



[Coordinador]
Félix Javier Manjarrés Arias

**EL ESPECTRO
DE LAS
INGENIERÍAS**
Investigaciones situadas
en contextos regionales

Volumen I

Religación Press
[Ideas desde el Sur Global]

[Coordinador]
Félix Javier Manjarrés Arias

**El espectro de las ingenie-
rías**

*Investigaciones situadas en
contextos regionales (Vol. I)*

Equipo Editorial

Editorial team

Ana B. Benalcázar

Editora Jefe / Editor in Chief

Felipe Carrión

Director de Comunicación / Scientific Communication Director

Melissa Díaz

Coordinadora Editorial / Editorial Coordinator

Sarahi Licango Rojas

Asistente Editorial / Editorial Assistant

Consejo Editorial

Editorial Board

Jean-Arsène Yao

Dilrabo Keldiyorovna Bakhronova

Fabiana Parra

Mateus Gamba Torres

Siti Mistima Maat

Nikoleta Zampaki

Silvina Sosa

Víctor Ancajima Miñán

Religación Press, es parte del fondo editorial del Centro de Investigaciones CICSHAL-RELIGACIÓN | Religación Press is part of the publishing house of the CICSHAL-RELIGACIÓN Research Center |

Diseño, diagramación y portada | Design, layout and cover: Religación Press.

CP 170515, Quito, Ecuador. América del Sur.

Correo electrónico | E-mail: press@religacion.com

www.religacion.com

Disponible para su descarga gratuita en | Available for free download at

<https://press.religacion.com>

Este título se publica bajo una licencia de Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)

This title is published under an Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) license.



El presente libro tienen el aval del Centro de Investigaciones en Ciencias y Humanidades desde América Latina – CICSHAL-RELIGACIÓN



El espectro de las ingenierías. Investigaciones situadas en contextos regionales (Vol. I)

The Spectrum of Engineering: Research Situated in Regional Contexts (Vol. I)

O espectro das engenharias: Pesquisas situadas em contextos regionais (Vol. I)

Derechos de autor | Copyright: Félix Javier Manjarrés Arias; Humberto Andrés Álvarez Sepúlveda, Claudine Glenda Benoit Ríos, Daniel Bello Parra, Alicia Peralta Maroto, Félix Murrieta Domínguez, Janeth Ramos López, Alberto Ceballos, Jesus Alberto Sanchez Valtierra, Carlos Eduardo Belman López, Mario Antonio Hernández Villegas, José Antonio Yarza Acuña, Ricardo Lorenzo Ávila Rondón, Ana Carolina Meléndez Gurrola, Luis Andrés Rodríguez Coral, María Lorcy Rosero Mora, Oscar Jardey Suarez, Lizeth Badillo Duran, Luis Manuel Palmera Quintero, Karen Cristina Coronel Robles, Didier Fernando Guerrero Sumalave, Antia Ivett Álvarez Bernabé, Juan Vicente Méndez Méndez, Agustín Leobardo Herrera May, Israel Arzate Vázquez, Gregorio Guadalupe Carbajal Arizaga

Primera Edición | First Edition: 2026

Editorial | Publisher: Religación Press

Materia Dewey | Dewey Subject: 620 - Ingeniería y operaciones afines

Clasificación Thema | Thema Subject Categories: TB - Tecnología: cuestiones generales | TBC -

Ingeniería: generalidades | TBX - Historia de la tecnología y la ingeniería

BISAC: TEC009000

Público objetivo | Target audience: Profesional / Académico | Professional / Academic

Colección | Collection: Ingeniería

Soporte | Format: PDF / Digital

Publicación | Publication date: 2026-03-27

ISBN: 978-9942-594-35-8

[APA 7]

Félix Javier Manjarrés Arias; Humberto Andrés Álvarez Sepúlveda, Claudine Glenda Benoit Ríos, Daniel Bello Parra, Alicia Peralta Maroto, Félix Murrieta Domínguez, Janeth Ramos López, Alberto Ceballos, Jesus Alberto Sanchez Valtierra, Carlos Eduardo Belman López, Mario Antonio Hernández Villegas, José Antonio Yarza Acuña, Ricardo Lorenzo Ávila Rondón, Ana Carolina Meléndez Gurrola, Luis Andrés Rodríguez Coral, María Lorcy Rosero Mora, Oscar Jardey Suarez, Lizeth Badillo Duran, Luis Manuel Palmera Quintero, Karen Cristina Coronel Robles, Didier Fernando Guerrero Sumalave, Antía Ivett Álvarez Bernabé, Juan Vicente Méndez Méndez, Agustín Leobardo Herrera May, Israel Arzate Vázquez, Gregorio Guadalupe Carbajal Arizaga. APA 7 (2026). *El espectro de las ingenierías. Investigaciones situadas en contextos regionales (Vol. 1)*. Religación Press. <https://doi.org/10.46652/ReligacionPress.401>

Revisión por pares

El presente libro de investigación constituye el resultado de un riguroso proceso de investigación académica, cuya calidad metodológica y solidez argumental han sido validadas mediante un sistema de revisión por pares externos implementado bajo el protocolo de doble ciego, bajo la supervisión del Centro de Investigaciones en Ciencias y Humanidades desde América Latina (CICSHAL). Como garantía de transparencia y rigor científico, los informes de evaluación realizados por los especialistas designados se conservan en el archivo institucional de la editorial, a disposición de las instancias que así lo requieran.

Peer Review

This book is the result of a rigorous academic research process, whose methodological quality and argumentative solidity have been validated through an external peer-review system implemented under a double-blind protocol, under the supervision of the Center for Research in Sciences and Humanities from Latin America (CICSHAL). As a guarantee of transparency and scientific rigor, the evaluation reports prepared by the designated specialists are preserved in the publisher's institutional archives, available to any party that may require them.

Coordinador

COORDINATOR

Félix Javier Manjarrés Arias

Universidad de las Fuerzas Armadas
ESPE | Latacunga | Ecuador
<https://orcid.org/0000-0003-2045-9276>
fxmanjarres@espe.edu.ec

Es docente e investigador del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, especializado en el área de Diseño y Mecánica Computacional. Su formación académica inició con el título de Tecnólogo en Mecánica de Aviación mención Motores del Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico de la Fuerza Aérea, seguido por los títulos de Ingeniero Automotriz por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE e Ingeniero Industrial por la Escuela Superior Politécnica del Chimborazo. Posteriormente, obtuvo los posgrados de Magister en Gestión de Empresas mención PYMES en la ESPE y Magíster en Ciencias en Diseño, Producción y Automatización Industrial por la Escuela Politécnica Nacional. Su trayectoria profesional incluye la participación en proyectos de investigación y vinculación, manteniendo colaboración interinstitucional con la Universidad Técnica de Cotopaxi, la Escuela Politécnica Nacional y la Escuela Superior Politécnica del Chimborazo. Adicional a su rol en la ESPE, es catedrático en el programa de Maestría de Diseño Mecánico, con mención en Estructuras y Recipientes a Presión, de la Facultad de Ingeniería Mecánica en la Escuela Politécnica Nacional. Su producción científica está documentada en artículos académicos disponibles para consulta en su perfil de Google Scholar.

Autores/as:

Félix Javier Manjarrés Arias; Humberto Andrés Álvarez Sepúlveda, Claudine Glenda Benoit Ríos, Daniel Bello Parra, Alicia Peralta Maroto, Félix Murrieta Domínguez, Janeth Ramos López, Alberto Ceballos, Jesus Alberto Sanchez Valtierra, Carlos Eduardo Belman López, Mario Antonio Hernández Villegas, José Antonio Yarza Acuña, Ricardo Lorenzo Ávila Rondón, Ana Carolina Meléndez Gurrola, Luis Andrés Rodríguez Coral, María Lorcy Rosero Mora, Oscar Jardey Suarez, Lizeth Badillo Duran, Luis Manuel Palmera Quintero, Karen Cristina Coronel Robles, Didier Fernando Guerrero Sumalave, Antia Ivett Álvarez Bernabé, Juan Vicente Méndez Méndez, Agustín Leobardo Herrera May, Israel Arzate Vázquez, Gregorio Guadalupe Carbajal Arizaga

Resumen

Este volumen colectivo reúne investigaciones situadas en contextos regionales de América Latina que abordan la ingeniería como una práctica social, técnica y éticamente comprometida con el desarrollo territorial. A través de diez capítulos, la obra transita desde reflexiones históricas sobre la ingeniería de la Antigua Grecia y el Antiguo Egipto hasta estudios aplicados en agroindustria, gestión de calidad, seguridad y salud ocupacional, y tecnologías de la información. Se abordan problemáticas como la contaminación por cultivos ilícitos, la calidad del aire en municipios sin monitoreo, la adopción de certificaciones ISO en pequeñas y medianas empresas, la implementación de la Industria 4.0, la caracterización de aceites esenciales, la nanotecnología verde y la evaluación de suelos para edificaciones en comunidades vulnerables. El libro destaca la necesidad de articular el conocimiento científico con saberes locales, promover tecnologías accesibles y de bajo costo, y repensar el desarrollo territorial desde una perspectiva crítica, sostenible y orientada al bien común.

Palabras clave:

Ingeniería situada; sostenibilidad; territorios latinoamericanos; tecnología social; bien común

Abstract

This collective volume brings together research situated in regional contexts of Latin America that approach engineering as a social, technical, and ethically committed practice oriented toward territorial development. Across ten chapters, the work moves from historical reflections on the engineering of Ancient Greece and Ancient Egypt to applied studies in agroindustry, quality management, occupational health and safety, and information technologies. It addresses issues such as pollution from illicit crops, air quality in municipalities without monitoring, the adoption of ISO certifications in small and medium-sized enterprises, the implementation of Industry 4.0, the characterization of essential oils, green nanotechnology, and soil evaluation for buildings in vulnerable communities. The book highlights the need to articulate scientific knowledge with local knowledge, to promote accessible and low-cost technologies, and to rethink territorial development from a critical, sustainable perspective oriented toward the common good.

Keywords:

situated engineering; sustainability; Latin American territories; social technology; common good

Resumo

Este volume coletivo reúne pesquisas situadas em contextos regionais da América Latina que abordam a engenharia como uma prática social, técnica e eticamente comprometida com o desenvolvimento territorial. Ao longo de dez capítulos, a obra transita desde reflexões históricas sobre a engenharia da Grécia Antiga e do Antigo Egito até estudos aplicados em agroindústria, gestão da qualidade, segurança e saúde ocupacional, e tecnologias da informação. Abordam-se problemáticas como a contaminação por cultivos ilícitos, a qualidade do ar em municípios sem monitoramento, a adoção de certificações ISO em pequenas e médias empresas, a implementação da Indústria 4.0, a caracterização de óleos essenciais, a nanotecnologia verde e a avaliação de solos para edificações em comunidades vulneráveis. O livro destaca a necessidade de articular o conhecimento científico com saberes locais, promover tecnologias acessíveis e de baixo custo, e repensar o desenvolvimento territorial a partir de uma perspectiva crítica, sustentável e orientada para o bem comum.

Palavras-chave:

engenharia situada; sustentabilidade; territórios latino-americanos; tecnologia social; bem comum

Tabla de Contenidos

| | |
|-----------|---|
| 6 | Revisión por pares |
| 6 | Peer Review |
| 7 | Coordinador |
| 9 | Resumen |
| 10 | Abstract |
| 10 | Resumo |
| 15 | Introducción |
| | La ingeniería como práctica situada. Diálogos entre historia, territorio y sostenibilidad en América Latina <i>Félix Javier Manjarrés Arias</i> |
| 21 | Capítulo 1 |
| | Pensar la ingeniería desde la historia: claves griegas para un futuro latinoamericano <i>Humberto Andrés Álvarez Sepúlveda, Claudine Glenda Benoit Ríos</i> |
| 36 | Capítulo 2 |
| | Análisis estadístico sobre las principales enfermedades que afectan el cultivo de papa <i>Daniel Bello Parra, Alicia Peralta Maroto, Félix Murrieta Domínguez, Janeth Ramos López, Alberto Ceballos</i> |
| 51 | Capítulo 3 |
| | Caracterización fisicoquímica del aceite esencial de orégano (<i>Lippia Graveolens</i>) del estado de Guanajuato, México <i>Jesus Alberto Sanchez Valtierra</i> |
| 67 | Capítulo 4 |
| | Industria 4.0, la fábrica inteligente y sus retos en México y América Latina <i>Carlos Eduardo Belman López</i> |
| 91 | Capítulo 5 |
| | Adopción de certificaciones de gestión en América Latina: un análisis comparativo con énfasis en México <i>Mario Antonio Hernández Villegas, José Antonio Yarza Acuña, Ricardo Lorenzo Ávila Rondón, Ana Carolina Meléndez Gurrola</i> |

- 114 **Capítulo 6**
Biorremediación artesanal en suelos contaminados por la producción de cocaína en una vereda de Nariño, Colombia
Luis Andrés Rodríguez Coral, María Lorcy Rosero Mora, Oscar Jardey Suarez
- 137 **Capítulo 7**
Sistema de análisis de datos abiertos para evaluar la calidad del aire y el clima en Sectores rurales del Cesar
Lizeth Badillo Duran, Luis Manuel Palmera Quintero, Karen Cristina Coronel Robles, Didier Fernando Guerrero Sumalave
- 152 **Capítulo 8**
Nanotecnología sostenible mediante generación de energía, síntesis verde de nanopartículas y nanocaracterización de materiales
Antia Ivett Álvarez Bernabé, Juan Vicente Méndez Méndez, Agustín Leobardo Herrera May, Israel Arzate Vázquez, Gregorio Guadalupe Carbajal Arizaga
- 168 **Capítulo 9**
Ingeniería, territorio y bien común: Lecciones el Antiguo Egipto para América Latina
Humberto Andrés Álvarez Sepúlveda, Claudine Glenda Benoit Ríos

Introducción. La ingeniería como práctica situada. Diálogos entre historia, territorio y sostenibilidad en América Latina

Félix Javier Manjarrés Arias

Manjarrés Arias, F. J. (2026). La ingeniería como práctica situada. Diálogos entre historia, territorio y sostenibilidad en América Latina. En F. J. Manjarrés Arias (Coord). *El espectro de las ingenierías. Investigaciones situadas en contextos regionales (Vol. I)*. (pp. 15-19). Religación Press. <http://doi.org/10.46652/religacionpress.401.859>



La obra colectiva que el lector tiene en sus manos, *El espectro de las ingenierías. Investigaciones situadas en contextos regionales (Volumen I)*, coordinada por el profesor Félix Javier Manjarrés Arias, constituye un esfuerzo editorial sistemático por visibilizar la diversidad de enfoques, problemas y soluciones que atraviesan el quehacer ingenieril contemporáneo desde una mirada anclada en realidades concretas de América Latina. Lejos de asumir una visión homogénea o tecnocrática de la disciplina, los diez capítulos que integran este volumen ofrecen un recorrido que transita desde la reflexión histórica y ética hasta el desarrollo de herramientas tecnológicas de vanguardia, pasando por estudios de caso en agroindustria, gestión ambiental, normalización industrial y nanotecnología. El hilo conductor que articula estas contribuciones es la convicción de que la ingeniería no puede comprenderse como un saber descontextualizado, sino como una práctica situada que responde a necesidades, recursos y limitaciones de territorios específicos.

El recorrido se abre con una mirada retrospectiva de largo aliento. En el *Capítulo 1*, titulado *“Pensar la ingeniería desde la historia: claves griegas para un futuro latinoamericano”*, los autores recuperan las lecciones éticas y políticas de la ingeniería de la Antigua Grecia para problematizar los modelos de desarrollo hegemónicos en la región. A partir de allí, el volumen efectúa un giro hacia problemas concretos del presente. El *Capítulo 2*, *“Análisis estadístico sobre las principales enfermedades que afectan el cultivo de papa”*, aplica herramientas de control de calidad a un sector productivo estratégico en México, demostrando cómo la estadística puede contribuir a la toma de decisiones en el ámbito agrícola. En continuidad con esta vocación aplicada, el *Capítulo 3*, *“Caracterización fisicoquímica del aceite esencial de orégano (Lippia Graveolens) del estado de Guanajuato, México”*, ofrece un estudio detallado de un recurso aromático regional, sentando las bases para su aprovechamiento sostenible en industrias farmacéutica y alimentaria.

El *cuarto capítulo*, *“Industria 4.0, la fábrica inteligente y sus retos en México y América Latina”*, introduce una discusión sobre los principios de diseño de la manufactura inteligente y los sistemas ciberfísicos, señalando tanto las oportunidades como los obstáculos sociales y formativos que enfrenta la región para adoptar estas tecnologías. Este análisis se complementa con el *Capítulo 5*, *“Adopción de certificaciones de gestión en América Latina: un análisis comparativo con énfasis en México”*, que examina la penetración de las normas ISO 9001, ISO 14001 e ISO 45001 en la región, revelando contrastes entre volumen absoluto e intensidad relativa de certificaciones y destacando el rezago de las pequeñas y medianas empresas. De los desafíos de la estandarización industrial, la obra transita hacia problemáticas ambientales de alta complejidad. El *Capítulo 6*, *“Biorremediación artesanal en suelos contaminados por la producción de cocaína en una vereda de Nariño, Colombia”*, presenta una propuesta innovadora que integra conocimiento científico sobre microorganismos nativos con saberes ancestrales campesinos, diseñando un protocolo de restauración de bajo costo y alta pertinencia territorial.

En una línea convergente de atención a la crisis ambiental, el *Capítulo 7, “Sistema de análisis de datos abiertos para evaluar la calidad del aire y el clima en sectores rurales del Cesar”*, describe el desarrollo de una herramienta tecnológica que permite reconstruir indicadores locales de contaminación atmosférica en municipios carentes de estaciones de monitoreo oficiales, democratizando así el acceso a información crucial para la salud pública. El *Capítulo 8, “Nanotecnología sostenible mediante generación de energía, síntesis verde de nanopartículas y nanocaracterización de materiales”*, articula tres líneas de investigación complementarias —nanogeneradores triboeléctricos, nanopartículas derivadas de microalgas y microscopía de fuerza atómica— con el propósito de acercar la nanotecnología a contextos académicos y productivos mediante estrategias accesibles y ambientalmente responsables. Finalmente, el volumen cierra con el *Capítulo 9, “Ingeniería, territorio y bien común: Lecciones del Antiguo Egipto para América Latina”*, que retoma el diálogo con la historia antigua para extraer principios de planificación de largo plazo, gestión hídrica adaptativa y organización colectiva del trabajo, aplicables a los desafíos actuales de sostenibilidad y justicia social en la región.

Conclusión

La lectura en conjunto de estos diez capítulos permite sostener que la ingeniería, cuando se ejerce desde una perspectiva situada y crítica, deja de ser un mero repertorio de herramientas técnicas para convertirse en un campo estratégico de mediación entre sociedad, territorio y naturaleza. Cada uno de los estudios aquí reunidos demuestra, desde su especificidad disciplinar, que las soluciones técnicas más efectivas y duraderas son aquellas que reconocen las condiciones materiales, culturales e institucionales de los contextos en los que se inscriben. Ya sea mediante la recuperación de saberes históricos, la adaptación de tecnologías de la información, el diseño de procesos de biorremediación participativos o la incorporación de la variable sísmica en el diseño arquitectónico, los autores coinciden en la necesidad de superar enfoques universalistas y extractivistas que han predominado en la formación y el ejercicio profesional de la ingeniería en América Latina.

Asimismo, la obra evidencia que los grandes desafíos contemporáneos —el cambio climático, la desigualdad en el acceso a infraestructura, la contaminación ambiental, la precarización del trabajo técnico— no pueden ser abordados desde una única especialidad ni desde una lógica exclusivamente instrumental. La convergencia entre ingeniería, ciencias sociales, saberes locales y políticas públicas se presenta, a lo largo de estas páginas, como una condición indispensable para avanzar hacia modelos de desarrollo más sostenibles, equitativos y democráticos. En este sentido, el volumen no solo ofrece hallazgos empíricos y propuestas metodológicas, sino que también interpela a las instituciones de educación superior, a los gremios profesionales y a los tomadores de decisión sobre la urgencia de repensar los currículos, las líneas de investigación y los criterios de evaluación de la ingeniería en la región.

Finalmente, El espectro de las ingenierías se constituye como una invitación abierta a seguir profundizando en el diálogo interdiscipli-

nario y en la construcción colaborativa de conocimientos que respondan a las necesidades reales de los territorios latinoamericanos. Las lecciones históricas del pasado, los desarrollos tecnológicos de vanguardia y las experiencias comunitarias de restauración ecológica convergen en estas páginas para mostrar que existe un camino posible para una ingeniería socialmente comprometida, éticamente orientada y territorialmente anclada. Quienes se acerquen a esta obra encontrarán no solo información actualizada y rigurosa, sino también un horizonte de sentido para repensar el quehacer ingenieril como una práctica al servicio de la vida colectiva y del bien común.

