *Human Anatomy and Physiology*. San Francisco: Benjamin-Cummings Publishing Company.
- Martinez, F. J. (2012). *Cosmetología tema 3: Los cosméticos y sus características*. Recuperado el 01 de 02 de 2021, de <http://docplayer.es/4277028-Cosmetologia-tema-3-los-cosmeticos-caracteristicas-generales.html>
- Mayerling López, J. B. (Septiembre de 2012). *Carga ácida potencial renal de la dieta en niños de 2 a 6 años*. Obtenido de Research Gate: https://www.researchgate.net/publication/262663668-Carga_acida_potencial_renal_de_la_dieta_en_ninos_de_2_a_6_anos
- Mcjukin, F. E. (1998). *Agua y Salud Humana*. México: Editorial Lumisa.
- McKinley, M. J., & Johnson, A. K. (febrero de 2004). *La regulación fisiológica de la sed y la ingesta de líquidos*. Recuperado el 09 de noviembre de 2021, de Biblioteca Nacional de Medicina: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/14739394/>
- Moreno Rojas, R. (1992). *Aspectos Nutricionales del Cobre*. ILE (Industrias Lácteas Españolas), 53-59.
- Moreno Rojas, R. (1992). *Aspectos nutricionales del manganeso*. Concentraciones en leche y derivados. ILE (Industrias Lácteas Españolas), 45-50.
- Muñoz, M. J. (12 de 2008). *Offarm*. Recuperado el 11 de 01 de 2021, de *Hidratación cutánea. Estética y salud*. Vol. 27, Núm. 11.: <https://www.elsevier.es/es-revista-offarm-4-articulo-hidratacion-cutanea-estetica-salud-13130883#:~:text=%20%20La%20hidrataci%C3%B3n%20de%20la,0%20combinaci%C3%B3n%20de%20C3%A9stas%20con%20el...%20More>

NTIS), N. T. (06 de Mayo de 2016). ATSDR *Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades*. Recuperado el 07 de Noviembre de 2020, de <https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es>

OK diario SALUD. (12 de 07 de 2017). Recuperado el 03 de 12 de 2020, de *¿Para qué sirven los alimentos alcalinos?*: <https://okdiario.com/salud/alimentos-s-alcalinos-56551>

OMS. (s.f.). Organización Mundial de la Salud. Recuperado el 02 de 02 de 2020, de <https://www.who.int/topics/nutrition/es/#:~:text=La%20nutrici%C3%B3n%20es%20la%20ingesta,fundamental%20de%20la%20buena%20salud>

Anexo 1. Análisis de los componentes del agua alcalina según resolución 12186 de 1991.

Elemento o compuesto químico	Res. 12186 de 1991		Proceso Tratamiento indicativo	Informe de correlación. Efectos en la salud	(Piel, uñas, cejas, pestañas)	
	Expresión	Valor Máximo permitido Mg/LT			SI	NO
Aluminio	Al	0.2	Según la Organización Mundial de la Salud, el aluminio se encuentra en el agua utilizado como coagulante en el tratamiento del agua en forma de aluminio natural y sales de aluminio. La presencia de aluminio en concentraciones mayores que 0,1–0,2 mg/l suele ocasionar quejas de los consumidores como consecuencia de la precipitación del floculo de hidróxido de aluminio en los sistemas de distribución y el aumento de la coloración del agua por el hierro. Por lo tanto, es importante optimizar los procesos de tratamiento con el fin de reducir al mínimo la presencia de residuos de aluminio en el sistema de abastecimiento. En buenas condiciones de funcionamiento, pueden alcanzarse, en muchas circunstancias, concentraciones de aluminio menores que 0,1 mg/l. Los datos científicos disponibles no permiten calcular un valor de referencia basado en efectos sobre la salud para el aluminio en el agua de consumo.	Según la International Agency for Research On Cancer (IARC) el aluminio no es cancerígeno , pero puede estar relacionado con la enfermedad de Alzheimer) [15]		X
Arsénico	As	0.05	El Arsénico es un metaloide que puede ser encontrado en ciertos suelos de forma natural. Cuando entra en contacto con el agua subterránea este puede terminar en el agua del grifo. (Lenntech, 1993)	La OMS establece que existe un riesgo de cáncer de piel y de pulmón por la presencia de una cantidad elevada del valor máximo permitido de arsénico en el agua. Este problema está asociado a la predisposición de desarrollar tumores queratinocíticos en consumidores de arroz es 15 veces mayor respecto a los que no lo consumen. El estudio arrojo que la presencia de arsénico en el arroz era por que como es sabido, estos cultivos requieren abundante agua, y geográficamente estaba ubicado en donde el agua tiene importantes cantidades de arsénico, mayores a lo establecido por la OMS como valor máximo. [16] Según Cazaña, Gonzáles, Parrado, Juarranz, & Gilaberte, " el efecto del arsénico se ve modificado por la susceptibilidad genética, como ocurre con polimorfismos en el gen del enzima arsénico metiltransferasa que disminuyen la capacidad para metabolizar el arsénico" El Arsénico fue clasificado por la International Agency for Research in Cancer (IARC) como " metal pesado cancerigenos para el ser humano" (grupo 1) [15]	X	
Bario	Ba	1.0	Se liberan algunos compuestos del Bario y estos se disuelven fácilmente en agua y son encontrados en lagos, ríos y arroyos. Los compuestos del Bario pueden alcanzar largas distancias desde su puntos de emisión debido a las solubilidades de estos compuestos. (Lenntech, 1993)	Las personas que tienen contacto con el Bario tienen riesgos para su salud desde afecciones en la piel, daños en los riñones y el corazón, dificultad al respirar, incremento de la presión sanguínea, cambio en los reflejos de los nervios, inflamación del cerebro, parálisis y en algunos casos incluso la muerte. (Lenntech, 1993)	X	
Boro	B	1.0	Es un elemento químico, tiene gran reactividad a temperaturas altas, en particular con oxígeno y nitrógeno, lo cual lo hace útil como agente metalúrgico. El Boro se encuentra presente en pequeñas cantidades en la mayoría de los suelos y en el agua de mar. Las grandes concentraciones de Boro en la naturaleza se encuentran principalmente en zonas volcánicas. De manera natural el Boro hace presencia en la naturaleza siendo liberado al suelo, al aire y al agua a través de los procesos de erosión de esta manera puede aparecer en el agua subterránea en muy pequeñas cantidades. (Lenntech, 1993)	Las personas que están expuestas de manera repetitiva a la inhalación de boratos, han manifestado irritación de la nariz, la garganta y los ojos. La exposición breve a cantidades superiores a los rangos de referencia establecidos en la resolución 12186 de 1991 puede afectar los riñones, el hígado, los intestinos, el estómago, el cerebro hasta la muerte. Sciencs. A. f.-D. (06 de Mayo de 2016). ATSDR		
Cadmio	Cd	0.005	El cadmio es un elemento químico que no se encuentra en estado libre en la naturaleza. Se usa de manera comercial como una cubierta electrodepositada sobre hierro o acero para protegerlos contra la corrosión. (Lenntech, 1993)	El Cadmio tienen efectos negativos sobre la salud, desde diarreas, vómitos, problemas a nivel digestivos, daños en el sistema inmune, fractura de huesos, daños en el sistema nervioso central, desórdenes psicológicos, posible daño en el ADN o desarrollo de cáncer. (Lenntech, 1993)		X
Cianuros	CN	0.1	Para la federación de consumo de agua de Canadá el nivel máximo permitido es de 0,1. (2003)	En cantidades grades el cianuro puede producir efectos de daño del sistema nervioso, daños en el sistema cardiovascular y dependiendo el nivel de concentración puede generar un coma o la muerte de las personas. [17]		X
Cobre	Cu	1.0	Para World Health Organization (2011) La presencia de cobre en un sistema de abastecimiento de agua de consumo se debe, por lo general, a la acción corrosiva del agua que disuelve las tuberías de cobre. Las concentraciones pueden sufrir variaciones significativas en función del tiempo que el agua haya estado retenida en contacto con las tuberías; por ejemplo, una muestra de agua tomada nada más abrir el grifo tendrá, previsiblemente, una concentración de cobre mayor que una tomada después de que haya corrido el agua abundantemente. Las concentraciones altas pueden interferir con los usos domésticos previstos del agua. El cobre en el agua de consumo puede aumentar la corrosión de accesorios de acero y hierro galvanizados. Cuando la concentración de cobre del agua es mayor que 1 mg/L, mancha la ropa lavada y los aparatos sanitarios. A niveles mayores que 5 mg/L, el cobre también tiñe el agua y confiere un sabor amargo no deseado. Aunque el cobre puede conferir sabor al agua, es seguramente aceptable a concentraciones iguales al valor de referencia basado en efectos sobre la salud. Diclوروبенсоs Se han descrito umbrales olfativos de 2-10 y 0,3-30 para el 1,2- diclorobenceno y el 1,4- diclorobenceno superan en gran medida los umbrales gustativos y olfativos minimos descritos para estos compuestos. Pg/l para el 1,2- diclorobenceno y el 1,4- diclorobenceno, respectivamente, y umbrales gustativos de 1 y 6 Pg/L, respectivamente. Los valores de referencia basados en efectos sobre la salud calculados para el 1,2- diclorobenceno y el 1,4- diclorobenceno superan en gran medida los umbrales gustativos y olfativos minimos descritos para estos compuestos.	La presencia del cobre en el organismo es fundamental en la formación de la melanina y de las fibras de colágeno y elastina. Sanifarma. Funciones importantes en el cerebro. Una de ellas es en la elaboración de un importante neuro-transmisor (norepinefrina). También in- fluye en la elaboración de encefalinas en el cerebro. Estas substancias, de las cuales las endorfinas (morfina interior) son un ejemplo, tienen funciones importantes en el equilibrio de la conducta. Otra de sus funciones vitales es la formación del pigmento de la piel y del pelo (melanina). Es necesario para convertir el hierro almacenado en el organismo en hemoglobina y para asimilar correctamente el de los alimentos. También participa en la asimilación de la vitamina C. Su déficit provoca diarreas, aumento de colesterol sérico, raquitismo, mala cicatrización de las heridas, falta de pigmentación en la piel, calvicie y cirrosis del hígado.	X	

Cromo	Cr + 6	0.05	Es un elemento químico, un metal que es de color blanco plateado, duro y quebradizo. (Lenntech, 1993)	El cromo fue clasificado por la International Agency for Research in Cancer (IARC) como "metal pesado cancerígeno para el ser humano" (grupo 1) [15] Algunos de los problemas de salud causados por el cromo son: erupciones cutáneas (Piel), malestar de estómago y úlceras, problemas respiratorios, cáncer de pulmón, daño en los riñones e hígado, debilitamiento del sistema inmune, alteración del material genético y muerte. (Lenntech, 1993)	X	
Fenoles	Fenol	0.001	N/D	N/D		X
Mercurio	Hg	0.001	Es un metal noble y soluble en soluciones oxidantes. Es un metal muy tóxico debido a todos sus compuestos. Puede ser encontrado en el ambiente de forma natural, en forma de metal (barómetros, termómetros, bombillas fluorescentes), como mercurio orgánico o como sales de mercurio. (Lenntech, 1993)	Una exposición directa al mercurio puede ocasionar efectos adversos en la salud de los humanos, tales como: daño a los nervios, vómitos y diarreas, irritación en los pulmones, daño en el cerebro (dificultad para aprender, cambios en la personalidad, temblores, cambios de visión, incoordinación de músculos y pérdida de la memoria) y riñones y reacciones en la piel. (Lenntech, 1993)	X	
Nitritos	NO ₂	0.1	Los nitritos y nitratos son iones que forman parte del ciclo del nitrógeno y que existen de manera natural. Debido a la intensificación de las prácticas agrícolas y ganaderas se han incrementado los niveles de nitratos en las aguas subterráneas. Cuando los niveles de nitratos en el agua potable están por debajo de los 10 mg/l la fuente principal para toma de nitratos para los seres humanos son los vegetales, cuando se encuentra por encima de los 50 mg/l en el agua potable la fuente principal de nitratos para los seres humanos será el agua potable. (Lenntech, 1993)	A mayor valor de nitrato en el agua, menor pH en el agua.	X	
Nitratos	NO ₃	15.0		El nitrato es usado como fuente de alimento por las plantas vivas; es menos tóxico que el nitrito. (Lenntech, 1993)		X
Plata	Ag	0.05	Es un metal pesado y noble; el cual posee las más altas conductividades térmicas y eléctricas de todos los metales. (Lenntech, 1993)	Los compuestos de plata pueden ser absorbidos por los tejidos corporales de manera lenta; ocasionando entre otras condiciones desfavorables para la salud un problema dermatológico conocido como Argiria. (Lenntech, 1993)	X	
Plomo	Pb	0.01	El plomo por sí solo no reacciona con el agua, pero si tiene contacto con aire húmedo, la reactividad con el agua aumenta. El plomo está presente en el agua debido a que puede disolverse en la misma al pasar por la tubería (Lenntech, 1993)	El plomo fue clasificado por la International Agency for Research in Cancer (IARC) como "metal pesado cancerígeno para el ser humano, así como desencadenante de problemas neurológicos, enfermedades renales, cardiovasculares e infertilidad (grupo 7) [15]		X
Selenio	Se	0.01	Este elemento químico abunda en la corteza terrestre; se da de forma natural en el medio ambiente. El selenio sedimenta del aire por lo tanto aumentan en el suelo y en el agua. Las sustancias en el agua que contienen selenio se descomponen rápidamente por lo que no son peligrosas para la salud de los organismos. (Lenntech, 1993)	Usado según el rango de referencia de la OMS, el selenio es un antioxidante que protege la membrana celular y mantiene la elasticidad de los tejidos. Asimismo, aporta gran hidratación. Unido a la vitamina E ejerce una acción antioxidante que retrasa el envejecimiento cutáneo debido a que neutraliza los radicales libres. Sanifarma. Tiene las mismas propiedades desintoxicantes que el azufre y además es un potente antioxidante, por lo que nos previene del envejecimiento de los tejidos y ciertos tipos de cáncer. También se utiliza para el tratamiento de la caspa y alivia los sofocos y el malestar de la menopausia. El selenio puede inhibir el desarrollo del cáncer a través de mecanismos que incluyen la inhibición de la proliferación celular y la estimulación del sistema inmune. Además, ayuda a frenar ciertos procesos degenerativos como la aterosclerosis y previene de patologías cardiovasculares.	X	
Sustancias Activas Al Azul de Metileno	ABS, ALS	0.5	N/D	N/D		X
Grasas y Aceites	Grasas y Aceites	No detectable	Para World Health Organization (2011). Los aceites de petróleo pueden ocasionar la presencia de diversos hidrocarburos de peso molecular bajo, cuyos umbrales olfativos en el agua de consumo son bajos. Aunque no hay datos fidedignos, la experiencia indica que cuando el agua contiene una mezcla de varios aceites, sus umbrales olfativos pueden ser más bajos. El benceno, el tolueno, el etilbenceno y los xilenos se tratan individualmente en este apartado, ya que se han calculado valores de referencia basados en efectos sobre la salud para estas sustancias. Sin embargo, ciertos hidrocarburos, en especial los alquilbencenos, como el trimetilbenceno, pueden generar un olor muy desagradable, parecido al del gasoil, en concentraciones de unos pocos microgramos por litro.	N/D		X
Cloruros	Cl- 3	250	Para World Health Organization (2011) Las altas concentraciones de cloruro confieren un sabor salado al agua y las bebidas. Hay diversos umbrales gustativos para el anión cloruro en función del catión asociado: los correspondientes al cloruro sódico, potásico y cálcico están en el intervalo de 200 a 300 mg/l. A concentraciones superiores a 250 mg/l es cada vez más probable que los consumidores detecten el sabor del cloruro, pero algunos consumidores pueden acostumbrarse al sabor que produce en concentraciones bajas.	N/D		X
Dureza Total	CaCO ₃	150	Para World Health Organization (2011) La dureza del agua, derivada de la presencia de calcio y magnesio, generalmente se pone de manifiesto por la precipitación de restos de jabón y la necesidad de utilizar más jabón para conseguir la limpieza deseada. La aceptabilidad por la población del grado de dureza del agua puede variar en gran medida de una comunidad a otra, en función de las condiciones locales. Los consumidores, en particular, notarán probablemente los cambios de la dureza del agua. El valor del umbral gustativo del ión calcio se encuentra entre 100 y 300 mg/L, dependiendo del anión asociado, mientras que el del magnesio es probablemente menor que el del calcio. En algunos casos, los consumidores toleran una dureza del agua mayor que 500 mg/L. El agua con una dureza mayor que aproximadamente 200 mg/L, en función de la interacción de otros factores, como el pH y la alcalinidad, puede provocar la formación de incrustaciones en las instalaciones de tratamiento, el sistema de distribución, y las tuberías y depósitos de los edificios. Otra consecuencia será el consumo excesivo de jabón y la consiguiente formación de restos insolubles de jabón. Las aguas duras, al calentarlas, forman precipitados de carbonato cálcico. Por otra parte, las aguas blandas, con una dureza menor que 100 mg/L, pueden tener una capacidad de amortiguación del pH baja y ser, por tanto, más corrosivas para las tuberías.	N/D	X	

