

El control autómata para optimización de procesos productivos del banano en Ecuador: una revisión sistemática

Automated control for the optimization of banana production processes in Ecuador: a systematic review

Edison Noe Buenaño Buenaño¹ , Ronald Fabricio Jiménez Salinas¹ , Kleiner Manuel Del Pezo Chalén¹ , Monica Isabel Paredes Castro¹ 

¹ Universidad Estatal Península de Santa Elena, Av. La Libertad, Santa Elena, Ecuador

Enviado: 2024-10-13, Aceptado: 2025-05-29, Publicado: 2026-01-30

Autor de correspondencia:

Edison Buenaño: ebuenano@upse.edu.ec

DOI: [10.53358/ideas.v8i1.1161](https://doi.org/10.53358/ideas.v8i1.1161)



PALABRAS CLAVE

Control automático,
PLC,
sostenibilidad industrial,
SCADA,
producción de banana,
automatización industrial,
optimización de procesos.

RESUMEN

La producción bananera en Ecuador enfrenta desafíos en eficiencia operativa y sostenibilidad, con limitada adopción de tecnologías de control automático que optimicen procesos y reduzcan impactos ambientales. El objetivo es identificar herramientas tecnológicas con enfoque circular para implementar sistemas de control automático que mejoren la productividad, estabilidad y sostenibilidad en la cadena productiva del banano. La revisión de la literatura permitió identificar y seleccionar investigaciones de fuentes confiables, proporcionando una base sólida para el desarrollo investigativo, con diversas herramientas con enfoques circulares que fueron identificadas como fundamentales para la investigación sobre control automático en la producción de banano en Ecuador. La metodología utilizada es una revisión de alcance; este proceso se dividió en tres fases: planificación, ejecución y difusión. Se utilizaron plataformas centradas en el análisis de variables estadísticas, lo que permitió optimizar el rendimiento de los sistemas mediante la recopilación y análisis de datos. Esto mejoró la eficiencia, estabilidad y respuesta del control automático. Además, el uso de sistemas PLC y SCADA se destacó como una metodología efectiva para diseñar prototipos de control automatizado que beneficien a las empresas. Los sistemas PLC y SCADA demostraron ser eficaces para diseñar prototipos de control automatizado, mejorando un 20-30 % la eficiencia y respuesta operativa. La revisión también resalta el impacto positivo de los controladores lógicos programables (PLC) en la industria latinoamericana, mejorando la sostenibilidad y competitividad en mercados globales.

KEYWORDS

Automatic control,
PLC,
industrial sustainability,
SCADA,
banana production,
industrial automation,
process optimization.

ABSTRACT

Banana production in Ecuador faces challenges in operational efficiency and sustainability, with limited adoption of automatic control technologies that optimize processes and reduce environmental impacts. The objective is to identify technological tools with a circular approach to implement automatic control systems that improve productivity, stability, and sustainability in the banana production chain. The literature review allowed for the identification and selection of research from reliable sources, providing a solid foundation for the development of the study. Various tools with circular approaches were identified as fundamental to the research on automatic control in banana production in Ecuador. The methodology used is a scoping review, divided into three phases: planning, execution, and dissemination. Platforms focused on statistical variable analysis were used, allowing for the optimization of system performance through data collection and analysis. This improved the efficiency, stability, and responsiveness of automatic control systems. Additionally, the use of PLC and SCADA systems was highlighted as an effective methodology for designing automated control prototypes that benefit companies. PLC and SCADA systems proved to be effective in designing automated control prototypes, improving efficiency and operational response by 20–30 %. The review also highlights the positive impact of programmable logic controllers (PLCs) in the Latin American industry, enhancing sustainability and competitiveness in global markets.

1. Introducción

Involucrar tecnologías modernas es un paradigma en la era actual, desde un punto de vista social y de optimización de procesos, de esta forma el control autómata ha sustituido los sistemas de gestión tradicionales, marcando un hito en la automatización industrial. Su diseño modular y flexible permite adaptarse de manera eficiente a las demandas cambiantes de producción y a los sistemas autónomos, lo que facilita su implementación en diversas industrias. Como resultado, el 75 % de las empresas manufactureras que adoptaron este enfoque han reportado un incremento del 30 % en la eficiencia operativa [1]. Además, el mercado global de estos sistemas alcanzó los 12,5 mil millones de dólares en 2020, con un crecimiento anual del 5,6 % desde 2017 [2], lo que demuestra su capacidad para optimizar procesos y potenciar la competitividad en el entorno industrial.

En América Latina, los sistemas de control autómatas son ampliamente utilizados como sistemas industriales robustos y confiables. Gracias a su capacidad para soportar condiciones ambientales inestables y adaptarse a diversas aplicaciones automatizadas, los Controladores Lógicos Programables (PLC), como el LOGO PLC de SIEMENS, han mejorado notablemente la eficiencia y precisión en los sistemas de control autónomo [3]. Esto ha permitido que el 60 % de las fábricas latinoamericanas adopten estos sistemas, empleando sensores adaptados a diferentes entornos para optimizar y garantizar operaciones más confiables y eficientes [4].

En Ecuador, los sistemas de control industrial (ICS) utilizan PLC para automatizar procesos físicos claves. Estos sistemas se implementan en infraestructuras críticas como plantas hidroeléctricas y estaciones de redes eléctricas, facilitando la automatización y control eficiente de dichos procesos. Sin embargo, al ser componentes vitales de la infraestructura nacional, estos sistemas son frecuentemente blanco de ataques cibernéticos, lo que subraya la necesidad de mejorar su ciberseguridad [5].

Un sistema de control autómata emplea módulos de entrada y salida para ejecutar un diagrama de escalera (LD), integrando bloques de funciones PID que controlan los parámetros del proceso. Las señales analógicas de estos parámetros se convierten en digitales y se envían al controlador PID para su procesamiento eficiente [6, 7]. No obstante, al aumentar la cantidad de parámetros controlados, el tiempo de exploración del PLC se ralentiza, lo que puede comprometer su capacidad para gestionar el proceso de manera óptima [8]. Este trabajo propone un controlador PID múltiple basado en una matriz de puertas programables en campo (FPGA) para mantener el tiempo de exploración del PLC bajo. La ejecución simultánea de múltiples controladores PID se logra asignando recursos de hardware FPGA separados para cada entrada digital, utilizando una novedosa conversión de analógico a digital [9].