Capítulo 1

Pensar la ingeniería desde la historia: claves griegas para un futuro latinoamericano

Humberto Andrés Álvarez Sepúlveda, Claudine Glenda Benoit Ríos

Álvarez Sepúlveda, H. A., & Benoit Ríos, C. G. (2026). Pensar la ingeniería desde la historia: claves griegas para un futuro latinoamericano. En F. J. Manjarrés Arias, (Coord). *El espectro de las ingenierías. Investigaciones situadas en contextos regionales (Volumen I)*. (pp. 21-34). Religación Press. <http://doi.org/10.46652/religacionpress.401.c860>



01

Pensar la ingeniería desde la historia: claves griegas para un futuro latinoamericano

Resumen

Este capítulo analiza las principales lecciones que la ingeniería de la Antigua Grecia ofrece para los desafíos contemporáneos de América Latina. El estudio se sustenta en una revisión de alcance de literatura especializada, desarrollada desde un enfoque cualitativo e interpretativo, inscrito en un paradigma humanista-crítico y un diseño narrativo de tópico. El análisis se organiza en tres ejes: la ingeniería como saber cívico y político, la racionalidad técnica vinculada a la observación de la naturaleza, y la relación entre infraestructura, ciudadanía y justicia social. Se sostiene que, más allá de sus limitaciones históricas, la ingeniería griega aporta claves relevantes para repensar modelos de desarrollo en América Latina, particularmente en contextos marcados por desigualdad, extractivismo y crisis socioambientales. El ensayo concluye que recuperar estos principios desde una perspectiva crítica y situada puede contribuir al desarrollo de una ingeniería más ética, sostenible y socialmente comprometida en la región.

Palabras clave: Ingeniería antigua; Grecia clásica; Infraestructura; Ética del bien común; América Latina.

Introducción

La ingeniería de la Antigua Grecia ha sido tradicionalmente abordada desde una perspectiva eurocéntrica y celebratoria, centrada en sus logros técnicos, en la genialidad individual de figuras como Arquímedes o Herón de Alejandría, o en su función como antecedente lineal de la ciencia y la ingeniería modernas. Este enfoque, heredero de narrativas progresistas del conocimiento, tiende a aislar las prácticas ingenieriles de sus contextos sociales, políticos y culturales, reduciéndolas a una sucesión de innovaciones técnicas desvinculadas de la vida colectiva (Lewis, 2001; Cuomo, 2007; Taub, 2023). Sin embargo, una lectura histórica crítica y contextualizada permite comprender la ingeniería griega no solo como un conjunto de soluciones instrumentales, sino como un saber profundamente articulado con la vida cívica, la ética pública y la organización política de la polis, en la que técnica, ciudadanía y bien común se encontraban estrechamente entrelazados.

En las ciudades-estado griegas, las obras de ingeniería —acueductos, sistemas de drenaje, puertos, fortificaciones y dispositivos hidráulicos— respondían a necesidades colectivas definidas políticamente y estaban subordinadas a concepciones específicas de orden social, justicia y participación cívica (Oleson, 2009; Taub, 2023; Karimov et al., 2024). En este sentido, la ingeniería no operaba como un campo autónomo ni neutral, sino como una práctica social situada, atravesada por decisiones éticas y disputas de poder. Reconocer esta dimensión resulta clave para superar lecturas tecnocráticas del pasado y para abrir un diálogo fecundo con los desafíos contemporáneos de América Latina, especialmente aquellos vinculados al desarrollo, la infraestructura, la sostenibilidad ambiental y la persistente desigualdad social.

En este contexto, el ensayo busca argumentar que las prácticas ingenieriles de la Antigua Grecia ofrecen una oportunidad crítica para cuestionar los modelos de desarrollo hegemónicos en América Latina de los siglos XX y XXI, marcados por una lógica tecnocrática y extractivista que, como advierte Svampa (2019), ha priorizado la rentabili-

dad económica por sobre el bienestar colectivo, con severos impactos socioambientales. Frente a ello, la ingeniería griega permite repensar el vínculo entre técnica, naturaleza y sociedad desde una lógica no exclusivamente instrumental. Así, el ensayo no propone una idealización del pasado, sino un ejercicio de diálogo entre pasado y presente, orientado a rescatar claves éticas y políticas que permitan imaginar formas de desarrollo más humanas, democráticas y socialmente responsables para América Latina.

Metodológicamente, este capítulo se construye a partir de una revisión de alcance de literatura historiográfica, arqueológica, filosófica y de estudios críticos sobre desarrollo, centrada en la ingeniería de la Antigua Grecia y en debates contemporáneos sobre sostenibilidad, territorio e infraestructura en América Latina. Se analizaron fuentes obtenidas desde bases de datos académicas como Scopus, Scielo y Google Académico, junto con obras clásicas y estudios especializados en historia de la ingeniería, arqueología clásica, historia de la tecnología y pensamiento crítico latinoamericano sobre bienes comunes, extractivismo y modelos alternativos de desarrollo.

El estudio se inscribe en un enfoque cualitativo-interpretativo y adopta un diseño narrativo de tópico, sustentado en un paradigma humanista y crítico que privilegia la comprensión histórica, contextual y relacional de los saberes técnicos, antes que su evaluación desde parámetros ingenieriles contemporáneos o desde lecturas evolucionistas del progreso tecnológico. Desde esta perspectiva, la ingeniería es comprendida como una práctica social, política y cultural situada, inseparable de las formas de organización de la polis, de la gestión del territorio y de las concepciones éticas que estructuraron la vida colectiva en la Antigua Grecia.

Esta estrategia metodológica permitió examinar los principios que organizaron la ingeniería griega —su orientación al bien común, la observación prudencial de la naturaleza y el carácter político de la infraestructura— y ponerlos en diálogo crítico con los desafíos actuales que enfrenta América Latina en contextos de crisis socioambien-

tal, urbanización desigual y mercantilización de la infraestructura. Al mismo tiempo, el enfoque adoptado posibilita proyectar reflexiones orientadas a repensar el rol de la ingeniería en la región, no solo como respuesta técnica a problemas inmediatos, sino como un campo estratégico para la construcción de modelos de desarrollo más sostenibles, equitativos y socialmente comprometidos, reconociendo el valor histórico, ético y epistemológico de los saberes técnicos del pasado.

La ingeniería como saber cívico y político

En la Antigua Grecia, la ingeniería no se concebía como una actividad neutral ni exclusivamente técnica, sino como un saber estrechamente vinculado a la organización de la vida colectiva y al funcionamiento de la polis. Lejos de responder a lógicas de mercado o de acumulación privada, las obras de ingeniería estaban orientadas a resolver problemas públicos fundamentales, tales como el abastecimiento de agua potable, la protección militar, la circulación de personas y mercancías, y la configuración de espacios urbanos destinados a la deliberación política y la vida comunitaria (Cuomo, 2007; Oleson, 2009). En este marco, infraestructuras como acueductos, sistemas de drenaje, puertos, caminos y fortificaciones no eran simples soluciones técnicas, sino expresiones materiales de decisiones políticas y de concepciones específicas sobre el bien común y la justicia cívica.

La planificación y ejecución de estas obras se encontraban subordinadas a instancias de decisión colectiva, lo que implicaba una articulación directa entre conocimiento técnico, poder político y responsabilidad pública. Tal como señala Lewis (2001), el ingeniero griego operaba en un campo de tensiones donde la pericia técnica debía dialogar con las expectativas de la comunidad y con los marcos normativos de la ciudad. Esta condición contrasta de manera significativa con la concepción actual de la ingeniería como un saber especializado y tecnocrático, frecuentemente desvinculado de procesos deliberativos amplios y legitimado por criterios de eficiencia económica antes que por consideraciones éticas o sociales.

Esta dimensión cívica de la ingeniería resulta especialmente significativa para el análisis de los modelos de desarrollo en América Latina. Para Svampa (2019), a lo largo de las últimas décadas, numerosos proyectos de infraestructura —represas, carreteras, puertos, megaproyectos energéticos o extractivos— han sido impulsados sin una participación social efectiva, generando conflictos territoriales, desplazamientos forzados y graves impactos ambientales. En estos contextos, la ingeniería ha operado con frecuencia como un instrumento al servicio de intereses económicos concentrados, reforzando asimetrías de poder y profundizando desigualdades históricas.

Frente a este escenario, la experiencia griega permite recordar que toda obra técnica implica una toma de posición ética y política, aun cuando esta se presente bajo el ropaje de la neutralidad científica. Como advierte Winner (1986), las infraestructuras materializan formas de organización social y distribuyen de manera desigual beneficios y costos. Desde esta perspectiva, la ingeniería griega ofrece una lección fundamental: el conocimiento técnico no puede comprenderse al margen de sus efectos sociales, y debe estar subordinado a fines colectivos discutidos democráticamente.

En consecuencia, la enseñanza central que se desprende de este análisis no radica en la reproducción de soluciones constructivas específicas, propias de un contexto histórico radicalmente distinto, sino en la comprensión de la ingeniería como una práctica socialmente situada, responsable ante la comunidad y orientada al fortalecimiento de la vida pública. Recuperar esta dimensión cívico-política implica repensar el rol del ingeniero y de la ingeniería en América Latina, no como ejecutores de proyectos, sino como actores éticos comprometidos con la justicia social, la participación ciudadana y la sostenibilidad territorial.

Racionalidad técnica, observación de la naturaleza y límites

Otro rasgo distintivo de la ingeniería de la Antigua Grecia fue su estrecha relación con la observación empírica y sistemática de la naturaleza. A diferencia de concepciones posteriores orientadas a la dominación técnica del entorno, la racionalidad ingenieril griega se construyó a partir de una comprensión atenta de los ritmos naturales, de las condiciones topográficas y climáticas, y de las propiedades específicas de los materiales disponibles. Esta aproximación puede observarse tanto en tratados técnicos atribuidos a autores helenísticos como en las obras de figuras centrales como Arquímedes de Siracusa o Filón de Bizancio, cuyas soluciones ingenieriles revelan una lógica de adaptación contextual antes que de imposición sobre el medio (Cuomo, 2007; Oleson, 2009).

En este marco, la ingeniería griega no perseguía la transformación ilimitada de la naturaleza, sino su aprovechamiento racional dentro de ciertos límites. Dispositivos hidráulicos, sistemas de drenaje y mecanismos mecánicos se diseñaban considerando la gravedad, la pendiente, la disponibilidad de agua y la resistencia de los materiales, lo que evidencia una forma de racionalidad técnica que reconoce restricciones físicas y ecológicas. Tal como señala Cuomo (2007), esta relación entre teoría y práctica se sustentaba en una epistemología donde la *téchne* se entendía como un saber prudencial, inseparable de la experiencia y de la observación directa del mundo natural.

Para América Latina, región atravesada por una profunda crisis socioambiental, esta aproximación resulta especialmente pertinente. En contraste con modelos contemporáneos de desarrollo basados en la explotación intensiva de recursos naturales —minería a gran escala, monocultivos, megaproyectos energéticos—, la racionalidad técnica griega pone de relieve la necesidad de una ingeniería que reconozca los límites ecológicos y la diversidad territorial. Harvey (2003) y Svampa (2019), han advertido que la lógica del crecimiento ilimitado ha gene-

rado procesos de degradación ambiental, pérdida de biodiversidad y conflictos socioambientales persistentes en la región.

Desde una perspectiva crítica, el diálogo con la ingeniería griega permite problematizar la noción moderna de progreso técnico entendida como expansión ilimitada y dominio absoluto sobre la naturaleza. Más que una lógica de control, esta tradición sugiere concebir el desarrollo como un proceso de adecuación inteligente, prudente y situado, orientado por las condiciones ecológicas, sociales y culturales de cada territorio. En este sentido, como plantea Escobar (2018), dicha mirada converge con enfoques contemporáneos de sostenibilidad, ingeniería ecológica y diseño contextualizado, así como con los saberes territoriales e indígenas de América Latina, que subrayan vínculos de reciprocidad, cuidado y corresponsabilidad con el entorno.

En esta línea, la lección que ofrece la ingeniería griega no consiste en un rechazo de la técnica, sino en una redefinición de sus fines y límites. Recuperar esta racionalidad implica avanzar hacia una ingeniería que abandone la lógica extractivista y que asuma su responsabilidad en la preservación de los ecosistemas, en el respeto por las comunidades locales y en la construcción de futuros sostenibles. Así, la observación de la naturaleza y el reconocimiento de sus límites se configuran como principios éticos y epistemológicos fundamentales para repensar la práctica ingenieril en América Latina.

Infraestructura, ciudadanía y desigualdad

Un tercer aspecto central para comprender las lecciones de la ingeniería de la Antigua Grecia es la relación entre infraestructura, ciudadanía y desigualdad. En las polis griegas, el acceso a determinadas obras públicas —como fuentes de agua, caminos, murallas, ágoras o espacios urbanos— se encontraba directamente vinculado a la pertenencia cívica. La infraestructura no solo organizaba la vida material de la ciudad, sino que también delimitaba simbólica y prácticamente quiénes eran considerados miembros plenos de la comunidad política.

Tal como señala Cartledge (2012), esta ciudadanía estaba restringida a varones libres, excluyendo sistemáticamente a mujeres, esclavos y extranjeros, lo que obliga a reconocer los límites y contradicciones de la experiencia griega para evitar lecturas idealizadas o normativas.

Sin embargo, incluso reconociendo estas exclusiones estructurales, la ingeniería griega pone de relieve un aspecto fundamental: la infraestructura nunca es neutral. Lejos de ser puramente funcional, cumple un rol simbólico y político, ya que distribuye de manera diferencial el acceso a recursos, servicios y espacios de participación. Caminos, sistemas hidráulicos y espacios urbanos no solo facilitaban la vida cotidiana, sino que configuraban jerarquías, regulaban la circulación y materializaban un determinado orden social (Winner, 1986; Oleson, 2009; Karimov et al., 2024). En este sentido, la infraestructura puede ser leída como una forma de “política material”, en la que decisiones técnicas producen efectos sociales duraderos.

Esta dimensión resulta especialmente relevante para América Latina, donde la desigualdad territorial se expresa con particular intensidad en el acceso desigual a servicios básicos como agua potable, saneamiento, transporte, energía y conectividad. En numerosos contextos urbanos y rurales de la región, la infraestructura reproduce y profundiza exclusiones históricas, afectando de manera desproporcionada a comunidades indígenas, sectores populares y territorios periféricos (Harvey, 2003; Svampa, 2019). La ingeniería, en estos casos, ha operado frecuentemente como un instrumento de segmentación social más que como un medio de integración ciudadana.

Desde esta mirada, una lectura crítica de la experiencia griega permite asumir que el diseño y la implementación de infraestructuras deben ser entendidos como decisiones profundamente políticas, con impactos directos sobre la ciudadanía y la justicia social (Taub, 2023). La lección no consiste en replicar modelos históricos excluyentes, sino en reconocer que toda obra técnica implica una toma de posición respecto de quiénes son considerados sujetos de derecho y quiénes quedan relegados a la condición de usuarios secundarios o externalidades del sistema.

En consecuencia, pensar una ingeniería orientada a la equidad en América Latina implica desplazar el foco desde la eficiencia técnica hacia la justicia distributiva y el reconocimiento social. Recuperar críticamente la experiencia griega supone concebir la infraestructura como un bien público al servicio de la inclusión, capaz de contribuir a la reducción de desigualdades y al fortalecimiento de una ciudadanía sustantiva. De este modo, la ingeniería deja de ser una herramienta técnica para convertirse en una práctica ética y política comprometida con la dignidad de las poblaciones históricamente excluidas.

Conclusión

Las lecciones de la ingeniería de la Antigua Grecia, analizadas desde una perspectiva crítica e históricamente situada, ofrecen claves sustantivas para repensar los desafíos contemporáneos que enfrenta América Latina en materia de desarrollo, infraestructura y justicia social. Más que modelos técnicos replicables o soluciones instrumentales transferibles, la experiencia griega aporta principios orientadores de carácter ético, político y epistemológico. Entre ellos destacan la subordinación del saber técnico al bien común, el reconocimiento de los límites naturales como condición de posibilidad del desarrollo y la comprensión de la infraestructura como una práctica social y política inseparable de la organización de la vida colectiva.

En un contexto regional marcado por crisis socioambientales persistentes, desigualdad estructural y una creciente desconfianza hacia los grandes proyectos de desarrollo, recuperar críticamente estas lecciones implica cuestionar la supuesta neutralidad de la técnica. La ingeniería no opera en un vacío axiológico, sino que materializa relaciones de poder, distribuye de manera desigual riesgos y beneficios, y configura territorialidades diferenciadas. Reconocer esta dimensión permite desplazar el foco desde la eficiencia técnica hacia la responsabilidad social, la deliberación democrática y la justicia territorial.

Asimismo, la atención que la ingeniería griega prestó a la observación de la naturaleza y a la adecuación contextual de las soluciones técnicas ofrece un contrapunto relevante frente a los modelos actuales

de crecimiento ilimitado. Esta racionalidad prudencial invita a concebir el desarrollo no como expansión indefinida, sino como un proceso situado, respetuoso de la diversidad ecológica y cultural de los territorios. En este marco, la técnica deja de ser un fin en sí misma para convertirse en un medio al servicio de la vida colectiva.

En síntesis, el diálogo con la ingeniería de la Antigua Grecia no representa un retorno nostálgico al pasado ni una idealización de experiencias históricamente excluyentes. Constituye, más bien, una oportunidad crítica para interrogar los supuestos que sostienen la ingeniería actual y para imaginar horizontes alternativos de desarrollo más humanos, democráticos y sostenibles. Asumir estas lecciones implica avanzar hacia una ingeniería comprometida con la justicia social, la participación ciudadana y el cuidado de los ecosistemas, contribuyendo a la construcción de futuros posibles más dignos para la región.

A partir de los aportes desarrollados en este ensayo, se abren diversas líneas futuras de investigación orientadas a profundizar el diálogo entre historia de la ingeniería, ética pública y desarrollo en América Latina. En primer lugar, resulta pertinente avanzar en estudios comparativos que analicen cómo distintas tradiciones ingenieriles antiguas y no occidentales pueden contribuir a la construcción de modelos técnicos más situados y socialmente responsables. En segundo término, se proyecta la necesidad de investigaciones empíricas que examinen críticamente la formación ética y ciudadana en las carreras de ingeniería, evaluando en qué medida los currículos actuales incorporan reflexiones sobre bien común, sostenibilidad y justicia territorial. Del mismo modo, se propone profundizar en el análisis del impacto social de las infraestructuras contemporáneas desde enfoques interdisciplinarios que integren historia, sociología, estudios territoriales y saberes locales. Finalmente, estas líneas de trabajo permiten proyectar la construcción de marcos conceptuales y pedagógicos que orienten una ingeniería comprometida con la democracia, la equidad y el cuidado de los ecosistemas, contribuyendo a repensar el desarrollo latinoamericano desde una perspectiva crítica, humanista y sostenible.

Referencias

- Cartledge, P. (2012). *Ancient Greek political thought in practice*. Cambridge University Press.
- Cuomo, S. (2007). *Technology and culture in Greek and Roman antiquity*. Cambridge University Press.
- Escobar, A. (2018). *Designs for the pluriverse: Radical interdependence, autonomy, and the making of worlds*. Duke University Press. <https://doi.org/10.1215/9780822371816>
- Harvey, D. (2003). *The right to the city*. *International Journal of Urban and Regional Research*, 27(4), 939-941. <https://doi.org/10.1111/j.0309-1317.2003.00492.x>
- Karimov, N., Sarybaev, M., Kaipnazarov, A., Djumageldiev, N., Reymbaev, R., & Kholdarova, F. (2024). Historical development of construction techniques: From ancient architecture to modern engineering. *Archives for Technical Sciences*, 31(2), 36-48.
- Lewis, M. (2001). *Surveying instruments of Greece and Rome*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511483035>
- Oleson, J. (2009). *The Oxford handbook of engineering and technology in the classical world*. Oxford University Press.
- Svampa, M. (2019). *Las fronteras del neoextractivismo en América Latina*. CALAS.
- Taub, L. (2023). *Ancient Greek and Roman science: A very short introduction*. Oxford University Press.
- Winner, L. (1986). *The whale and the reactor: A search for limits in an age of high technology*. University of Chicago Press.

Humberto Andrés Álvarez Sepúlveda

Universidad Católica de la Santísima Concepción | Concepción | Chile

<https://orcid.org/0000-0001-5729-3404>

halvarez@ucsc.cl

humalvarezsep@gmail.com

Académico de la Universidad Católica de la Santísima Concepción (Chile). Doctor en Sociedad y Cultura por la Universidad de Barcelona (España). Autor de diversos capítulos de libros y artículos sobre educación histórica publicados en revistas científicas indexadas a WoS, Scopus y Scielo.

Claudine Glenda Benoit Ríos

Universidad Católica de la Santísima Concepción | Concepción | Chile

<https://orcid.org/0000-0002-1791-2212>

cbenoit@ucsc.cl

claudbenoit@gmail.com

Académica del Departamento de Didáctica de la Universidad Católica de la Santísima Concepción, Concepción (Chile). Doctora en Lingüística, por la Universidad de Concepción. Investigadora en didáctica de la comprensión y producción del lenguaje, y estrategias colaborativas durante el procesamiento.