Hierro	Fe	0.3	Para World Health Organization (2011) En las aguas subterráneas anaerobias puede haber concentraciones de hierro ferroso de hasta varios miligramos por litro sin que se manifieste alteración alguna del color ni turbidez al bombearla directamente desde un pozo. Sin embargo, al entrar en contacto con la atmósfera, el hierro ferroso se oxida a férrico, tiñendo el agua de un color marrón rojizo no deseable. El hierro también potencia la proliferación de bacterias ferruginosas, que obtienen su energía de la oxidación del hierro ferroso a férrico y que, en su actividad, depositan una capa viscosa en las tuberías. En niveles por encima de 0,3 mg/L, el hierro mancha la ropa lavada y los accesorios de fontanería. Por lo general, no se aprecia ningún sabor en aguas con concentraciones de hierro menores que 0,3 mg/L, aunque pueden aparecer turbidez y coloración.	Facilita la fabricación de la hemoglobina, proteína que se encarga de captar el oxígeno y de llevarlo a todas las células. El hierro también funciona como un cofactor de las enzimas (citocromos) que activan esta última parte vital del ciclo generador de la energía celular. También colabora en la fabricación de la carnitina, una sustancia importante en la transportación de los ácidos grasos a las mitocondrias, donde se "queman" para generar energía en el ciclo descrito anteriormente. La producción de colágeno y elastina también depende del hierro. Estas dos proteínas son las más abundantes del cuerpo y mantienen nuestra estructura (tejido conectivo). Además, el hierro interviene en el mantenimiento del sistema inmune y en la producción de algunos neurotransmisores	X	
Magnesio	Mg o CaCO ₃	36	N/D	El magnesio es un poderoso rejuvenecedor de la piel que ayuda al funcionamiento de las glándulas y es importante para el funcionamiento de las células faciales. Sanifarma. (23 de Enero de 2015). funciona en más de 300 enzimas en el metabolismo, activa el ciclo de generación de energía celular donde se elabora la energía biológica (ATP) y ayuda a mantener la molécula ATP evitando un rompimiento o una degradación, también ayuda en la transmisión adecuada del impulso nervioso la cual permite que se evite la hiper- excitabilidad nerviosa. A demás el magnesio ayuda a estado de la relajación muscular, dentro del sistema digestivo actúa como facilitador para evitar el estreñimiento debido a que estamos hablando de un mineral.	X	
Manganeso	Mn	0.1	Para World Health Organization (2011) La presencia de manganeso a concentraciones mayores que 0,1 mg/L en sistemas de abastecimiento de agua produce un sabor no deseable en bebidas y mancha la ropa lavada y los aparatos sanitarios. Al igual que sucede con el hierro, la presencia de manganeso en el agua de consumo puede dar lugar a la acumulación de depósitos en el sistema de distribución. Las concentraciones menores que 0,1 mg/L suelen ser aceptables para los consumidores. Incluso en una concentración de 0,2 mg/L, el manganeso formará con frecuencia una capa en las tuberías, que puede desprenderse en forma de precipitado negro. El valor de referencia basado en efectos sobre la salud para el manganeso es cuatro veces mayor que el mencionado umbral de aceptabilidad de 0,1 mg/L.	Según la International Agency for Research On Cancer (IARC) el manganeso no es cancerígeno , pero puede tener efectos adversos en el aprendizaje durante la infancia [15] El efecto o la causa de manganeso puede causar efectos adversos sobre la salud. se requiere para la elaboración de carbohidratos complejos como el muco- polisacáridos (esenciales en todas las células), en la utilización de glucosa, en la elaboración de lípidos (colesterol), función del páncreas y del sistema reproductor.		X
Sulfatos	SO ₄	250	Para World Health Organization (2011) La presencia de sulfato en el agua de consumo puede generar un sabor apreciable y en niveles muy altos provocar un efecto laxante en consumidores no habituados. El deterioro del sabor varía en función de la naturaleza del catión asociado: se han determinado umbrales gustativos que van de 250 mg/L para el sulfato de sodio, a 1000 mg/L para el sulfato de calcio. Por lo general, se considera que el deterioro del sabor es mínimo cuando la concentración es menor que 250 mg/L. No se ha calculado ningún valor de referencia basado en efectos sobre la salud para el sulfato.	N/D		X
Sodio	Na	200	Para World Health Organization (2011) El umbral gustativo del sodio en el agua depende del anión asociado y de la temperatura de la solución. A temperatura ambiente, el umbral gustativo promedio del sodio es de 200 mg/L aproximadamente. No se ha calculado ningún valor de referencia basado en efectos sobre la salud.	La regulación de la presión y el volumen sanguíneo (incluyendo la flexibilidad de las venas), regula el reparto de agua en el organismo, interviene en la transmisión del impulso nervioso a los músculos, es necesario para mantener el balance de los fluidos en nuestro organismo, asiste en la contracción de los músculos, contribuye a la absorción del potasio, también es parte fundamental del principal del proceso del ácido digestivo, potencia la capacidad de la sangre para transportar dióxido de carbono desde los tejidos hasta los pulmones, preserva el equilibrio base- ácido de la sangre, deshidrata las células bacteriales, altera la presión osmótica e inhibe el crecimiento de bacterias	X	
Zinc	Zn	5.0	Para World Health Organization (2011) El Zinc confiere al agua un sabor astringente indeseable y su umbral gustativo (como sulfato de Zinc) es de aproximadamente 4 mg/L. El agua con concentraciones de zinc mayores que 3–5 mg/L puede tener un color opalino y producir una película oleosa al hervir. Aunque el agua de consumo rara vez contiene Zinc en concentraciones mayores que 0,1 mg/L, los niveles en el agua de grifo pueden ser sustancialmente mayores debido al Zinc utilizado en materiales de fontanería galvanizados antiguos. No se ha propuesto ningún valor de referencia basado en efectos sobre la salud para el Zinc en el agua de consumo.	El Zinc realiza una acción hidratante y reparadora y desempeña una función importante en la formación del colágeno. Posee un gran poder anti- acné y ayuda a prevenir la dermatitis. Sanifarma. vital en la reproducción celular (formación de ADN/ARN), es cofactor en el metabolismo de proteínas, colabora en la regeneración de los tejidos, participa en la formación de glóbulos rojos, es vital en la formación y función de los espermatozoides. Algunos síntomas de su deficiencia son: crecimiento retardado, esterilidad, demoras para madurar sexualmente, pérdida del sentido del gusto y/o del olfato, pobre apetito (altera la digestión, malnutrición), fatiga, uñas finas y con manchas blancas, acné, pérdida del pelo, altos niveles de colesterol, visión de noche deficiente, impotencia, causa deficiencias en el sistema inmunológico lo que hace que aumente la susceptibilidad a infecciones (especialmente en la vía intestinal), interfiere en el funcionamiento del cerebro (deficiente memoria) y en el funcionamiento de todo el sistema nervioso, problemas en la próstata, frecuentes catarros, lesiones en la piel, demoras para cicatrizar heridas o quemaduras, perturba el funcionamiento de las glándulas tiroideas.	X	



Análisis de variables agrícolas implementando un gemelo digital

Analysis of Agricultural Variables Using a Digital Twin

Vivian Gabriela Amorocho Castro ⁽¹⁾
Diego Camilo Peña Ramírez ⁽²⁾

1. Magister en desarrollo rural. Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. Bogotá, Colombia.
vamoroch@sena.edu.co
2. Magister en automatización Industrial. Servicio Nacional de aprendizaje.
Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. Bogotá, Colombia
dpenar@sena.edu.co

RESUMEN

El Centro de Electricidad, Electrónica y Telecomunicaciones CEET desarrolla un proyecto para optimizar el crecimiento de plantas y la productividad agrícola en la Región Metropolitana Bogotá-Cundinamarca, mediante la implementación de un gemelo digital basado en tecnologías de la Industria 4.0. Esta herramienta permitirá monitorear y ajustar en tiempo real variables como temperatura, humedad, pH y conductividad del suelo, mejorando procesos como la fotosíntesis y la absorción de nutrientes. El proyecto consta de cuatro fases: identificación de tecnologías y especies vegetales, desarrollo del modelo digital y una aplicación, validación experimental en laboratorio y divulgación de resultados a la comunidad académica e industrial. Los resultados contribuirán a la sostenibilidad agrícola, beneficiando la agricultura urbana y periurbana. Además, se prevé una alianza con el Centro Nacional de Hotelería, Turismo y Alimentos para fortalecer el impacto en el sector productivo y educativo.

Palabras Claves: Agricultura, Gemelo Digital, IoT, Sistemas ciberfísicos.

ABSTRACT

The Center for Electricity, Electronics, and Telecommunications CEET is developing a project to optimize plant growth and agricultural productivity in the Bogotá-Cundinamarca Metropolitan Region through the implementation of a digital twin based on Industry 4.0 technologies. This tool will enable real-time monitoring and adjustment of variables such as temperature, humidity, pH, and soil conductivity, enhancing processes like photosynthesis and nutrient absorption. The project follows four phases: identification of technologies and plant species, development of the digital model and an application, laboratory validation, and dissemination of results to the academic and industrial communities. The outcomes will contribute to agricultural sustainability, benefiting urban and peri-urban farming. Additionally, an alliance with the National Center for Hospitality, Tourism, and Food is planned to strengthen the impact on Colombia's productive and educational sectors.

Keywords: Precision agriculture, Digital twin, IoT (Internet of Things), Cyber-physical systems (CPS).



1. INTRODUCCIÓN

El crecimiento de las plantas es un proceso fundamental que depende de una serie de factores ambientales, como la luz, el agua, la temperatura y la disponibilidad de nutrientes, que influyen directamente en la fotosíntesis, la absorción de nutrientes y otras funciones vitales para el desarrollo vegetal. La luz es esencial para la fotosíntesis, ya que permite a las plantas transformar la energía solar en compuestos orgánicos; su intensidad, duración y calidad afectan directamente el crecimiento [1]. La temperatura, por otro lado, regula la actividad enzimática y las tasas metabólicas de las plantas, siendo cada especie sensible a un rango específico de temperatura [2]. El agua también es crítica, participando en la fotosíntesis y facilitando el transporte de nutrientes; un suministro adecuado de agua es crucial para evitar el estrés hídrico y mantener la salud de las plantas [3].

Con la incorporación de tecnologías de la Industria 4.0, se han desarrollado herramientas avanzadas para optimizar estos factores y así maximizar el crecimiento de las plantas. Los gemelos digitales, por ejemplo, permiten simular condiciones de cultivo en un entorno virtual, ajustando variables como el pH del suelo, la humedad y la disponibilidad de nutrientes en tiempo real, lo cual mejora la eficiencia en la gestión del crecimiento vegetal [4]. En su análisis exhaustivo sobre el uso de gemelos digitales en la agricultura, Pylianidis, Osinga y Athanasiadis concluyeron que, aunque esta tecnología está en etapas iniciales en el sector agrícola, su potencial para optimizar el crecimiento de las plantas es considerable [5].

Asimismo, el aprendizaje automático se ha destacado como una herramienta clave para predecir el rendimiento de cultivos, identificando patrones en variables como el tamaño de las ho-

jas, el pH del suelo y condiciones climáticas, lo que permite ajustes precisos en las prácticas de cultivo [6]. Klompenburg, Kassahun y Catal demostraron que los algoritmos de redes neuronales, regresión lineal y bosques aleatorios son altamente efectivos en estos análisis, especialmente cuando se optimiza el uso de factores críticos para el crecimiento de las plantas [7].

La agricultura de precisión también ha introducido innovaciones como sensores inteligentes y sistemas de riego automatizados, que responden en tiempo real a las condiciones del suelo y del clima, asegurando que las plantas reciban agua y nutrientes en las cantidades necesarias [8]. En el contexto colombiano, el Centro de Electricidad, Electrónica y Telecomunicaciones ha implementado proyectos con IoT y machine learning para monitorear cultivos y predecir condiciones meteorológicas, demostrando que estas tecnologías pueden mejorar el crecimiento de las plantas y la sostenibilidad agrícola en el país [9].

Estas tecnologías abren nuevas posibilidades para transformar la agricultura en un sistema más productivo y sostenible, donde el monitoreo y la optimización del crecimiento vegetal son centrales. Este proyecto busca, en consecuencia, aplicar estas innovaciones para mejorar la toma de decisiones y maximizar los resultados de producción en el sector agrícola colombiano, contribuyendo a enfrentar los retos de la seguridad alimentaria y el cambio climático.

2. OBJETIVOS

El objetivo primordial de este proyecto es implementar un gemelo digital a partir del análisis de las variables que afectan el rendimiento de un cultivo y el desarrollo de un modelo computacional, para ampliar las soluciones disponibles de toma de decisiones de cosecha.

Y como objetivos específicos podemos contar:

Definir las propiedades del modelo de gemelo digital que permita simular y optimizar el rendimiento de un cultivo agrícola a partir del análisis de variables que afectan la cosecha.

Desarrollar el modelo de gemelo digital y la aplicación para la simulación y análisis del rendimiento de un cultivo agrícola.

- Evaluar el desempeño del modelo desarrollado para el análisis del rendimiento de un cultivo agrícola, mediante una prueba de validación funcional.
- Apropiar el conocimiento generado divulgando los resultados obtenidos durante la ejecución del proyecto con la comunidad académica e industrial.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La seguridad alimentaria en Colombia enfrenta desafíos significativos, evidenciados por el informe de la FAO de 2023, que indica que el 6.6% de la población, aproximadamente 3.4 millones de personas, padecen desnutrición, y 16 millones no pueden acceder a una dieta saludable [9]. Factores como el impacto económico de la pandemia de COVID-19, la crisis migratoria, el desplazamiento por violencia, la inestabilidad política y social, y la escasez de lluvias contribuyen a esta situación. Además, el Equipo Asesor Humanitario de OCHA en Colombia reportó que 7.7 millones de personas requerían asistencia en seguridad alimentaria y nutrición en 2022, cifra que se mantendría en 2023, destacando también la presencia de 2.9 millones de refugiados y migrantes venezolanos [10]. La Encuesta Pulso Social del DANE de 2021 reveló que aproximadamente el 30% de los hogares colombianos no consumen tres comidas al día.

Para abordar esta crisis, es esencial incrementar la productividad agrícola. Sin embargo, Colombia enfrenta obstáculos como la concentración de tierras [11], la degradación del suelo, la deforestación, la sobreexplotación de recursos naturales debido a la escasez y la falta de oportunidades económicas, la carencia de planificación y tecnología agropecuaria, los altos costos de producción y el uso excesivo de fertilizantes artificiales [12]. Además, las brechas tecnológicas en el sector agropecuario limitan la adopción de innovaciones, especialmente entre pequeños productores, debido a los altos costos y la falta de capacitación.

La implementación de tecnologías de la Industria 4.0, como el Internet de las Cosas (IoT), la analítica de datos y la inteligencia artificial, puede transformar la agricultura colombiana, optimizando el crecimiento de las plantas y mejorando la seguridad alimentaria. Estas herramientas permiten monitorear en tiempo real variables críticas como la humedad del suelo, la temperatura y los niveles de nutrientes, facilitando decisiones informadas para maximizar el rendimiento de los cultivos [13]. Por ejemplo, sistemas basados en IoT pueden detectar deficiencias nutricionales en las plantas y activar automáticamente sistemas de riego o fertilización, asegurando condiciones óptimas para el crecimiento vegetal [6]. La analítica de datos y la inteligencia artificial permiten predecir patrones de crecimiento y rendimiento de los cultivos, considerando variables ambientales y genéticas, lo que facilita la implementación de prácticas agrícolas más eficientes y sostenibles [14].

La adopción de estas tecnologías requiere inversión en infraestructura, capacitación de agricultores y políticas públicas que promuevan la

innovación en el sector agrícola. Al integrar soluciones tecnológicas avanzadas, Colombia puede enfrentar los desafíos de seguridad alimentaria, mejorar la productividad agrícola y promover prácticas sostenibles que beneficien tanto a los productores como a los consumidores.

Para alcanzar el Objetivo General planteado para la ejecución de este proyecto, se han propuesto cuatro Objetivos Específicos, los cuales permitirán, analizar las variables que afectan el rendimiento de un cultivo mediante la implementación de un gemelo digital, para ampliar las soluciones disponibles de toma de decisiones de cosecha. Es importante aclarar que el centro de formación cuenta con capacidad física y tecnológica para ejecutar el proyecto y que se realizará empleando tecnologías ya disponibles en el Centro de formación. Para lograrlo se plantean las siguientes etapas para la ejecución del proyecto.

3.1. Etapa 1

Dentro de esta fase se hace un proceso de análisis inicialmente orientado a la búsqueda de información (expertos en agricultura, revistas especializadas, artículos académicos, libros, tesis, etc.) para tener una mejor comprensión de los elementos de estudio del proyecto. Posteriormente, se procederá a la Identificación de la población que se va a analizar que el caso específico de huertas urbanas en Bogotá sería alguna especie de hortaliza o alguna especie de planta aromática o medicinal, cultivos recomendados por el Jardín Botánico. Posteriormente se definirá el conjunto de herramientas y tecnologías de hardware y software de código abierto (Open Source) de uso académico que se utilizaran para la captura, almacenamiento, análisis y visualización de los datos de las varia-

bles de interés en el contexto de rendimiento agrícola. Finalmente, con la información obtenida se realizará la caracterización del modelo de gemelo digital con el cual se desarrollará un modelo matemático o computacional del objeto físico, en este caso se desea replicar una pequeña huerta urbana.

3.2. Etapa 2

En esta fase, primero se realizará la implementación de las capas de la arquitectura del Gemelo digital. La capa de adquisición de datos permitirá la captura de datos de las variables relevantes para el estudio (humedad, temperatura, luminancia, CO₂) a través de un sistema IOT industrial (equipos pertenecientes al centro de formación) enviará esa información a la capa de Integración de datos que su vez se conecta con la capa de modelado y simulación, donde está el modelo matemático o computacional. La capa de visualización o interfaz, que podrá contener un modelo 2D o 3D, hará posible realizar un seguimiento en tiempo real a las variables capturadas y permitirá a su vez la interacción del usuario con el gemelo digital. Finalmente, la capa de analítica y procesamiento de datos permitirá la ayuda de toma de decisiones de cosecha, que puede ser basada en aprendizaje automático a partir del análisis de las variables medidas, la aplicación de modelos de Machine Learning permitirá determinar los comportamientos de los parámetros medidos.

3.3. Etapa 3

En esta fase se propone el análisis de los resultados de la Fase 2 para someterlos a un proceso de validación el cual se puede realizar a nivel de laboratorio, realizado integración de datos y comparaciones con los resultados de las experien-

cias de proyectos similares, como, por ejemplo el estudio sobre un Sistema IoT para el monitoreo de variables climatológicas en cultivos de agricultura urbana publicado en la Revista Científica de la Universidad Francisco José de Caldas y las experiencias adquiridas en proyectos previos de I+D+i realizados por el CEET, entre los que se destacan el proyecto denominado Identificación de un mecanismo que mejore la supervivencia de frailejones, durante germinación y plantación, involucrando Internet de las Cosas (IoT) en los que se implementaron tecnologías IoT y Machine learning para el estudio de sistemas de agricultura. Por otra parte, también se puede acudir a la ayuda de expertos en el campo de la agricultura urbana, agroindustria, biotecnología o ciencias relacionadas para realizar el proceso de validación de la herramienta de predicción desarrollada. Finalmente, otra posible forma de validación del modelo es a través de la implementación del sistema en una huerta urbana real.