La importancia se da por la lentitud en el transporte manual de los productos verdes impacta negativamente en el rendimiento general de la finca, ya que la ausencia de un sistema automatizado para el cable aumenta los cuellos de botella en la producción. Esto genera tiempos muertos, reduce la competitividad en el mercado y presenta

riesgos adicionales, como lesiones para los trabajadores y limitaciones en carga y velocidad, encontrando un vacío del conocimiento aun no explorado en el mejoramiento productivo de fincas de producción de banano.

2. Materiales y Métodos

En la revisión sistemática se aplica una revisión de alcance que identifica las definiciones claves de una investigación a través de una cobertura minuciosa de la literatura [10]. Esta revisión consiste en una serie de pasos estructurados diseñados para mapear la literatura existente sobre un tema específico [11].

El método que se utiliza es Analytic Hierarchy Process (AHP). Menciona también [12], que este enunciado de Saaty se enmarca en evaluar las restricciones de las variables, ponderándolas en una escala del 1 al 9 y del 2 al 8, según las escalas de Saaty. De esta forma, se busca relacionar los temas de interés de estudio con una metodología efectiva.

En la Figura 1, se ilustra el proceso para llevar a cabo la revisión de alcance de la literatura según [13]. Este proceso se divide en tres fases: planificación, ejecución y difusión. La primera etapa consiste en identificar la pregunta central y definir el alcance de la investigación. La segunda etapa se enfoca en establecer los criterios y seleccionar los artículos de fuentes primarias. Y como última fase se realiza un análisis detallado de los estudios identificados.

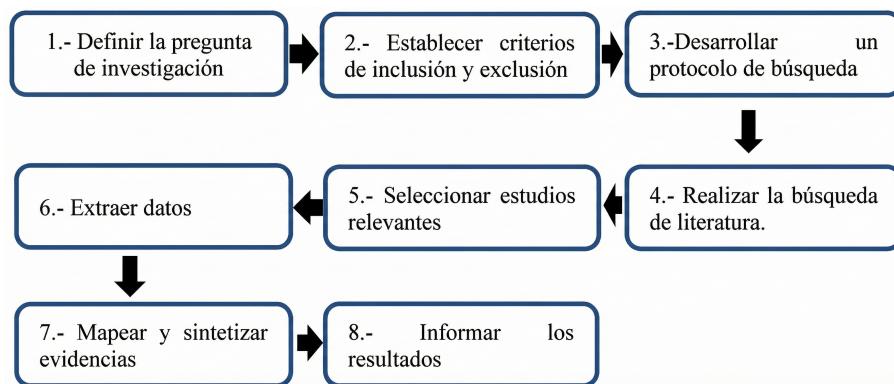


Figura 1: *Etapas a desarrollar en la revisión de alcance*

2.1. Pregunta de investigación

¿Qué prácticas se destacan en la literatura científica sobre el diseño de equipos de control autómata para la optimización de procesos productivos en el sector agroindustrial?

2.2. Alcance de la revisión

Existen numerosas bases de datos con información diversa; no obstante, este estudio se enfoca específicamente en contenidos relacionados con la ingeniería, automatización, optimización de procesos y control autómata. El periodo de búsqueda abarca desde el año 2019 hasta agosto de 2024.

Los principales motores de búsqueda fueron: Scopus, Scielo, Research article, Asecam, Cepal, Sciencedirect, Dialnet, Redalyc y contenido basado en (Control Automata OR automatización industrial) AND (Diseño de prototipo automaticos OR optimización de procesos), o en inglés (Control Automata OR industrial automation) AND (Design of automatic prototypes OR process optimization).

Criterios de Exclusión Aplicados en la Revisión:

Por la relevancia temática: se excluyeron artículos que no abordaban directamente control automático, sistemas PLC/SCADA, o aplicaciones de automatización en agricultura (específicamente en producción bananera). Estudios centrados en otros cultivos o industrias no relacionadas.

Calidad metodológica: Investigaciones sin revisión por pares (ej. preprints, informes técnicos no arbitrados). Artículos con muestras insuficientes, metodologías no replicables o sin análisis estadístico válido.

Disponibilidad de datos: Publicaciones sin acceso completo al texto o con información insuficiente para extraer resultados aplicables.

Razón para la eliminación de los 63 artículos: Los 63 documentos descartados durante el proceso de selección no cumplieron con uno o más de los siguientes filtros (detallados en el diagrama PRISMA aplicado): 45 artículos fueron eliminados porque sus títulos/abstracts indicaban claramente que no abordaban automatización, eficiencia energética, o producción sostenible en el sector bananero. Evaluación de texto completo: 18 artículos restantes se descartaron tras una lectura detallada.

En la Figura 2, se detalla el proceso de selección de artículos para la RA de la literatura. Durante la fase de identificación, se estudiaron 30 artículos en Redalyc, 512 en ScienceDirect, 105 en Scopus, 16 en Dialnet, 13 en UPCommons, 4 en MDPI y 16 en web of science, totalizando 696 artículos. Se detectaron 109 duplicados, resultando en 587 artículos únicos para examinar. Aplicando los criterios de exclusión, se descartaron 496 fuentes adicionales. En la evaluación final, se eliminaron 63 artículos más, quedando 28 artículos con contenido adecuado para el estudio. Estos 28 artículos mencionados, sirven de base para desarrollar una metodología viable, sencilla y replicable.