Thinking about engineering from a historical perspective: Greek keys to a Latin American future**Abstract**

This chapter analyzes the main lessons that Ancient Greek engineering offers for contemporary challenges in Latin America. The study is based on a scoping review of specialized literature, developed from a qualitative and interpretive approach, inscribed in a humanistic-critical paradigm and a narrative design of the topic. The analysis is organized around three axes: engineering as civic and political knowledge, technical rationality linked to the observation of nature, and the relationship between infrastructure, citizenship, and social justice. It argues that, beyond its historical limitations, Greek engineering provides relevant keys to rethinking development models in Latin America, particularly in contexts marked by inequality, extractivism, and socio-environmental crises. The essay concludes that recovering these principles from a critical and situated perspective can contribute to the development of a more ethical, sustainable, and socially committed engineering in the region.

Keywords: Ancient engineering; Classical Greece; Infrastructure; Ethics of the common good; Latin America.

Pensar a engenharia a partir da história: chaves gregas para um futuro latino-americano**Resumo**

Este capítulo analisa as principais lições que a engenharia da Grécia Antiga oferece para os desafios contemporâneos da América Latina. O estudo baseia-se em uma revisão de escopo da literatura especializada, desenvolvida a partir de uma abordagem qualitativa e interpretativa, inscrita em um paradigma humanístico-crítico e um design narrativo de tópicos. A análise está organizada em três eixos: a engenharia como saber cívico e político, a

racionalidade técnica vinculada à observação da natureza e a relação entre infraestrutura, cidadania e justiça social. Argumenta-se que, para além de suas limitações históricas, a engenharia grega oferece chaves relevantes para repensar modelos de desenvolvimento na América Latina, particularmente em contextos marcados pela desigualdade, extrativismo e crises socioambientais. O ensaio conclui que recuperar esses princípios a partir de uma perspectiva crítica e situada pode contribuir para o desenvolvimento de uma engenharia mais ética, sustentável e socialmente comprometida na região.

Palavras-chave: Engenharia antiga; Grécia Clássica; Infraestrutura; Ética do bem comum; América Latina.

Capítulo 2

Análisis estadístico sobre las principales enfermedades que afectan el cultivo de papa

Daniel Bello Parra, Alicia Peralta Maroto, Félix Murrieta Domínguez, Janeth Ramos López, Alberto Ceballos

Bello Parra, D., Peralta Maroto, A., Murrieta Domínguez, F., Ramos López, J., & Ceballos, A. (2026). Análisis estadístico sobre las principales enfermedades que afectan el cultivo de papa. En F. J. Manjarrés Arias. (Coord). *El espectro de las ingenierías. Investigaciones situadas en contextos regionales (Volumen I)*. (pp. 36-49). Religación Press. <http://doi.org/10.46652/religacionpress.401.c861>



02

Análisis estadístico sobre las principales enfermedades que afectan el cultivo de papa

Resumen

La papa (*Solanum Tuberosum*) es uno de los tubérculos con mayor consumo en el país México y con mayor producción en las regiones altas donde las temperaturas son bajas, específicamente en la región de Perote Veracruz, aunque es uno de los cultivos con mayor demanda, presenta problemas que afectan la calidad del tubérculo como son las enfermedades que atacan cada una de las plantas, causando pérdidas productivas como económicas. El presente trabajo contiene un análisis estadístico sobre las principales enfermedades que atacan al cultivo, clasificando aquellas que están causando mayor problema a los productores, a través de herramientas estadísticas de calidad (Pareto, estudio estratificado, hojas de verificación e Ishikawa), esto con el fin de documentar las posibles variables que están afectando directamente el cultivo y detectar cuáles son aquellas que se podrían controlar con métodos de especialistas en el tema.

Palabras clave: Papa; tubérculo; herramientas estadísticas de calidad; variables; cultivo.

Introducción

La producción de papa en la comunidad de Perote, Veracruz, enfrenta problemáticas serias que afectan el cultivo del tubérculo, tales como los suelos erosionados, el uso inadecuado de plaguicidas, fertilizantes, el cambio climático, aunque los principales problemas a los que se enfrenta la producción son las distintas enfermedades producidas por hongos, bacterias o virus, plagas, etc.

Los daños antes mencionados, aparte de reducir la calidad del producto, y el costo económico en las inversiones durante el crecimiento de la planta del tubérculo se ven reflejadas en las ganancias

Los beneficios esperados es poder conocer, diagnosticar y evaluar las posibles enfermedades que presente el cultivo, para poder implementar medidas de control oportunas y eficaces, así también poder ayudar a mejorar la productividad y el rendimiento de la misma, contrarrestando el riesgo total de la pérdida del cultivo, poder crear conciencia en utilizar los recursos de manera más eficiente y como resultado obtener la calidad y la uniformidad del producto terminado

Metodología

La detección de las enfermedades y el análisis estadístico se llevó a cabo en la región de Perote, Veracruz, México; en una de las comunidades cercanas al municipio, específicamente en la comunidad “Rancho El Capulín” con la finalidad de detectar las enfermedades que afectan directamente el desarrollo del cultivo de la papa y como se presentan en el cultivo, como se describe a continuación:

1. Detectar las principales enfermedades que se presentan en los cultivos de papa, mediante información recopilada.
- Realizar una investigación de las principales enfermedades que presenta la región.

- Detectar y conocer los tipos de enfermedades que existen en el cultivo y clasificarlas en una tabla por tipo de tubérculo.
 - Realizar un muestreo de acuerdo con el conocimiento de los ingenieros encargados de la parcela
 - Conocer las causas que originan las enfermedades mediante un diagrama de causa y efecto.
2. Determinar el índice de aparición de las principales enfermedades, mediante el uso de herramientas estadísticas de calidad.
 - Clasificar los tipos de enfermedades de acuerdo con la cantidad de plantas infectadas.
 - Realizar una gráfica de pastel donde se refleje el porcentaje de enfermedad presentada en el cultivo.
 - Evaluar el impacto de las enfermedades que afectan el deterioro del cultivo
 - Realizar un estudio estratificado para conocer el porcentaje de tubérculos infectados
 3. Análisis de resultados
 - Analizar las enfermedades de mayor impacto en los cultivos y en qué medida están afectando la producción

Principales enfermedades encontradas en los cultivos de papa en la región de Perote, Veracruz

El tizón tardío (*Phytophthora infestans*) es la enfermedad más grave de la papa. El patógeno prospera en clima húmedo con agua libre sobre las hojas, pues sus esporas tienen un par de flagelos con los que nadan en las hojas antes de penetrarlas; la favorecen también las temperaturas elevadas de día, pero con nublados y frescas de noche. Ataca

foliolos, tallos y hasta los tubérculos. Los ataques fuertes ocasionarían la pérdida de plantaciones enteras por secamiento del follaje si no fuera por la aplicación de fungicidas, aunque el patógeno es resistente ya a muchos productos convencionales (Acuña, 2001).

Paratrioza (*bactericera cockerelli*) el adulto del pulgón saltador mide 1.6 mm, es alado, con dibujos en negro y blanco y ámbar, antenas largas y carece de corniculus. Las hembras depositan huevecillos amarillo-naranja con pedicelo corto. Las ninfas primero son amarillentas y luego verdes con ojos rojos. Presenta varias generaciones por temporada que forman abundantes colonias en el revés de las hojas donde succionan la savia (Acuña, 2001).

Pierna negra y pudrición blanda del tuberculo (*erwinia* spp.) La Pierna negra (*Erwinia carotovora* subsp. *carotovora*, se confunde con otras especies de *Erwinia*. La Pierna negra se disemina por la semilla; la Pudrición blanda del tubérculo, por la semilla y por el suelo (Acuña, 2001).

Virus del enrollamiento de la hoja. Este virus persistente es llamado, en inglés: Potato Leaf Roll Virus (PLRV). Su vector (el pulgón *myzus*) se infecta al alimentarse en una planta enferma y transmite el virus a las papas sanas. La infección inicia con los pulgones alados que llegan infectados a la plantación, y continúa a través de las colonias de hembras ápteras (Acuña, 2001).

Clasificación de las enfermedades encontradas en el cultivo de papa

La figura I muestra las enfermedades encontradas dentro del cultivo, tomando en cuenta dos tipos de papa que es “Fiana” Orquesta”

| | | | |
|-------|-----------------------------------|----------|-----------------------------------|
| fiana | Tizón tardío | Orquesta | Tizón tardío |
| | paratrizoza | | paratrizoza |
| | pierna negra | | pierna negra |
| | virus de enrollamiento de la hoja | | virus de enrollamiento de la hoja |
| | otros | | otros |

Figura 1. Enfermedades encontradas en los tipos de papa

Nota: elaboración propia

El muestreo se realizó de acuerdo con la experiencia de uno de los ingenieros encargados de la parcela; de los 700 m² de la parcela 500 m² corresponden a Fiana y 200 m² a Orquesta, tomando de cada una 100 m² para la muestra, y la cantidad de plantas enfermas en ambos tipos (Figura 2).

| Tipo de papa | enfermedades encontradas en el plantío de papa | Total de plantas | total de plantas enfermas |
|--------------|--|------------------|---------------------------|
| fiana | Tizon tardio | 800 | 225 |
| | paratrizoza | | 150 |
| | pierna negra | | 50 |
| | virus de enrollamiento de la hoja | | 350 |
| | otros | | 15 |
| Orquesta | Tizon tardio | 600 | 150 |
| | paratrizoza | | 30 |
| | pierna negra | | 5 |
| | virus de enrollamiento de la hoja | | 150 |
| | otros | | 7 |

Figura 2. Resultados del muestreo

Nota: elaboración propia

Muestreo

Fiana (semilla cuarta)

1m²= 8 plantas

100m²= 800 plantas

Orquesta (semilla tercera)

1m²= 6 plantas

100m²= 800 plantas

Porcentaje general de las enfermedades encontradas en el plantío de papa

Estos gráficos permiten ver la distribución interna de los datos que representan un hecho, en forma de porcentajes sobre un total. Los gráficos circulares son adecuados para recalcar la magnitud relativa de los componentes del total (Altamirano, 2009).

Las figuras 3 y 4 muestran el porcentaje que abarcan las enfermedades en ambos plantíos.

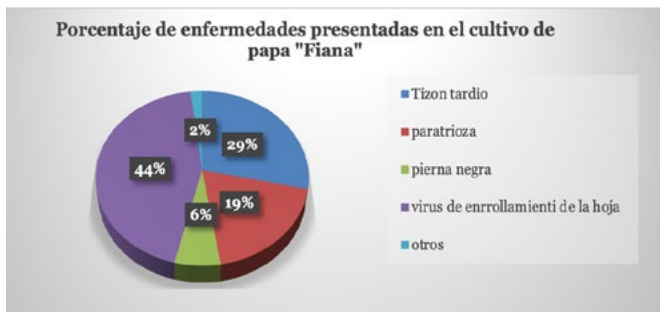


Figura 3. Porcentaje de enfermedades de papa
Nota: elaboración propia, basado en Altamirano (2009)

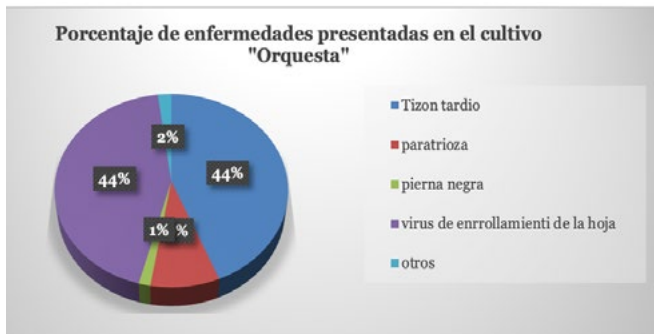


Figura 4. Porcentaje de enfermedades de papa
Nota: elaboración propia, basado en Altamirano (2009).

Resultados

Estudio estratificado

Implica dividir a la población en clases o grupos, denominados estratos. Las unidades incluidas en cada estrato deben ser relativamente homogéneas con respecto a las características a estudiar (Chao, Lincoln, 2006).

El análisis realizado para conocer el porcentaje de tubérculos infectados de las dos variedades de papa se realizó en 700 metros cuadrados los cuales 500 metros cuadrados son de fiana y 200 metros cuadrados de orquesta, los cuales se encontraron las siguientes enfermedades en ambos tipos: tizon tardío, paratrizoza, pierna negra, Virus de enrollamiento de hoja y otras plagas (tusa, gallina ciega, etc)

Este estudio también permitió determinar la muestra y determinar la población a estudiar identificando el porcentaje de la presencia de los agentes extraños o en este caso las enfermedades que se encontraron en los cultivos del tubérculo, porcentuando la aparición de cada uno de ellos (Figura 5).

| Tipo de papa | enfermedades encontradas en el plantío de papa | Total de plantas | total de plantas enfermas | numero de días que tiene la producción de papa | Porcentaje de defectos | porcentaje de eficiencia | porcentaje de productividad |
|--------------|--|------------------|---------------------------|--|------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| fiana | Tizon tardío | 800 | 225 | 45 días | 28.125 | 1400 | 41.07 |
| | paratrizoza | | 150 | | 18.75 | | 46.43 |
| | pierna negra | | 50 | | 6.25 | | 53.57 |
| | virus de enrollamiento de la hoja | | 350 | | 43.75 | | 32.14 |
| | otros | | 15 | | 1.875 | | 56.07 |
| | | | 150 | | 25 | | 32.14 |
| Orquesta | paratrizoza | 600 | 30 | 45 días | 5 | 1400 | 40.71 |
| | pierna negra | | 5 | | 0.83 | | 42.50 |
| | virus de enrollamiento de la hoja | | 150 | | 25 | | 32.14 |
| | otros | | 7 | | 1.17 | | 42.36 |
| | | | 150 | | 25 | | 32.14 |
| | | | 7 | | 1.17 | | 42.36 |

Figura 5. Determinación de muestra y población
Nota: elaboración propia, basado en Chao Lincoln (2006).

Diagrama de causa y efecto

Para conocer cuál es la causa que provoca el problema de producción se utilizó el diagrama de Ishikawa, herramienta que mediante una gráfica relaciona un problema con los factores que posiblemente lo generen. El método que se aplicó es el de las 6M's que consiste en agrupar las causas en las categorías de mano de obra, materiales, maquinaria, medición y medio ambiente, para determinar la causa del problema y relacionarla con alguna de las M's (Luca, 2016).

Se analizó e identificó todas aquellas causas que atribuyen la creación y conservación de las distintas enfermedades encontradas en ambos tipos de papa, con lo cual se concluye que los problemas principales son ocasionados por el medio ambiente en el que se encuentra, ya que los factores encontrados son las causas de la conservación de las enfermedades (Figura 6).



Figura 6. Diagrama de causa y efecto
 Nota: elaboración propia, basado en Luca (2016).

Análisis de problemas mediante diagramas de Pareto

Es una de las siete herramientas estadísticas que particularmente se emplea para dar preponderancia al origen de la problemática que se

presenta y poder averiguar qué es lo que lo está generando (Evans & Lindsay, 2021).

Los diagramas de Pareto ayudaron a identificar las enfermedades que tienen mayor impacto en ambos tipos de tubérculo (Figura 7).

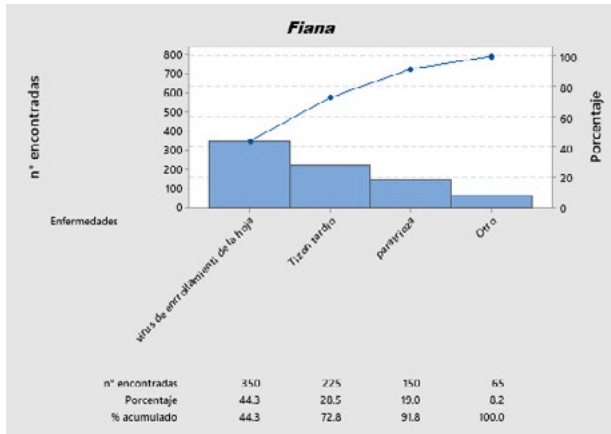


Figura 7. Diagrama de Pareto

Nota: elaboración propia, basado en Evans & Lindsay (2021).

Se observó, que los diagramas de Pareto arrojan que el 20% corresponde a las enfermedades que están causando mayor impacto en el plantío y el 80% todas aquellas enfermedades que existen dentro, pero pueden ser controladas y eliminadas (Figura 8).

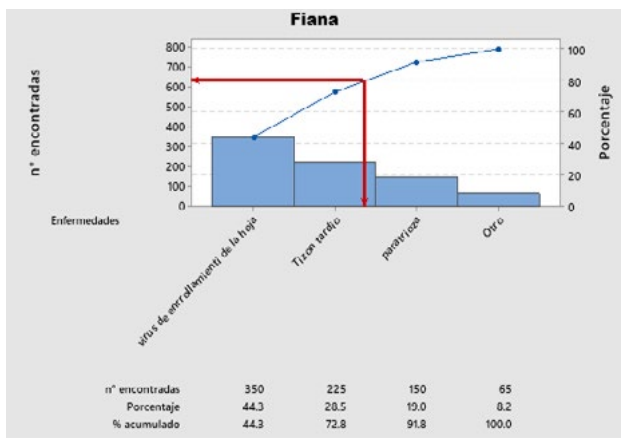


Figura 8. Diagrama de Pareto

Nota: elaboración propia, basado en Evans & Lindsay (2021).

Conclusiones

Tras el análisis se deduce que el método de estratificación se considera una herramienta eficaz para determinar el tamaño de la muestra, ya que, junto con la experiencia de ingenieros capacitados en el tema, se pudo deducir la muestra y lo que se consideraría la población, dando como resultado el número de infecciones que existían en el cultivo y el porcentaje de cada enfermedad existente.

Se tiene en cuenta que uno de los objetivos principales fue analizar todos aquellos factores que afectan a la planta del tubérculo y cuál era el impacto que presentaba en el cultivo.

El diagrama de causa-efecto ayudó a analizar todos aquellos factores mediante los 6 factores dando como resultado que el principal problema que existe son los cambios climáticos y los constantes cambios de temperatura, ya que, uno de los principales problemas encontrados fueron la falta de lluvia, el viento es uno de los principales portadores de dichos virus y bacterias

Algunas recomendaciones que se pueden implementar es la utilización de la tecnología para la identificación de todos aquellos agentes extraños, por medio de la comparación de imágenes de los posibles contagios que se observen en los cultivos de papa.

Referencias

- Abad Altamirano, P. (2009). *Guía para la presentación de gráficos estadísticos*. INEI.
- Acuña, I. (2001). *Reconocimiento y control de las principales enfermedades y plagas incidentes en la producción de papa en la zona sur de Chile*. INIA Remehue.
- Chao, L. L. (2006). *Introducción a la estadística*. Cecsca.
- Evans, J. R., & Lindsay, W. M. (2021). *Administración y control de la calidad*. Cengage Learning.
- Luca, L. (2016). A new model of Ishikawa diagram for quality assessment. *20th Innovative Manufacturing Engineering and Energy Conference (IManEE 2016)*. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/161/1/012099>

Daniel Bello Parra

TecNM/Instituto Tecnológico Superior de Perote | Perote | Veracruz | México
<https://orcid.org/0000-0001-5245-909X>
daniel.bello@perote.tecnm.mx
doc-144@itsperote.edu.mx

Ingeniero químico, maestría en Gestión de la Calidad, doctor en Administración y Desarrollo Empresarial. Adscrito a la academia de ingeniería industrial. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores Nivel 1. (01-01-2025 a 31-12-2029) Docente con reconocimiento a perfil deseable PRODEP desde el 2018 a la fecha. Líder de cuerpo académico en consolidación Procesos Industriales ITESPE-CA-4 (2018-2027). Integrante del núcleo académico de posgrado Planificación de empresas y desarrollo regional del ITSPe.

Alicia Peralta Maroto

TecNM/Instituto Tecnológico Superior de Xalapa | Xalapa | Veracruz | México
<https://orcid.org/0000-0002-6842-7612>
alicia.pm@xalapa.tecnm.mx
clasesmaroto@gmail.com

Ingeniera química de profesión, maestra en ciencias de la calidad y doctora en administración y desarrollo empresarial, dedicada a la docencia, investigación y apoyo a las empresas mexicanas, brindando los conocimientos, herramientas y habilidades de mi preparación académica. Reconocimiento de perfil PRODEP desde 2020 a la fecha, docente del ITSXalapa y de la Universidad Autónoma de Tlaxcala en la maestría Ciencias de la Calidad.

Félix Murrieta Domínguez

TecNM/Instituto Tecnológico Superior de Perote | Perote | Veracruz | México
<https://orcid.org/0000-0001-9425-0534>
felix.murrieta@perote.tecnm.mx
doc-054@itsperote.edu.mx

Ingeniero industrial adscrito a la academia de ingeniería industrial del ITSPe, maestro en ingeniería industrial, doctor en administración y desarrollo empresarial. Docente con reconocimiento a perfil deseable PRODEP desde el 2018 a la fecha. Integrante del cuerpo académico en consolidación Procesos Industriales ITESPE-CA-4 (2018-2027).

Janeth Ramos López

TecNM/Instituto Tecnológico Superior de Xalapa | Xalapa | Veracruz | México
<https://orcid.org/0009-0009-0886-6400>
janeth.rl@xalapa.tecnm.mx
janethramos4055@gmail.com

Administradora de empresas, maestra en educación, adscrita a la academia de ingeniería en gestión empresarial del ITSX, doctora en administración y desarrollo empresarial.