3.4. Etapa 4

En esta fase se contempla la divulgación y socialización los resultados obtenidos durante la ejecución del proyecto con la comu-

nidad académica e industrial que permita la apropiación social del conocimiento mediante la participación en eventos especializados del ámbito nacional o internacional (congresos, seminarios, foros, entre otros) y a través de un artículo científico para someter a una revista indexada.

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Sistema físico

Se construyó un ambiente controlado de 18 metros cuadrados para medir las variables en un ambiente controlado ubicado en el Centro de electricidad, electrónica y telecomunicaciones (CEET) del Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), la Figura 1 muestra el prototipo del invernadero.

4.2. Tecnologías utilizadas

Se integraron las siguientes tecnologías

- **Diseño CAD:** Para crear un modelo físico en 3D del invernadero se utilizó la plataforma Onshaper, la cual es una herramienta que, aunque propietaria, permite su uso a través de internet



Figura 1. Invernadero construido. Fuente: Propia

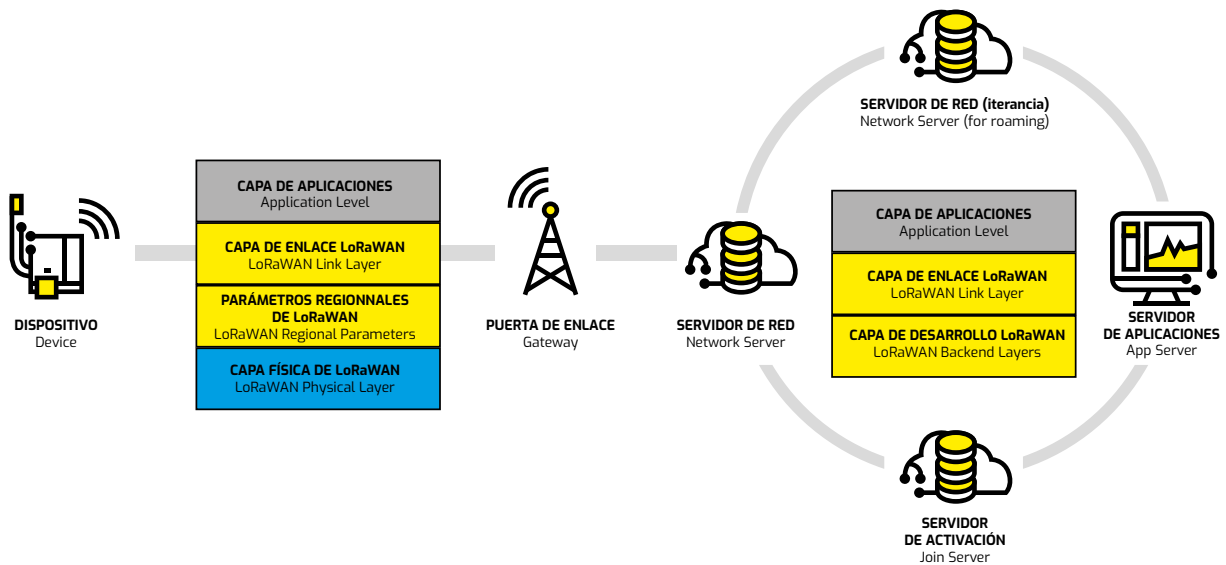


Figura 2. Arquitectura típica de una implementación de LoRaWAN.

Fuente: <https://lora-alliance.org/about-lorawan/>

usando el navegador para propósitos de investigación.

- **Sensores:** Se utilizaron sensores con transmisores LoraWAN que están midiendo las siguientes variables:
 - *Humedad:* Tanto ambiental como del suelo.
 - *Temperatura:* Tanto del ambiente como del suelo además se está tomando comparativamente la temperatura al interior del invernadero con la temperatura del ambiente.
 - *PH:* Se está tomando el PH para llevar un histórico de dicha variable y su influencia sobre el espécimen vegetal.
 - *Conductividad:* La conductividad del suelo permite determinar la salinidad de este y valores óptimos indican que tan fácil el espécimen vegetal va a absorber agua y nutrientes.
 - *CO₂:* Esta medida permitirá ver los efectos de la contaminación sobre la

planta además de hacer seguimiento a los procesos de respiración de esta.

- *Clima:* Se hizo uso de una estación meteorológica la cual comunica las condiciones climáticas para ver su impacto sobre el cultivo.
- **Comunicaciones:** Para realizar las comunicaciones se utilizó el protocolo de comunicaciones LoraWAN, la cual es una especificación de baja potencia y área amplia, diseñada para equipos de bajo consumo que apunta a aplicaciones específicas de internet de las cosas IOT2. Otros protocolos de comunicación utilizados fueron mqtt y websockets para garantizar la comunicación en tiempo real por medio de eventos generados por los sensores, así como el eventual control de dispositivos como bombas y ventiladores para los sistemas de riego y ventilación respectivamente.

- **Interfaz de usuario:** la interfaz de usuario y las tecnologías empleadas en todo lo que respecta a la interfaz de usuario, presentación de información y la interactividad del operario con el gemelo digital.
- *NodeRed:* Es una herramienta de desarrollo basada en Node JS³, hecha para construir flujos para programación visual y conectar dispositivos de Hardware y otros servicios en línea para Internet de las cosas (como protocolos MQTT, HTTP, Conexiones TLS, etc. ...). Cuyo editor de flujo puede accederse directamente usando un navegador, además permite la creación rápida de tableros o Dashboards para ayudar a la presentación de información.
- *Godot Engine:* Es un motor de videojuegos multiplataforma, libre y de código abierto⁴, que funciona en sistemas operativos Windows, Linux, BSD y Android. Permite además exportar los videojuegos y aplicaciones creadas a PC (Windows, OS X y Linux), teléfonos móviles (Android, iOS), y HTML⁵. El enfoque usado en este proyecto es completamente Web, lo cual permite el acceso a la plataforma desde un navegador, sin necesidad de instalar software adicional, esto gracias a que Godot permite exportar a HTML⁵.
- **Servicios de gestión y almacenamiento:** También conocido como Backend o servidor de aplicaciones es de desarrollo propio y se encarga de recibir y procesar los datos recibidos por los el Gateway y sensores (como se mostrará más adelante), a continuación, se mencionan las tecnologías utilizadas.
- *Python:* Es un lenguaje de programación de alto nivel interpretado, cuya filosofía se centra en la legibilidad del código⁵ y la aplicación de múltiples paradigmas de programación, su uso está ampliamente difundido en múltiples campos desde la programación de servidores hasta la ciencia de datos, para el presente proyecto Python está siendo utilizado para desarrollar el Backend utilizando el framework FastAPI⁶ con un enfoque de microservicios. También se está utilizando la herramienta Jupyter por medio de JupyterHub⁷ para realizar los análisis de los datos medidos por los sensores y registrados en la base de datos.
- *MQTT:* Es un protocolo de comunicaciones ligero para mensajes⁸, basado en la suscripción y publicación, el cual permite la conexión rápida entre máquinas mediante el uso de un servidor dedicado para la gestión de estos mensajes llamado “broker”, este broker tiene como única tarea gestionar la recepción de mensajes de los diferentes dispositivos y enviar los mensajes a sus correspondientes destinatarios según el topic al que publiquen o se suscriban.
- *PostgreSQL:* Es una base de datos relacional de código abierto⁹ como una alternativa a opciones propietaria-

rias de Microsoft u Oracle. En esta base de datos se están almacenando las mediciones de los sensores relacionados con el Gateway, se seleccionó esta opción de almacenamiento, ya que permite buenas velocidades de lectura y escritura, y su consulta por medio de *Querys* de SQL estándar de forma fácil.

- Otras herramientas: Otras herramientas utilizadas para el desarrollo del gemelo digital fueron *docker* para la organización y gestión de la plataforma en múltiples contenedores, lo cual permite la portabilidad de la plataforma y su

ejecución en múltiples computadores, incluso en sistemas embebidos. También se utilizó para servir los archivos estáticos del gemelo digital, el proxy reverso *NGINX*¹¹ el cual está basado en *Node JS*, y está configurado como servidor web, para poder servir los archivos generados por *Godot*, también se está configurando otra instancia de *NGINX* como proxy reverso para poder acceder a los diferentes microservicios de forma más segura. Así mismo en un futuro se planea usar *Kubernetes*¹² para gestionar cargas de trabajo y clusters

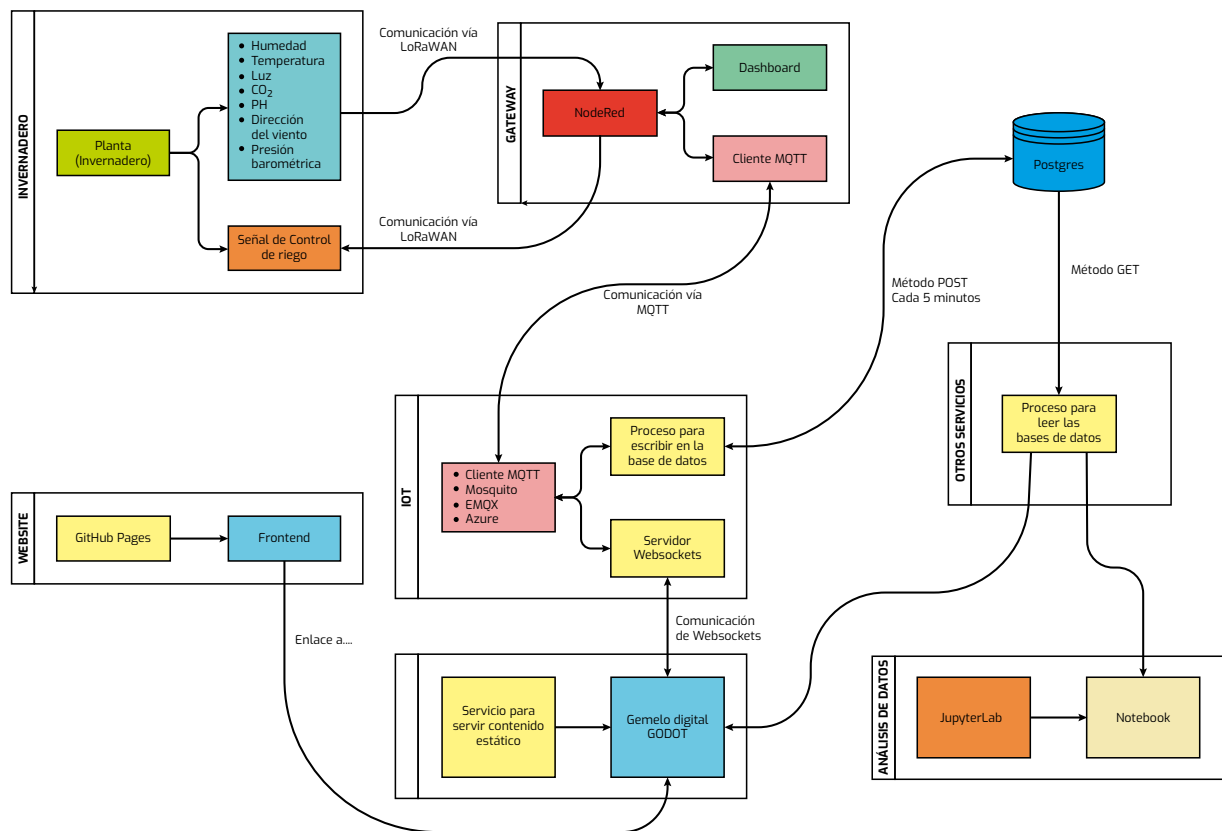


Figura 3. Arquitectura de los servicios involucrados en el gemelo digital. Fuente: Propia

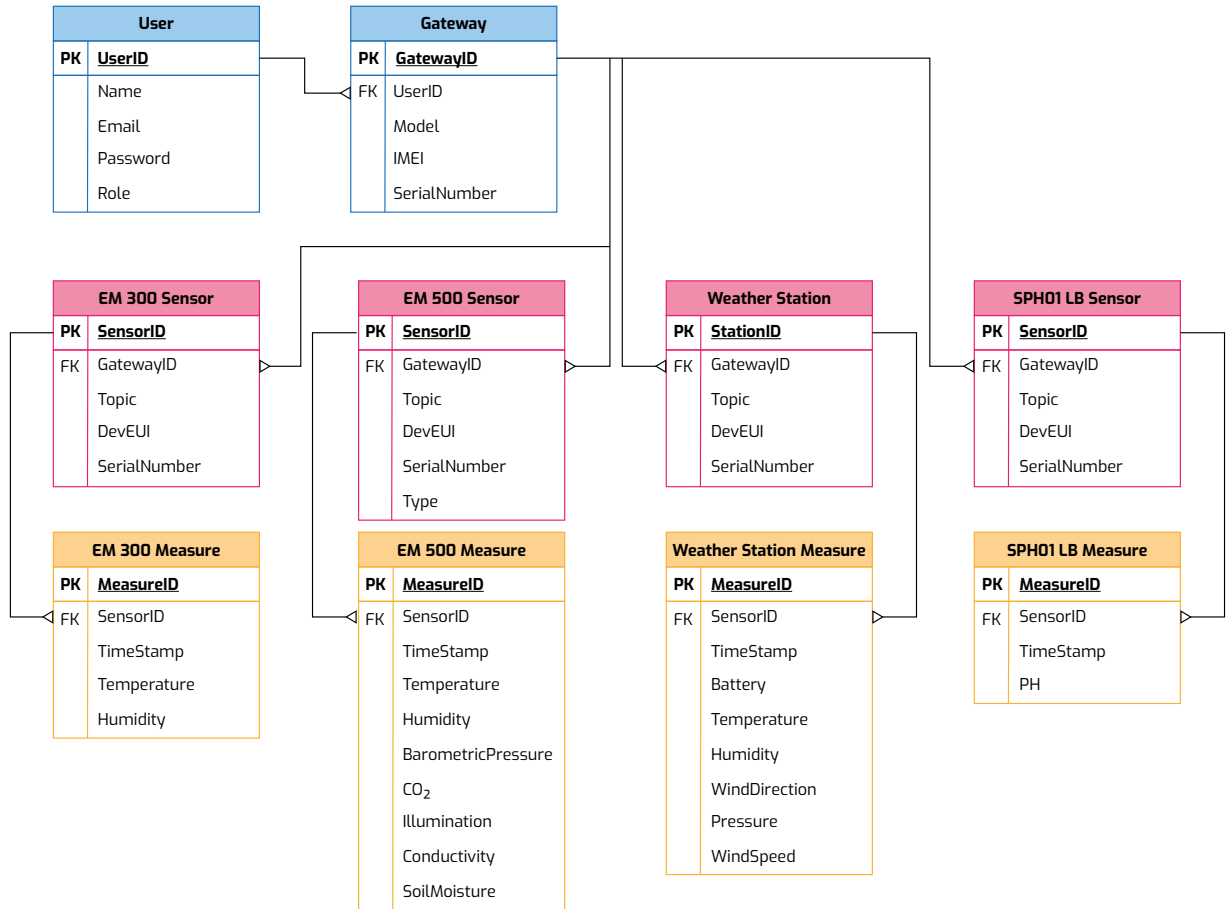


Figura 3. Arquitectura de los servicios involucrados en el gemelo digital. Fuente: Propia

de servidores o servicios en la nube para el despliegue y publicación de gemelo digital para así poder acceder desde cualquier lugar.

4.3. Resultados

A continuación, se enumerará lo desarrollado hasta la fecha:

4.3.1. Arquitectura del sistema

La Figura 4 muestra un diagrama típico de implementación de tecnología LoRaWAN en donde cada dispositivo de campo se conectará a un dispositivo GateWay el cual a su vez se

conectará por protocolos más convencionales como WiFi, LAN Ethernet o Red Celular a un servidor de aplicación para el posterior procesamiento de los datos obtenidos.

- El sistema implementado para el siguiente proyecto puede verse en la Figura 4, los servicios desarrollados fueron los encargados de recibir los datos del “broker MQTT” y renviarlos bien sea al servidor o al cliente frontend.

A continuación, se enumeran los que se encuentran actualmente bajo desarrollo:



Figura 4. Gemelo Digital desarrollado en Godot. Fuente: Propia

- Servidor de Websockets: Se encarga de recibir los datos por MQTT y reenviarlos por Websockets.
- Servidor de escritura de base de datos: Se encarga de recibir los datos por MQTT y escribir cada registro en la base de datos.
- Servidor de lectura de base de datos: Se encarga de leer los datos en la base de datos para ser consumidos por servicios externos.
- Gemelo Digital: Es la representación en 3D del invernadero, fue generado por Godot y exportado como una aplicación HTML5.

También se implementan otros servicios de terceros como un broker MQTT mosquitto y los servicios Node Red, para el desarrollo de flujos y dashboards para la representación de información, los servicios y su interconexión por ahora se encuentra en desarrollo.

4.3.2. Modelo de Datos

Somo se seleccionó una base de datos relacional, se procedió a realizar un modelo entidad-relación para realizar el modelo de datos del gemelo digital como puede verse en la Figura 5.

Las tablas que almacenaran los datos:

- Tabla de Usuario: O la tabla *User* se encarga de almacenar los datos básicos de usuario y a esta tabla se le asocia a uno o más GateWay.
- Tabla de GateWay: Es el dispositivo encargado de recibir la información medida por los sensores por el protocolo LoraWAN, contiene información útil como número serial e IMEI para diferenciar el GateWay y poder conectarlo usando una SIM Card.
- Tablas de identificación Sensores: Son las tablas *Em300Sensor* (correspondiente



Figura 5. Dashboard realizado con Node Red. Fuente: Propia

a los sensores de temperatura y humedad ambientales), Em500Sensor (correspondiente a los sensores de CO₂, Iluminación y suelos), WeatherStation (correspondiente a la estación meteorológica) y SPHoiLBSensor (correspondiente a los sensores de medición de PH).

- Tabla de medición de sensores: Está asociada a los sensores anteriormente mencionados y contiene las mediciones recolectadas por estos.

4.3.3. Gemelo Digital desarrollado

Se desarrollaron dos interfaces, la primera usando el motor de videojuegos Godot, con el cual el usuario puede recorrer el invernadero, La Figura 6 muestra la representación virtual hecha con este motor de video juegos, en donde mediante comunicación en tiempo real se están recibiendo los datos de los diferentes sensores como por ejemplo el clima. El enfoque usado en este proyecto es completamente Web, lo cual permite el

acceso a la plataforma desde un navegador, sin necesidad de instalar software adicional, esto gracias a que Godot permite exportar a HTML5.

Con NodeRed cuyo editor de flujo puede accederse directamente usando un navegador, se crearon los tableros o Dashboards para ayudar a la presentación de información como puede verse en la Figura 7.