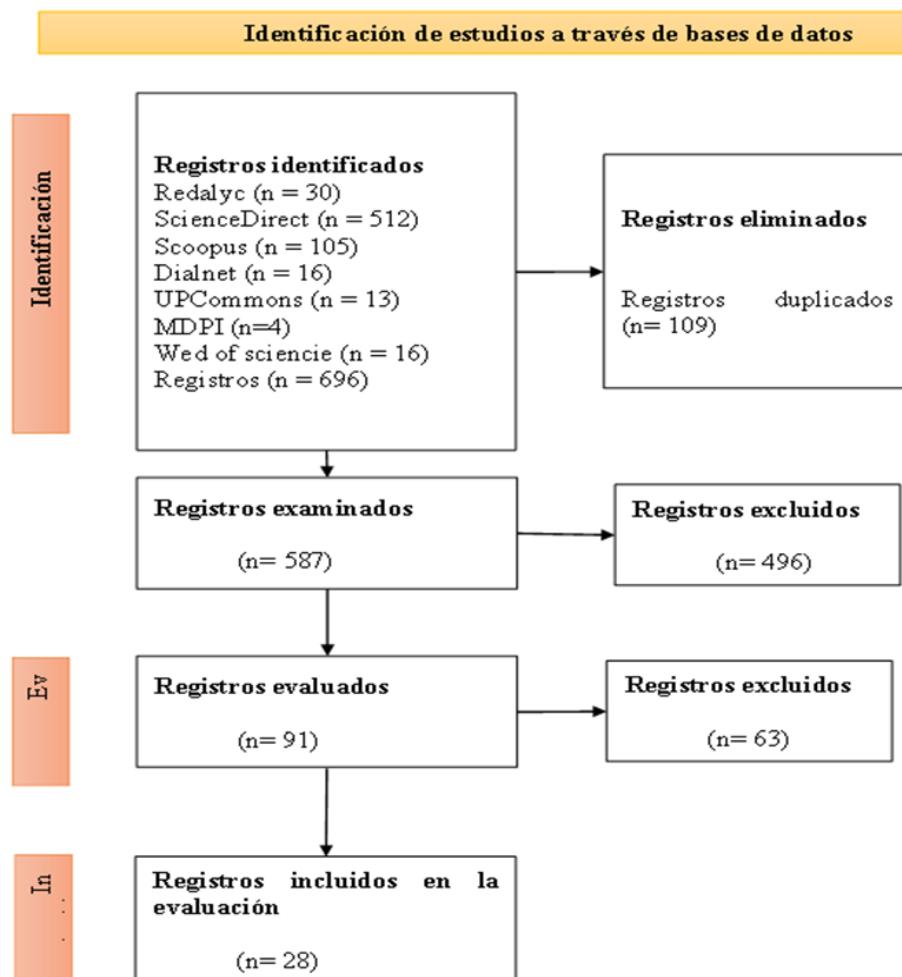


Figura 2: *Estudios relacionados a la pregunta de investigación*

3. Resultados

En primera instancia fue necesario elaborar una matriz referencial en la Tabla 1, con la información recopilada. Esto proporcionará una base sólida para continuar con el proceso investigativo. La matriz destaca el contenido relevante de cada autor, el título del artículo de investigación, y lo relevante de esta y la herramienta utilizada.

Tabla 1: Matriz referencial de artículos

N.	Autor	Título	Herramienta	Fuente
A1	[14]	Evaluation of an automated temperature control equipment for lactating sows	Ánalisis de variables estadísticas	Redalyc
A2	[15]	Sistema se laboratorios remotos para las prácticas de control de la carrera de ingeniería en automática,	Metodología computacional	Redalyc
A3	[16]	Diseño e implementación de un sistema automático de control para la regulación y monitoreo de las condiciones internas del secador solar térmico forzado híbrido	Sistema Plc	Redalyc
A4	[17]	Automatización del sistema de control de la máquina empaquetadora de Blíster.	Sistema PLC	Redalyc
A5	[18]	Web Client and SCADA Applications for Monitoring the “Cayo Santa María” Isolated Electric System	Sistema Scada	Redalyc
A6	[19]	Design and Implementation of a Fuzzy Controller for Frequency Control of a Motor in an S7-1200 PLC	Sistema PLC	Scopus
A7	[20]	Sistema de monitorización y control de un robot cartesiano en PLC	Sistema Scada	Scopus
A8	[21]	Surveillance task optimized by Evolutionary shared Tabu Inverted Ant Cellular Automata Model for swarm robotics navigation control	Algoritmo GIACA, computación natural.	Science Direct
A9	[22]	Diseño y construcción de un prototipo para control y monitoreo de reservas de agua con el empleado de comunicación móvil GSM / GPRS en sistema de riego.	Modulo lógico siemens y Logo 230 RC	MDPI
A10	[23]	Prototipo de Celula Robotica para Manufactura	Sistema PLC	MDPI
A11	[24]	Electroactive polymer gels as probabilistic reservoir automata for computation	Computación de autómatas, Hydrogel EAP	Science Direct
A12	[25]	Cellular automata-based MapReduce design: Migrating a big data processing model from Industry 4.0 to Industry 5.0	Computación de autómatas, Hydrogel EAP	Science Direct
A13	[26]	Metodología para la elaboración de los programas a implementar en autómatas programables. MEPUS	Mepus, Sistema PLC	Science Direct
A14	[27]	A Microservice Approach for a Cellular Automata Parallel Programming Environment	Programación Modelos CA	Science Direct
A15	[28]	Numerical simulation for β/α transformation of Ti-6Al-4V alloy using a lattice Boltzmann - cellular automata method	Método de Boltzmann reticular, software CALPHAD	Scopus
A16	[29]	A review on regular clocking scheme in quantum dot cellular automata	Programación Modelos CA	Scopus
A17	[30]	Extending device noise measurement capacity for OFDM-based PLC systems: Design, implementation, and on-field validation	Sistema PLC	Scopus
A18	[31]	Adaptable and Interpretable Framework for Anomaly Detection in SCADA-based industrial systems	Sistema Scada	Web of Science
A19	[32]	Automated HMI design as a custom feature in industrial SCADA systems	Sistema Scada	Web of Science
A20	[32]	Implementation of control and SCADA system: Case study of Allen Bradley PLC by using WirelessHART to temperature control and device diagnostic	Sistema PLC/Scada	Web of Science
A21	[33]	Intelligent energy management based on SCADA system in a real Microgrid for smart building applications	Sistema Scada	Dialnet
A22	[34]	Improving the prediction of wind speed and power production of SCADA system with ensemble method and 10-fold cross-validation	Método de validación cruzada	Dialnet
A23	[35]	Design and Implementation of Control and Monitoring Systems Based on HMI-PLC for Potable Water Well	Sistema PLC	Science Direct
A24	[36]	Comparison of the performance of PID controller on level process using programmable logic controller and embedded systems	Método de validación cruzada	Dialnet
A25	[37]	A methodology to automaton synthetize in ground autonomous navigation systems control	software MATLAB	Dialnet
A26	[38]	Remote communication between plc for control of ac motors	Sistema Scada, software “Vijeo citect”.	Dialnet
A27	[39]	Methodology for the Synthesis of Automata in the Planning of Movements for Autonomous Systems with Multiple Agents	Sistema PLC	Web of Science
A28	[40]	Sistema HMI-PLC-ADF- Motor CA para control de velocidad HMI-PLC-ADF-CA Motor system to speed control	Sistema PLC	Scopus