Alberto Ceballos

TecNM/Instituto Tecnológico Superior de Perote | Perote | Veracruz | México

<https://orcid.org/0000-0001-7982-1052>

alberto.ceballos@perote.tecnm.mx

a_ceballos79@hotmail.com

Licenciado en sistemas computacionales administrativos, docente adscrito a la academia de Ingeniería Informática, miembro del cuerpo académico en consolidación Procesos Industriales ITESPE-CA-4 (2018-2027)

Statistical Analysis of the Main Diseases Affecting Potato Cultivation

Abstract

Potato (*Solanum Tuberosum*) is one of the most consumed tubers in Mexico and with higher production in high regions where temperatures are low, specifically in the region of Perote Veracruz, although it is one of the most demanded crops, there are problems that affect the quality of the tuber such as diseases that attack each of the plants, causing productive and economic losses. This paper contains a statistical analysis of the main diseases that attack the crop, classifying those that are causing the greatest problems to producers, through statistical quality tools (Pareto, stratified study, check sheets and Ishikawa), in order to document the possible variables that are directly affecting the crop and which are those that could be controlled with methods of specialists in the field.

Keywords: Potato; tuber; statistical quality tools; variables; crop.

Análise estatística das principais doenças que afetam a cultura da batata

Resumo

A batata (*Solanum tuberosum*) é um dos tubérculos mais consumidos no México e com maior produção nas regiões altas, onde as temperaturas são baixas, especificamente na região de Perote, Veracruz. Embora seja uma das culturas de maior demanda, apresenta problemas que afetam a qualidade do tubérculo, como doenças que atacam cada uma das plantas, causando perdas produtivas e econômicas. O presente trabalho contém uma análise estatística das principais doenças que atacam a cultura, classificando aquelas que estão causando maior problema aos produtores, por meio de ferramentas estatísticas da qualidade (Pareto, estudo estratificado, folhas de verificação e Ishikawa). Isso com o objetivo de documentar as possíveis variáveis que estão afetando diretamente a cultura e detectar quais são aquelas que poderiam ser controladas com métodos de especialistas na área.

Palavras-chave: Batata; tubérculo; ferramentas estatísticas da qualidade; variáveis; cultura.

Capítulo 3

Caracterización fisicoquímica del aceite esencial de orégano (*Lippia Graveolens*) del estado de Guanajuato, México

Jesus Alberto Sanchez Valtierra

Sanchez Valtierra, J. A. (2026). Caracterización fisicoquímica del aceite esencial de orégano (*Lippia Graveolens*) del estado de Guanajuato, México. En F. J. Manjarrés Arias. (Coord). *El espectro de las ingenierías. Investigaciones situadas en contextos regionales (Volumen I)*. (pp. 51-65). Religación Press. <http://doi.org/10.46652/religacionpress.401.c862>



03

Caracterización fisicoquímica del aceite esencial de orégano (Lippia Graveolens) del estado de Guanajuato, México

Resumen

El capítulo aborda el estudio del orégano silvestre del estado de Guanajuato como recurso aromático de relevancia regional. Se sitúa en el contexto del aprovechamiento de plantas aromáticas y medicinales y su interés para aplicaciones productivas y científicas. El propósito del capítulo es describir la caracterización fisicoquímica y cromatográfica del aceite esencial obtenido a partir de plantas recolectadas en distintos municipios del estado. Se expone el origen botánico del material vegetal y el procedimiento general de obtención del aceite esencial mediante arrastre de vapor. El contenido del capítulo incluye la descripción de los parámetros físicos evaluados, así como los métodos empleados para su determinación. Asimismo, se presenta el enfoque analítico utilizado para la identificación de los principales grupos químicos presentes en el aceite esencial. El capítulo también describe el análisis del contenido fenólico y la identificación de compuestos mayoritarios, junto con la determinación de índices químicos empleados comúnmente en la evaluación de aceites esenciales. En conjunto, el texto ofrece una visión general de los métodos de análisis aplicados y del tipo de información fisicoquímica y composicional que se obtiene a partir del estudio de aceites esenciales de orégano silvestre, contribuyendo al conocimiento de este recurso vegetal en el ámbito regional.

Palabras clave: Aceite esencial; orégano; Guanajuato; timol; carvacrol

Introducción

El orégano representa una de las plantas aromáticas de mayor importancia económica en México, particularmente en regiones semiáridas donde crece de forma silvestre.

En el estado de Guanajuato, el orégano se desarrolla de manera natural en ecosistemas donde convive con arbustos nativos conocidos regionalmente como “granjeno” y “manzanita”, que funcionan como flora de protección. La producción de metabolitos secundarios en plantas aromáticas está influenciada por múltiples factores ambientales, edáficos y climáticos que determinan la composición final de sus aceites esenciales (Figueiredo et al., 2008).

El periodo de floración del orégano en Guanajuato se extiende de junio a octubre, y la cosecha se realiza tradicionalmente una o dos veces al año, entre el final de la floración y el inicio de la formación de semillas.

El proceso de recolección silvestre implica un nivel tecnológico prácticamente nulo, ya que las plantas crecen sin control adecuado y frecuentemente en lugares de difícil acceso. Los municipios de Tierra Blanca, Victoria y Santa Catarina concentran la mayor producción estatal, destinándose principalmente al mercado de exportación.

Posterior a la recolección, el material vegetal se somete a procesos de secado, deshojado, limpieza y clasificación.

El producto se categoriza en dos calidades: primera calidad, caracterizada por hojas grandes e íntegras destinadas a exportación, y segunda calidad, para consumo en el mercado interno. Los aceites esenciales de especies del género *Lippia* han demostrado poseer compuestos bioactivos con propiedades antimicrobianas, siendo el timol y carvacrol los componentes fenólicos más estudiados (Nostro & Papalia, 2012; Suntres et al., 2015).

La biosíntesis de monoterpenos aromáticos como el timol involucra rutas metabólicas específicas que convierten precursores como el

γ -terpineno en compuestos fenólicos de mayor complejidad (Poulose & Croteau, 1978). La composición química de los aceites esenciales puede variar significativamente dependiendo de factores geográficos, climáticos, fenológicos y de procesamiento (Skočibušić et al., 2006; Teixeira et al., 2013).

El objetivo de este estudio fue caracterizar fisicoquímica y cromatográficamente el aceite esencial de orégano silvestre procedente del estado de Guanajuato, con el fin de determinar su calidad y potencial aplicación comercial.

Metodología

Material vegetal

El material vegetal consistió en orégano silvestre recolectado en los municipios de Tierra Blanca, Victoria y Santa Catarina del estado de Guanajuato, México. La cosecha se realizó durante la temporada comprendida entre el final de la floración y el inicio de la formación de semillas. Posterior a la recolección, el material se sometió a procesos de secado natural, deshojado, limpieza y clasificación según estándares regionales de calidad.

Extracción del aceite esencial

El aceite esencial se obtuvo mediante el método de arrastre de vapor, técnica ampliamente utilizada para la extracción de compuestos volátiles de material vegetal aromático.

Análisis físicos

Se determinaron los siguientes parámetros físicos: densidad a 21°C mediante picnometría, índice de refracción a temperatura ambiente usando refractómetro de Abbe, solubilidad en etanol a diferen-

tes concentraciones (70% y 80%), punto de fusión, punto de ebullición, pH mediante potenciometría y rotación óptica a 25°C.

Análisis químicos cualitativos

Se realizaron pruebas cromáticas de identificación para los siguientes grupos funcionales: alcoholes, aldehídos y cetonas, alcaloides, ésteres, fenoles, halógenos, hidrocarburos insaturados, sistemas condensados alicíclicos y derivados del benceno.

Análisis químicos cuantitativos

Se determinaron los siguientes índices químicos: índice de acidez, índice de saponificación, índice de ésteres, contenido de fenoles totales, contenido de aldehídos y cetonas, número de acetilo, y cuantificación específica de timol y carvacrol.

Resultados

Propiedades físicas

Los parámetros físicos determinados para el aceite esencial de orégano de Guanajuato se presentan en la Tabla 1.

La densidad a 21°C fue de 0.9150 g/mL, valor característico de aceites esenciales ricos en compuestos fenólicos.

El índice de refracción fue de 1.5076, indicando la presencia de compuestos aromáticos de alto peso molecular (Teixeira et al., 2013).

Tabla 1.
Propiedades físicas del aceite esencial de orégano de Guanajuato

| Propiedad | Valor |
|---------------------------------|--------|
| Densidad a 21°C (g/mL) | 0.9150 |
| Índice de refracción | 1.5076 |
| Solubilidad en etanol 70% (vol) | 2.8 |
| Solubilidad en etanol 80% (vol) | 1.05 |
| Punto de fusión (°C) | -4 |
| Punto de ebullición (°C) | 110 |

Nota: datos experimentales del presente estudio

El aceite mostró solubilidad de 2.8 volúmenes en etanol al 70% y de 1.05 volúmenes en etanol al 80%, indicando una mayor miscibilidad a concentraciones alcohólicas superiores.

El punto de fusión de -4°C y el punto de ebullición de 110°C son consistentes con mezclas complejas de monoterpenos.

El pH de 6.3 sugiere una composición ligeramente ácida.

La rotación óptica nula indica ausencia de actividad óptica significativa.

Análisis cromáticos cualitativos

Las pruebas cromáticas revelaron la presencia de diversos grupos funcionales (Tabla 2). Se obtuvieron resultados positivos para alcoholes, aldehídos y cetonas, fenoles, hidrocarburos insaturados y derivados del benceno.

Los resultados fueron negativos para alcaloides, ésteres, halógenos y sistemas condensados alicíclicos. La presencia predominante de compuestos fenólicos es característica de aceites esenciales de especies de la familia Lamiaceae, donde el timol y carvacrol constituyen los fenoles monoterpénicos más relevantes (Skočibušić et al., 2006).

La detección de hidrocarburos insaturados sugiere la presencia de precursores biosintéticos como el γ -terpineno y p-cimeno, intermediarios en la ruta de formación de compuestos fenólicos aromáticos (Poulose & Croteau, 1978).

La ausencia de ésteres y el bajo contenido de aldehídos y cetonas indican que el perfil químico está dominado por alcoholes y fenoles libres, lo cual puede influir en las características de estabilidad oxidativa del aceite durante el almacenamiento (Turek & Stintzing, 2013).

Tabla 2.
Resultados de pruebas cromáticas cualitativas

| Grupo funcional | Resultado |
|----------------------------------|-----------|
| Alcoholes | Positivo |
| Aldehídos y cetonas | Positivo |
| Alcaloides | Negativo |
| Ésteres | Negativo |
| Fenoles | Positivo |
| Halógenos | Negativo |
| Hidrocarburos insaturados | Positivo |
| Sistemas condensados alicíclicos | Negativo |
| Derivados del benceno | Positivo |

Nota: datos experimentales del presente estudio

Análisis químicos cuantitativos

Los índices químicos cuantitativos se presentan en la Tabla 3.

El índice de acidez fue de 0.645, mientras que el índice de saponificación alcanzó 0.063 y el índice de ésteres 0.582.

El contenido fenólico total representó 64% de la composición del aceite, siendo este el dato más relevante desde el punto de vista de la actividad biológica, considerando las propiedades antimicrobianas ampliamente documentadas del timol y carvacrol (Nostro & Papalia, 2012; Suntres et al., 2015).

Tabla 3.
Índices químicos y composición del aceite esencial

| Parámetro | Valor |
|--------------------------|-------|
| Índice de acidez | 0.645 |
| Índice de saponificación | 0.063 |
| Índice de ésteres | 0.582 |
| Fenoles totales (%) | 64.0 |
| Aldehídos y cetonas (%) | 0.268 |
| Número de acetilo | 0.337 |
| Timol (%) | 57.6 |
| Carvacrol (%) | 6.4 |
| Parámetro | Valor |

Nota: datos experimentales del presente estudio

El contenido de aldehídos y cetonas fue minoritario (0.268%), mientras que el número de acetilo fue de 0.337.

La cuantificación específica de los componentes fenólicos principales reveló que el timol constituye 57.6% de la composición total, mientras que el carvacrol representa 6.4%, estableciendo una relación timol de aproximadamente 9:1.

Esta predominancia del timol sobre el carvacrol es consistente con perfiles químicos reportados para especies aromáticas de Lamiaceae, donde las condiciones ambientales y el genotipo influyen en la expresión diferencial de estos isómeros fenólicos (Figueiredo et al., 2008; Skočibušić et al., 2006).

Discusión

Los resultados obtenidos demuestran que el aceite esencial de orégano del estado de Guanajuato posee características fisicoquímicas distintivas que reflejan tanto su origen botánico como las condiciones ambientales de la región.

La densidad de 0.9150 g/mL y el índice de refracción de 1.5076 son valores consistentes con aceites esenciales ricos en monoterpenos fenólicos, particularmente timol y carvacrol, tal como ha sido reportado para otras especies aromáticas de la familia Lamiaceae (Teixeira et al., 2013).

El predominio de timol (57.6%) sobre carvacrol (6.4%) representa un patrón químico característico que puede atribuirse a factores genéticos y ambientales específicos de la región de Guanajuato.

La biosíntesis de estos compuestos fenólicos aromáticos involucra rutas metabólicas específicas donde el γ -terpineno actúa como precursor común, siendo posteriormente convertido a p-cimeno y finalmente a timol mediante hidroxilación (Poulose & Croteau, 1978).

Las condiciones edafoclimáticas particulares de las zonas de recolección, así como la interacción ecológica con la flora de protección circundante (granjeno y manzanita), podrían influir en la expresión diferencial de las enzimas involucradas en esta ruta biosintética.

El contenido fenólico total de 64% posiciona a este aceite esencial como un producto de alto valor funcional, considerando que tanto el timol como el carvacrol han demostrado poseer propiedades antimicrobianas, antioxidantes y antifúngicas significativas (Nostro & Papalia, 2012; Suntres et al., 2015). Esta composición rica en fenoles sugiere potencial aplicación en industrias farmacéutica, alimentaria y cosmética como agente conservador natural.

Los parámetros de solubilidad determinados (2.8 volúmenes en etanol 70% y 1.05 volúmenes en etanol 80%) indican que el aceite presenta mejor miscibilidad en soluciones alcohólicas de mayor concentración, característica relevante para su formulación en productos comerciales.

El punto de ebullición de 110°C es relativamente elevado para un aceite esencial, lo cual puede atribuirse a la presencia mayoritaria de compuestos fenólicos de mayor peso molecular como el timol, en contraste con monoterpenos más volátiles.

El bajo contenido de aldehídos y cetonas (0.268%) y la ausencia de ésteres según las pruebas cualitativas, junto con los bajos índices de saponificación y ésteres, confirman que la composición del aceite está dominada por compuestos fenólicos libres más que por derivados esterificados.

Esta característica puede influir en la estabilidad del aceite durante el almacenamiento, ya que los compuestos fenólicos libres son susceptibles a procesos oxidativos (Turek & Stintzing, 2013; Misharina et al., 2010).

La rotación óptica nula sugiere que la mezcla de componentes del aceite no presenta actividad óptica neta significativa, lo cual puede deberse a la presencia de mezclas racémicas o a la ausencia de enantiómeros predominantes. El pH ligeramente ácido (6.3) es consistente con la presencia de compuestos fenólicos que pueden exhibir carácter débilmente ácido.

La variabilidad natural inherente a los procesos de recolección silvestre representa tanto una limitación como una oportunidad. Si bien la falta de control agronómico puede resultar en variaciones composicionales entre lotes, la diversidad genética y ambiental asociada al crecimiento silvestre puede generar perfiles químicos únicos con características distintivas de origen geográfico.

Estudios comparativos han demostrado que las condiciones de crecimiento, el estadio fenológico de la cosecha y las prácticas post-cosecha pueden afectar significativamente la composición de aceites esenciales (Figueiredo et al., 2008).

Los resultados obtenidos proporcionan una línea base para futuros estudios de variabilidad estacional, geográfica y metodológica del aceite esencial de orégano de Guanajuato.

Investigaciones adicionales podrían enfocarse en optimizar los procesos de extracción, evaluar la estabilidad durante el almacenamiento, y caracterizar la actividad biológica específica asociada a este perfil químico particular.

Conclusiones

El aceite esencial de orégano silvestre del estado de Guanajuato presenta características fisicoquímicas distintivas, con un contenido fenólico total de 64%, donde el timol constituye el componente mayoritario (57.6%) seguido por carvacrol (6.4%).

Los parámetros físicos determinados, incluyendo densidad de 0.9150 g/mL, índice de refracción de 1.5076 y punto de ebullición de 110°C, son consistentes con aceites esenciales de calidad comercial ricos en monoterpenos fenólicos.

La caracterización química confirma la presencia de alcoholes, fenoles, aldehídos, cetonas, hidrocarburos insaturados y derivados del benceno, mientras que los bajos índices de saponificación y ésteres reflejan el predominio de compuestos fenólicos libres.

Estos resultados posicionan al aceite esencial de orégano de Guanajuato como un producto con potencial aplicación en industrias que requieren agentes antimicrobianos y antioxidantes naturales, y proporcionan una base científica para la estandarización de calidad en la cadena productiva regional.

Referencias

- Figueiredo, A. C., Barroso, J. G., Pedro, L. G., & Scheffer, J. J. (2008). Factors affecting secondary metabolite production in plants: Volatile components and essential oils. *Flavour and Fragrance Journal*, 23(4), 213–226. <https://doi.org/10.1002/ffj.1875>
- Misharina, T. A., Polshkov, A. N., Ruchkina, E. L., & Medvedeva, I. B. (2010). Changes in the composition of the essential oil of marjoram during storage. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 46(1), 118–123. <https://doi.org/10.1134/S0003683810010205>
- Nostro, A., & Papalia, T. (2012). Antimicrobial activity of carvacrol: Current progress and future prospectives. *Recent Patents on Anti-Infective Drug Discovery*, 7(1), 28–35. <https://doi.org/10.2174/157489112799829684>
- Poulose, A. J., & Croteau, R. (1978). Biosynthesis of aromatic monoterpenes: Conversion of α -terpinene to p-cymene and thymol in *Thymus vulgaris* L. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 187(2), 307–314. [https://doi.org/10.1016/0003-9861\(78\)90039-5](https://doi.org/10.1016/0003-9861(78)90039-5)
- Skočibušić, M., Bezić, N., & Dunkić, V. (2006). Phytochemical composition and antimicrobial activities of the essential oils from *Satureja subspicata* Vis. growing in Croatia. *Food Chemistry*, 96(1), 20–28. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.01.051>
- Suntres, Z. E., Coccimiglio, J., & Alipour, M. (2015). The bioactivity and toxicological actions of carvacrol. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55(3), 304–318. <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.653458>
- Teixeira, B., Marques, A., Ramos, C., Neng, N. R., Nogueira, J. M., Saraiva, J. A., & Nunes, M. L. (2013). Chemical composition and antibacterial and antioxidant properties of commercial essential oils. *Industrial Crops and Products*, 43, 587–595. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.07.069>

Turek, C., & Stintzing, F. C. (2013). Stability of essential oils: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 12(1), 40–53. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12006>

Jesus Alberto Sanchez Valtierra

Universidad Virtual del Estado de Guanajuato | Irapuato | México

<https://orcid.org/0009-0005-7198-1197>

jesanchez@uveg.edu.mx

jesusalbertosanchezvaltierra@gmail.com

Profesor de asignatura virtual en la Universidad Virtual del Estado de Guanajuato (UVEG) y coordinador académico en el Instituto Universitario del Centro de México (EDUCEM), plantel Irapuato Espigas

Physicochemical Characterization of Oregano Essential Oil (*Lippia graveolens*) from the State of Guanajuato, Mexico

Abstract

The chapter addresses the study of wild oregano from the state of Guanajuato as an aromatic resource of regional relevance. It is situated within the context of the use of aromatic and medicinal plants and their interest for productive and scientific applications. The purpose of the chapter is to describe the physicochemical and chromatographic characterization of the essential oil obtained from plants collected in different municipalities of the state. The botanical origin of the plant material and the general procedure for obtaining the essential oil by steam distillation are presented. The content of the chapter includes the description of the physical parameters evaluated, as well as the methods used for their determination. Likewise, the analytical approach used for the identification of the main chemical groups present in the essential oil is presented. The chapter also describes the analysis of the phenolic content and the identification of major compounds, along with the determination of chemical indices commonly used in the evaluation of essential oils. Together, the text offers an overview of the analytical methods applied and the type of physicochemical and compositional information obtained from the study of wild oregano essential oils, contributing to the knowledge of this plant resource at the regional level.

Keywords: Essential oil; oregano; Guanajuato; thymol; carvacrol

Caracterização físico-química do óleo essencial de orégano (*Lippia graveolens*) do estado de Guanajuato, México

Resumo

O capítulo aborda o estudo do orégano silvestre do estado de Guanajuato como recurso aromático de relevância regional. Insere-se no contexto do aproveitamento de plantas aromáticas e medicinais e seu interesse para aplicações produtivas e científicas. O objetivo do capítulo é descrever a caracterização físico-química e cromatográfica do óleo essencial obtido a partir de plantas coletadas em diferentes municípios do estado. Apresenta-se a origem botânica do material vegetal e o procedimento geral de obtenção do óleo essencial por arraste a vapor. O conteúdo do capítulo inclui a descrição dos parâmetros físicos avaliados, bem como os métodos empregados para sua determinação. Da mesma forma, apresenta-se a abordagem analítica utilizada para a identificação dos principais grupos químicos presentes no óleo essencial. O capítulo também descreve a análise do conteúdo fenólico e a identificação de compostos majoritários, juntamente com a determinação de índices químicos comumente utilizados na avaliação de óleos essenciais. Em conjunto, o texto oferece uma visão geral dos métodos de análise aplicados e do tipo de informação

físico-química e composicional obtida a partir do estudo de óleos essenciais de orégano silvestre, contribuindo para o conhecimento deste recurso vegetal no âmbito regional.