4.3.4. Datos recolectados

Los datos recolectados son almacenados en la base de datos de PostgreSQL, se está tomando un intervalo de 5 minutos de tiempo entre cada medida para facilitar el desarrollo de los diferentes servicios, por ahora con los datos recolectados son parciales y para realizar pruebas se ha obtenido como resultados iniciales que como muestra en la Figura 8 que al aumentar la temperatura disminuye la humedad y viceversa como es obvio.

También se están haciendo comparaciones del clima exterior con los sensores internos del

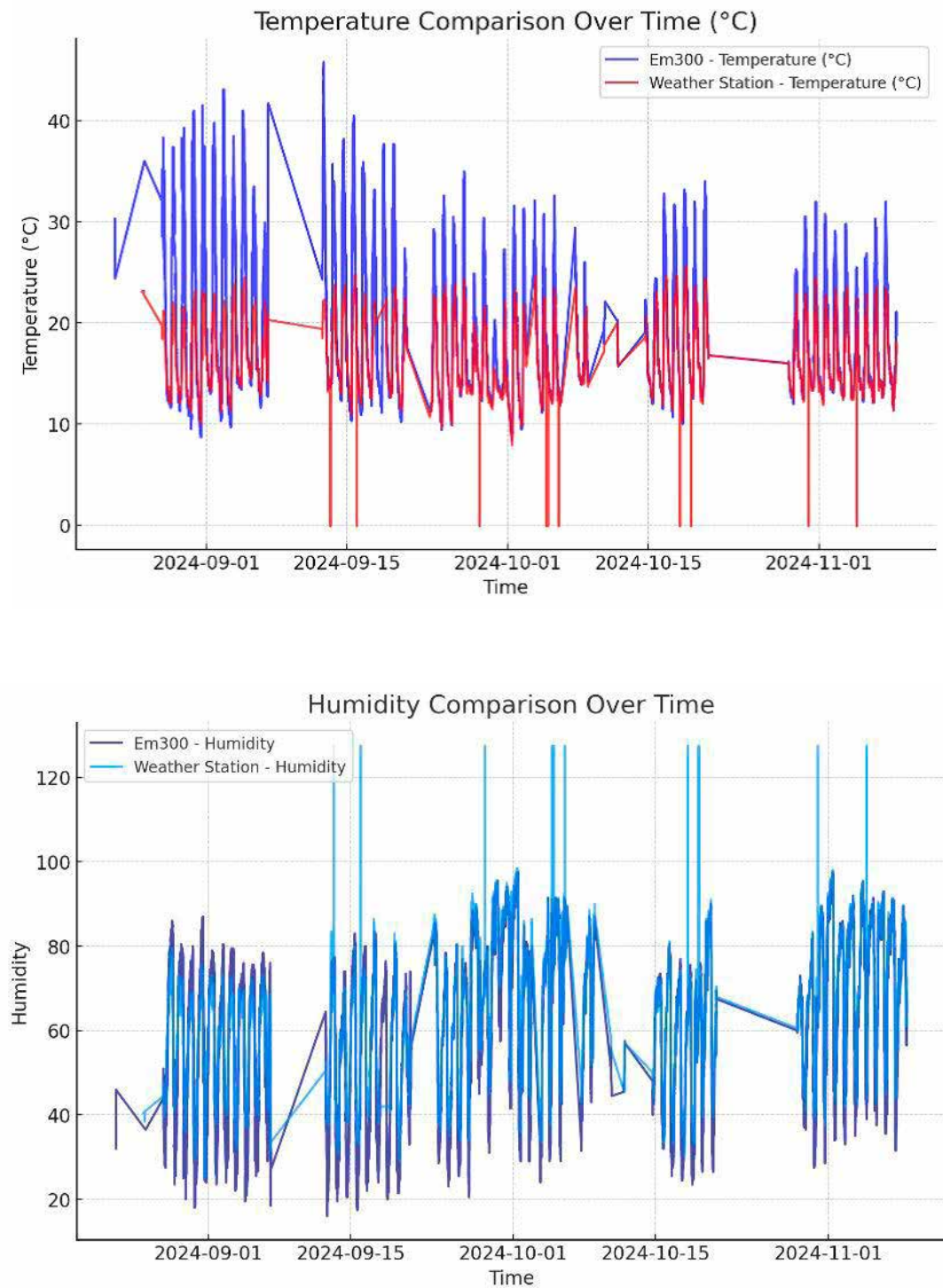


Figura 6. Gráficos de humedad y temperatura comparados el Em300 está localizado dentro del invernadero y “Weather Station” es la estación meteorológica que mide el clima externo. Fuente: Propia

invernadero como puede verse en la Figura 9 nótese que has una diferencia de entre 10 hasta 20°C hasta la fecha del 21 de septiembre de 2024 aproximadamente, y esto se debe a que se tomó la temperatura durante la construcción del invernadero, y se notó que sellar totalmente el invernadero, aumentaba excesivamente la temperatura, por lo cual se debió implementar un sistemas de circulación de aire, además debido a la llegada de temporada de lluvias, la temperatura pudo compensarse, por lo cual la temperatura de los sensores internos comparados con la estación meteorológica comenzó a ser similar.

También se midieron otras variables como el PH (Figura 9) en donde se evidencio que el suelo con mayor alcalinidad dificultaba el crecimiento y desarrollo de las plantas (en este caso de Ruda).

5. DISCUSIÓN

La adopción de tecnologías avanzadas como los gemelos digitales, el Internet de las Cosas (IoT) y la Inteligencia Artificial (IA) está revolucionando la agricultura moderna, especialmente en el crecimiento de las plantas y la seguridad alimentaria. Los gemelos digitales, como representaciones virtuales de sistemas físicos, permiten monitorear en tiempo real y simular escenarios agrícolas, optimizando la toma de decisiones y promoviendo prácticas sostenibles [16]. En la agricultura de precisión, esta tecnología ha demostrado ser eficaz en el ajuste de variables críticas como la humedad, la temperatura y la aplicación de fertilizantes, lo cual incrementa la eficiencia en el uso de recursos y mejora el rendimiento de los cultivos [17].

Estudios recientes destacan que los gemelos digitales facilitan la previsión del impacto de estrategias de manejo, como los planos de riego y

fertilización, permitiendo una toma de decisiones fundamentada en datos [18]. La simulación predictiva es crucial en la planificación agrícola, ya que permite realizar análisis de escenarios hipotéticos para anticipar y mitigar riesgos relacionados con el clima y las plagas. Según Purcell y Neubauer, esta función predictiva ayuda a los agricultores a responder de forma proactiva a los desafíos ambientales, favoreciendo una agricultura resiliente y adaptativa [19].

La combinación de gemelos digitales con tecnologías IoT e IA amplía aún más su aplicabilidad en la agricultura. Con sensores conectados, IoT permite el monitoreo constante de variables clave, como el pH del suelo, la temperatura y la humedad. Paralelamente, la IA posibilita la automatización de decisiones en el manejo de cultivos, optimizando el suministro de nutrientes y facilitando el control de plagas, reduciendo así la dependencia de intervenciones humanas y promoviendo una mayor eficiencia [20]. Richards y Tzachor señalan que la sinergia entre gemelos digitales e IA permite no solo monitoreo continuo, sino también automatización en la toma de decisiones sobre el manejo de cultivos en entornos complejos [21].

Además, la creación de granjas virtuales mediante gemelos digitales abre posibilidades para la experimentación bajo condiciones climáticas variables sin poner en riesgo cultivos reales, lo cual es esencial para desarrollar prácticas sostenibles [22]. Sin embargo, la adopción de gemelos digitales en la agricultura enfrenta desafíos. En zonas rurales, las brechas tecnológicas y la falta de infraestructura limitan el acceso a estas herramientas, requiriendo inversiones importantes en capacitación y recursos [23]. La gestión de grandes volúmenes de datos es otro reto, ya que el uso efectivo de gemelos digitales depende de datos precisos en tiempo

real, planteando necesidades de almacenamiento, análisis y seguridad de la información [24].

A pesar de estos obstáculos, el potencial de los gemelos digitales para fomentar la sostenibilidad agrícola es significativo. La capacidad de simular condiciones de cultivo bajo diversos escenarios permite identificar cultivos más resilientes al cambio climático y reducir la huella de carbono mediante la optimización de agroquímicos. Integrar gemelos digitales con IA y aprendizaje automático facilita la creación de sistemas agrícolas autónomos que gestionen el riego, la fertilización y el control de plagas en tiempo real, avanzando hacia un modelo agrícola sostenible y resiliente [25].

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El proyecto demuestra un potencial transformador de las tecnologías de la Industria 4.0 en la agricultura. Con la capacidad de monitorear en tiempo real y ajustar variables críticas como la temperatura, la humedad, el pH y la conductividad del suelo, el gemelo digital permite optimizar procesos fundamentales como el fotosíntesis y la absorción de nutrientes, aumentando así la resiliencia de las plantas frente a los cambios climáticos y ambientales.

BIBLIOGRAFÍA

- C. Pylianidis, S. Osinga, and I. N. Athanasiadis, "Digital Twins in Agriculture: A State-of-the-Art Review," *Agriculture*, vol. 11, no. 4, pp. 1-16, Apr. 2021.
- T. Klompenburg, A. Kassahuna, and C. Catal, "Crop Yield Prediction Using Machine Learning: A Systematic Literature Review," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 177, p. 105709, Sep. 2020.
- A. Adesipo, et al., "Implementing Industry 4.0 in Agriculture," *J. Agric. Technol.*, vol. 12, no. 1, pp. 1-10, 2020.
- C. Gunawan, et al., "Application of IoT and AI in Urban Agriculture," *Int. J. Innov. Comput. Inf. Control*, vol. 15, no. 6, pp. 234-244, 2019.
- X. Xiong, et al., "Climate-Smart Agriculture in China: Simulating the Impact of Climate Change," *Int. J. Agric. Sustain.*, vol. 12, no. 3, pp. 345-357, 2014.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), "El estado de la

Este enfoque digital facilita la adopción de prácticas de agricultura de precisión que emplean sensores y algoritmos avanzados para ajustar automáticamente las condiciones de cultivo. Al simular y prever diferentes escenarios, el gemelo digital también permite una toma de decisiones informada y anticipada, reduciendo los riesgos asociados a factores climáticos y el uso ineficiente de recursos. En entornos urbanos y periurbanos, la aplicación del gemelo digital ofrece un marco para optimizar el cultivo en áreas con espacio limitado, contribuyendo a la seguridad alimentaria y a la sostenibilidad de la producción.

El proyecto no solo contribuye a la eficiencia y productividad agrícola, sino que también impulsa la colaboración con centros académicos e industriales para fomentar la apropiación social del conocimiento generado. Sin embargo, la implementación exitosa de estas tecnologías depende de superar desafíos de infraestructura, costos y capacitación en zonas rurales, así como de una gestión eficaz de los datos. La combinación de IoT, IA y análisis de datos para gestionar en tiempo real el desarrollo de cultivos ofrece un modelo escalable y adaptable que, con el apoyo adecuado, puede extenderse a otras regiones del país. ☺

- seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2023,” Roma: FAO, 2023.
- Oficina de Coordinación de Asuntos Humanitarios (OCHA), “Panorama global de las necesidades humanitarias 2023,” OCHA, 2023.
- A. Segrelles, “La desigualdad en el reparto de la tierra en Colombia: Obstáculo principal para una paz duradera y democrática,” *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, vol. 38, no. 2, pp. 409-433, 2018.
- M. Castro Castro y L. Díaz-Dueñas, “Problemáticas del agro colombiano, una revisión de su sostenibilidad económica y ambiental,” *Universidad de Investigación y Desarrollo*, pp. 1-19, 2020.
- J. A. Gómez-Ramírez, J. A. Gómez-Ramírez y J. A. Gómez-Ramírez, “Aplicación de tecnologías de la Industria 4.0 en la agricultura: Una revisión,” *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, vol. 73, no. 3, pp. 9051-9060, 2020.
- M. A. Ríos, J. A. Gómez-Ramírez y J. A. Gómez-Ramírez, “Internet de las cosas en la agricultura: Una revisión,” *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, vol. 73, no. 3, pp. 9061-9070, 2020.
- J. A. Gómez-Ramírez, J. A. Gómez-Ramírez y J. A. Gómez-Ramírez, “Inteligencia artificial en la agricultura: Una revisión” *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, vol. 73, no. 3, pp. 9071-9080, 2020.
- D. Zheng et al., “Gemelos digitales en la agricultura: cómo permitirán la próxima generación de agricultura de precisión”, *Sensors*, vol. 24, núm. 10, págs. 3117-3129, 2024.
- Y. Kim, S. Cho y M. Lee, “Agricultura digital utilizando tecnologías de IoT e IA: precisión y eficiencia en la producción de cultivos”, *Applied Sciences*, vol. 14, núm. 5, págs. 1709-1725, 2023.
- P. Papageorgas, et al., “Integración de gemelos digitales en la agricultura para la analítica predictiva y la optimización de la gestión”, *Sensors*, vol. 23, núm. 16, pág. 7128, 2023.
- M. Purcell y E. Neubauer, “Simulaciones de escenarios en gemelos digitales: mejora de las estrategias agrícolas proactivas”, *Artificial Intelligence in Agriculture*, vol. 10, no. 4, págs. 112-126, 2023.
- B. Richards y T. Tzachor, “Automatización y toma de decisiones en la agricultura digital con integración de IoT e IA”, *Journal of Digital Agriculture*, vol. 3, no. 2, págs. 34-48, 2023.
- JR Smith, “Agricultura de precisión y gemelos digitales: transformando la eficiencia agrícola”, *International Journal of Digital Agriculture*, vol. 2, no. 1, págs. 95-102, 2024.
- ED Ramirez, et al., “Granjas virtuales y gemelos digitales: simulación de los efectos climáticos en los cultivos”, *Journal of Agricultural Technology*, vol. 15, págs. 56-67, 2023.
- H. Liu y W. Xie, “Desafíos en la adopción de gemelos digitales para la agricultura rural”, *Smart Agriculture*.
- S. Gupta y T. Chan, “Gestión de datos y seguridad en la transformación digital de la agricultura”, *Agricultural Information Systems*, vol. 18, núm. 3, pp. 231-245, 2024.
- R. Zhao et al., “Agricultura autónoma con gemelos digitales e IA: hacia una agricultura sostenible”, *Nature Sustainability*, vol. 3, pp. 24-38, 2024.



Diseño y desarrollo de impresora 3D, para la industria 4.0

design and Development of a 3D Printer for Industry 4.0

Oscar Ricardo Riveros Aguirre ^(*)

Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, Bogotá, Colombia.
raoscarr2020@gmail.com

RESUMEN

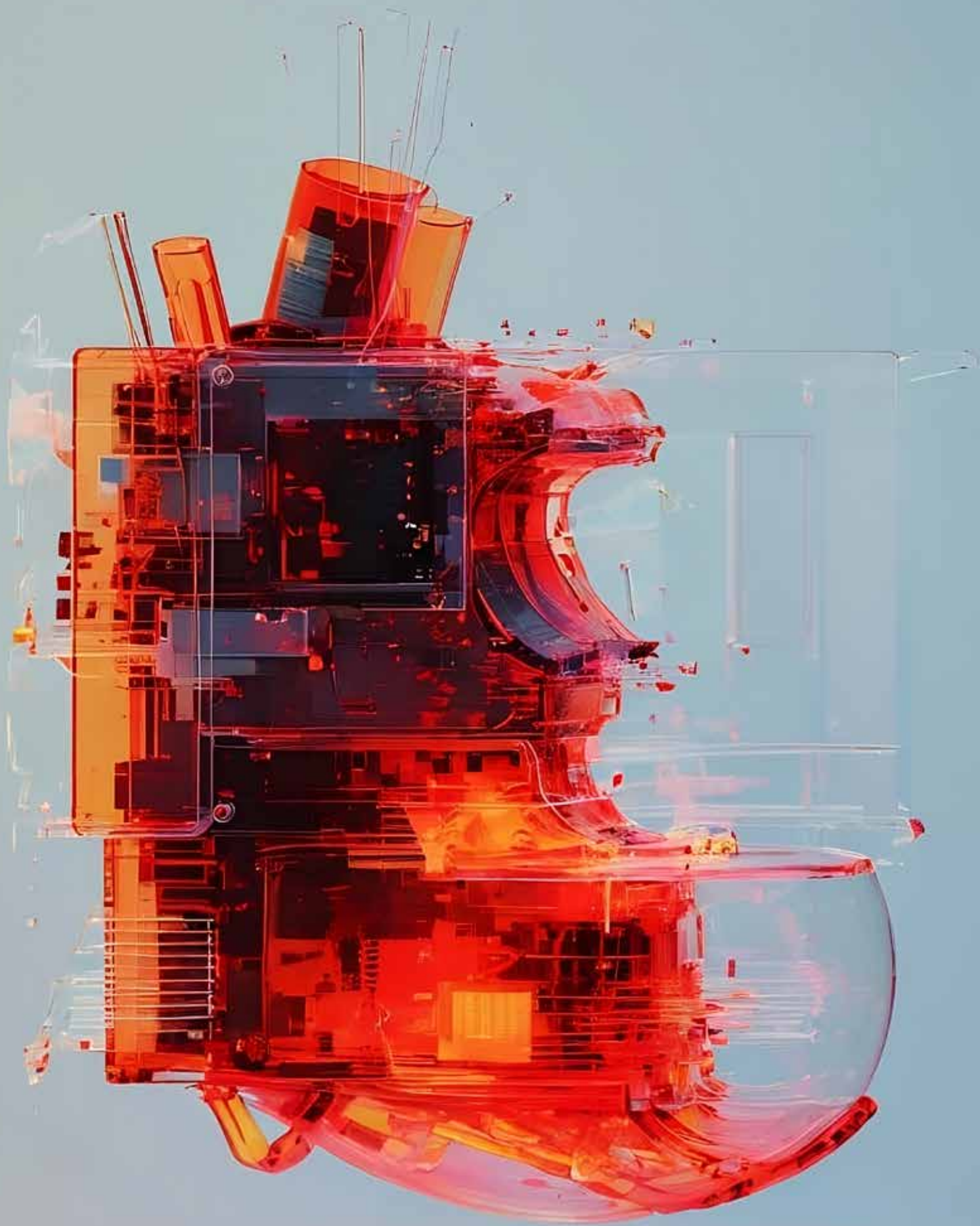
Este proyecto tiene como propósito el diseño y desarrollo de una impresora tipo cartesiana 3D empleando tecnologías disruptivas que integran la creación del gemelo digital con la solución NX de Siemens, y la puesta en marcha un prototipo funcional, permitiendo a través de él, la simulación y optimizar el proceso de impresión. La investigación está centrada en la necesidad de mejorar la precisión y calidad de impresión por medio de materiales biopolímeros como el PLA, PETG, ABS y Nylon mediante la técnica de fabricación aditiva. Finalmente, se abordarán temas técnicos y metodológicos, así como los resultados de la puesta a punto de la máquina.