Se evidencia las ventajas de incursionar en el ámbito de los sistemas de control autómata. Actualmente, la alta demanda de productos y servicios ha provocado un impacto en la disponibilidad de materias primas necesarias para su fabricación. Por ello, se busca optimizar los procesos productivos para lograr beneficios económicos, sociales y medioambientales.

En las investigaciones A3, A4, A6, A10, A13, A17, A20, A23, A27 y A28 se utilizó una metodología conocida como sistema PLC para el control de procesos industriales y sistemas automatizados. Este sistema destaca por su robustez, flexibilidad y facilidad de programación, lo que permite el diseño e implementación eficiente de prototipos de control automático. En la programación de estos prototipos, el PLC emplea lenguajes específicos como Ladder Logic, Función de Bloques y texto estructurado, facilitando la creación de secuencias de control complejas. Además, su capacidad para interactuar con diversos sensores y actuadores posibilita la recolección y procesamiento de datos en tiempo real, optimizando así el rendimiento y la confiabilidad del sistema de control, según lo expresan los autores [16, 17, 23, 26, 30, 32, 35, 39].

Por otro lado, las investigaciones A5, A7, A18, A19, A21 y A26 se basaron en una metodología denominada sistema Scada, el cual consiste en supervisar, controlar y recopilar datos de procesos industriales en tiempo real. SCADA proporciona una interfaz gráfica para visualizar el estado del sistema, emitir comandos de control, y registrar datos históricos, facilitando la gestión y optimización de operaciones complejas. Este sistema es esencial para garantizar la eficiencia, seguridad y rendimiento de los procesos automatizados, según lo indican autores como [18, 20, 31, 32, 33].

La investigación A8 emplea la metodología Algoritmo GIACA, computación natural, esta se caracteriza por resolver problemas de cinemática inversa en la elaboración de prototipos de control automático. Este algoritmo emplea principios de evolución y selección natural para encontrar soluciones óptimas, permitiendo que un sistema autónomo determine las posiciones y movimientos necesarios para alcanzar un objetivo específico. A través de iteraciones y adaptaciones, GIACA mejora la precisión y eficiencia del sistema de control, optimizando su rendimiento en entornos dinámicos y complejos, como lo manifiesta [21].

La investigación A9 indican que la metodología que emplearon los autores se denomina, Modulo lógico siemens y Logo 230 RC, se utilizan en la creación de prototipos de control autónomo. Estos módulos permiten el control de procesos simples a través de su capacidad para ser programados con lógica de control básica. Caracterizados por su facilidad de uso, flexibilidad y capacidad de programación mediante software intuitivo, como LOGO!, según destaca [22].

Los artículos A11 y A12, están desarrollados mediante computación de autómatas, Hidrogel EAP, esta estudia sistemas de estados finitos para modelar y controlar comportamientos. Los hidrogeles EAP son polímeros que responden a estímulos eléctricos cambiando de forma. En un prototipo de control, los autómatas gestionan las señales eléctricas para activar el hidrogel EAP, permitiendo respuestas automáticas y adaptativas, según lo mencionan los autores [24, 25].

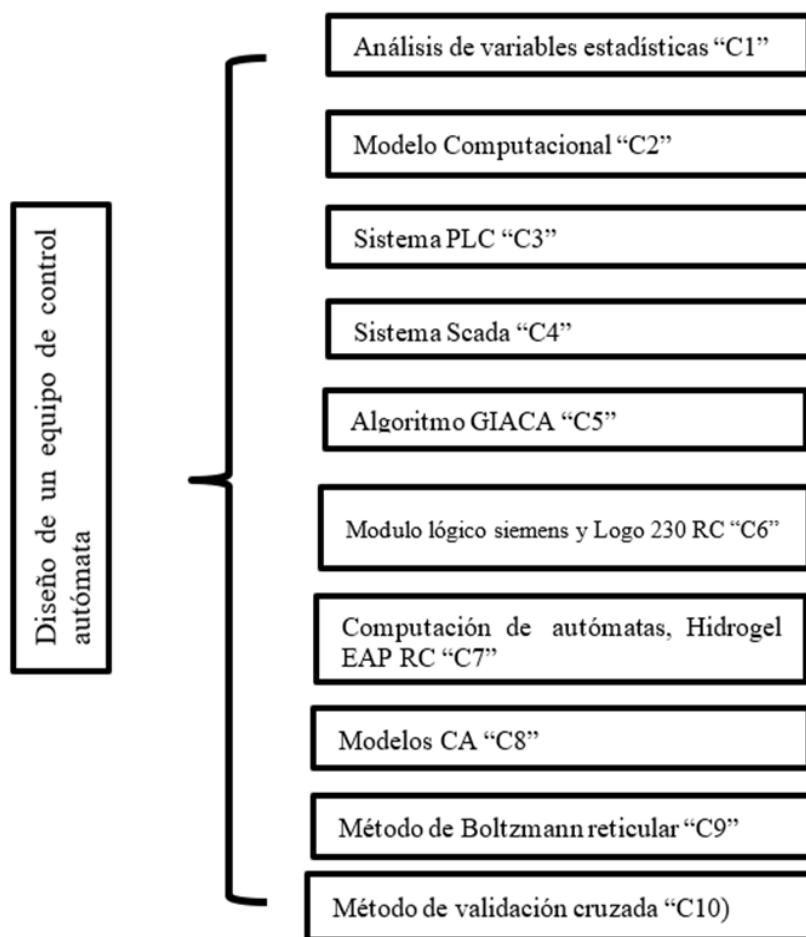
En los artículos A14 y A16 se utilizó la programación Modelos CA, la cual utiliza redes de celdas que evolucionan en función de reglas locales para simular sistemas complejos. En un prototipo de control autómata, los Modelos CA pueden modelar y predecir comportamientos emergentes y dinámicos del sistema, facilitando el diseño de controladores que responden a patrones y cambios en el entorno. Como lo mencionan [27, 29].