Palavras-chave: Óleo essencial; orégano; Guanajuato; timol; carvacrol

Capítulo 4

Industria 4.0, la fábrica inteligente y sus retos en México y América Latina

Carlos Eduardo Belman López

Belman López, C. E. (2026). Industria 4.0, la fábrica inteligente y sus retos en México y América Latina. En F. J. Manjarrés Arias. (Coord). *El espectro de las ingenierías. Investigaciones situadas en contextos regionales (Volumen I)*. (pp. 67-89). Religación Press. <http://doi.org/10.46652/religacionpress.401.c863>



04

Industria 4.0, la fábrica inteligente y sus retos en México y América Latina

Resumen

El término Industria 4.0 se ha convertido en prioridad y objeto de estudio para organizaciones y centros de investigación en diversos países, pero aún se encuentra dentro de sus primeras etapas de implementación. Las compañías enfrentan dificultades al desarrollar soluciones para Industria 4.0, sin estar seguras de cómo afrontar sus principios de diseño o requerimientos básicos. El análisis de estos principios aborda explícitamente este problema, apoya a los profesionales en la implementación de soluciones siendo la base del desarrollo y proporciona un soporte ante los desafíos que la Industria 4.0 representa como el desarrollo de la fábrica inteligente. Por lo tanto, la contribución de este documento se centra en analizar los principios de diseño de industria 4.0, el concepto de la fábrica inteligente y los sistemas ciberfísicos, para finalmente abordar los desafíos en áreas como México y América Latina.

Palabras clave: Industria 4.0; Fábrica Inteligente; Manufactura Inteligente; Sistemas de Producción

Introducción a la Industria 4.0 y sus principios de diseño

Actualmente, las organizaciones manufactureras se encuentran en un proceso de desarrollo que se acelera debido a la Industria 4.0. Sin embargo, este desarrollo está cambiando el entorno empresarial y las empresas se enfrentan a desafíos que requieren un cambio significativo en las estructuras organizacionales, los estilos de liderazgo, cultura organizacional y habilidades laborales (Franco et al., 2023). Los sistemas de producción están evolucionando gracias a avances tecnológicos recientes e innovaciones en los sistemas de manufactura. Términos como Industria 4.0 y manufactura inteligente se han convertido en prioridad y objeto de estudio para empresas y centros de investigación. Pero es difícil desarrollar soluciones para Industria 4.0 cuando no se está seguro de los principios de diseño (requerimientos) que esta conlleva (Belman López, 2025).

Mediante Industria 4.0 y sus principios de diseño, los ingenieros de manufactura pueden rediseñar las fábricas, los procesos y las operaciones para que se adapten a los avances tecnológicos emergentes, y a la forma en que se tendrán que fabricar los productos dentro de instalaciones de manufactura cada vez más inteligentes, además, las empresas pueden lograr adaptar más rápido sus líneas de producción para explotar las tendencias de los consumidores y aumentar su productividad (Belman-Lopez et al., 2020). Hermann et al. (2015), identificó requerimientos o principios de diseño para que las empresas logren los beneficios de la Industria 4.0. Estos son la interoperabilidad, virtualización, descentralización, respuesta en tiempo real, orientación al servicio y modularidad. Posteriormente, Ghobakhloo (2019), presentó doce requerimientos para Industria 4.0. Aunque en una investigación más reciente, Belman-López et al. (2020), detalla de forma amplia y exhaustiva diecisiete requerimientos para las implementaciones en Industria 4.0. Estos requerimientos son la modularidad, integración, colaboración, flexibilidad y escalabilidad, virtualización, arquitectura distribuida y descentralizada, holística, personalizable, ubicua, robustez, información en tiempo real, autonomía e inteligencia, decisiones optimizadas por datos, seguridad, equilibra la vida laboral y mejora la

eficiencia y productividad. Estos principios son presentados de forma concisa a continuación siendo necesarios para dar forma a la fábrica inteligente e implementaciones sobre Industria 4.0.



Figura 1. Principios de diseño para las empresas en Industria 4.0
Nota: elaboración propia

Eficiencia y productividad. Este principio consiste en la entrega del mayor rendimiento posible de productos dado un volumen dado de recursos, así como el uso de la menor cantidad posible de recursos para lograr una salida deseada. El primer énfasis consiste maximizar la productividad de los recursos, mientras que en el segundo escenario el enfoque está en calcular la eficiencia de los recursos (Kagermann et al., 2013; López Martínez et al., 2021).

Integración. Implementación de la integración horizontal a través de redes de valor e integración vertical que incluya sistemas de manufactura en red para lograr mediante ambas una integración digital de extremo a extremo en toda la cadena de valor (Pereira & Romero, 2017).

Flexibilidad y adaptabilidad. La alta variabilidad en las demandas de producto y la necesidad reducir sus ciclos de vida requieren una estructura de producción ágil, flexible y que se pueda reconfigurar rápidamente ante las nuevas demandas (Angulo et al., 2016). En este

principio, los procesos de manufactura pueden ser reconfigurados flexiblemente y la escasez momentánea de recursos puede ser recompensada logrando aumentos en la producción en cortos espacio de tiempo (Kagermann et al., 2013).

Arquitectura descentralización y distribuida. La combinación de sistemas ciberfísicos (CPS) en los procesos está originando cambios en la producción, dirigiéndola hacia sistemas descentralizados. Esta descentralización no necesariamente es física, pero sí lógica, por ejemplo, un producto inteligente o CPS, con la capacidad de identificarse y conectarse a un sistema físicamente centralizado, es capaz de brindar su posición y estado, mientras que la potencia de cómputo puede estar en otra parte (Almada-Lobo, 2015).

Holística. Este principio consiste en la visión y evaluación de todas las estructuras principales, productos, procesos y recursos en conjunto permitiendo la mejora continua (Francalanza et al., 2018). Esta visión holística aplicada a máquinas, materiales, trabajadores y sistemas permitirá alcanzar la fábrica inteligente de la Industria 4.0 (Zhong et al., 2017).

Ubicua. Capacidad de diseñar en cualquier lugar, fabricar en cualquier parte, vender en cualquier lugar y en cualquier momento (Chen & Tsai, 2016).

Colaborativa. Trabajo conjunto a nivel humano-humano, humano-máquina y máquina-máquina.

Modular. El sistema de manufactura debe ser construido de forma desacoplada entre subsistemas con pocas interdependencias (Brettel et al., 2014).

Virtualización. Simulación virtual de los datos reales de un proceso, producto o servicio con el fin de prevenir errores, modificar parámetros y predecir comportamientos (MIT Technology Review, 2018). Mediante la virtualización se identifica la lógica detrás de las operaciones de los recursos físicos para su traducción al mundo virtual con el

fin de mejorar la agilidad, la flexibilidad y reducir costos (Babiceanua & Seker, 2016).

Robusta y confiable. La fábrica inteligente debe brindar seguridad operacional, tasas de fallos muy bajas, robustez, que se refiere a la capacidad de garantizar una funcionalidad básica en caso de una falla, y confiabilidad, que se refiere a la probabilidad de que un sistema tecnológico funcione correctamente durante un período de tiempo determinado en un ambiente determinado (Belman López, 2025).

Información en tiempo real. Disponibilidad de la información relevante desde cualquier lugar en cualquier momento (Neugebauer et al., 2016).

Toma de decisiones optimizadas por datos. Entrega de valor a partir de los datos (Xu & Duan, 2018), que incluyen desde propiedades de los materiales, parámetros de los procesos hasta información sobre clientes y proveedores, entre otros (Kusiak, 2017). Estos datos permiten un conocimiento profundo del sistema, brindan soporte en la toma de decisiones, generan diagnósticos y predicciones, y muestran los conocimientos adquiridos a los usuarios (Bagheri et al., 2015).

Seguridad y protección. Garantizar que las instalaciones de producción, máquinas y productos por sí mismos no supongan un peligro para las personas o para el medio ambiente. Al mismo tiempo, tanto las instalaciones de producción, los productos y el sistema en sí, deben ser protegidos contra el uso indebido y el acceso no autorizado de los datos e información que estos contienen (Kagermann et al., 2013).

Orientación a servicios. Creación de valor a través de servicios innovadores. El cambio del enfoque centrado en el producto al enfoque servicios a través del producto es una estrategia clave. Estos servicios de valor agregado deben ser proporcionados globalmente a todas las empresas bajo una composición flexible (Wiesner & Thoben, 2016).

Equilibrio de la vida laboral. A través de Industria 4.0 y el cambio de paradigma en la interacción entre humano y tecnología, serán las máquinas las que se adapten a las necesidades de los seres humanos y

no viceversa. Mientras tanto, sistemas de asistencia inteligente evitarán que los trabajadores tengan que realizar tareas rutinarias, lo que les permitirá centrarse en actividades creativas y de valor agregado (Kagermann et al., 2013).

Autonomía e inteligencia. Convertir los recursos tradicionales de manufactura en entidades independientes y autónomas que pueden comunicarse en tiempo real y cooperar en un ambiente inteligente con otros dispositivos inteligentes, tomar decisiones y realizar acciones basadas en la información obtenida (Pereira & Romero, 2017).

Sistemas de producción ciberfísicos (CPS y CPPS)

Para poder alcanzar la Fabrica Inteligente, que es uno de los objetivos primordiales en Industria 4.0, es esencial, analizar el concepto de sistemas ciberfísicos (CPS) y sistemas de producción ciberfísicos (CPPS) (Belman López et al., 2023).

Los objetos en Industria 4.0 evolucionan en la forma de CPS que poseen la capacidad de intercambiar información, desencadenar acciones y controlarse entre sí de forma autónoma, desarrollando un ambiente de producción abierto e inteligente (Weyer et al., 2015). Los CPS mediante la virtualización permiten la combinación del mundo físico con el digital, permitiendo que ambos mundos se conecten y actúen como si fueran uno solo. Todo lo que sucede sobre el mundo físico impacta sobre el virtual y viceversa (Klingenberg, 2017).

Los CPS requieren interfaces de comunicación (véase Figura 2) para intercambiar datos con productos, procesos, sistemas empresariales existentes (permitiendo una integración vertical), con la nube (para una descentralización lógica de sus capacidades computacionales), con la fábrica y su ambiente circundante (Shelden, 2018). Los CPS son ubicuos, es decir, pretenden tener la información y los servicios disponibles en todas partes y desde cualquier lugar (Jazdi, 2014) y colaborativos, permitiendo la comunicación entre humanos, máquinas, procesos y sistemas (Brettel et al., 2014; Fatorachian & Kazemi, 2018).

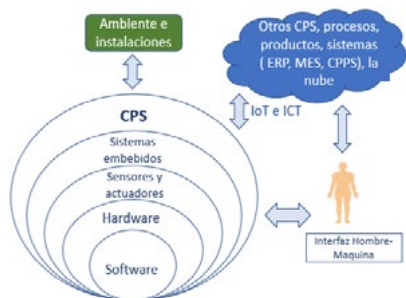


Figura 2. El entorno ciberfísico.
Nota: elaboración propia

Los CPS son sistemas autónomos que toman sus propias *decisiones basadas en datos* capturados en *tiempo real* mediante algoritmos de aprendizaje (Rojko, 2017). Esto provoca altas demandas en la disponibilidad de servicios e infraestructura en términos de espacio, calidad y seguridad (Belman-López et al., 2020).

El diseño de los CPS mediante la *virtualización* requiere de varios componentes, como el modelo virtual del mundo físico, servicios de valor agregado y autonomía e inteligencia en sus operaciones. El *modelo* del CPS encapsula características importantes relacionadas con el objeto como recurso de producción en sí, tales como: parámetros, tolerancia, funcionalidad, requerimientos, conexiones, estado y experiencia (Shafiq et al., 2015).

Finalmente, el mundo físico de los CPS puede consistir en equipos, productos, procesos, un sistema e incluso una organización. Cada uno implementa sus actividades según sus leyes físicas e incertidumbre dentro de su entorno y pueden ser divididos en niveles según sus funciones y estructura. La Figura 3, muestra los elementos de la producción inteligente y su correspondencia entre el mundo físico y digital.

Una prioridad en Industria 4.0 se encuentra en el desarrollo de sistemas productivos inteligentes, descriptibles, manejables, sensibles al contexto y con la capacidad de autocontrolarse. En Industria 4.0, estos sistemas evolucionan en la forma de CPPS que conocen su estado, capacidad, diferentes opciones de configuración, plan de preparación y mantenimiento, pueden tomar decisiones de forma autónoma (Almada-Lobo, 2015) e incluir funciones de ayuda. Los CPPS logran una

integración mejorada de los procesos reales y aquellos virtualmente planificados (Kagermann et al., 2013).

La principal diferencia entre los CPPS y los sistemas productivos tradicionales es la capacidad de comunicarse, interactuar y *colaborar* con los procesos que lo conforman, con la fábrica y con su ambiente (Hermann et al., 2015). Los CPPS habilitan una nueva *integración en tiempo real* de todos los recursos y procesos de producción, desarrollando una visión holística que aumenta la eficiencia de fabricación, permite cumplir con los requisitos de mercados altamente complejos y dota a la fábrica con *inteligencia descentralizada* (Pereira & Romero, 2017).



Figura 3. Elementos de Industria 4.0 y su correspondencia entre el mundo físico y digital
Nota: elaboración propia

Los CPPS mediante servicios de valor agregado, realizan análisis y *toman o informan sobre decisiones optimizadas* que transforman la producción tradicional en producción inteligente, colaborativa, personalizada y dirigida por datos (Zhong et al., 2017). Estos nuevos sistemas se encuentran *integrados* de forma vertical con los procesos de producción y de negocios (Blanchet et al., 2014), y horizontalmente con cadenas de valor dispersas y descentralizadas física, lógica o geográficamente, pero administradas en *tiempo real* desde el momento en que se realiza un pedido, hasta que el pedido es entregado al cliente (Kagermann et al., 2013).

La Fábrica Inteligente

La producción se encamina hacia lo que se conoce como “fábrica inteligente”. Está se concibe como un sistema de sistemas ciberfísicos que permite que la información sobre los procesos esté disponible cuando, donde y en la forma que se necesita dentro de cadenas de suministro y ciclos de vida de productos realizados por múltiples industrias (Yang et al., 2019).

La fábrica inteligente (FI) también se conoce como fábrica del futuro, fábrica ubicua, entre otros nombres, consiste en la *integración*, digitalización y uso de procesos *flexibles e inteligentes* a lo largo de la cadena de valor. La fábrica inteligente habilita una nueva comunicación e *integración* (Belman Lopez, 2021), en *tiempo real* de todos los recursos de producción (Radziwon et al., 2013). La FI es una fábrica que consciente de su propio contexto, es capaz de asistir a personas y máquinas en la ejecución de sus tareas. Esto es logrado mediante sistemas conscientes de su ambiente que toman en cuenta la información de su entorno, la posición y estado de diferentes objetos e información proveniente del mundo físico y virtual para cumplir sus tareas (Belman-López et al., 2023).

La FI encapsula y administra aspectos como los niveles de inventario, la logística de los materiales, el control de la calidad, el transporte y entrega de los productos terminados (Shafiq et al., 2015), gestionan la complejidad, fabrican productos de manera más eficiente y son menos propensas a las interrupciones. En la FI, las personas, las máquinas y los recursos se comunican entre sí con la misma naturalidad que en una red social. Finalmente, en las FI es posible que requerimientos *individuales* por parte del cliente sean cumplidos, lo que significa que incluso artículos únicos pueden ser fabricados de manera rentable. De esta manera, es posible para negocios y procesos permitir cambios de último momento y responder de manera flexible a cambios, interrupciones y fallas por parte de máquinas y proveedores (Kagermann et al., 2013).

Desafíos de la Industria 4.0 y la Fábrica Inteligente en México y América Latina

América Latina no es ajena a la escena global de la manufactura, abasteciendo a fabricantes de todo el mundo con su abundancia de recursos naturales como carbón, petróleo y hierro. Esta es una tendencia que probablemente continuará, con países como Chile, Bolivia y Argentina que cuentan con vastas reservas de litio, un componente clave de las baterías para vehículos eléctricos. Sin embargo, la región también ha demostrado su relevancia en un cambio más amplio dentro de la manufactura global, pasando de ser únicamente un proveedor de recursos a emerger como un gigante manufacturero en desarrollo (RSM, 2025).

La digitalización acelerada, el cambio demográfico, la urbanización, la localización y la presión por la eficiencia ambiental reconfigurarán la operación del sector. La respuesta corporativa combina inteligencia artificial, gemelos digitales, descarbonización, ciberseguridad y metaverso industrial, además de promover ecosistemas abiertos, talento especializado y colaboración multilateral con gobierno, academia e industria. Con el auge de la fábrica inteligente, se aprecia un avance más rápido en países como México con un cambio digital y sostenible, donde las empresas buscan tener mejores procesos, más eficientes, tener ahorro y ser también más sustentables. Aunque solo una cuarta parte de las empresas en la región han adoptado tecnologías 4.0; quienes sí lo han hecho reportan resultados notables donde se han presentado mejoras del 80% en eficiencia, incrementos del 60% en ingresos y una expansión del empleo del 20% (MetalMecanica, 2025).

En países como Brasil, el gobierno está proporcionando medios para impulsar la innovación en la manufactura y, como resultado, la Industria 4.0. El “Nueva Industria Brasil: Plan de Acción” es un documento lanzado por el Gobierno Federal de Brasil en enero de 2024, con el objetivo de impulsar la reindustrialización del país. El plan

prevé inversiones de R\$ 300 mil millones para 2033, provenientes de diversas fuentes como el gobierno, el sector privado y organizaciones internacionales. Las acciones requeridas incluyen la provisión de instrumentos como financiamiento, incentivos fiscales, compras públicas, capacitación profesional e investigación y desarrollo. Además, los fabricantes de tamaño medio están respondiendo a la necesidad de mejorar su arquitectura de TI para soportar tecnologías de la Industria 4.0, incluyendo la adopción de soluciones en la nube, inversiones en ciberseguridad, asociaciones con empresas tecnológicas y la formación o actualización de los empleados (RSM, 2025).

Se proyecta que para 2030 existan procesos prácticamente autónomos, con IA integrada y gemelos digitales que reflejen en la nube lo que ocurre en planta, desde la selección hasta el mantenimiento y la planeación de inventarios. En este concepto, la interacción humana sigue, pero como un complemento de mayor valor, sin embargo, el cuello de botella más serio que se identifica en la literatura sigue siendo el factor humano, existiendo una escasez crítica de talento y la urgencia de invertir en educación técnica, liderazgo, gestión y habilidades STEM (Ciencia, Tecnología, Ingeniería, Matemáticas, por sus siglas en inglés), así como fomentar la mejora de competencias y la recapacitación. Ante esta situación, a continuación, se analizan factores sociales que aun limitan el desarrollo de la Industria 4.0 en América Latina como son el desarrollo profesional continuo, la aceptación social y la formación del operador aumentado.

Equilibrio de la vida laboral y desarrollo profesional continuo

Ante la escasez de mano de obra calificada y la creciente diversidad de la fuerza laboral (en términos de edad, género y cultura), la Industria 4.0 permitirá diversas y flexibles trayectorias profesionales lo que permitirá a las personas seguir trabajando, siendo productivas durante más tiempo (Kagermann et al., 2013). El desafío será la reestructuración de puestos de trabajo porque algunas de las ocupaciones menos exigentes desaparecerán rápidamente. Los aumentos de produc-

tividad logrados por el uso de tecnologías inteligentes pueden ayudar a asegurar empleos, pero también puede destruir puestos de trabajo (efectos de redundancia). Existe la preocupación de que los efectos de redundancia de la Industria 4.0 predominen a largo plazo, lo que llevaría a lo que se conoce como desempleo tecnológico. Lo que es seguro es que los perfiles o roles de trabajo cambiarán. Esto significa que medidas de conversión y adaptación serán necesarias mediante la educación y el desarrollo de los empleados (Roblek et al., 2016). La Industria 4.0 conducirá a una mayor automatización de tareas, lo que significa que los trabajadores deben estar preparados para realizar nuevas tareas. Este nuevo paradigma de producción tendrá un impacto en el mercado laboral y en los roles profesionales, siendo crucial garantizar que se creen más empleos que los que desaparecerán (Pereira & Romero, 2017). En vista de la escasez de trabajadores calificados, con pensamiento interdisciplinario y excelentes aptitudes técnicas y sociales, la Industria 4.0 permitirá a este tipo de trabajadores extender su vida laboral y seguir siendo productivos durante más tiempo. Una flexible organización laboral permitirá promover un mejor equilibrio entre la vida laboral y personal con un continuo desarrollo profesional (Belman López, 2024). La Industria 4.0 transformará radicalmente los perfiles del trabajo y la competencia de los trabajadores, por lo tanto, será necesario implementar estrategias adecuadas de capacitación y organizar el trabajo de manera que se fomente el aprendizaje continuo. Además, a través de Industria 4.0 y el cambio de paradigma en la interacción entre humano y tecnología, serán las máquinas las que se adapten a las necesidades de los seres humanos y no viceversa. Mientras que, sistemas de asistencia inteligente evitarán que los trabajadores tengan que realizar tareas rutinarias, lo que les permitirá centrarse en actividades creativas y de valor agregado (Kagermann et al., 2013).