Palabras Claves: Gemelo digital, Simulación de impresión 3D, Fabricación aditiva.

ABSTRACT

The purpose of this project is to design and develop a Cartesian 3D printer utilizing disruptive technologies that incorporate the creation of a digital twin through the Siemens NX solution. This includes the implementation of a functional prototype, enabling simulation and optimization of the printing process. The research focuses on addressing the need to enhance printing precision and quality by using biopolymer materials such as PLA, PETG, ABS, and Nylon with additive manufacturing techniques. Finally, the study explores technical and methodological aspects, as well as the outcomes of fine-tuning the machine.

Keywords: Digital twin, 3D printing simulation, Additive manufacturing.



1. INTRODUCCIÓN

La fabricación aditiva, también conocida como impresión 3D, engloba una serie de procesos que permiten crear productos o prototipos industriales mediante la técnica de adición de material capa por capa. Entre las técnicas más conocidas se encuentra la impresión con filamento metálico, como titanio, acero inoxidable y aluminio; la sinterización selectiva por láser (SLS), que emplea un láser de alta potencia para sinterizar partículas de polvo y fusionarlas capa por capa, formando un objeto sólido; la estereolitografía (SLA), que utiliza un láser ultravioleta para curar capas sucesivas de resina líquida fotosensible; y el uso de filamentos biopoliméricos como PLA, ABS o nylon, entre otros. Gracias a su capacidad innovadora, esta tecnología permite la creación de piezas complejas y personalizadas, revolucionando diversos campos. Actualmente, la impresión 3D se emplea en una amplia variedad de industrias, como la automotriz, la aeroespacial, la fabricación de prótesis, la robótica, la medicina y la educación, convirtiéndose en una herramienta clave en el proceso de validación de productos^[10].

Sin embargo, los desafíos relacionados con la precisión, el control del proceso y la calidad de impresión continúan siendo relevantes. Este proyecto propone diseñar y construir una impresora cartesiana 3D que incorpore la creación de un gemelo digital, lo que permitirá simular el proceso antes de la impresión física y, de este modo, mejorar los resultados finales [7]. La falta de herramientas adecuadas para detectar errores en el proceso de impresión 3D puede generar desperdicio de materiales, pérdida de tiempo y costos elevados en la fabricación de piezas complejas.

Este proyecto busca abordar estos inconvenientes mediante la integración de un gemelo digital creado en el sistema CAD/CAM/CAE NX de Siemens, que permita anticipar y corregir fallos en el proceso de diseño, y de un prototipo funcional que posibilite realizar pruebas de impresión controlando variables del proceso, como la temperatura de la cama, la temperatura de extrusión y el flujo de aire a través de los ventiladores de capa. Además, se emplearán herramientas informáticas como Visual Studio Code y Pronterface para ajustar las variables de la máquina, tales como los desplazamientos de los ejes y el control de la temperatura de la cama y del extrusor mediante la configuración del PID^[4].

1.1. Planteamiento del problema

La fabricación aditiva, también conocida como impresión 3D, se ha consolidado como una tecnología clave en la creación de piezas complejas y personalizadas. Sin embargo, los desafíos relacionados con la precisión, el control del proceso y la calidad de impresión continúan siendo significativos. La falta de herramientas adecuadas para detectar errores en el proceso de impresión 3D puede generar desperdicio de materiales, pérdida de tiempo y costos elevados, especialmente en la fabricación de piezas complejas.

En este contexto, surge la necesidad de desarrollar soluciones que permitan mejorar estos procesos. Este proyecto busca abordar dichos inconvenientes mediante la integración de un gemelo digital, creado en el sistema CAD/CAM/CAE NX de Siemens, que permita anticipar y corregir fallos en el proceso de diseño. Además, se plantea la construcción de un prototipo funcional que permita realizar pruebas experimentales para controlar y optimizar va-

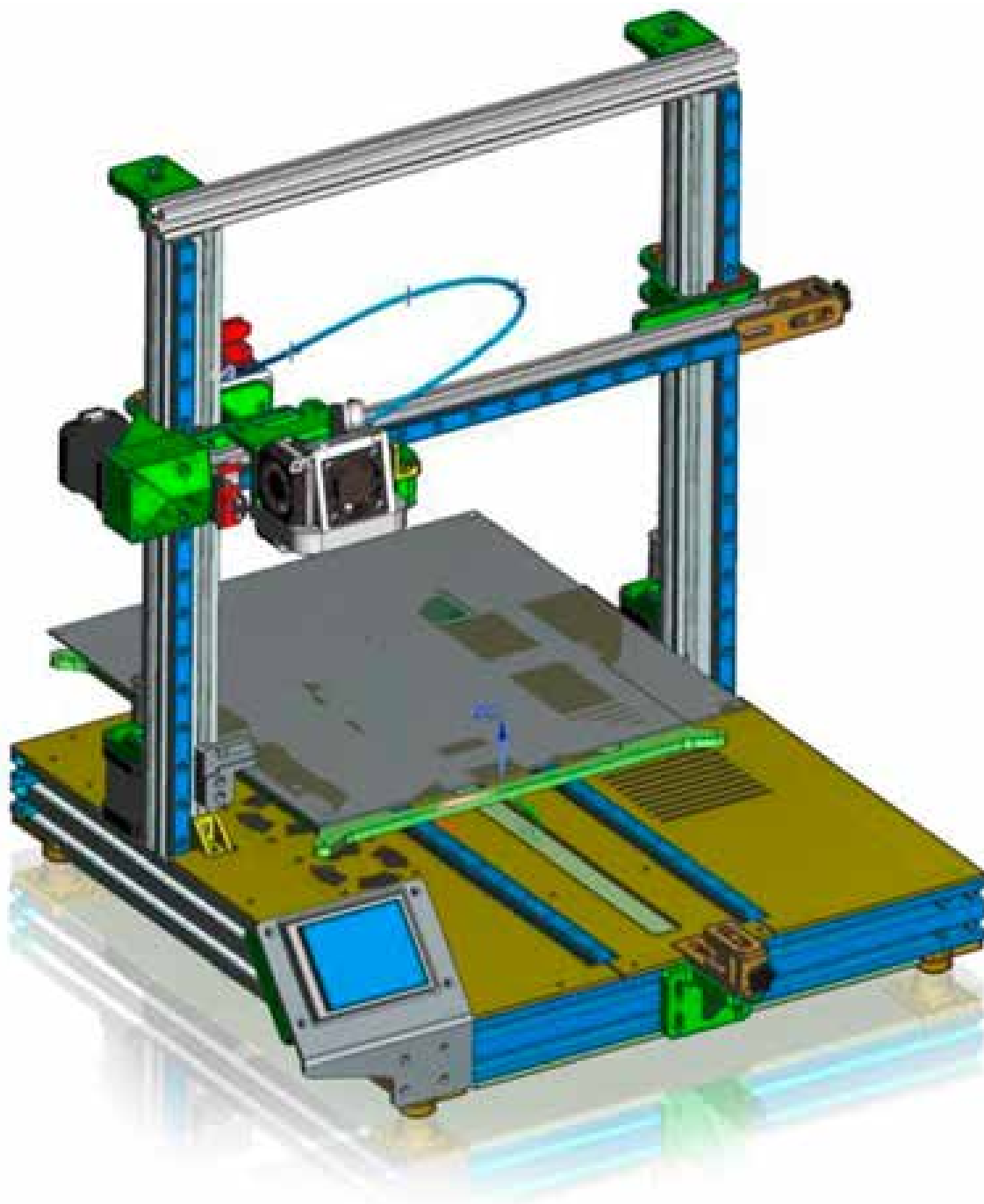


Figura 1. Gemelo digital de la Impresora 3D
Fuente: Propia NX de Siemens

riables críticas del proceso, como la temperatura de la cama, la temperatura de extrusión y el flujo de aire a través de los ventiladores de capa. Asimismo, se emplearán herramientas informáticas como Visual Studio Code y Pronterface para configurar y ajustar parámetros como los desplazamientos de los ejes y la calibración del PID para el control de temperatura.

2. OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una impresora 3D cartesiana que integre un gemelo digital con el prototipo físico, permitiendo la monitorización en tiempo real del proceso de impresión y la optimización de los parámetros de impresión.

2.1. Objetivos específicos

Crear un gemelo digital de la impresora 3D, considerando los componentes mecánicos, electrónicos y de software, que permita optimizar el diseño y evaluar su desempeño antes de la construcción física.

Construir una impresora 3D basada en el gemelo digital, configurando los parámetros de impresión para validar su funcionalidad.

Optimizar diferentes parámetros de impresión, como velocidad, temperatura y flujo de material, para mejorar la calidad de las piezas producidas.

Realizar una serie de pruebas experimentales para validar el desempeño del prototipo y la precisión del gemelo digital.

Para el movimiento de los ejes se implementaron guías lineales tipo Hiwin Mgn12 más rodamientos MGN12H de alta precisión, logrando suavidad en los desplazamientos, alta resistencia al desgaste y bajo ruido. Tal como se observa en la figura 2.

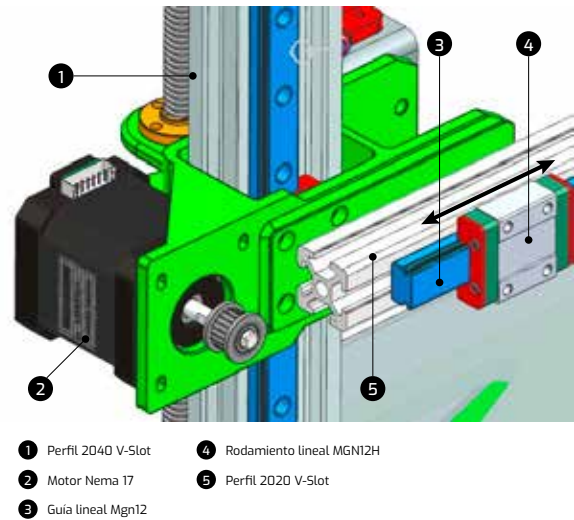


Figura 2. Gemelo digital perfil de Aluminio, Guía lineal, rodamiento, motor nema 17. Fuente: Propia NX de Siemens.

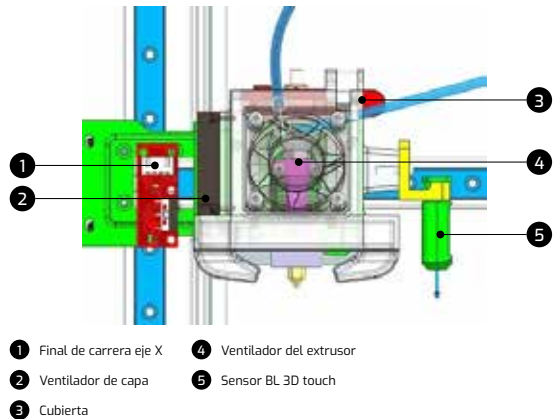


Figura 3. Gemelo digital, extrusor. Fuente: Propia NX de Siemens

Para controlar el movimiento del eje X se empleó un motor paso a paso Nema 17, integrado con sistema de transmisión por polea de 20 dientes, 5 mm de diámetro y correa dentada Gt2 6mm de ancho, lo que permite que el movimiento sea sincrónico y no haya pérdida de paso en cada giro del motor. Sobre este eje se encuentra también el sistema de extrusión el

cual está formado por una cubierta impresa en PLA, un ventilador de capa, un ventilador que suministra flujo de aire al disipador y un sensor de auto nivelación BLTouch, el cual además de servir como final de carrera del eje Z, proporciona la funcionalidad de nivelación de la cama caliente, como de aprecia en la figura 3.

La alimentación de filamento para extrusor se realiza en forma indirecta por medio del sistema Bowden, el cual está integrado por un motor Nema 17, tubo de teflón de 4mm, que se comunica con el sistema de extrusión, compuesto por un disipador, un bloque de aluminio en que se incorpora una boquilla de 0,4mm, un termistor 100 K NTC B 3950 $\pm$ 1%, ofreciendo un rango de temperatura de -40 a 260 °C, tubo de calentamiento de 12 V 40 Watts.

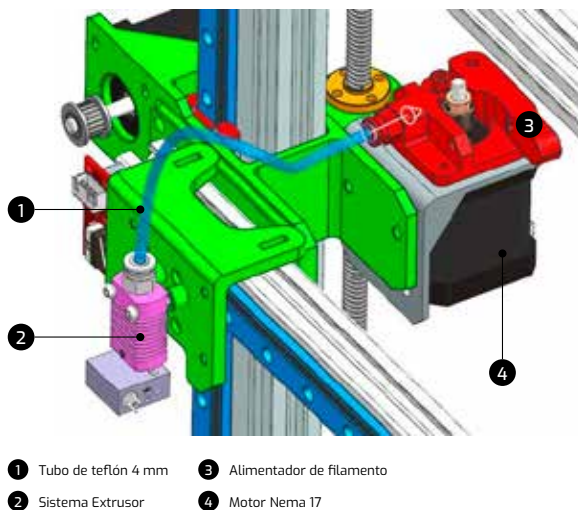


Figura 4. Gemelo digital del sistema extrusor.
Fuente: Propia NX de Siemens.

A su vez en el eje z se emplearon dos motores Nema 17 controlados en forma sincrónica por el mismo drive TMC2208 y un módulo para la conexión en paralelo splitter 2-1, cada motor se ensambla por medio de un acople flexible a una varilla roscada trapecoidal de 8mm, paso

4mm y de 350mm de longitud, el eje X se acopla a través de dos soportes impresos en PLA unido a las varillas roscadas por medio de tuercas antirretorno, lo que evita la pérdida de paso en el movimiento vertical. Ver figura 5.

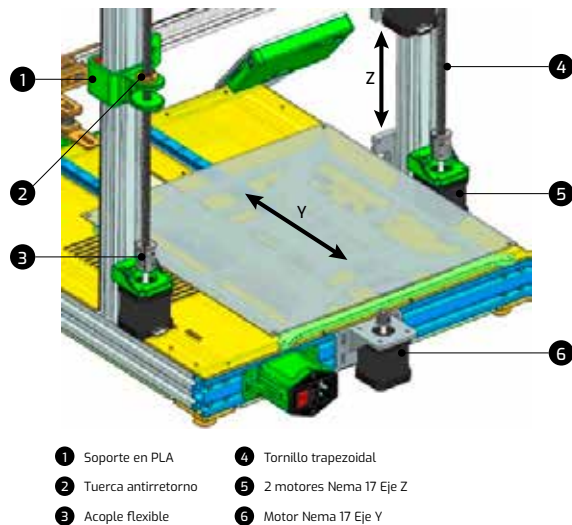


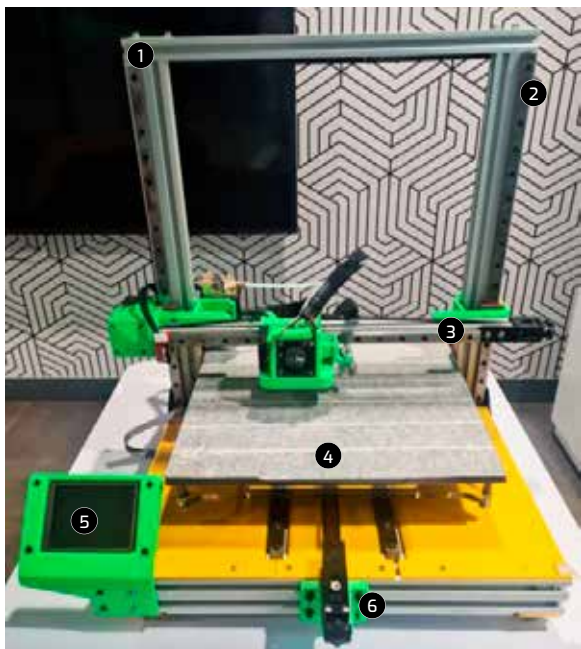
Figura 5. Gemelo digital eje dual Z, Eje Y.
Fuente: Propia NX de Siemens.

Por su parte el eje Y se acciona por medio de un motor paso a paso Nema 17, acoplado a una correa gt2 de 6 mm de ancho y paso 2mm, el movimiento es controlado a través de guías líneas tipo Hiwin Mgn12 más rodamientos MGN12H, como se muestra en la figura anterior.

Desarrollo del prototipo funcional: la construcción de prototipo funcional se emplearon componentes estándares como los perfiles de la estructura 2020 y 2040 V- Slot, guías líneas tipo Hiwin Mgn12 más rodamientos MGN12H para el movimiento de los ejes X, Y, Z, del mismo modo, se integró una pantalla táctil MKS TFT32 lo que permitió facilitar la operación de la impresora 3D. Como se aprecia en la figura 6.

Igualmente, varios componentes diseñados en el gemelo digital fueron impresos a través

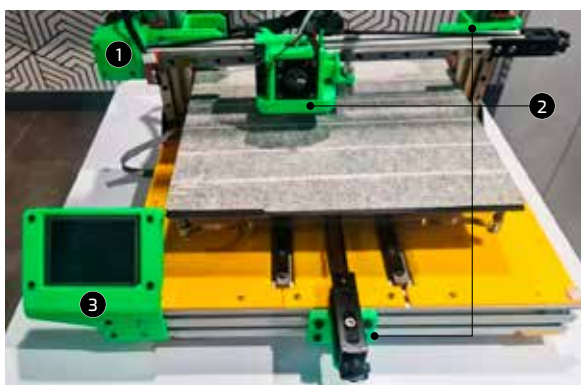
de la técnica de fabricación aditiva, utilizando filamento de PLA de 1,75 mm. Gracias a este proceso se logró la validación de diversas alternativas de diseño. Ver figura 7.



- | | |
|---|--------------------------|
| 1 Perfil 2040 V-Slot | 4 Guía lineal Mgn12 |
| 2 Cama Caliente Aluminio 300 X 300mm Mk2a | 5 Perfil 2020 V-Slot |
| 3 Pantalla Táctil | 6 Tensor de correa Eje Y |

Figura 6. Prototipo funcional impresora Cartesiana 3D.