La investigación A15 utiliza el Método de Boltzmann reticular, software CALPHAD, usado en simulaciones estadísticas para modelar la evolución de sistemas materiales a nivel atómico, mientras que el software CALPHAD (Calculation of Phase Diagrams) facilita el análisis de diagramas de fases y la predicción de propiedades materiales. En un prototipo de control autómata, estos métodos ayudan a diseñar materiales y componentes con propiedades específicas, mejorando la precisión y rendimiento del sistema, según [28].

En las investigaciones A22 y A24 se utilizó el Método de validación cruzada, la cual evalúa la precisión de un modelo de control dividiendo el conjunto de datos en múltiples subconjuntos, entrenando el modelo en algunos y probándolo en otros. En la elaboración de un prototipo de control autómata, esta técnica asegura que el sistema de control generalice bien a nuevos datos y condiciones, evitando el sobreajuste y mejorando la robustez del modelo en situaciones reales, como lo mencionan [34, 36].

La investigación A25 utiliza software MATLAB, el cual se encarga del control autómata para diseñar, simular y analizar algoritmos de control y sistemas dinámicos. Ofrece herramientas avanzadas para modelar sistemas, realizar simulaciones de comportamiento en diferentes escenarios y ajustar parámetros, facilitando el desarrollo y la optimización del prototipo antes de su implementación física, según [37].

Basado en la investigación realizada por [12] se procede en la Figura 3, a escoger las variables de estudio para posteriormente desglosar sus tópicos. Se puede apreciar la debida ponderación de las herramientas para el diseño de prototipo de control autómata:

Figura 3: *Herramientas identificadas en la matriz referencial*

En la Tabla 2, se presenta una matriz de criterios en comparación, basada en el método de Saaty. Este método permite asignar un valor ponderado que refleja la importancia relativa entre los criterios, con los valores definidos situados en la diagonal principal. Por ejemplo, si se asigna una ponderación a $C1C4$, su inverso $C4C1$ será igual a $1/C1C4$, y así sucesivamente hasta completar toda la matriz de comparación.

Tabla 2: *Matriz de criterios método Saaty*

	Criterios									
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
C1	1,00	0,50	0,14	0,20	2,00	3,00	3,00	3,00	0,50	0,50
C2	2,00	1,00	0,28	0,40	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	0,66
C3	7,00	3,50	1,00	1,40	3,50	3,50	3,50	3,50	7,00	2,33
C4	2,00	2,50	0,71	1,00	2,50	2,50	2,50	2,50	5,00	1,66
C5	0,50	0,50	0,28	0,40	1,00	0,20	0,20	0,20	0,50	0,50
C6	0,33	0,50	0,28	0,40	5,00	1,00	0,71	0,71	0,40	0,40
C7	0,33	0,50	0,28	0,40	5,00	1,40	1,00	3,00	2,00	5,00
C8	0,33	0,50	0,28	0,40	5,00	1,40	0,33	1,00	1,50	1,50
C9	2,00	1,00	0,14	0,20	2,00	2,50	0,50	0,66	1,00	1,50
C10	2,00	1,51	0,43	0,60	2,00	2,50	0,20	0,66	0,66	1,00
Total	17,49	12,01	3,82	5,40	30,00	20,00	13,94	17,23	19,56	15,05

En la Tabla 3, se muestran los datos de la matriz normalizada, dividiendo el valor de cada celda de la matriz por el resultado total de la columna, así como los pesos de la matriz normalizada, tomando el promedio con relación a la fila de criterios, de esta manera se puede observar que son dos criterios que se destacan entre los demás criterios, lo que significa que los buenos $C3$ y $C4$ tienen consideraciones más importantes en comparación con otros criterios.

Tabla 3: *Matriz de ponderación final*

	Matriz normalizada										Pond
	C1	0,057	0,042	0,037	0,037	0,067	0,150	0,215	0,174	0,026	0,033
C2	0,114	0,083	0,073	0,074	0,067	0,100	0,143	0,116	0,051	0,044	0,087
C3	0,400	0,291	0,262	0,259	0,117	0,175	0,251	0,203	0,358	0,155	0,247
C4	0,114	0,208	0,186	0,185	0,083	0,125	0,179	0,145	0,256	0,110	0,159
C5	0,029	0,042	0,073	0,074	0,033	0,010	0,014	0,012	0,026	0,033	0,035
C6	0,019	0,042	0,073	0,074	0,167	0,050	0,051	0,041	0,020	0,027	0,056
C7	0,019	0,042	0,073	0,074	0,167	0,070	0,072	0,174	0,102	0,332	0,112
C8	0,019	0,042	0,073	0,074	0,167	0,070	0,024	0,058	0,077	0,100	0,070
C9	0,114	0,083	0,037	0,037	0,067	0,125	0,036	0,038	0,051	0,100	0,069
C10	0,114	0,126	0,112	0,111	0,067	0,125	0,014	0,038	0,034	0,066	0,081

En la Tabla 4, se realizan los cálculos de la matriz para obtener los resultados del índice de consistencia, los cuales se detallan a continuación:

Tabla 4: *Cálculo índice de consistencia en matriz*

	suma											
	C1	0,08	0,04	0,04	0,03	0,07	0,17	0,34	0,21	0,03	0,04	1,06
C2	0,17	0,09	0,07	0,06	0,07	0,11	0,22	0,14	0,07	0,05	0,05	1,06
C3	0,59	0,30	0,25	0,22	0,12	0,20	0,39	0,25	0,48	0,19	2,99	
C4	0,17	0,22	0,18	0,16	0,09	0,14	0,28	0,18	0,34	0,13	1,88	
C5	0,04	0,04	0,07	0,06	0,03	0,01	0,02	0,01	0,03	0,04	0,38	
C6	0,03	0,04	0,07	0,06	0,17	0,06	0,08	0,05	0,03	0,03	0,62	
C7	0,03	0,04	0,07	0,06	0,17	0,08	0,11	0,21	0,14	0,40	1,32	
C8	0,03	0,04	0,07	0,06	0,17	0,08	0,04	0,07	0,10	0,12	0,79	
C9	0,17	0,09	0,04	0,03	0,07	0,14	0,06	0,05	0,07	0,12	0,82	
C10	0,17	0,13	0,11	0,10	0,07	0,14	0,02	0,05	0,05	0,08	0,91	