La aceptación social

La voluntad social de aceptar, usar y desarrollar este nuevo paradigma de producción es decisiva para el éxito de la Industria 4.0. La aceptación por parte de los usuarios es un requisito previo crucial. La aceptación significa que los usuarios perciben los sistemas diseñados

positivamente y están dispuestos a usarlos. El pasado ha demostrado que es extraordinariamente difícil predecir la aceptación. Al mismo tiempo, la aceptación depende mucho de interacciones hombre-máquina bien diseñadas. Por esta razón, los problemas de aceptación deben abordarse ampliamente desde un principio en especial en el desarrollo de los sistemas ciberfísicos (Acatech, 2011).

Además, existe el desafío en la reestructuración de puestos de trabajo y la preocupación al hecho de que algunas de las ocupaciones menos exigentes desaparecerán. Aunque, los aumentos de productividad logrados por el uso de tecnologías inteligentes pueden ayudar a asegurar empleos, también puede destruir puestos de trabajo (efectos de redundancia). Existe la preocupación de que los efectos de redundancia de la Industria 4.0 predominen a largo plazo, lo que llevaría a lo que se conoce como desempleo tecnológico (Roblek et al., 2016).

Finalmente, los defensores de la idea que Industria 4.0 es en efecto una revolución profunda y no solo una evolución gradual, afirman que las sociedades actuales se están enfrentando también a la vida 4.0. Los formidables cambios que han llegado junto con Industria 4.0 afectan no solo a los sectores industriales, sino también a la administración pública, a la atención médica (Belman López, 2024), las condiciones laborales, incluyendo los desplazamientos, viajes, la capacitación y los entrenamientos, la organización de los lugares de trabajo incluso la organización del tiempo libre. Esto significa también un nuevo rol para los gobiernos, ya que se espera más con respecto a la provisión de infraestructura, el desarrollo de redes de banda ancha e incentivos para las pequeñas empresas (Götz & Jankowska, 2017; Belman López, 2025).

El operador aumentado

La Industria 4.0 integra a las personas en los procesos de producción con actividades de valor añadido que eviten desperdicios (Vaidya et al., 2018). Es crucial para Industria 4.0, garantizar que se generen

más empleos que los que desaparecerán al aplicar la tecnología en actividades rutinarias (Pereira & Romero, 2017), surgiendo la necesidad de formar una nueva generación de gerentes y trabajadores capaces de transformar las empresas en entidades colaborativas orientadas a servicios (Wiesner & Thoben, 2016).

El concepto del operador aumentado se refiere al soporte técnico y tecnológico que los trabajadores deben brindar a los complejos sistemas de producción. La Industria 4.0, no visualiza instalaciones de producción sin trabajadores, sino que ve en los operadores las partes más flexibles en el sistema de producción con la capacidad de adaptarse al máximo a los cada vez más complejos y desafiantes ecosistemas industriales (Weyer et al., 2015).

La Industria 4.0 conducirá a una mayor automatización de tareas y los trabajadores deben estar preparados para realizar nuevas actividades (Pereira & Romero, 2017). Ante la escasez de trabajadores calificados, con pensamiento interdisciplinario y excelentes aptitudes técnicas y sociales, la Industria 4.0 permitirá a estos trabajadores extender su vida laboral siendo productivos durante más tiempo. Una flexible organización laboral permitirá promover un mejor equilibrio entre la vida laboral y personal con un continuo desarrollo profesional. La Industria 4.0 transformará radicalmente los perfiles del trabajo y la competencia de los trabajadores, siendo necesario implementar estrategias adecuadas de capacitación y organizar el trabajo fomentando el aprendizaje continuo. Además, a través de Industria 4.0 y el cambio de paradigma en la interacción entre humano y tecnología, serán las máquinas las que se adapten a las necesidades de los humanos y no viceversa. Mientras que, sistemas de asistencia inteligente evitarán que los trabajadores tengan que realizar tareas rutinarias, lo que les permitirá centrarse en actividades creativas y de valor agregado (Kagermann et al., 2013; Belman-López, 2022).

Conclusiones

Las preocupaciones ambientales, las soluciones sostenibles y resilientes, y los enfoques personalizados y centrados en el ser humano

se han convertido en los principales impulsores en los nuevos paradigmas de producción. En este contexto, las empresas deben identificar e invertir en tecnologías que satisfagan sus necesidades y les permitan desarrollar servicios de valor añadido con mayor eficiencia, productividad de recursos y costes asequibles, al mismo tiempo que surgen nuevos modelos de negocios que impactan el ámbito laboral, social y económico.

La Industria 4.0 encapsula tendencias de desarrollo de las fábricas del futuro, para desarrollar productos, procesos y sistemas inteligentes de manufactura, con la capacidad de alcanzar la operación de la fábrica inteligente.

La Industria 4.0 es una filosofía que enfatiza las oportunidades de integrar de forma colaborativa todos los elementos en un sistema que agrega valor, siguiendo como objetivos el aumento de la eficiencia y productividad, la personalización de productos y servicios y a su vez equilibrar la vida laboral del trabajador.

En Industria 4.0 los recursos típicos se convierten en objetos inteligentes (CPS) con la capacidad de percibir señales de su entorno, actuar y tener comportamiento dentro de su ambiente, que basados en los principios de diseño correctos tiene la capacidad de alcanzar la fábrica inteligente de la era de Industria 4.0. Esto permitirá cambios a nivel individual en clientes (con acceso a productos más personalizados) o trabajadores (con nuevos roles e incremento en la eficiencia de sus tareas) y cambios en los entornos empresariales, evolucionando las instalaciones de manufactura y la forma en que se diseñarán procesos y productos a través de sistemas de manufactura cada vez más complejos e inteligentes. Finalmente, se analizan los desafíos en áreas como México y América latina donde la aceptación social, el equilibrio de la vida laboral y el desarrollo profesional continuo hasta alcanzar al concepto del operador aumentado siguen siendo los principales desafíos.

Referencias

- Acatech. (2011). *Cyber-physical systems: Driving force for innovation in mobility, health, energy and production*. Acatech – National Academy of Science and Engineering.
- Almada-Lobo, F. (2015). The Industry 4.0 revolution and the future of Manufacturing Execution Systems (MES). *Journal of Innovation Management*, 3(4), 16–21.
- Angulo, P., Guzmán, C., Jiménez, G., & Romero, D. (2016). A service-oriented architecture and its ICT infrastructure to support eco-efficiency performance monitoring in manufacturing enterprises. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 30(2–3), 202–214. <https://doi.org/10.1080/0951192X.2016.1145810>
- Babiceanu, R. F., & Seker, R. (2016). Big Data and virtualization for manufacturing cyber-physical systems: A survey of the current status and future outlook. *Computers in Industry*, 81, 128–137. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2016.02.004>
- Bagheri, B., Yang, S., Kao, H.-A., & Lee, J. (2015). Cyber-physical systems architecture for self-aware machines in Industry 4.0 environment. *IFAC-PapersOnLine*, 48(3), 1622–1627. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.318>
- Belman López, C. (2023). Who should manage production in modern manufacturing? The product, the manufacturing system, or the factory. *Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica*, 11(65), 1–20.
- Belman López, C. (2025). Análisis moderno sobre la Industria 4.0, sus retos y oportunidades. En F. Manjarrés Arias, (ed.). *Convergencia de las ingenierías: Enfoques interdisciplinarios y soluciones innovadoras para los retos contemporáneos en industria, energía, automatización y producción* (pp. 75–102). Religación Press. <https://doi.org/10.46652/religacionpress.362.c657>

- 84
- CAPÍTULO 4
- Belman López, C. (2025). Cloud computing as an Industry 5.0 enabling technology. *Ingeniería e Investigación*, 45(2). <https://doi.org/10.15446/ing.investig.112793>
- Belman López, C. E. (2021). Real-time event-based platform for the development of digital twin applications. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 116(3), 1357–1369. <https://doi.org/10.1007/s00170-021-07490-9>
- Belman López, C. E. (2024). Design of an application to detect COVID-19 using convolutional neural networks and X-ray images. *Acta Universitaria*, 34, 1–16. <https://doi.org/10.15174/au.2024.3919>
- Belman-López, C. E. (2022). Detection of COVID-19 and other pneumonia cases using convolutional neural networks and X-ray images. *Ingeniería e Investigación*, 42(1). <https://doi.org/10.15446/ing.investig.v42n1.90289>
- Belman-López, C., Jiménez-García, J., & Hernández-González, S. (2020). Análisis exhaustivo de los principios de diseño en el contexto de Industria 4.0. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, 17(4), 432–447. <https://doi.org/10.4995/riai.2020.12579>
- Belman-López, C., Jiménez-García, J., Vázquez-López, J., & Camarillo-Gómez, K. (2023). Diseño de una arquitectura para sistemas y aplicaciones en Industria 4.0 basada en computación en la nube y análisis de datos. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, 20(2), 137–149. <https://doi.org/10.4995/riai.2022.17791>
- Belman-López, C., Jiménez-García, J., Vázquez-López, J., Hernández-González, S., & Franco-Barrón, J. (2020). Elementos fundamentales del sistema de manufactura inteligente en la era de Industria 4.0. *Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica*, 8(46), 1–26.

- Brettel, M., Friederichsen, N., Keller, M., & Rosenberg, M. (2014). How virtualization, decentralization and network building change the manufacturing landscape: An Industry 4.0 perspective. *International Journal of Mechanical, Industrial Science and Engineering*, 8(1), 37–44.
- Chen, T., & Tsai, H.-R. (2017). Ubiquitous manufacturing: Current practices, challenges, and opportunities. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 45, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2016.01.001>
- Fatorachian, H., & Kazemi, H. (2018). A critical investigation of Industry 4.0 in manufacturing: Theoretical operationalisation framework. *Production Planning & Control*, 29(8), 633–644. <https://doi.org/10.1080/09537287.2018.1424960>
- Francalanza, E., Borg, J., & Constantinescu, C. (2018). Approaches for handling wicked manufacturing system design problems. *Procedia CIRP*, 67, 134–139. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.12.189>
- Franco, J.-E., Jiménez, J.-A., Hernández, S., Bravo, M.-G., Camarillo, K.-A., & Belman, C.-E. (2023). Metodología directiva de las 4 fases para la mejora y migración hacia la Industria 4.0. *Dyna*, 98(2), 1–6. <https://doi.org/10.6036/10573>
- Ghobakhloo, M. (2020). Determinants of information and digital technology implementation for smart manufacturing. *International Journal of Production Research*, 58(8), 2384–2406. <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1630775>
- Götz, M., & Jankowska, B. (2017). Clusters and Industry 4.0 – do they fit together? *European Planning Studies*, 25(9), 1633–1653. <https://doi.org/10.1080/09654313.2017.1327037>
- Hermann, M., Pentek, T., & Otto, B. (2016). Design principles for Industrie 4.0 scenarios. 2016 49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS). <https://doi.org/10.1109/HICSS.2016.488>

- Jazdi, N. (2014). Cyber physical systems in the context of Industry 4.0 2014 *IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics*, Cluj-Napoca, Rumania. <https://doi.org/10.1109/AQTR.2014.6857843>
- Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). *Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0: Final report of the Industrie 4.0 Working Group*. acatech – National Academy of Science and Engineering.
- Klingenberg, C. (2017). Industry 4.0: What makes it a revolution? [Conferencia]. *24th International Annual EurOMA Conference*, Edimburgo, Reino Unido.
- Kusiak, A. (2018). Smart manufacturing. *International Journal of Production Research*, 56(1–2), 508–517. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1351644>
- López Martínez, P., Dintén, R., Drake, J., & Zorrilla, M. (2021). A big data-centric architecture metamodel for Industry 4.0. *Future Generation Computer Systems*, 125, 263–284. <https://doi.org/10.1016/j.future.2021.06.020>
- MetalMecánica. (2025, 15 de septiembre). Industria 4.0: Cómo aterriza la transformación en México y Latinoamérica. *MetalMecánica*. <https://n9.cl/x54sp>
- MIT Technology Review. (2018, 31 de octubre). “Digital twin”, un gemelo virtual para aconsejar a la Industria 4.0. *MIT Technology Review*. <https://n9.cl/iwmn8o>
- Neugebauer, R., Hippmann, S., Leis, M., & Landherr, M. (2016). Industrie 4.0 - From the perspective of applied research. *Procedia CIRP*, 57, 2–7. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.11.002>
- Pereira, A., & Romero, F. (2017). A review of the meaning and the implications of the Industry 4.0 concept. *Procedia Manufacturing*, 13, 1206–1214. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.032>

- Radziwon, A., Bilberg, A., Bogers, M., & Madsen, E. S. (2014). The smart factory: Exploring adaptive and flexible manufacturing solutions. *Procedia Engineering*, 69, 1184–1190. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.03.108>
- Roblek, V., Meško, M., & Krapež, A. (2016). A complex view of Industry 4.0. *SAGE Open*, 6(2), 1–11. <https://doi.org/10.1177/2158244016653987>
- Rojko, A. (2017). Industry 4.0 concept: Background and overview. *International Journal of Interactive Mobile Technologies*, 11(5), 77–90. <https://doi.org/10.3991/ijim.v11i5.7072>
- RSM. (2025, 27 de marzo). Industria 4.0: Impulsando el futuro en América Latina. *RSM Latin America*. <https://n9.cl/tpq61>
- Shafiq, S. I., Sanin, C., Toro, C., & Szczerbicki, E. (2015). Virtual Engineering Object (VEO): Toward experience-based design and manufacturing for Industry 4.0. *Cybernetics and Systems*, 46(1–2), 35–50. <https://doi.org/10.1080/01969722.2015.1007734>
- Shelden, D. R. (2018). Cyber-physical systems and the built environment. *Technology/Architecture + Design*, 2(2), 137–139. <https://doi.org/10.1080/24751448.2018.1497358>
- Vaidya, S., Ambad, P., & Bhosle, S. (2018). Industry 4.0 – A glimpse. *Procedia Manufacturing*, 20, 233–238. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.02.034>
- Weyer, S., Schmitt, M., Ohmer, M., & Gorecky, D. (2015). Towards Industry 4.0 - Standardization as the crucial challenge for highly modular, multi-vendor production systems. *IFAC-PapersOnLine*, 48(3), 579–584. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.143>
- Wiesner, S., & Thoben, K.-D. (2016). Requirements for models, methods and tools supporting servitisation of products in manufacturing service ecosystems. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 29(11), 1190–1200. <https://doi.org/10.1080/0951192X.2015.1130243>

- Xu, L. D., & Duan, L. (2019). Big data for cyber physical systems in industry 4.0: A survey. *Enterprise Information Systems*, 13(2), 148–169. <https://doi.org/10.1080/17517575-2018.1442934>
- Yang, H., Kumara, S., Bukkapatnam, S. T. S., & Tsung, F. (2019). The internet of things for smart manufacturing: A review. *IIEE Transactions*, 51(11), 1190–1216. <https://doi.org/10.1080/24725854.2018.1555383>
- Zhong, R. Y., Xu, X., Klotz, E., & Newman, S. T. (2017). Intelligent manufacturing in the context of Industry 4.0: A review. *Engineering*, 3(5), 616–630. <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2017.05.015>

Carlos Eduardo Belman López

Tecnológico Nacional de México en Celaya | Celaya | Guanajuato | México

<https://orcid.org/0000-0003-1305-6778>

d1803018@itcelaya.edu.mx

carlosbelman@gmail.com

El Dr. Carlos Eduardo Belman López es miembro del SNII en México (nivel candidato) y posee como áreas de interés la producción inteligente, el gemelo digital, la inteligencia artificial y sus aplicaciones en áreas como la Agricultura de Precisión, la cadena de suministro, la Industria 5.0, entre otras. Ha logrado publicar 6 artículos JCR y 5 en revistas SECIHTI en estos temas.

Industry 4.0, the Smart Factory, and Its Challenges in Mexico and Latin America

Abstract

The term Industry 4.0 has become a priority and subject of study for organizations and research centers in various countries, but it is still in its early stages of implementation. Companies face difficulties developing Industry 4.0 solutions, unsure of how to address their design principles or basic requirements. Analyzing these principles explicitly addresses this problem, supports professionals in implementing solutions by providing a foundation for development, and offers support in facing the challenges that Industry 4.0 presents, such as the development of the smart factory. Therefore, this document focuses on analyzing the design principles of Industry 4.0, the concept of the smart factory, and cyber-physical systems, ultimately addressing the challenges in areas such as Mexico and Latin America.

Keywords: Industry 4.0; Smart Factory; Smart Manufacturing; Production Systems

Indústria 4.0, a Fábrica Inteligente e seus Desafios no México e na América Latina

Resumo

O termo Indústria 4.0 tornou-se prioridade e objeto de estudo para organizações e centros de pesquisa em diversos países, mas ainda se encontra em seus primeiros estágios de implementação. As empresas enfrentam dificuldades ao desenvolver soluções para a Indústria 4.0, sem ter certeza de como abordar seus princípios de design ou requisitos básicos. A análise desses princípios aborda explicitamente este problema, apoia os profissionais na implementação de soluções, sendo a base do desenvolvimento, e fornece suporte diante dos desafios que a Indústria 4.0 representa, como o desenvolvimento da fábrica inteligente. Portanto, a contribuição deste documento centra-se em analisar os princípios de design da Indústria 4.0, o conceito de fábrica inteligente e os sistemas ciberfísicos, para finalmente abordar os desafios em áreas como México e América Latina. Palavras-chave: Indústria 4.0; Fábrica Inteligente; Manufatura Inteligente; Sistemas de

Produção

Capítulo 5

Adopción de certificaciones de gestión en América Latina: un análisis comparativo con énfasis en México

Mario Antonio Hernández Villegas, José Antonio Yarza Acuña, Ricardo Lorenzo Ávila Rondón, Ana Carolina Meléndez Gurrola

Hernández Villegas, M. A., Yarza Acuña, J. A., Ávila Rondón, R. L., & Meléndez Gurrola, A. C. (2026). Adopción de certificaciones de gestión en América Latina: un análisis comparativo con énfasis en México. En F. J. Manjarrés Arias. (Coord). *El espectro de las ingenierías. Investigaciones situadas en contextos regionales (Volumen I)*. (pp. 91-112). Religación Press. <http://doi.org/10.46652/religacionpress.401.c864>



05

Adopción de certificaciones de gestión en América Latina: un análisis comparativo con énfasis en México

Resumen

Este capítulo analiza la adopción de las certificaciones ISO 9001, ISO 14001 e ISO 45001 en América Latina, con especial atención al caso de México, desde una perspectiva comparativa regional. Se plantea un marco conceptual que relaciona los sistemas de gestión certificados con la competitividad empresarial, la calidad, la sostenibilidad y la seguridad y salud en el trabajo, considerando los retos que enfrentan las organizaciones, particularmente las pequeñas y medianas empresas, para su implementación. Metodológicamente, el estudio se basa en el análisis de datos de la ISO Survey 2023 y fuentes demográficas oficiales, a partir de los cuales se construyen indicadores absolutos y relativos por millón de habitantes que permiten comparar el nivel de adopción entre países. Los resultados muestran patrones diferenciados entre volumen total e intensidad relativa de certificaciones en la región y evidencian la influencia de factores organizacionales, institucionales y culturales en su difusión.

Palabras clave: Gestión industrial; Normalización; Empresa; Seguridad

Introducción

Las certificaciones internacionales de sistemas de gestión se han consolidado como uno de los instrumentos más relevantes para apoyar a las organizaciones en la estructuración, control y mejora continua de sus procesos. A través de estas certificaciones, las empresas pueden demostrar que operan conforme a estándares reconocidos a nivel internacional, lo cual incrementa su credibilidad ante clientes, proveedores, organismos reguladores e inversionistas. En un entorno caracterizado por la globalización de los mercados, la presión por elevar la productividad y la creciente preocupación por los impactos sociales y ambientales de la actividad económica, las certificaciones de gestión representan un elemento clave de las estrategias empresariales contemporáneas.

En particular, los sistemas de gestión de la calidad, la gestión ambiental y la seguridad y salud en el trabajo constituyen tres pilares fundamentales de la gestión moderna. Estos enfoques permiten integrar dimensiones técnicas, organizacionales y humanas en un mismo marco operativo, favoreciendo la estandarización de procesos, la reducción de errores, el uso eficiente de recursos y la prevención de riesgos laborales. Desde la perspectiva de la ingeniería industrial, estos sistemas ofrecen un lenguaje común para analizar, diseñar y mejorar procesos productivos y de servicios, alineando los objetivos operativos con los estratégicos.