Fuente: Elaboración propia.

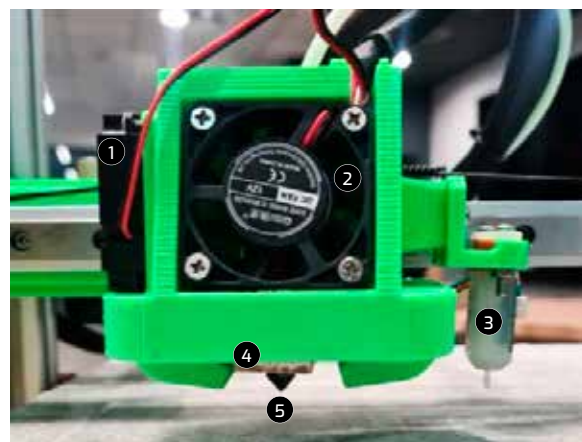


- | |
|-------------------------------|
| 1 Soporte motor Nema 17 Eje X |
| 2 Soporte en PLA |
| 3 Cubierta Pantalla Táctil |

Figura 7. Prototipo funcional: Componentes impresos en PLA.

Fuente: Elaboración propia.

El sistema de extrusión es el corazón de la impresora 3D, encargado de fundir el filamento y depositarlo capa a capa para dar la forma del producto. Este sistema está compuesto por un ventilador de capa, cuya función es enfriar cada capa depositada, asegurar la adhesión y evitar deformaciones. El ventilador del extrusor, enfría el bloque y la boquilla de 4 mm mantiene la temperatura constante y evita el atascamiento del filamento por sobrecalentamiento. Un sensor BL Touch, el cual cumple tres funciones; en primer lugar, permite la nivelación de la cama, en segundo lugar, facilita calibrar la distancia entre la boquilla y la cama de impresión (z offset) y finalmente, hace las veces de final de carrera del eje Z, garantizando una primera capa uniforme y adherente. Ver figura 8. ^[9].



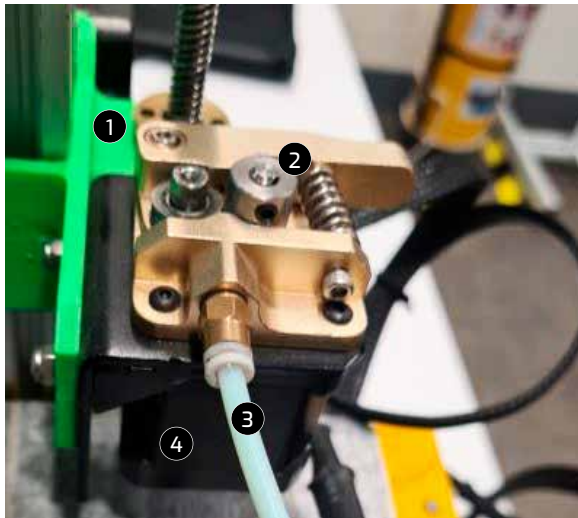
- | | |
|---------------------------|-------------------------|
| 1 Ventilador de Capa | 4 Bloque calefactor |
| 2 Ventilador del extrusor | 5 Boquilla de extrusión |
| 3 Sensor BL touch | |

Figura 8. Prototipo funcional: Sistema extrusor.

Fuente: Elaboración propia.

Por su parte, el sistema de alimentación se encarga de suministrar el filamento de manera constante y controlada. Está compuesta por un motor nema 17, un engranaje empujador de filamento ensamblado con un engranaje y a una polea, entre los dos presionan el filamento ase-

gurando un empuje suave y sin deslizamiento. Finalmente, un tubo de teflón flexible y resistente al calor el cual sirve de guía del filamento desde el alimentador hasta la boquilla, evitando que el filamento de doble o se enrede. Como puede verse en la figura 9^[2].



- | | |
|-------------|------------------|
| 1 Polea | 3 Tubo de teflón |
| 2 Engranaje | 4 Motor nema 17 |

Figura 10. Prototipo funcional: Sistema de alimentación.
Fuente: Elaboración propia.

Además, se empleó una placa base de control MKS Gen L V2.1 integrada con cuatro drivers TMC2209, cinco motores nema 17, dos finales de carrera uno para el eje X y otro para el eje Y, un sensor de auto nivelación BLTouch, dos ventiladores, un termistor 100 K NTC B 3950 $\pm$ 1% para el extrusor, un termistor Ntc 3950 100k para la cama caliente las conexiones se muestran en la figura 10.

2.2. Configuración del Firmware

Para este proceso, se empleó Visual Studio Code como el entorno de desarrollo (IDE), junto con la extensión PlataformIO, para configurar y compilar el firmware Marlin 2.1.2.1. Los

principales archivos de configuración Configuration.h y Configuration_adv.h., permiten ajustar parámetros como los ejes X, Y, Z, E (extrusor), pasos por mm, límites del movimiento, Z offset, temperaturas del extrusor y la cama caliente, los ventiladores de enfriamiento, el sensor de nivelación de la cama BLTouch, y la placa de control.

Gracias a Visual Studio Code, y la aplicación plataformIO se logró compilar rápidamente los parámetros en la tarjeta madre MKS Gen L V2.1

2.3. Optimización del proceso de impresión

Antes de iniciar las pruebas de impresión es necesario realizar varios procesos de calibración y ajuste de la máquina. Para ello se ha empleado el sistema pronterface, un software de control de impresoras 3D, que ofrece diversas herramientas para monitorear y ajustar en tiempo real los parámetros de la máquina. Entre estos parámetros se encuentran: los desplazamientos de los ejes X, Y, y Z, el PID para el control de la temperatura del extrusor y de la cama caliente, la alimentación del filamento y nivelación de la cama. Todo lo interior, con el objetivo de encontrar los parámetros óptimos obteniendo impresiones precisas y de alta calidad. A continuación, se detallan cada una de estas pruebas.^[6]

2.4. Calibración de los desplazamientos en los ejes X, Y, y Z de la máquina

Para realizar esta prueba, es necesario conectar la máquina, a través del puerto serie de placa controladora MKS GEN L V2.1, al PC. Se debe definir una marca de referencia en el eje X de la máquina. A continuación, en el sistema pronterface se envía la orden de desplazamiento 100 mm en el eje X. Posteriormente con un

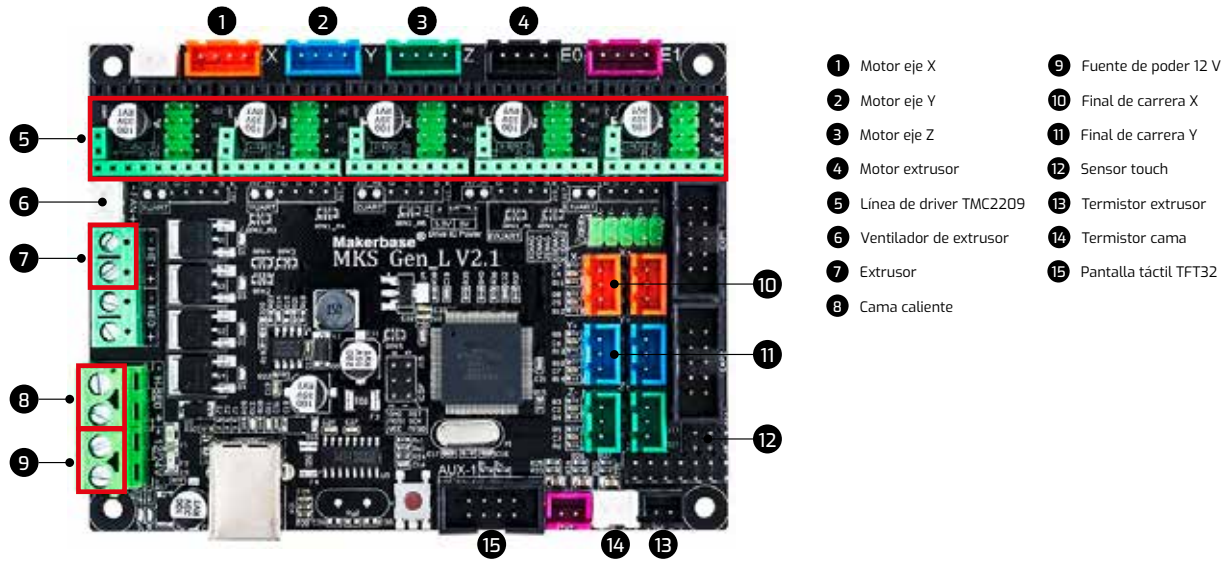


Figura 11. Diagrama de conexiones: placa base de control MKS Gen L V2.1. Fuente: <https://www.makerbase.store/>

pie de rey preferiblemente digital, se mide la distancia real realizado por sistema de extrusión. Para los demás ejes Y y Z se procede de forma similar hasta obtener la mayor precisión. El cálculo de los nuevos valores, los pasos por milímetro de cada eje están definidos con Ecuación 1. Esta calibración asegura que los desplazamientos de la maquina coincidan con las ordenes enviadas desde el software mejorando la precisión y calidad de impresión.

$$\text{Nuevo valor} = \frac{\text{Valor actual pasos del eje X} * \text{Distancia deseada}}{\text{Distancia medida}}$$

Ecuación 1: Calibración del sistema de alimentación del filamento

$$\text{Nuevo valor} = \frac{\text{Valor actual pasos del extrusor} * \text{Distancia deseada}}{\text{Distancia medida}}$$

Ecuación 2: Nivelación de la cama caliente

2.5. Calibración del sistema de alimentación del filamento

Una vez conectada la maquina al PC y configurada la temperatura de extrusión a 180 °C en pronterface, se debe esperar a que el termistor alcance este valor. Esto permitirá el accionamiento del motor nema 17. A continuación, se marca una referencia sobre el filamento. Enseguida, se envía una orden desde Pronterface para extruir 100 mm de filamento. Posteriormente, con un pie de rey digital, se mide la longitud real del filamento extruido. Si la longitud real no coincide con la ordenada, es necesario ajustar los pasos del motor empleando la Ecuación 2. Para ello, se ajustan los valores correspondientes Visual Studio Code, en el archivo Configuration.h, cargando los cambios en la tarjeta de control MKS Gen L V2.1., o a través del comando M92 EXX, donde XX es el nuevo valor calculado para los pasos de extrusor. Este proceso se repite hasta obtener una diferencia mínima entre la longitud ordenada y la real.

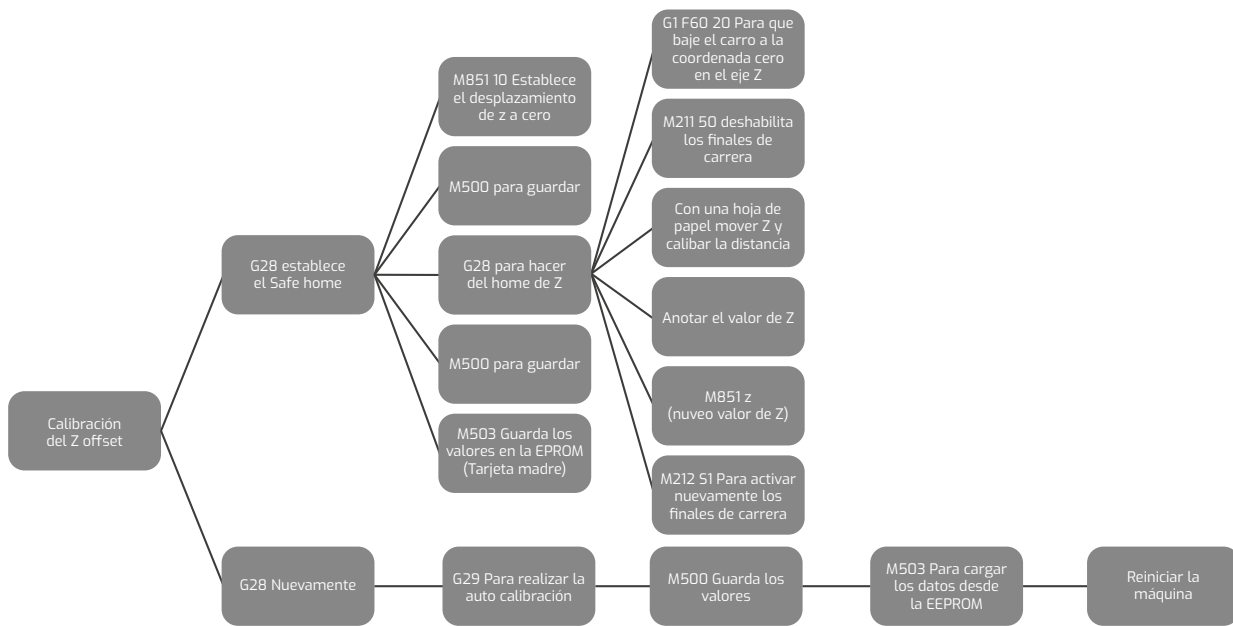


Figura 11. Proceso de calibración de z offset, nivelación de la cama caliente. Fuente: Elaboración Propia.

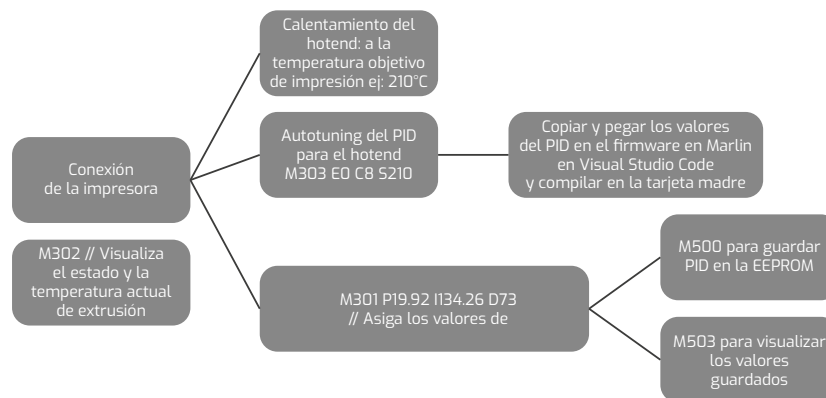


Figura 12. Proceso de calibración del PID del extrusor (hotend). Fuente: Elaboración propia.

Para determinar la nueva configuración de los pasos del extrusor, se emplea la Ecuación 2. [8].

2.6. Nivelación de la cama caliente

Para este proceso, se empleó Pronterface. Se conectar nuevamente la maquina por el puerto serie al PC y se enviaron los siguientes comandos en Gcode, primero que todo se debe

activar el auto leveling con la instrucción M420 S1, luego enviar todos los ejes a la posición home a través de G28. Posteriormente, realizar el proceso de toma de puntos con el sensor BLTouch G29. Enseguida con M500 se guardan los parámetros en la memoria EEPROM. Con M501 se activa los parámetros de la configuración actual de la memoria. Finalmente, con

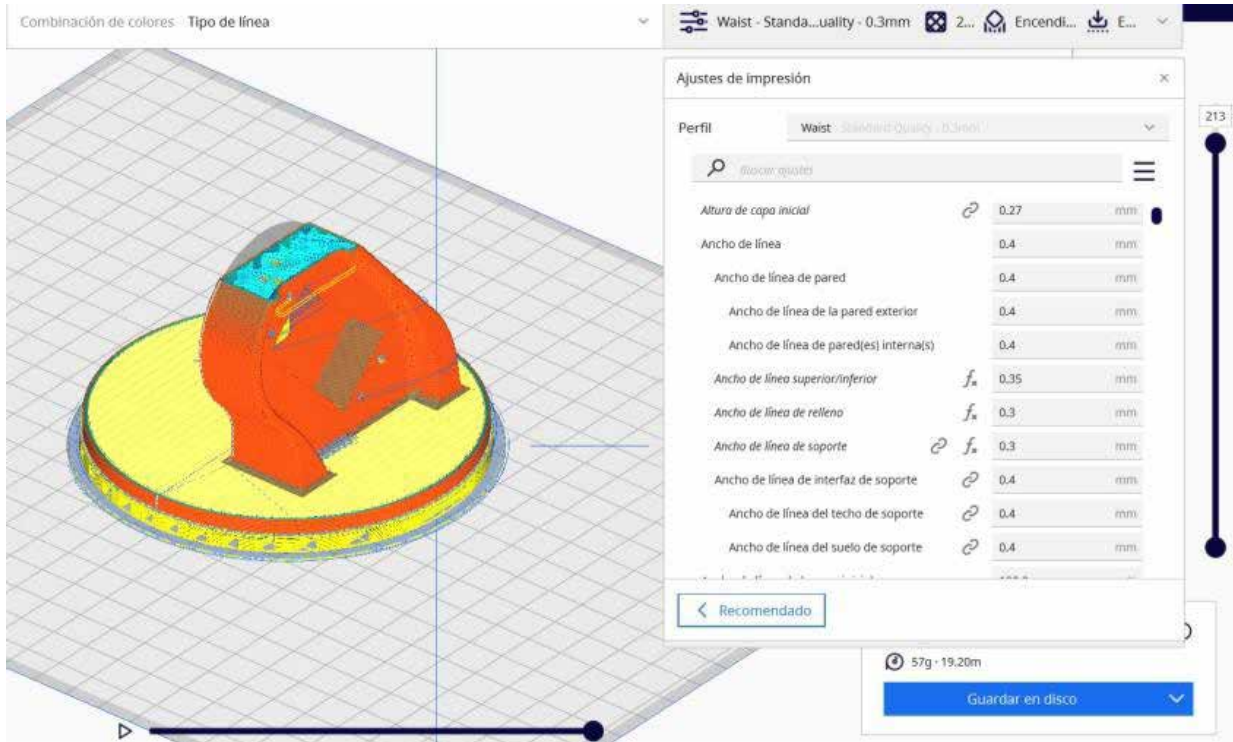


Figura 13. Pruebas de configuración. Fuente: Software de laminación Ultimaker Cura 5.5.0

M503 se visualizan los parámetros actualizados y con M420 Si se pone en ON el autoleveling guardado en la EEPROM. Ver figura 11.

2.7. Calibración del PID del extrusor y la cama caliente.

Para realizar este proceso, se utiliza la función de autoajuste (autotuning) del PID del extrusor mediante el comando en Gcode M303 E0 C8 210. Durante el autoajuste, la impresora mostrará en la consola de Pronterface una serie de comandos y valores para Kp, Ki y Kd. Estos valores pueden guardarse en la EEPROM empleando el código M301 o bien copiarse y pegarse en el firmware para luego cargarlo en la tarjeta de control. [8].