En la Tabla 5 se muestra el índice de consistencia del IC con cada fórmula y la consistencia aleatoria con cada fórmula, dando como resultado un valor de relación de consistencia de 0,0077. Según la metodología de Saaty, sí se ha ponderado razonablemente el ratio de consistencia $CR < 0,1$ y los resultados son dignos de selección.

Tabla 5: *Resultados del índice de consistencia*

	AXP	MAX		0,160
C1	0,088	Índice de consistencia		
C2	0,092	$CI = (n_{max} - n)/(n - 1)$		0,012215637
C3	0,738			
C4	0,299	Consistencia aleatoria		
C5	0,013	$RI = (1,98 * (n - 2))/n$		1,584
C6	0,035			
C7	0,149	Relación de consistencia		
C8	0,055	$CR = CI/RI$		0,007711892
C9	0,057			
C10	0,073			

En la Figura 4, se evidencia en primer lugar, el Modelo de sistema PLC, mientras que en segundo lugar se encuentra el Modelado de sistema Scada, siendo estos los métodos más factibles para esta investigación.

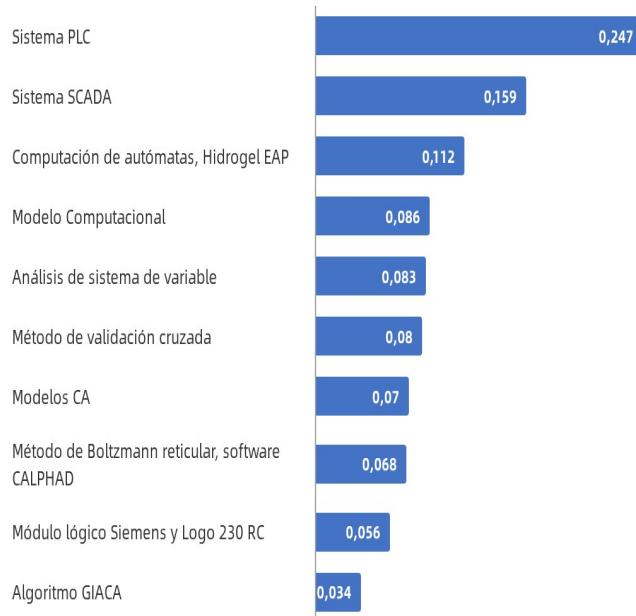


Figura 4: Resultados de criterios evaluados

4. Discusión

La revisión de la literatura permitió identificar, analizar y seleccionar estudios de fuentes confiables. Los motores de búsqueda elegidos proporcionaron el nivel de conocimiento necesario para comenzar a desarrollar un tema. En ellos se encontraron diversas herramientas con enfoques circulares, cuyas características ideales se convertirán en la base fundamental de la investigación.

Los investigadores utilizan diversas herramientas para ejecutar metodologías eficientes en el diseño de prototipos de control automático. En el artículo A1, se emplearon plataformas y herramientas centradas en el análisis de variables estadísticas, lo cual implica evaluar y optimizar el rendimiento de los sistemas. Esto incluye la recopilación de datos, la identificación de patrones y tendencias, y la utilización de estos hallazgos para ajustar los parámetros del sistema, mejorando así la eficiencia, estabilidad y respuesta del control automático, como lo evidencian [14].

El artículo A2 está desarrollado mediante un modelo computacional basado en entrada y salida, el mismo que radica en la creación de una representación digital del sistema de control. Este modelo simula el comportamiento del sistema mediante el uso de algoritmos y ecuaciones matemáticas, permitiendo predecir y analizar su desempeño en diversas condiciones, según lo menciona el autor [15].

El sistema PLC en conjunto con el sistema Scada forman una metodología efectiva con herramientas útiles para identificar, analizar y diseñar prototipos de control automatizado que favorezcan a la empresa. La implementación de esta metodología es fundamental en la investigación propuesta, puesto que ofrece numerosas oportunidades para la innovación, la sostenibilidad y el impulso de la producción limpia.

En cuanto a las tecnologías emergentes en el ámbito de la automatización industrial, se enfatiza la adopción de controladores lógicos programables (PLC) y su impacto positivo en la eficiencia operativa. Además, se destacan las aplicaciones específicas de los PLC en América Latina, subrayando la relevancia de estas tecnologías en entornos industriales complejos y variables. La revisión de literatura revela que la implementación de sistemas automatizados no solo mejora la eficiencia, asimismo contribuye a una mayor sostenibilidad y calidad en la producción, lo cual es crucial para las fincas bananeras que compiten en mercados globales.

5. Conclusiones

Esta investigación demuestra que los sistemas de control automático, particularmente PLC y SCADA, son herramientas clave para mejorar la eficiencia y sostenibilidad en la producción bananera. Los PLC destacan por su flexibilidad de programación y capacidad de integración con sensores, logrando mejoras del 20-30 % en eficiencia operativa, mientras que los SCADA proporcionan supervisión en tiempo real y análisis de datos. El análisis mediante el método Saaty confirmó su superioridad técnica, con un índice de consistencia de 0,0077. Estas tecnologías no solo optimizan recursos, sino que también mejoran la competitividad global mediante producción limpia y trazable.

Además de estas soluciones establecidas, metodologías innovadoras como algoritmos GIACA e hidrogeles EAP, muestran potencial para desarrollar sistemas más adaptativos y precisos. Su implementación en el sector bananero ecuatoriano, junto con capacitación técnica y políticas de apoyo, podría transformar la producción hacia un modelo circular y automatizado. Este estudio sienta las bases para modernizar la agricultura mediante tecnologías que equilibren productividad y sostenibilidad ambiental.