A pesar de los beneficios potenciales asociados a la adopción de certificaciones, su difusión no ha sido homogénea entre regiones ni entre países. En América Latina, la implementación de estándares internacionales de gestión refleja contrastes importantes que responden a diferencias en niveles de desarrollo económico, estructuras productivas, capacidad institucional y marcos regulatorios. Mientras algunos países han logrado consolidar una base empresarial con altos niveles de certificación, otros muestran avances más modestos y concentrados en sectores específicos.

México ocupa una posición particularmente relevante en este contexto. Como una de las economías más grandes de América Latina,

con una fuerte orientación hacia la exportación manufacturera, el país presenta condiciones favorables para la adopción de certificaciones. Sin embargo, también enfrenta desafíos estructurales, como la elevada presencia de pequeñas y medianas empresas con limitaciones de recursos, la heterogeneidad en capacidades de gestión y la persistencia de brechas de productividad.

En este escenario, resulta pertinente analizar de manera sistemática la adopción de certificaciones de gestión en América Latina, con énfasis en el caso mexicano, considerando tanto el volumen absoluto de certificaciones como su intensidad relativa en función de la población. Este doble enfoque permite ofrecer una visión más equilibrada del grado real de penetración de los estándares y de su distribución en la región.

El objetivo de este capítulo es proporcionar un panorama amplio y actualizado sobre los patrones de adopción de certificaciones de gestión en América Latina, identificar las principales tendencias y contrastes regionales, y reflexionar sobre las implicaciones de estos resultados para la gestión industrial y el desarrollo empresarial en México.

Certificaciones de gestión y desempeño organizacional

Las certificaciones de gestión surgen como respuesta a la necesidad de contar con marcos estructurados que orienten a las organizaciones en el establecimiento, operación, evaluación y mejora de sus procesos. Estos marcos se sustentan en principios como el enfoque sistémico, la documentación de actividades, la medición del desempeño y la retroalimentación continua.

En el ámbito de la gestión de la calidad, las normas promueven la identificación de requisitos de clientes, la definición clara de responsabilidades, el control de procesos y la evaluación sistemática de resultados. La literatura señala que las organizaciones certificadas tienden a presentar mayores niveles de formalización, consistencia operativa y orientación a la mejora continua (Palomeque-Solano, 2016).

La gestión ambiental, por su parte, ha cobrado una relevancia creciente ante la presión social y regulatoria por reducir los impactos negativos de la actividad productiva. Las normas de este tipo proporcionan herramientas para identificar aspectos ambientales, evaluar impactos y establecer programas de control y mitigación. Estudios en el continente americano muestran que la adopción de sistemas de gestión ambiental se asocia con mejoras en desempeño ambiental y con una mayor capacidad para cumplir regulaciones (De Oliveira Neves et al., 2017; Oliveira et al., 2010).

En cuanto a la seguridad y salud en el trabajo, los sistemas de gestión certificados permiten a las organizaciones pasar de enfoques reactivos a esquemas preventivos, basados en la identificación sistemática de peligros y la evaluación de riesgos. Esto contribuye no solo a reducir accidentes, sino también a mejorar el clima laboral y la productividad.

No obstante, múltiples investigaciones advierten que la certificación puede adquirir un carácter simbólico cuando se adopta únicamente para cumplir requisitos externos, sin una apropiación real de los principios de gestión (Heras-Saizarbitoria & Boiral, 2015). Este fenómeno es particularmente frecuente en pequeñas y medianas empresas, donde los recursos para sostener procesos de mejora continua son limitados.

Desde la gestión industrial, el reto consiste en promover una adopción sustantiva de los sistemas de gestión, orientada a generar valor y no solo a obtener un certificado.

Cadenas globales de valor y adopción de estándares internacionales

La creciente integración de los mercados internacionales ha dado lugar a estructuras productivas caracterizadas por la fragmentación geográfica de las actividades económicas y la coordinación de procesos entre múltiples empresas ubicadas en distintos países. Este fenómeno ha sido ampliamente analizado desde la perspectiva de la teoría de las

cadenas globales de valor (Global Value Chains, GVC), la cual explica cómo la producción mundial se organiza a través de redes de empresas interconectadas que participan en distintas etapas del proceso productivo (Humphrey & Schmitz, 2008). En este contexto, las empresas líderes de las cadenas —frecuentemente grandes marcas internacionales o grandes empresas minoristas— desempeñan un papel central en la definición de los estándares y requisitos que deben cumplir los proveedores para participar en dichas redes productivas.

Uno de los mecanismos más relevantes mediante los cuales las empresas líderes coordinan las actividades de las cadenas globales de valor es a través de la codificación de requisitos técnicos y organizacionales en forma de estándares y certificaciones internacionales. Grandes compradores, como retailers globales o marcas multinacionales, establecen especificaciones complejas relacionadas con la calidad de los productos, la seguridad alimentaria, la gestión ambiental o la responsabilidad social corporativa. Estos requisitos suelen materializarse en estándares reconocidos internacionalmente, tales como ISO 9001, ISO 14001, HACCP, BRC o SA8000, los cuales se convierten en condiciones necesarias para que las empresas proveedoras puedan acceder a determinados mercados o integrarse a cadenas de suministro internacionales (Ponte & Gibbon, 2005).

La literatura señala que estos estándares funcionan como instrumentos de gobernanza dentro de las cadenas globales de valor, ya que permiten a las empresas líderes coordinar las actividades de numerosos proveedores distribuidos geográficamente sin necesidad de ejercer un control directo sobre sus operaciones. En lugar de supervisar de manera constante a cada proveedor, las empresas compradoras establecen criterios técnicos codificados que deben ser cumplidos y verificados mediante procesos de auditoría y certificación. Este tipo de coordinación ha sido descrito como una forma de gobernanza relativamente “hands-off”, en la cual el cumplimiento de estándares sustituye parcialmente los mecanismos tradicionales de supervisión jerárquica (Ponte & Gibbon, 2005; Nadvi, 2008).

La adopción de estándares internacionales también responde a la creciente preocupación por aspectos como la seguridad alimentaria, la sostenibilidad ambiental y las condiciones laborales en las cadenas de suministro globales. En muchos sectores productivos, especialmente aquellos vinculados con productos alimentarios o manufacturas exportables, las certificaciones se han convertido en herramientas clave para garantizar la trazabilidad de los procesos y la confiabilidad de los proveedores. Investigaciones empíricas han mostrado que la implementación de estándares y certificaciones puede influir significativamente en la organización de las cadenas de suministro, ya que determina qué empresas pueden participar en determinados mercados y en qué condiciones (Tran et al., 2013).

Desde esta perspectiva, los estándares internacionales no solo cumplen una función técnica relacionada con la mejora de la calidad o la seguridad de los procesos, sino que también operan como mecanismos de gobernanza económica en el comercio internacional. Al establecer requisitos uniformes y verificables, los estándares facilitan la coordinación entre empresas ubicadas en diferentes contextos institucionales y reducen la incertidumbre asociada a las transacciones internacionales (Nadvi, 2008). Sin embargo, la literatura también señala que estos mecanismos pueden generar barreras de entrada para pequeñas empresas o productores de países en desarrollo que enfrentan dificultades para cumplir con los costos y requisitos asociados a la certificación.

En consecuencia, el análisis de la adopción de certificaciones de gestión debe considerar no solo los beneficios organizacionales internos asociados a la mejora de procesos, sino también el papel que desempeñan los estándares como instrumentos de gobernanza en las cadenas globales de valor. En particular, para las empresas de países emergentes, la adopción de certificaciones internacionales puede convertirse en un requisito estratégico para acceder a mercados globales y fortalecer su inserción en redes productivas internacionales.

La creciente relevancia de las certificaciones internacionales también puede comprenderse a partir de la dinámica de las cadenas globales de valor, donde los estándares funcionan como instrumentos que facilitan la coordinación entre empresas ubicadas en distintos países. En muchos sectores industriales, particularmente aquellos orientados a la exportación, la participación en cadenas globales de suministro implica el cumplimiento de requisitos técnicos y organizacionales establecidos por empresas líderes. En este contexto, certificaciones como ISO 9001, ISO 14001 o ISO 45001 se convierten en herramientas que permiten demostrar el cumplimiento de prácticas de gestión alineadas con estándares internacionales, facilitando así la integración de proveedores en redes productivas globales (Nadvi, 2008).

Las empresas líderes de las cadenas de valor suelen utilizar estos estándares como mecanismos de coordinación y reducción de riesgos en sus relaciones con proveedores. Al exigir certificaciones reconocidas internacionalmente, los compradores pueden establecer criterios verificables sobre la calidad de los procesos, la gestión ambiental o la seguridad laboral, sin necesidad de supervisar directamente cada etapa de producción. Este proceso permite reducir los costos de transacción y garantizar un nivel mínimo de desempeño organizacional entre proveedores ubicados en diferentes contextos institucionales y regulatorios (Humphrey & Schmitz, 2008).

En este sentido, las certificaciones ISO pueden interpretarse como infraestructuras institucionales que facilitan la gobernanza de las cadenas globales de valor. Al estandarizar prácticas organizacionales y establecer procedimientos auditables, estas certificaciones contribuyen a generar confianza entre empresas que operan en distintos países y bajo diferentes marcos regulatorios. De acuerdo con Ponte y Gibbon (2005), los estándares internacionales funcionan como dispositivos que codifican expectativas de desempeño y permiten coordinar redes de producción complejas mediante reglas formalizadas que son verificadas a través de auditorías y procesos de certificación.

Para las empresas ubicadas en economías emergentes, la adopción de certificaciones ISO puede representar una estrategia clave para acceder a mercados internacionales y fortalecer su posición dentro de las cadenas globales de valor. Sin embargo, la literatura también señala que la implementación de estos estándares puede implicar desafíos significativos, particularmente para pequeñas y medianas empresas que enfrentan limitaciones en términos de recursos técnicos, financieros y organizacionales (Tran et al., 2013). En consecuencia, la difusión de certificaciones en distintos países no depende únicamente de factores empresariales internos, sino también de variables estructurales relacionadas con las capacidades institucionales, las políticas públicas y el grado de inserción de las economías nacionales en redes productivas globales.

Desde esta perspectiva, el análisis comparativo de la adopción de certificaciones ISO en América Latina adquiere una relevancia particular. Las diferencias observadas entre países en términos de número absoluto de certificaciones y su intensidad relativa pueden interpretarse, en parte, como reflejo de distintos niveles de integración en cadenas globales de valor, así como de la capacidad de las empresas locales para cumplir con los requisitos técnicos y organizacionales exigidos por los mercados internacionales. Por ello, el estudio de las certificaciones de gestión no solo permite comprender la evolución de las prácticas de gestión empresarial, sino también analizar los mecanismos a través de los cuales las economías nacionales se insertan en el sistema productivo global.

Contexto latinoamericano y caso de México

La difusión de certificaciones en América Latina ha estado estrechamente vinculada a los procesos de apertura comercial y a la integración en cadenas globales de valor. Las empresas que participan en mercados internacionales enfrentan mayores presiones para demostrar el cumplimiento de estándares reconocidos, lo que ha impulsado la adopción de certificaciones en sectores exportadores (Freitas & Iizuka, 2012).

Sin embargo, este impulso no se ha traducido necesariamente en una adopción generalizada en toda la estructura productiva. En muchos países, las certificaciones se concentran en grandes empresas, mientras que las pequeñas y medianas empresas permanecen al margen.

En México, diversos estudios documentan que la adopción de normas de gestión ha contribuido a mejoras en procesos de calidad y eficiencia, especialmente en la industria manufacturera (Sánchez Lizarra et al., 2020). Al mismo tiempo, se han identificado resistencias culturales y regulatorias que limitan su difusión en otros ámbitos (Cruz Ramírez et al., 2013).

Este contraste convierte al caso mexicano en un referente relevante para analizar las tensiones entre potencial y realidad en la adopción de certificaciones.

Enfoque metodológico

El presente estudio adopta un enfoque cuantitativo de carácter descriptivo y comparativo. La fuente principal de información fue la ISO Survey 2023, publicada por la International Organization for Standardization (International Organization for Standardization [ISO], 2023), que reporta el número de certificados vigentes por país y por norma de sistemas de gestión. Esta base de datos constituye el principal referente internacional para analizar la difusión global de certificaciones.

Con el fin de contextualizar los resultados y evitar interpretaciones sesgadas por el tamaño poblacional de los países, se incorporaron datos de población total provenientes del Banco Mundial (World Bank, 2023). A partir de estas fuentes se construyeron dos tipos de indicadores:

- Indicador absoluto: número total de certificados por país.
- Indicador relativo: número de certificados por millón de habitantes.

El uso del indicador per cápita responde a la necesidad de normalizar la información y permitir comparaciones más equitativas entre economías de distinto tamaño. En países altamente poblados, el volumen absoluto puede ser elevado sin que ello implique una penetración significativa en términos proporcionales.

El procesamiento de los datos se realizó mediante herramientas de análisis estadístico, lo que permitió:

- Elaborar tablas comparativas.
- Generar gráficos de barras para visualizar el Top 5 regional en cada norma.
- Construir una matriz de correlación entre población, número total de certificados e indicadores per cápita.

La Figura 1 presenta el esquema general del proceso metodológico, desde la recopilación de datos hasta la construcción de indicadores y análisis comparativo.

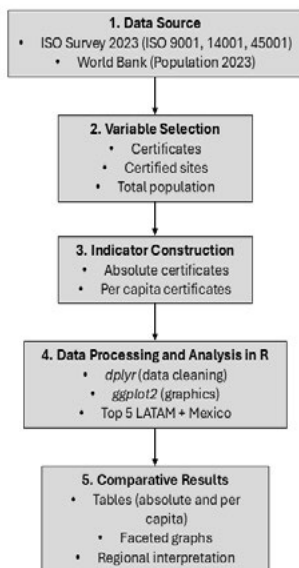


Figura 1. Esquema metodológico para el análisis comparativo de certificaciones ISO en América Latina.

Nota: elaboración propia a partir de datos de ISO Survey (2023) y World Bank - World Development Indicators (2023). Patrones regionales de adopción de certificaciones

Diagrama de flujo del proceso de análisis que incluye fuentes de datos, selección de variables, construcción de indicadores y análisis estadístico.

- *Gestión de la calidad*

El análisis de certificaciones de gestión de la calidad muestra que Brasil, Colombia y México concentran el mayor número absoluto de certificados en América Latina (véase Figura 2). Brasil lidera la región en términos de volumen total, seguido de Colombia y México, lo que refleja la dimensión de sus economías y la amplitud de su tejido empresarial formal.

Top 5 Latin American countries with ISO 9001 certificates (2023)

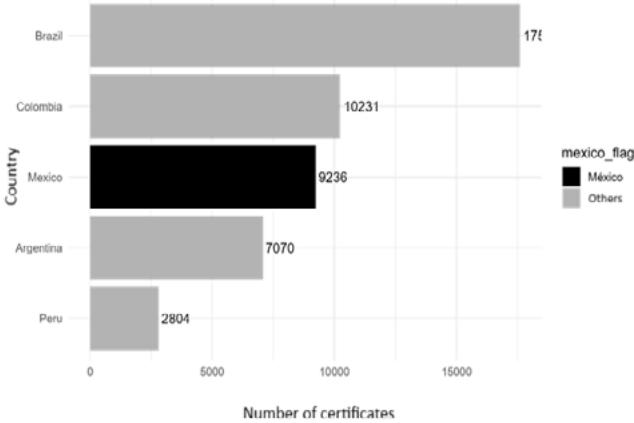


Figura 2. Principales países de América Latina con certificaciones ISO 9001 en 2023. Nota: elaboración propia con base en ISO Survey (2023). No obstante, cuando se analiza el indicador de certificados por millón de habitantes (Figura 3), el orden cambia significativamente. Uruguay encabeza el ranking regional, seguido de Colombia y Chile. México, pese a su posición destacada en términos absolutos, presenta un indicador per cápita considerablemente menor. Gráfico de barras comparativo que muestra el número total de certificaciones ISO 9001 en los cinco países con mayor volumen en la región.

ISO 9001 Certificates per Million Inhabitants (2023)

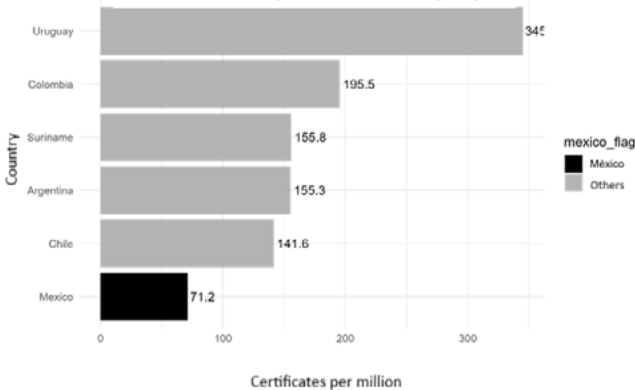


Figura 3. Certificaciones ISO 9001 por millón de habitantes en países de América Latina (2023). Nota: elaboración propia con base en ISO Survey (2023) y datos de población del World Bank - World Development Indicators (2023). Gráfico de barras comparativo que muestra la intensidad relativa de adopción de certificaciones ISO 9001 por millón de habitantes en países seleccionados de América Latina.

Este contraste evidencia que la gestión de la calidad en México, aunque extendida en volumen, no alcanza la misma intensidad relativa que en países con menor población. Esto sugiere que la certificación se concentra en determinados sectores y no se ha difundido de manera homogénea en todo el tejido productivo.

- *Gestión ambiental*

En el ámbito de la gestión ambiental, el análisis absoluto indica que Brasil, Colombia y México nuevamente se posicionan entre los principales adoptantes (Figura 4). Sin embargo, la brecha entre países se reduce respecto a la gestión de la calidad.

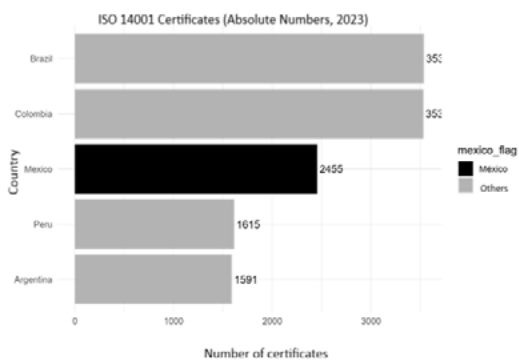


Figura 4. Principales países de América Latina con certificaciones ISO 14001 en 2023. Nota: elaboración propia con base en ISO Survey (2023). Gráfico de barras comparativo que muestra el número total de certificaciones ISO 14001 en países seleccionados de América Latina.

El análisis per cápita (Figura 5) revela que Uruguay y Colombia presentan los mayores niveles de intensidad relativa, mientras que México se ubica por debajo del Top 5 regional. Este resultado sugiere que, aunque la gestión ambiental certificada está presente en México, su penetración proporcional es limitada.

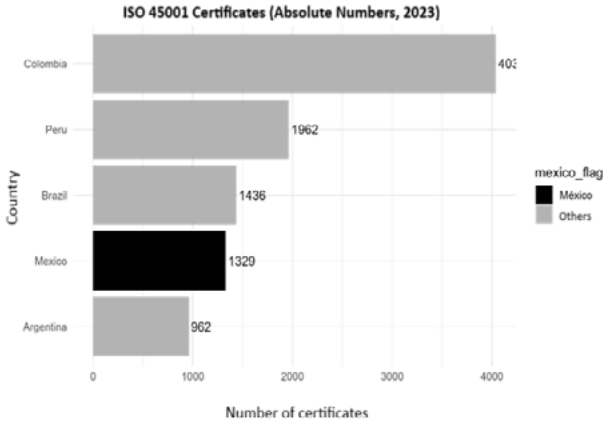


Figura 5. Certificaciones ISO 14001 por millón de habitantes en países de América Latina (2023). Nota: elaboración propia con base en ISO Survey (2023) y datos de población del World Bank - World Development Indicators (2023). Gráfico de barras comparativo que muestra la intensidad relativa de adopción de certificaciones ISO 14001 por millón de habitantes en países seleccionados de América Latina.

La evidencia indica que los países con poblaciones más pequeñas logran integrar la certificación ambiental en una proporción mayor de su estructura empresarial, lo que puede asociarse con políticas públicas más focalizadas o con una estructura productiva más concentrada.

- *Seguridad y salud en el trabajo*

En cuanto a la certificación en seguridad y salud en el trabajo, Colombia se posiciona como líder regional tanto en volumen absoluto como en intensidad relativa (6 y 7). Este doble liderazgo resulta particularmente relevante, ya que combina escala y penetración proporcional.

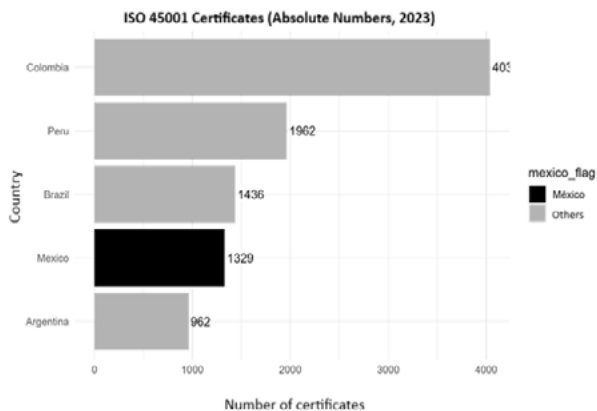


Figura 6. Principales países de América Latina con certificaciones ISO 45001 en 2023.