En el caso del PID de la cama caliente, se usa el comando M303 E-1 C8 S65. Los valores

obtenidos se ajustan en el archivo Configuración.h desde Visual Studio Code. Ver figura 12.

2.8. Validación experimental

Se imprimió una serie de piezas de prueba utilizando diferentes configuraciones de impresión. Se compararon las piezas impresas con los modelos CAD y se evaluarán la precisión, la calidad superficial y la repetibilidad. [5].

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se utilizaron diferentes herramientas de simulación que permitieron la optimización en cada proceso desde el diseño hasta construcción del prototipo de la impresora 3D. En primer lugar, en NX a partir de la aplicación llamada movimiento se realizó el análisis del de los desplazamientos y el análisis cinemático de cada uno de los ejes ver Figura 14.

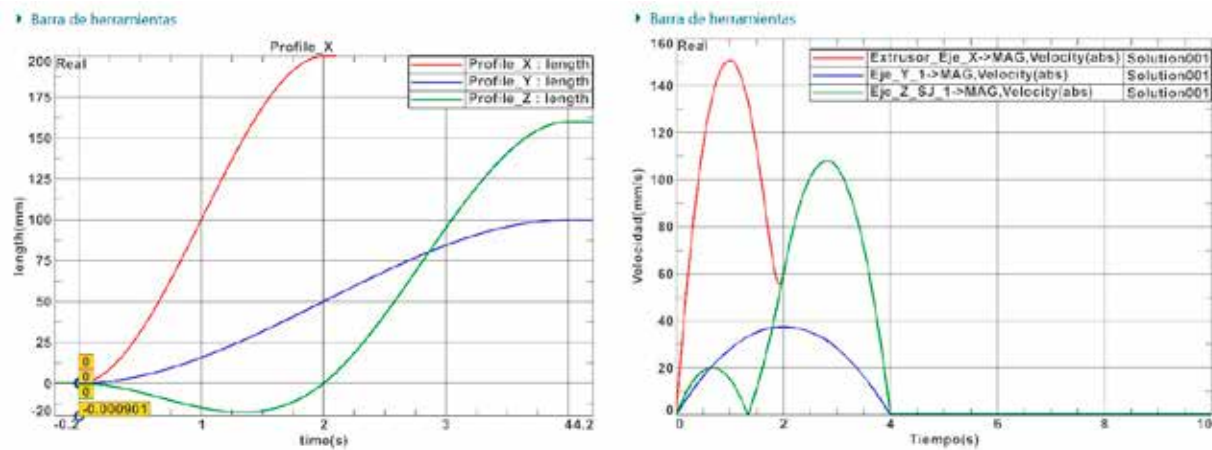


Figura 14. Análisis cinemático a). Desplazamiento de los ejes x, y, z. b) Velocidad absoluta de x, y, z. Fuente: Propia NX de Siemens aplicación de Movimiento.

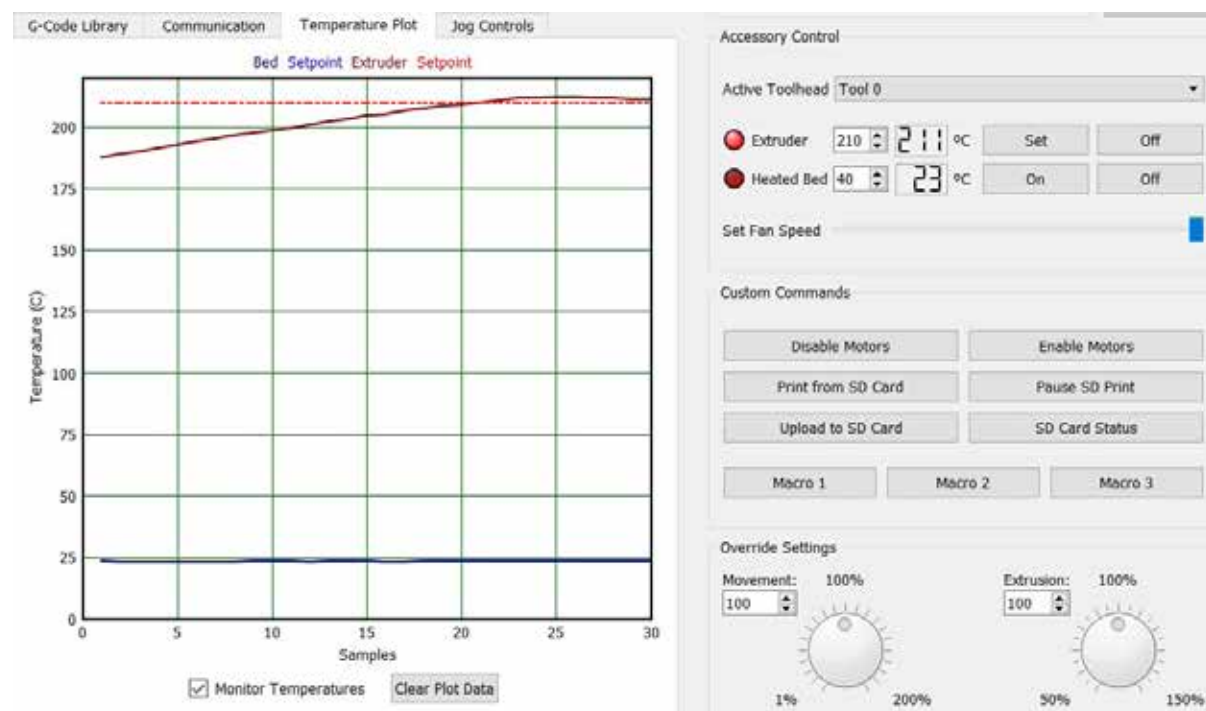


Figura 15. Calibración del PID del extrusor
Fuente: Software Simplify3D.

Otro proceso que se llevó a cabo, fue la calibración de PID de extrusor y la cama caliente utilizando la función autoajuste en el software Simplify3D. Para este proceso se fijó la temperatura objetivo del extrusor a 210 °C con el ventilador al 100%. Los valores PID resultantes de representan en la tabla 1. y se muestran en la figura 15.

De acuerdo a la observación la temperatura del extrusor se estabiliza rápidamente respondiendo el control IPD. Esta temperatura de 210 °C se mantiene en una zona de tolerancia de $\pm 0,1$ °C lo que permite asegurar la estabilidad del proceso y calidad de las impresiones.

Tabla 1. Constantes del control PID

Fuente: Software Simplify3D.

Calibración	Kp:	Ki:	Kd:
1	20.00	1.23	81.11

La calibración de la nivelación de la cama se realiza de manera iterativa utilizando el sensor BLTouch. Inicialmente, se envía el comando G8, para llevar los ejes de la maquina a la posición de origen (homing). A continuación, se ejecuta el comando G29, lo que hace que el sensor de nivelación inicie una secuencia de escaneo de la posición Z en cada punto de contacto con la cama formando una cuadrícula de 9 puntos. Los datos obtenidos de este proceso se muestran en la tabla 2. Con base en esta información, se procede a ajustar manualmente las tuercas de la cama hasta lograr una la menor dispersión. [3].

X0	-1	-0,585	0
Y0		Y1	Y2
X1	-0,39	0,055	0,375
X2	0,285	0,438	0,262

Tabla 2. Malla de nivelación bilineal

Fuente: Software Pronterface



Figura 16. Nivelación de la cama

Fuente: Prototipo funcional.

4. CONCLUSIONES

El gemelo digital es una herramienta poderosa que permite optimizar del diseño, al simular del comportamiento de los parámetros de la máquina. Esta simulación facilita el dimensionamiento y ensamble de los componentes, así como el análisis cinemático de los movimientos. Como resultado, se redujo significativamente los tiempos de fabricación.

La calidad de impresión depende en gran medida de la adherencia de la primera capa en la cama de impresión. Para mejorar este proceso se propone añadir un segundo ventilador de capa al extrusor y realizar los ajustes de los parámetros de impresión en el software Ultimaker Cura 5.5.0, como la velocidad y temperatura de las primeras capas. Estos cambios permitirán obtener piezas sólidas y con menos deformaciones.

Para evitar atascos del filamento, es crucial asegurar el correcto funcionamiento del alimentador y la ventilación del disipador térmico del extrusor. Antes de cada impresión, se recomienda realizar una prueba de extrusión de material verificando que la boquilla este libre de obstrucciones.

Las condiciones ambientales como la humedad y la temperatura del entorno, afectan significativamente la calidad y precisión de impresión. Para asegurar resultados óptimos, se aconseja realizar el procedimiento de calibración del PID de la temperatura del extrusor y de la cama en forma regular, antes de realizar cada impresión o cuando la impresora se traslade a otro sitio.

Antes de iniciar las pruebas de impresión es necesario realizar varios procesos de calibración

y ajuste de la máquina. Entre estos parámetros se encuentran: los desplazamientos de los ejes X, Y, y Z, el PID para el control de la temperatura del extrusor y de la cama caliente, la alimentación del filamento y nivelación de la cama.

Finalmente, se pueden generar plantillas con la configuración de los parámetros de impresión, dependiendo el tipo y características de cada pieza, esto se logra realizando pruebas de impresión obteniendo productos de buena calidad y precisión. 

REFERENCIAS

- Bowyer, A. (2010). Impresión 3D: Diseño y fabricación digital. Marcombo.
- A. Saldaña, M. L. (2021). Predicción de propiedades mecánicas de PoliÁcido Láctico (PLA) procesado mediante moldeo por compresión y fabricación aditiva (FDM). Revista española de mecánica de la fractura, , 137-144.
- Almeida Boderó, I., Sotomínguez Espinoza, G., & Cisneros Pérez, N. (2021). Aplicación de la manufactura aditiva en el procesamiento de alimentos. Polo del Conocimiento: Revista científico - profesional, 837-856.
- Bhushan, B. (2015). Handbook of 3D Printing. Springer.
- Chua, C. K. (2021). Topology optimization in additive manufacturing: Design for additive manufacturing. Springer.
- Gibson, I. (2015). Additive Manufacturing Technologies. Springer.
- Pearce, J. (2015). 3D Printing in Architecture. . Routledge. repara3d. (02 de 10 de 2024). Obtenido de <https://repara3d.com/calibracion-pasos-y-pid#calibracion-del-pid-proporcional-integral-derivativo>
- Sánchez, M. (2021). Fabricación aditiva: Un nuevo paradigma en la industria. Marcombo.
- Simpson, T. C. (2015). Diseño para fabricación aditiva. Alfaomega.

Herramientas Digitales que Integran la Formación Educativa del Técnico en Sistemas del SENA

Digital Tools that Integrate the Educational Training of the Systems Technician at SENA

Tulia Luna Bucurú⁽¹⁾

Henry de Jesús Gallardo Pérez⁽²⁾

Cesar Augusto Hernández Suarez⁽³⁾

1. Ingeniera de Sistemas, Universidad Católica, ORCID 0009-0004-2849-4564
Maestrante TIC Aplicadas a la Educación, Bogotá, Colombia
tulialb@ufps.edu.co,

2. Doctor en Educación, Universidad Francisco de Paula Santander (UFPS). ORCID: 0000-0003-4377-3903 Investigación senior Min Ciencias Cúcuta, Colombia, Cúcuta Colombia
henrygallardo@ufps.edu.co

3. Doctor en Educación, Universidad Francisco de Paula Santander (UFPS). ORCID: 0000-0001-6145-1786
Investigación senior Min Ciencias, Universidad Francisco de Paula Santander, Cúcuta, Colombia.
cesaraugusto@ufps.edu.co

RESUMEN

La formación de técnicos en sistemas en el SENA puede beneficiarse enormemente del uso de diversas herramientas digitales. Estas herramientas no solo facilitan el aprendizaje, sino que también preparan a los estudiantes para enfrentar los desafíos del mundo laboral actual. En tal sentido, la presente investigación se enmarcó en el objetivo de Optimizar el uso de herramientas digitales en el proceso formativo del Técnico en Sistemas del CEET - SENA, fortaleciendo las competencias tecnológicas de los aprendices para mejorar su preparación en el sector productivo y aportar valor a la gestión educativa y la competitividad empresarial. El proceso metodológico estuvo orientado por el enfoque cuantitativo, desde una investigación de campo y desde el diseño no experimental, la población compuesta por empresarios y aprendices relacionados con el programa de Técnico en Sistemas del SENA. Los principales resultados parten de la necesidad de integrar estas herramientas digitales en el proceso formativo del Técnico en Sistemas del SENA.

Palabras Claves: Herramientas tecnológicas, formación, técnico en sistemas, aprendizaje significativo.

ABSTRACT

The training of systems technicians at SENA can greatly benefit from the use of various digital tools. These tools not only facilitate learning but also prepare students to face the challenges of the modern labor market. This research aimed to optimize the use of digital tools in the training process for Systems Technicians at CEET-SENA, enhancing the apprentices' technological competencies to improve their readiness for the productive sector and contribute value to educational management and business competitiveness. The methodological process was guided by a quantitative approach, employing field research and a non-experimental design. The study population consisted of entrepreneurs and apprentices associated with the SENA Systems Technician program. The main findings highlight the need to integrate these digital tools into the training process for Systems Technicians at SENA.

Keywords: Technological tools, training, systems technician, meaningful learning.



1. INTRODUCCIÓN

La formación educativa del Técnico en Sistemas del Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA) en Colombia se ha visto enriquecida por la incorporación de diversas herramientas digitales que facilitan el aprendizaje y la enseñanza. Estas herramientas no solo permiten a los Aprendices acceder a una amplia gama de recursos, sino que también fomentan un entorno de aprendizaje más dinámico e interactivo.

En un mundo cada vez más digitalizado, es fundamental que los futuros técnicos en sistemas estén equipados con las competencias necesarias para enfrentar los desafíos del mercado laboral. Una de las herramientas digitales más relevantes en la formación del Técnico en Sistemas es el uso de plataformas de gestión del aprendizaje, como Moodle. Esta plataforma permite a los instructores crear cursos en línea, donde pueden subir materiales didácticos, realizar evaluaciones y fomentar la interacción entre estudiantes y docentes.

A través de Moodle, los estudiantes pueden acceder a contenidos multimedia, participar en foros de discusión y realizar actividades prácticas que complementan su formación teórica. Esto no solo mejora la accesibilidad al conocimiento, sino que también promueve el aprendizaje autónomo y colaborativo.

Ante ello, Herrera Ordoñez (2017) plantea que la realidad sociohistórica que enfrenta Colombia, y en particular el contexto educativo del SENA, resalta la urgente necesidad de integrar herramientas digitales que respondan a las dinámicas contemporáneas.

Asimismo, Siemens (2017) considera que es importante considerar el contexto social y cultural en el cual se desarrolla esta formación.

Las herramientas digitales deben ser accesibles para todos los aprendices, independientemente de su situación socioeconómica. Esto implica no solo proporcionar acceso a dispositivos tecnológicos, sino también garantizar que todos los estudiantes tengan las habilidades necesarias para utilizarlos eficazmente.

La inclusión digital es clave para evitar perpetuar desigualdades existentes y asegurar que todos los aprendices puedan beneficiarse plenamente de las oportunidades educativas.

Por tal motivo, la integración de herramientas digitales en la formación del Técnico en Sistemas del SENA es una necesidad imperante ante la realidad socio-histórica actual. Para lograrlo, es fundamental revisar constantemente la función educativa y adaptar las metodologías a las demandas contemporáneas.

La propuesta de transformar la educación del Técnico en Sistemas del SENA a través del uso de herramientas digitales, como sugieren Torres y Franco (2016), es un paso crucial hacia la modernización de los procesos educativos. Esta transformación implica romper con las estructuras rígidas de la pedagogía tradicional que aún predominan en muchos espacios escolares, donde el aprendizaje se basa en la memorización y la repetición. En lugar de ello, se debe fomentar un enfoque más dinámico y participativo que permita a los estudiantes interactuar con el conocimiento de manera significativa.

En el contexto local, se presentan el trabajo de grado de maestría de Páez (2024) el cual fue titulado “La vinculación de las TIC como alternativa adaptable para una mejor práctica pedagógica de los docentes de educación básica primaria”. En tal sentido, se aborda un tema crucial en el contexto educativo actual, donde la

integración de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) se vuelve esencial para mejorar la calidad educativa.

Finalmente, se presenta el trabajo de grado de maestría de García (2022) la cual fue titulada: “Propuesta didáctica innovadora para el desarrollo de la enseñanza con el uso de las TIC”. se centró en la creación de una propuesta que fomente el aprendizaje autónomo a través de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) en el contexto del Colegio Militar Matamoros D’Costa, ubicado en Cúcuta, Norte de Santander

La investigación fue realizada en el Centro Metalmecánico, específicamente en el programa tecnológico de Diseño e Integración de Automatismos Mecatrónicos. Incluyó la aplicación de cuestionarios a 13 aprendices y 5 instructores, además de entrevistas focales con los instructores. A través de estas herramientas, se identificaron diversas estrategias implementadas por los instructores para promover el desarrollo de la autorregulación emocional en los aprendices, con el fin de mejorar los procesos formativos.

2. METODOLOGÍA

2.1. Enfoque de la investigación

El enfoque cuantitativo adoptado para el desarrollo metodológico de la investigación sobre el uso de herramientas digitales en la formación de técnicos en sistemas se fundamenta en la premisa de que los fenómenos educativos pueden ser medidos y analizados de manera objetiva. Según Corral, Fuentes, Maldonado y Brito (2002), este enfoque permite cuantificar variables y obtener resultados que se expresan numéricamente, lo que facilita una interpreta-

ción clara y precisa de los datos recolectados. En este contexto, el uso de herramientas digitales se convierte en un fenómeno que puede ser evaluado a través de métricas específicas, permitiendo así una comprensión más profunda de su impacto en el proceso educativo.

Es importante destacar que el enfoque cuantitativo no excluye la posibilidad de complementar los hallazgos con enfoques cualitativos en futuras investigaciones. Si bien esta fase inicial se centra en la medición objetiva y numérica, un análisis posterior podría incluir entrevistas o grupos focales con docentes y estudiantes para profundizar en sus experiencias con las herramientas digitales.