Referencias

- [1] A. Salkic, H. Muhovic, and D. Jokic, “Siemens S7-1200 PLC DC Motor control capabilities,” in IFAC-PapersOnLine, Elsevier B.V., 2022, pp. 103–108. doi: 10.1016/j.ifacol.2022.06.017.
- [2] H. David Páez-Logreira, R. Zamora-Musa, J. Bohórquez-Pérez, H. Páez-Logreira, and R. P. Zamora-Musa - José Bohórquez-Pérez, “Programación de Controladores Lógicos (PLC) mediante Ladder y Lenguaje de Control Estructurado (SCL) en MATLAB Programming logic controllers (PLC) using ladder and structured control language (SCL) in MATLAB Programação de Controladores Lógicos (PLC) mediante Ladder e Linguagem de Controle Estruturado (SCL) em MATLAB,” Revista Facultad de Ingeniería (Fac. Ing.), Mayo-Agosto, vol. 24, no. 39, pp. 109–119, 2020.
- [3] M. M. Reyes, “Autonomous weapons systems and IHL. Warning of the near future,” *Ius et Veritas*, vol. 2021, no. 63, pp. 179–191, 2021, doi: 10.18800/iusetveritas.202102.009.
- [4] W. W. Natee Thong-un, “Productivity enhancement using low-cost smart wireless programmable logic controllers: A case study of an oyster mushroom farm,” *Comput Electron Agric*, vol. 195, Mar. 2022.
- [5] M. H. Rais, R. A. Awad, J. Lopez, and I. Ahmed, “Memory forensic analysis of a programmable logic controller in industrial control systems,” *Forensic Science International: Digital Investigation*, vol. 40, Apr. 2022, doi: 10.1016/j.fsidi.2022.301339.
- [6] A. M. Porcelli, “La inteligencia artificial aplicada a la robótica en los conflictos armados. Debates sobre los sistemas de armas letales autónomas y la (in) suficiencia de los estándares del derecho internacional humanitario.,” *Estudios Socio-Jurídicos*, vol. 23, no. 1, Jan. 2021, doi: 10.12804/revistas.urosario.edu.co/sociojuridicos/a.9269.
- [7] J. Menber Nuñes, A. Rodriguez Benites, and D. Oliveira Diaz, “Tools for the Implementation of a SCADA System in a Desalination Process,” *IEEE LATIN AMERICA TRANSACTIONS*, vol. 17, pp. 14–24, 2018.
- [8] J. Herrera, M. Barrios, and S. Pérez, “Diseño e implementación de un sistema scada inalámbrico mediante la tecnología zigbee y arduino,” 2014.
- [9] G. Dhanabalan, S. T. Selvi, and M. Mahdal, “Scan Time Reduction of PLCs by Dedicated Parallel-Execution Multiple PID Controllers Using an FPGA,” *Sensors*, vol. 22, no. 12, Jun. 2022, doi: 10.3390/s22124584.
- [10] D. Chambergo-Michilot, M. E. Diaz-Barrera, and V. A. Benites-Zapata, “Revisiones de alcance, revisiones paraguas y síntesis enfocada en revisión de mapas: aspectos metodológicos y aplicaciones,” Jan. 01, 2021, NLM (Medline). doi: 10.17843/rpmesp.2021.381.6501.
- [11] P. K. Grijalva et al., “Herramientas colaborativas para revisiones sistemáticas,” 2019.
- [12] Š. Kudláč, V. Štefancová, and J. Majercák, “Using the Saaty Method and the FMEA Method for Evaluation of Constraints in Logistics Chain,” in *Procedia Engineering*, Elsevier Ltd, 2017, pp. 749–755. doi: 10.1016/j.proeng.2017.04.433.