2.2. Diseño de la investigación

El desarrollo de la investigación sobre el uso de herramientas digitales en la formación de técnicos en sistemas se fundamenta en un diseño no experimental, lo que implica que el investigador observa y mide las variables tal como se presentan en su contexto natural, sin realizar manipulaciones deliberadas. Según Balbo (2005), este tipo de diseño permite una observación más auténtica de los fenómenos, ya que se evita la introducción de factores externos que podrían alterar los resultados. En este sentido, la investigadora se posiciona como una observadora objetiva, enfocándose en recolectar datos que reflejen la realidad del uso de herramientas digitales en el programa técnico.

2.2.1 Población y muestra

Para realizar el cuestionario, se definió una población objetivo-compuesta por empresarios y aprendices relacionados con el programa de Técnico en Sistemas del SENA. En el caso de los empresarios, la muestra fue tomada de la mesa



Figura 1. Ambientes de formación adaptados para la competición de WorldSkills

sectorial, que incluye aquellos interesados en contar con aprendices productivos y capacitados en sus empresas. La población total de empresarios en la mesa sectorial es de aproximadamente 20, de los cuales 12 accedieron voluntariamente a responder el cuestionario, ofreciendo una perspectiva fundamentada en su experiencia con aprendices en etapa productiva. Estos empresarios, con entre 2 y 3 aprendices cada uno en sus empresas, proporcionan una visión adecuada para evaluar el impacto del proceso formativo en contextos laborales reales.

Para el grupo de aprendices, se seleccionaron 25 estudiantes de un total de 90 matriculados en el programa de Técnico en Sistemas. Los estudiantes fueron elegidos utilizando un método aleatorio simple, garantizando representatividad en la muestra. A estos 25 aprendices se les aplicó un cuestionario de 10 preguntas, diseñado para indagar sobre sus experiencias y percepciones del proceso formativo.

Se considera oportuno justificar el tamaño de esta muestra, dado que aunque se mantiene dentro de los márgenes de representatividad, se recomienda explorar alternativas que incrementen la fiabilidad de los datos obtenidos. Una opción es aumentar el tamaño de la muestra de empresarios y aprendices o, en su defecto, complementar el análisis con un enfoque cualitativo más profundo, como entrevistas adicionales a otros empresarios o empleadores. La inclusión de más aprendices permitiría obtener datos más robustos y representativos de sus experiencias, lo cual fortalecería la validez de los resultados y ofrecería un panorama más detallado de su proceso de aprendizaje.

Asimismo, se recabaron testimonios de dos empresarios de la mesa sectorial, quienes expresaron su interés en mejorar los procesos de formación dentro de la etapa productiva. Estos testimonios proporcionan una dimensión cualitativa adicional que enriquece el análisis sobre



Figura 2. Preparación de equipos para el evento de WorldSkills

la necesidad de ajustar la formación a las demandas del sector productivo.

2.2.2. Instrumentos de Medición y Técnicas

Con el objetivo de evaluar e incrementar la productividad de los aprendices durante su etapa productiva en las organizaciones, se aplicarán encuestas a dos poblaciones: empresarios y aprendices. Para los empresarios, que participan en la mesa sectorial y cuentan en promedio con entre dos y tres aprendices en sus empresas, se seleccionaron 12 participantes. A los aprendices, del programa de Técnico en Sistemas, se seleccionó una muestra aleatoria de 25 estudiantes de un total de 90, buscando representatividad y profundidad en los datos recolectados. Además, se recabaron testimonios de dos empresarios interesados en mejorar el proceso formativo.

Las encuestas buscan medir distintos constructos clave (como conocimiento, desempeño y motivación) y fueron diseñadas para ser acce-

sibles y adecuadas a cada grupo. A los empresarios se les plantearon 30 preguntas de selección simple que evalúan aspectos como el desempeño, actitud, cumplimiento de responsabilidades, puntualidad y criterio ante problemas laborales. Para los aprendices, el cuestionario consta de 10 preguntas de selección múltiple orientadas a conocer sus percepciones, expectativas, requerimientos y nivel de motivación en el proceso formativo.

Finalmente, el análisis de los datos incluye un enfoque exploratorio para identificar temas de mayor relevancia y ordenar las fortalezas y debilidades en el proceso formativo. Los testimonios de los empresarios, obtenidos mediante preguntas puntuales sobre fortalezas y áreas de mejora, complementan el análisis cuantitativo, ofreciendo una perspectiva cualitativa de las experiencias formativas en el contexto empresarial.

A los aprendices, adicionalmente, se les aplicó la encuesta en línea dentro del ambiente

de formación, dónde se reforzó el compromiso de confidencialidad y se explicó la importancia de su participación.

Una vez completadas las encuestas, las respuestas se descargan en formato Excel para su análisis inicial. Se evaluará la posibilidad de emplear otras herramientas de análisis de datos como SPSS o R, dependiendo de la complejidad de los resultados y del análisis requerido.

Cada pregunta recibe una puntuación máxima de 10 puntos, y para aquellas preguntas con múltiples opciones de respuesta se asignan 5 puntos por cada respuesta correcta o relevante. Esta metodología permite medir la intensidad de las respuestas, valorando más aquellas opciones que reflejan un conocimiento o percepción significativa. Además, en lugar de eliminar opciones en respuestas múltiples, se considerará un análisis que tenga en cuenta todas las opciones seleccionadas, con el fin de captar matices y grados de preferencia de los participantes.

Este sistema de puntuación influirá en el análisis posterior, ya que facilita la identificación de temas prioritarios para los participantes. Los puntajes de cada respuesta se promediarán para obtener una valoración general, y se explicará cómo cada opción contribuye al puntaje total en preguntas de selección múltiple.

2.2.3. Hipótesis de trabajo

La integración de herramientas digitales en la formación del Técnico en Sistemas del SENA mejorará competencias clave de los aprendices, como la resolución de problemas, el manejo de software especializado y el trabajo en equipo, facilitando un aprendizaje práctico y alineado con las demandas del sector productivo. Basada en teorías constructivistas y estudios sobre formación digital y empleabilidad (Martins, 1990;

Ochoa, 1996), esta hipótesis establece que la implementación de herramientas digitales tendrá un efecto positivo en la empleabilidad y el desempeño laboral de los estudiantes, evaluado a través de indicadores como la tasa de colocación laboral y las evaluaciones de desempeño en el entorno profesional.

3. RESULTADOS

3.1. Propuesta de optimización en el uso de herramientas digitales en el proceso formativo.

Con el fin de mejorar la preparación profesional de los aprendices y fortalecer su adaptación a las demandas del sector productivo. Según

Egg (2009) en su obra “El taller como alternativa de renovación pedagógica”, presenta una visión del taller que trasciende su significado literal para convertirse en un espacio educativo dinámico y transformador. Al definir el taller como un lugar donde se trabaja, se labora y se transforma algo para ser utilizado, establece las bases para entenderlo como un contexto en el que el aprendizaje se produce a través de la acción

La necesidad urgente de reformar y fortalecer los procesos formativos del SENA para asegurar que los aprendices estén adecuadamente preparados para enfrentar los retos del mundo laboral. Al abordar las deficiencias en conocimientos técnicos y actitudes profesionales desde una etapa temprana, se puede aumentar la empleabilidad de estos jóvenes y fomentar una relación más positiva entre ellos y las empresas.

Solo así se podrá construir un sistema educativo que realmente beneficie tanto a los estudiantes como al sector productivo, contribuyendo al desarrollo económico sostenible del país.

En un mundo laboral en constante evolución, donde la digitalización y la automa-

tización están redefiniendo las dinámicas de trabajo, es fundamental que los programas de formación se adapten a estas nuevas realidades. Las tecnologías simples y complejas, así como las genéricas y transversales, juegan un papel crucial en la preparación de los aprendices para enfrentar los desafíos del mercado laboral actual. Sin esta integración tecnológica, el desarrollo del conocimiento y las capacidades laborales se vería limitado, lo que podría resultar en una fuerza laboral menos competitiva.

Los educadores deben estar al tanto de las nuevas tecnologías y metodologías educativas para poder guiar eficazmente a los aprendices. Se recomienda ofrecer talleres y cursos de actualización en herramientas y pedagogía digitales, así como fomentar la creación de comunidades de práctica entre docentes para compartir experiencias y buenas prácticas.

Asimismo, se debe promover la evaluación formativa mediante el uso de herramientas digitales. Implementar plataformas como Kahoot, Quizizz o Google Forms permite realizar evaluaciones interactivas que no solo evalúan el conocimiento adquirido, sino que también fomentan la participación activa de los estudiantes. Esta retroalimentación constante ayudará a identificar áreas de mejora tanto para los aprendices como para los instructores.

Por último, se debe incentivar una cultura digital dentro del CEET - SENA que promueva el uso responsable y ético de las tecnologías. Esto incluye formar a los aprendices sobre ciberseguridad, derechos digitales y comportamiento ético en línea. Al desarrollar una conciencia crítica sobre el uso de herramientas digitales, se contribuirá a formar profesionales más responsables y comprometidos con su entorno.

Optimizar el uso de herramientas digitales en la formación del Técnico en Sistemas del CEET - SENA requiere un enfoque integral que contemple diagnósticos iniciales, metodologías activas, actualización constante del currículo y capacitación docente.

3.2. Resultados de la investigación: Empresarios, aprendices del SENA y entidades educativas.

Para evaluar la productividad de los aprendices del programa Técnico en Sistemas en el sector productivo, se realizaron encuestas y se recopilieron testimonios. Los datos obtenidos se tabularon en Excel (ver tablas 1,2), analizando las respuestas de los empresarios y las encuestas de los aprendices mediante una escala de Likert.

Opciones de respuesta	Respuestas	%
Muy insatisfecho	7	58,3%
Insatisfecho	5	41,7%
Por el promedio	0	0,0%
Satisfecho	0	0,0%
Totalmente satisfecho	0	0,0%
TOTAL	12	100,0%

Tabla 1. Conocimientos previos sobre el cargo

Opciones de respuesta	Respuestas	%
Muy insatisfecho	7	58,3%
Insatisfecho	5	41,7%
Por el promedio	0	0,0%
Satisfecho	0	0,0%
Totalmente satisfecho	0	0,0%
TOTAL	12	100,0%

Tabla 2. Realiza funciones más allá de las establecidas por el jefe

La etapa práctica que los aprendices del SENA realizan en empresas establecidas es un componente crucial de su formación, ya que les permite aplicar los conocimientos adquiridos en un entorno laboral real. Al cumplir jornadas laborales de 8:00 am a 5:00 pm durante seis meses, los aprendices tienen la oportunidad de integrarse al mundo laboral y adquirir experiencia valiosa. Sin embargo, la posibilidad de extensión de este periodo según el rendimiento y comportamiento del aprendiz introduce un elemento de evaluación continua que puede influir en su motivación y desempeño.

Finalmente, es importante considerar cómo estas dinámicas afectan no solo a los aprendices individuales, sino también al desarrollo económico general del país. La incapacidad para integrar efectivamente a jóvenes talentos al

mercado laboral puede perpetuar ciclos de desempleo y subempleo, afectando negativamente tanto a los individuos como a las organizaciones que podrían beneficiarse de sus contribuciones. Por lo tanto, es crucial implementar estrategias que fortalezcan la conexión entre educación técnica y empleo, asegurando que los aprendices no solo sean vistos como una carga económica para las empresas, sino como activos valiosos capaces de aportar al crecimiento organizacional y económico del país.

3.3. Descripción de las competencias tecnológicas adquiridas por los aprendices y otros actores relevantes en el proceso formativo

Según el MEN (2020), la competencia tecnológica se ha convertido en un objetivo fundamental en la educación colombiana, impul-



Figura 3. Equipo SENA-WorldSkills del programa de Desarrollo de Software, Regional Atlántico. Fuente: Autoría Propia

sada por la necesidad de integrar las TIC en los procesos educativos. Esta integración busca no solo mejorar los métodos de aprendizaje, sino también optimizar la gestión escolar en su conjunto. Al incorporar herramientas tecnológicas adecuadas, se pretende crear un entorno educativo más dinámico y accesible que fomente el desarrollo de habilidades digitales esenciales para los aprendices del siglo XXI.

La investigación reflexiva se ve potenciada por las herramientas tecnológicas disponibles en la actualidad, especialmente aquellas relacionadas con Internet y la computación en la nube. Estas tecnologías han transformado el acceso al conocimiento, convirtiendo a Internet en un vasto repositorio de información que facilita tanto la investigación como el aprendizaje colaborativo.

Además, las TIC ofrecen flexibilidad en los modos de comunicación, permitiendo tanto interacciones en tiempo real como comunicaciones diferidas. Esto significa que los aprendices pueden participar en discusiones instantáneas o acceder a información y recursos en su propio tiempo, lo que se adapta a diferentes estilos y ritmos de aprendizaje. La posibilidad de interactuar con múltiples personas a través de diversos canales —como foros, videoconferencias o plataformas colaborativas— también promueve un aprendizaje más colaborativo e inclusivo.

Ahora bien, el MEN (2020) plantea que la competencia pedagógica como una habilidad fundamental que se centra en el conocimiento y la práctica de los instructores, el cual se construye a través de la reflexión y la investigación sobre el sentido de las acciones educativas. Esta competencia no solo implica un dominio del contenido, sino también una comprensión profunda de cómo enseñar de

manera efectiva, adaptándose a las necesidades y contextos de los aprendices.

La integración de las TIC ha transformado significativamente las prácticas pedagógicas tradicionales, permitiendo a los docentes explorar nuevas metodologías y enfoques en su enseñanza. Las TIC no solo han facilitado el acceso a recursos educativos variados, sino que también han promovido la creación de entornos de aprendizaje más interactivos y colaborativos.

Además, los avances tecnológicos como los supercomputadores, simuladores y técnicas de minería de datos han revolucionado el campo de la investigación científica. Ejemplos como la codificación del genoma humano o los descubrimientos en astrofísica ilustran cómo estas herramientas pueden facilitar investigaciones complejas y generar nuevos conocimientos que tienen implicaciones significativas para diversas disciplinas.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El testimonio recogido sobre la experiencia de las empresas con los aprendices del programa Técnico en Sistemas pone de manifiesto una serie de desafíos que afectan tanto a los jóvenes en formación como a las organizaciones que los acogen. La afirmación de que, a pesar de la normativa que exige la inclusión de aprendices, es fundamental que el SENA y el gobierno fortalezcan los procesos formativos resalta una preocupación generalizada sobre la calidad de la educación técnica impartida. Esto sugiere que, aunque existe un marco regulatorio para fomentar la formación práctica, su implementación efectiva no está garantizada, lo que puede llevar a resultados insatisfactorios.

El comentario sobre el encarecimiento de los procesos debido a los errores cometidos por

los aprendices refleja una realidad económica que muchas empresas enfrentan. Cuando el costo asociado con la capacitación y supervisión de un aprendiz supera los beneficios esperados, las empresas pueden optar por no contratar aprendices en absoluto. Esta decisión tiene implicaciones significativas para el desarrollo profesional de los jóvenes y limita sus oportunidades laborales. Además, puede contribuir a una percepción negativa generalizada sobre la utilidad del aprendizaje práctico en entornos empresariales.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La optimización del uso de herramientas digitales en el proceso formativo del Técnico en Sistemas del CEET-SENA es una estrategia fundamental para fortalecer las competencias tecnológicas de los aprendices. En un mundo laboral cada vez más digitalizado, es crucial que los estudiantes adquieran habilidades

prácticas y teóricas que les permitan adaptarse a las exigencias del sector productivo. La integración efectiva de tecnologías digitales en la educación no solo mejora la calidad del aprendizaje, sino que también prepara a los jóvenes para enfrentar los desafíos de un entorno laboral en constante cambio.

La incorporación de herramientas tecnológicas en los entornos de formación no solo es deseable, sino necesaria. Estas herramientas permiten a los aprendices adquirir habilidades prácticas que son directamente aplicables en sus futuros empleos. Por ejemplo, el uso de software especializado en áreas como la contabilidad, la gestión de proyectos o el diseño gráfico puede facilitar un aprendizaje más efectivo y relevante. Además, al familiarizarse con estas tecnologías durante su formación, los aprendices pueden desarrollar una mayor confianza y competencia al utilizarlas en un entorno profesional. 🔄

REFERENCIAS

- [1] González, Elvira m^a. el modelo pedagógico desarrollista, sus mediciones curriculares y sus estrategias didácticas. en: corrientes pedagógicas contemporáneas. udea, facultad de educación, 1999. gran diccionario de ciencias de la educación. ed. euro México. Tlalnepantla. estado México.
- [2] Dewan, S., Ernst, E., El Achkar Hilal, S., Horne, R., Soares, S., & Kühn, S. (2022). Perspectivas sociales y del empleo en el mundo. Tendencias 2022. In Perspectivas sociales y del empleo en el mundo. <https://doi.org/10.54394/litx3868>
- [3] Gavilanes Sagñay, M. A., Yanza Chavez, W. G., Inca Falconi, A. E., Torres Guananga, G. P., & Sánchez Chávez, R. F. (2019). Las TICs en los procesos de enseñanza y aprendizaje. Ciencia Digital, 3(2.6), 422–439. <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v3i2.6.575>
- [4] Meira Pablo Ángel. (2015). 303808-Text de l'article-426558-2-10-20160607. Revista de Intervencion Sociaeducativa, 61(2339–6954), 58–73.
- [5] Prado, F. (2020). Mobile learning and the sustainable development goals in higher education. Universidad y Sociedad, 12(4), 230–233.
- [6] Sancho-Gil, J. M. (2019). De la tecnología para aplicar a la tecnología para pensar: implicaciones para la docencia y la investigación. Revista Latinoamericana de Tecnología Educativa - RELATEC, 18(1), 9–22. <https://doi.org/10.17398/1695-288x.18.1.9>

**Tu innovación merece
ser compartida**

PUBLICA en

METALNNOVA⁸

ISSN 2619-2357

Revista del Centro Metalmecánico
Regional Distrito Capital

VISITA
LA REVISTA EN



TEMÁTICAS:
TECNOLOGÍA · ROBÓTICA · IA
MECANIZACIÓN · MATERIALES
ELECTRÓNICA · AUTOMATIZACIÓN
IoT · INDUSTRIA 4.0 · CONTROL
E INNOVACIÓN AEROESPACIAL

✉ revistametalnova@gmail.com

**RECEPCIÓN
DE ARTÍCULOS**

**1 de abril al
31 de agosto**

2025



METALNNOVA
GRUPO DE DIVULGACIÓN SENA-CMM

SENNNOVA

Sistema de Investigación,
Desarrollo Tecnológico e Innovación