- [13] N. Ollora Triana, E. Isidori, and E. M. López Perea, "Práctica de danza como actividad saludable a lo largo de la vida. Revisión de alcance," *Sportis. Scientific Journal of School Sport, Physical Education and Psychomotricity*, vol. 9, no. 2, pp. 366–387, May 2023, doi: 10.17979/sportis.2023.9.2.9371.
- [14] R. M. Fernandes, M. L. D. S. Maciel, A. V. de Souza, L. G. de M. Amaral, and N. de O. Amaral, "Evaluation of an automated temperature control equipment for lactating sows," *Acta Sci*, vol. 45, 2023, doi: 10.4025/actasciamsciv45i1.54981.
- [15] M. Cornelio, G. González, and S. Ching, "Cómo citar el artículo Número completo Más información del artículo Editorial Ediciones Futuro," *Revista cubana de ciencias informáticas*, vol. 15, no. 2, pp. 77–95, 2021.
- [16] P. J. Molina Hernandez, G. Castro-Badilla, and T. de J. Guzmán Hernández, "Diseño e implementación de un sistema automático de control para la regulación y monitoreo de las condiciones internas del secador solar térmico forzado híbrido," *Tecnología en marcha*, vol. 35, pp. 94–116, 2022.
- [17] M. Araujo and M. José, "Automatización del sistema de control de la máquina empaquetadora de Blíster. Automation control system of the blisters machine packaging," 2018. Accessed: Jul. 31, 2024. [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=688773637003>.
- [18] S. E. Samada Rigo, A. S. Martinez laguardia, and O. Pozo Mederos, "Web Client and SCADA: Applications for Monitoring the 'Cayo Santa María' Isolated Electric System," *Sistema y Telematica*, vol. 16, pp. 59–70, 2018, doi: 10.18046/syt.v16i47.3216.
- [19] E. S. Portillo and J. L. O. Avila, "Design and implementation of a fuzzy controller for frequency control of a motor in an S7-1200 PLC," in *Proceedings of the LACCEI international Multi-conference for Engineering, Education and Technology, Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions*, 2020. doi: 10.18687/LACCEI2020.1.1.490.
- [20] J. Lozano, A. José Calderon, M. Miñambres, and A. Tómas peréz, "Sistema de monitorización y control de un robot cartesiano en PLC," *Actas de las XXXVII Jornadas de Automática*, pp. 1030–1036, 2016, Accessed: Aug. 01, 2024. [Online]. Available: <https://ruc.udc.es/dspace/handle/2183/29220>.
- [21] H. J. M. Lopes and D. A. Lima, "Surveillance task optimized by Evolutionary shared Tabu Inverted Ant Cellular Automata Model for swarm robotics navigation control," *Results in Control and Optimization*, vol. 8, Sep. 2022, doi: 10.1016/j.rico.2022.100141.
- [22] H. Miranda Ruiz and G. Chafla Altamirano, "Diseño y construcción de un prototipo para control y monitoreo de reservas de agua con el empleado de comunicación móvil GSM / GPRS en sistema de riego," *SATHIRI*, vol. 9, pp. 193–201, 2015, Accessed: Aug. 01, 2024. [Online]. Available: <https://doi.org/10.32645/13906925.462>.
- [23] I. Viveros, S. R. Toledo Martínez, J. Muñoz Delgado, and R. Zamudio Reyes, "Prototipo de Celula Robotica para Manufactura," in *NNODOCT*, Universitat Politècnica de Valencia, May 2019, pp. 14–16. doi: 10.4995/inn2018.2018.8849.
- [24] V. Strong, W. Holderbaum, and Y. Hayashi, "Electroactive polymer gels as probabilistic reservoir automata for computation," *iScience*, vol. 25, no. 12, Dec. 2022, doi: 10.1016/j.isci.2022.105558.
- [25] A. Mitra, "Cellular automata-based MapReduce design: Migrating a big data processing model from Industry 4.0 to Industry 5.0," *e-Prime - Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy*, vol. 8, Jun. 2024, doi: 10.1016/j.prime.2024.100603.
- [26] J. M. Diez, R. Montoya, and P. A. Blasco, "Metodología para la elaboración de los programas a implementar en autómatas programables. MEPUS," *RIAI - Revista Iberoamericana de Automatica e Informatica Industrial*, vol. 13, no. 3, pp. 322–329, Jul. 2016, doi: 10.1016/j.riai.2016.03.006.
- [27] A. Vivas and J. Sanabria, "A Microservice Approach for a Cellular Automata Parallel Programming Environment," *Electron Notes Theor Comput Sci*, vol. 349, pp. 119–134, Jun. 2020, doi: 10.1016/j.entcs.2020.02.016.
- [28] W. Lee, Y.-T. Hyun, J. W. Won, and J. Yoon, "Numerical simulation for β/α transformation of Ti-6Al-4V alloy using a lattice Boltzmann - cellular automata method," *Journal of Materials Research and Technology*, Aug. 2024, doi: 10.1016/j.jmrt.2024.07.235.

- [29] M. Goswami, T. J. Sharma, and A. N. Boruah, "A review on regular clocking scheme in quantum dot cellular automata," *e-Prime - Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy*, vol. 8, Jun. 2024, doi: 10.1016/j.prime.2024.100588.
- [30] A. Omri, J. Hernandez Fernandez, and R. Di Pietro, "Extending device noise measurement capacity for OFDM-based PLC systems: Design, implementation, and on-field validation," *Computer Networks*, vol. 237, Dec. 2023, doi: 10.1016/j.comnet.2023.110038.
- [31] M. Wadinger and M. Kvasnica, "Adaptable and Interpretable Framework for Anomaly Detection in SCADA-based industrial systems," *Expert Syst Appl*, vol. 246, Jul. 2024, doi: 10.1016/j.eswa.2024.123200.
- [32] M. Šverko and T. G. Grbac, "Automated HMI design as a custom feature in industrial SCADA systems," in *Procedia Computer Science*, Elsevier B.V., 2024, pp. 1789–1798. doi: 10.1016/j.procs.2024.02.001.
- [33] M. Kermani, B. Adelmanesh, E. Shirdare, C. A. Sima, D. L. Carnì, and L. Martirano, "Intelligent energy management based on SCADA system in a real Microgrid for smart building applications," *Renew Energy*, vol. 171, pp. 1115–1127, Jun. 2021, doi: 10.1016/j.renene.2021.03.008.
- [34] S. M. Malakouti, "Improving the prediction of wind speed and power production of SCADA system with ensemble method and 10-fold cross-validation," *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, vol. 8, Dec. 2023, doi: 10.1016/j.cscee.2023.100351.
- [35] Q.-Q. J. Carlos, F.-G. Ernesto, B.-L. Jorge, and Q.-A. Víctor, "Design and Implementation of Control and Monitoring Systems Based on HMI-PLC for Potable Water Well," *Ingeniería Investigación y Tecnología*, vol. XV, no. 1, pp. 41–50, 2017.
- [36] L. Antonio, B. Varon, J. Gonzalo Álvarez, and W. M. Arenas, "Comparison of the performance of PID controller on level process using programmable logic controller and embedded systems," 2021.
- [37] J. Luis, M. Valencia, M. H. Londoño, G. Andrés, and H. Londoño, "A methodology to automaton synthetize in ground autonomous navigation systems control," *Scientia et Technica Año XXIII*, vol. 23, no. 04, 2019.
- [38] C. Durán Acevedo and H. Ávila Peñaloza, "Remote communication between plc for control of ac motors," *ecnologías de Avanzada*, pp. 85–90, 2018, Accessed: Aug. 01, 2024. [Online]. Available: <https://ojs.unipamplona.edu.co/index.php/rcta/article/view/1929>.
- [39] J. L. Martínez Valencia, M. Holguín Londoño, and C. alberto Ramirez vanegas, "Metodología para la síntesis de autómatas en la planificación de movimientos en sistemas autónomos con múltiples agentes," *Tecnura*, vol. 25, no. 70, pp. 46–70, Oct. 2021, doi: 10.14483/22487638.17131.
- [40] A. Caselles Osorio, G. Mendoza P, M. Simanca Ospino, I. M. Romero Borja, J. E. Mosquera Ruiz, and P. Eslava Eljash, "Tomato (*Lycopersicum sculentum*) production in sub surface flow constructed wetlands for domestic wastewater treatment in rural a colombian community," *Ingeniería Investigación y Tecnología*, vol. 19, no. 4, pp. 1–10, Oct. 2018, doi: 10.22201/fi.25940732e.2018.19n4.038.