Nota: elaboración propia con base en ISO Survey (2023).

Gráfico de barras comparativo que muestra el número total de certificaciones ISO 45001 en países seleccionados de América Latina.

México aparece entre los principales países en términos absolutos, pero su indicador per cápita es considerablemente inferior al de Uruguay, Colombia y Perú. Esto indica que la certificación en seguridad y salud en el trabajo no ha alcanzado una difusión amplia en el país, más allá de sectores específicos.

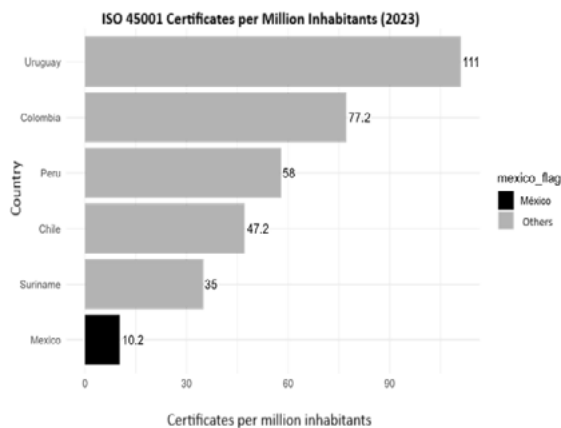


Figura 7. Certificaciones ISO 45001 por millón de habitantes en países de América Latina (2023).

Nota: elaboración propia con base en ISO Survey (2023) y datos de población del World Bank - World Development Indicators (2023).

Gráfico de barras comparativo que muestra la intensidad relativa de adopción de certificaciones ISO 45001 por millón de habitantes en países seleccionados de América Latina.

El análisis comparativo sugiere que la seguridad laboral certificada podría estar más institucionalizada en ciertos países de la región, mientras que en México aún existe margen significativo de expansión.

Resultados del análisis de correlación

La matriz de correlación (Figura 8) permitió evaluar la relación entre población, número total de certificados e indicadores per cápita.

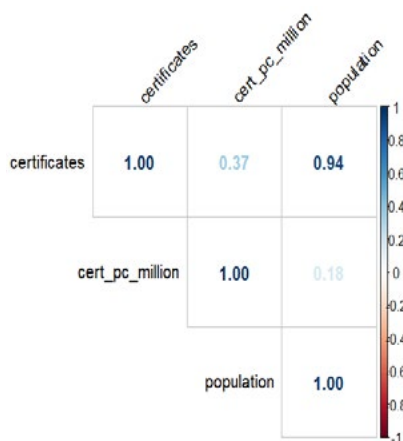


Figura 8. Matriz de correlación entre número de certificaciones, certificaciones por millón de habitantes y población en países de América Latina.

Nota. elaboración propia con base en ISO Survey(2023) y datos de población del World Bank - World Development Indicators(2023).

Nota. Mapa de calor de correlaciones que muestra la relación estadística entre el volumen total de certificaciones ISO, la intensidad relativa de adopción (certificaciones por millón de habitantes) y el tamaño poblacional.

Se identificó una correlación positiva muy fuerte entre población y número total de certificados, lo que indica que los países más poblados tienden a concentrar mayores volúmenes absolutos. Este resultado es consistente con la hipótesis de que una mayor base empresarial formal genera más oportunidades de certificación.

Sin embargo, la relación entre número total de certificados e intensidad per cápita es débil. Esto implica que un alto volumen absoluto no se traduce necesariamente en una mayor penetración relativa. En otras palabras, la escala económica no garantiza una adopción proporcionalmente extendida.

La correlación entre población e indicador per cápita también es baja, lo que refuerza la idea de que la intensidad relativa depende de factores distintos al tamaño poblacional, tales como políticas públicas, cultura organizacional y estructura sectorial.

Estos resultados confirman la existencia de una brecha estructural entre volumen e intensidad de adopción en América Latina.

Implicaciones para la gestión industrial

Los hallazgos del estudio tienen implicaciones relevantes para la gestión industrial en México. Si bien el país ocupa posiciones destacadas en volumen absoluto, el rezago en indicadores relativos sugiere que la certificación no está plenamente integrada en la mayoría de las pequeñas y medianas empresas.

Desde la perspectiva estratégica, el reto consiste en:

- Diseñar esquemas de apoyo financiero que reduzcan barreras de entrada.
- Desarrollar programas de capacitación técnica orientados a PYMEs.
- Fomentar la integración de estándares en cadenas de suministro locales.
- Promover una cultura organizacional orientada a la mejora continua.

La ingeniería industrial puede desempeñar un papel central en este proceso, al proporcionar herramientas para la estandarización, medición y mejora de procesos. Asimismo, las universidades y centros de investigación pueden contribuir mediante programas de formación y asesoría técnica.

Conclusiones

El análisis comparativo de certificaciones de gestión en América Latina muestra que México ocupa una posición relevante en términos absolutos, pero presenta rezagos en intensidad relativa frente a países como Uruguay y Colombia.

La evidencia empírica confirma que el tamaño poblacional explica el volumen total de certificaciones, pero no su penetración proporcional. Este hallazgo subraya la necesidad de analizar simultáneamente indicadores absolutos y relativos para obtener una visión más precisa del nivel de adopción.

Para México, el principal desafío radica en ampliar la difusión de certificaciones hacia pequeñas y medianas empresas, fortaleciendo capacidades técnicas, incentivos y marcos institucionales que promuevan una adopción más equilibrada.

Las certificaciones de gestión deben concebirse como instrumentos estratégicos para impulsar la competitividad, la sostenibilidad y la seguridad laboral, contribuyendo así a un desarrollo industrial más sólido en el contexto latinoamericano.

Referencias

- Carriel Palma, R. J., Barros Merizalde, C. K., & Fernández Flores, F. M. (2018). Sistema de gestión y control de la calidad: Norma ISO 9001:2015. *RECIMUNDO*, 2(1), 625–644. <https://doi.org/10.26820/recimundo/2.1.2018.625-644>
- Cruz Ramírez, D., Pérez Castañeda, S. S., & Moreno Uribe, P. H. (2013). Beneficios y problemáticas en la aplicación de normas internacionales de auditoría en México. *Quipukamayoc*, 21(40), 95–99. <https://doi.org/10.15381/quipu.v21i40.6315>
- De Oliveira Neves, F., Salgado, E. G., & Beijo, L. A. (2017). Analysis of the environmental management system based on ISO 14001 on the American continent. *Journal of Environmental Management*, 199, 251–262. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.05.049>
- Freitas, I. M. B., & Iizuka, M. (2012). Openness to international markets and the diffusion of standards compliance in Latin America: A multi level analysis. *Research Policy*, 41(1), 201–215. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2011.08.001>
- Heras-Saizarbitoria, I., & Boiral, O. (2015). Symbolic adoption of ISO 9000 in small and medium-sized enterprises: The role of internal contingencies. *International Small Business Journal*, 33(3), 299–320. <https://doi.org/10.1177/0266242613495748>
- Hikichi, S. E., Salgado, E. G., & Beijo, L. A. (2017). Characterization of dissemination of ISO 14001 in countries and economic sectors in the Americas. *Journal of Environmental Planning and Management*, 60(9), 1554–1574. <https://doi.org/10.1080/09640568.2016.1240070>
- Humphrey, J., & Schmitz, H. (2008). Inter-firm relationships in global value chains: Trends in chain governance and their policy implications. *International Journal of Technological Learning, Innovation and Development*, 1(3), 258–282. <https://doi.org/10.1504/ijtlid.2008.019974>

- International Organization for Standardization. (2023). *The ISO survey of management system standard certifications – 2023 results*. ISO. <https://www.iso.org/the-iso-survey.html>
- Labella, R., Fort, F., & Rosa, M. (2024). The ISO 14001 standard's effect on agrifood small and medium-sized enterprises' performance: Literature review and empirical evidence. *Business Strategy and the Environment*, 33(7), 6547–6564. <https://doi.org/10.1002/bse.3818>
- Nadvi, K. (2008). Global standards, global governance and the organization of global value chains. *Journal of Economic Geography*, 8(3), 323–343. <https://doi.org/10.1093/jeg/lbn003>
- Oliveira, O. J., Serra, J. R., & Salgado, M. H. (2010). Does ISO 14001 work in Brazil? *Journal of Cleaner Production*, 18(18), 1797–1806. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.08.004>
- Palomeque-Solano, M. (2016). El ciclo cliente proveedor y la familia de normas ISO 9000. *CLIO América*, 10(19), 186–193. <https://doi.org/10.21676/23897848.1876>
- Ponte, S., & Gibbon, P. (2005). Quality standards, conventions and the governance of global value chains. *Economy and Society*, 34(1), 1–31. <https://doi.org/10.1080/0308514042000329315>
- Sánchez Lizarraga, M. A., Limón Romero, J., Tlapa Mendoza, D., & Báez López, Y. (2020). ISO 9001 standard: Exploratory analysis in the manufacturing sector in Mexico. *DYNA*, 87(213), 202–211. <https://doi.org/10.15446/dyna.v87n213.83230>
- Tran, N., Bailey, C., Wilson, N., & Phillips, M. (2013). Governance of global value chains in response to food safety and certification standards: The case of shrimp from Vietnam. *World Development*, 45, 325–336. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2013.01.025>
- World Bank. (2023). *Population, total*. The World Bank Group. <https://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL>

Mario Antonio Hernández Villegas

Universidad Autónoma de Coahuila | Torreón | Coahuila | México

<https://orcid.org/0000-0003-0123-643X>

Mario_hernandez@uadec.edu.mx

mantoniohvs@gmail.com

Profesor, investigador y exdirector de la Escuela de Sistemas unidad Laguna de la Universidad Autónoma de Coahuila con 15 años de experiencia dentro de la institución.

José Antonio Yarza Acuña

Universidad Autónoma de Coahuila | Torreón | Coahuila | México

<https://orcid.org/0000-0001-6837-4218>

joyarzaa@uadec.edu.mx

Doctor en Ciencias en Ingeniería Eléctrica. Profesor de Tiempo Completo en la Universidad Autónoma de Coahuila. Sus líneas de investigación incluyen control automático, manufactura e ingeniería industrial.

Ricardo Lorenzo Ávila Rondón

Universidad Autónoma de Coahuila | Torreón | Coahuila | México

<https://orcid.org/0000-0001-6730-5739>

riavilar@uadec.edu.mx

Doctor en Ciencias Técnicas por la Universidad de Holguín y Profesor de Tiempo Completo en la Universidad Autónoma de Coahuila. Investigador en ISO 10303, optimización multicriterio y sistemas CAD/CAM/CAE con Inteligencia Artificial.

Ana Carolina Meléndez Gurrola

Universidad Autónoma de Coahuila | Torreón | Coahuila | México

<https://orcid.org/0000-0002-2258-9608>

carolina.melendez@uadec.edu.mx

Ingeniera en Mecatrónica, Maestra en Gestión de TI y en Administración Estratégica. Directora de la Escuela de Sistemas de la Universidad Autónoma de Coahuila (2023–actual), con Perfil PRODEP y miembro del Sistema Estatal de Investigadores Junior.

Adoption of Management Certifications in Latin America: A Comparative Analysis with Emphasis on Mexico**Abstract**

This chapter analyzes the adoption of ISO 9001, ISO 14001, and ISO 45001 certifications in Latin America, with special attention to the case of Mexico, from a regional comparative perspective. It proposes a conceptual framework that links certified management systems with business competitiveness, quality, sustainability, and occupational health and safety, considering the challenges organizations face, particularly small and medium-sized enterprises, in their implementation. Methodologically, the study is based on the analysis of data from the ISO Survey 2023 and official demographic sources, from which absolute and relative indicators per million inhabitants are constructed to compare adoption levels among countries. The results show differentiated patterns between total certification

volume and relative adoption intensity in the region and highlight the influence of organizational, institutional, and cultural factors in their diffusion.

Keywords: Industrial management; Standardization; Enterprise; Safety

Adoção de Certificações de Gestão na América Latina: Uma Análise Comparativa com Ênfase no México

Resumo

Este capítulo analisa a adoção das certificações ISO 9001, ISO 14001 e ISO 45001 na América Latina, com especial atenção ao caso do México, a partir de uma perspectiva comparativa regional. Propõe-se um marco conceitual que relaciona os sistemas de gestão certificados à competitividade empresarial, à qualidade, à sustentabilidade e à segurança e saúde no trabalho, considerando os desafios enfrentados pelas organizações, particularmente as pequenas e médias empresas, para sua implementação. Metodologicamente, o estudo baseia-se na análise de dados da ISO Survey 2023 e fontes demográficas oficiais, a partir dos quais são construídos indicadores absolutos e relativos por milhão de habitantes que permitem comparar o nível de adoção entre os países. Os resultados mostram padrões diferenciados entre volume total e intensidade relativa de certificações na região e evidenciam a influência de fatores organizacionais, institucionais e culturais em sua difusão.

Palavras-chave: Gestão industrial; Normalização; Empresa; Segurança

Capítulo 6

Biorremediación artesanal en suelos contaminados por la producción de cocaína en una vereda de Nariño, Colombia

Luis Andrés Rodríguez Coral, María Lorcy Rosero Mora, Oscar Jardey Suarez

Rodríguez Coral, L. A., Rosero Mora, M. L., & Suarez, O. J. (2026). Biorremediación artesanal en suelos contaminados por la producción de cocaína en una vereda de Nariño, Colombia. En F. J. Manjarrés Arias. (Coord). *El espectro de las ingenierías. Investigaciones situadas en contextos regionales (Volumen I)*. (pp. 114-135). Religación Press. <http://doi.org/10.46652/religacionpress.401.c865>



06

Biorremediación artesanal en suelos contaminados por la producción de cocaína en una vereda de Nariño, Colombia

Resumen

Este capítulo describe el diseño de un protocolo de biorremediación artesanal de suelos contaminados por la producción de clorhidrato de cocaína, en una vereda de Nariño, Colombia. El texto se sitúa en el marco de la crisis ambiental generada por los cultivos ilícitos, causando deforestación, pérdida de biodiversidad, acidificación de suelos y contaminación química en regiones de alta vulnerabilidad socioeconómica. El propósito es integrar el conocimiento científico sobre biorremediación, con los saberes ancestrales de la comunidad, para desarrollar una solución sostenible y de bajo costo. La investigación con enfoque metodológico mixto y experimental muestra un estudio de laboratorio en el que se contaminaron muestras de suelo fértil, con sustancias químicas representativas del proceso de producción de cocaína. Posteriormente, se hace la caracterización fisicoquímica de los suelos y el aislamiento e identificación de los morfotipos bacterianos en muestras contaminadas y no contaminadas. Paralelamente, se aplicaron encuestas y entrevistas a campesinos que se dedicaban al cultivo de hoja de coca y líderes comunitarios, para recopilar información sobre sus percepciones ambientales, prácticas tradicionales y disposición a participar en proyectos de restauración. Los resultados constituyen la base para la construcción participativa de un protocolo de restauración, que utiliza recursos locales como microorganismos nativos, estiércol, cabello humano y plantas con capacidad fitorremediadora, con el objetivo de devolver la fertilidad al suelo y promover la transición hacia prácticas agrícolas sostenibles.

Palabras clave: Biorremediación artesanal; contaminación de suelos; clorhidrato de cocaína; cultivos alternativos; desarrollo rural sostenible.

Introducción

La expansión de la coca en Colombia genera una crisis ambiental devastadora, especialmente en zonas biodiversas y vulnerables. Gran parte de estos cultivos persiste en territorios críticos como Norte de Santander, Cauca y Putumayo. Nariño se destaca de forma alarmante en este panorama, pues, al concentrar la mayor área sembrada del país con casi 60.000 hectáreas, enfrenta un impacto socioambiental profundo que se ha mantenido durante la última década (UNODC, 2024).

La expansión de la coca, por su procesamiento, genera un grave deterioro ecosistémico que afecta la biodiversidad, la salud humana y el bienestar social (Fu et al., 2017). Este fenómeno impulsa la deforestación de bosques primarios para ampliar la frontera agrícola. Además, el procesamiento del alcaloide en laboratorios rústicos vierte químicos como ácido sulfúrico, acetona y gasolina directamente al entorno (Figura 1), según la Policía Nacional (2014), estas sustancias provocan acidificación del suelo, pérdida de microorganismos esenciales y alteración de ciclos biogeoquímicos, además de la acumulación de metales pesados, consolidando una crisis ambiental profunda en las regiones afectadas.



Figura 1. Residuos químicos tras el procesamiento de clorhidrato de cocaína. Nota: Policía Nacional (2014).

En la vereda del estudio, la dependencia histórica de la coca ante el abandono estatal ha degradado profundamente el entorno. Los campesinos testifican la pérdida de fertilidad del suelo y una contaminación química persistente. Como señala un testimonio, aunque la coca superaba económicamente a otros cultivos, “trajo la guerra y daños ambientales a nuestras puertas” (International Crisis Group, 2021). Esta realidad refleja que el sustento ilícito no garantiza bienestar, sino que sacrifica el ecosistema y la seguridad local. Restaurar estos suelos mediante ingeniería convencional resulta inviable por sus altos costos y complejidad técnica, siendo inaccesible para comunidades rurales y gobiernos con recursos limitados.

Frente a este panorama, emerge la necesidad de explorar alternativas de restauración viables, sostenibles y de bajo costo que puedan ser apropiadas por las propias comunidades (Sharma et al., 2023). La biorremediación, definida como el uso de organismos vivos —principalmente microorganismos y plantas— para degradar, transformar o eliminar contaminantes del ambiente, se presenta como una opción prometedora para recuperar suelos afectados (Vidali, 2001).

Para garantizar su efectividad en contextos rurales de alta complejidad, la biorremediación debe trascender el laboratorio e integrarse con los saberes locales. Este capítulo, producto de una investigación de maestría en Ingeniería Ambiental, describe el diseño de un protocolo de restauración sostenible. La propuesta fundamenta su valor en la convergencia entre la identificación científica de bacterias nativas con potencial degradador y el conocimiento ancestral de la comunidad de la vereda en estudio, sobre el “suelo vivo”. Así, se busca establecer las bases para una transición hacia prácticas agrícolas sostenibles en el territorio.

Contexto de la problemática: el impacto del narcotráfico en el recurso suelo. El cultivo y procesamiento de cocaína representan una actividad de alto impacto ambiental que comienza con la tala y quema de bosques nativos. Estas acciones provocan la pérdida inmediata de biodiversidad, la fragmentación de hábitats y la liberación de dióxido de

carbono, lo que contribuye directamente al cambio climático (Policía Nacional, 2014). Una vez establecido el cultivo, el uso intensivo de herbicidas y plaguicidas para el control de plagas agrava la situación, pues sus residuos se infiltran en suelos y acuíferos. Al respecto, Guevara (2003), retoma las advertencias sobre los efectos de químicos como el DDT, los cuales se acumulan en la cadena trófica —desde plantas hasta animales superiores—, generando daños persistentes en los ecosistemas.

El punto crítico de la contaminación ocurre durante la transformación de la hoja de coca en clorhidrato de cocaína dentro de laboratorios clandestinos o “cocinas”. En este proceso se emplean insumos de alta peligrosidad: gasolina y keroseno para la extracción, seguidos de ácidos sulfúrico y clorhídrico, permanganato de potasio y acetona para la purificación. Tras su uso, estos químicos son arrojados sin tratamiento al entorno, convirtiendo el suelo en un depósito de xenobióticos. De acuerdo con la Policía Nacional de Colombia (2014), se estima que estos vertimientos, de los diferentes enclaves (Figura 2), alcanzan al menos 3,5 toneladas de residuos químicos por hectárea cultivada al año, consolidando un impacto ambiental severo y persistente en los ecosistemas afectados.

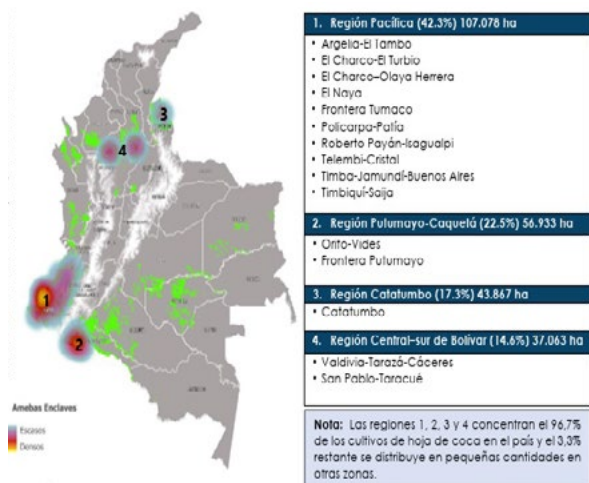


Figura 2. Regiones de Colombia con distribución territorial según la permanencia de los 15 enclaves.

Nota: Observatorio Antinarcóticos y Grupo Detección-ARINT/DIRAN, SIMCI.

El impacto en los espacios ecológicos protegidos, como los Parques Nacionales Naturales (PNN), es contundente. La Policía Nacional (2014), reporta que 17 de las 59 áreas del sistema nacional —casi el 30 %— se ven afectadas por la deforestación causada por los cultivos de coca, muchas de las cuales se hace por quema (Figura 3). Estos efectos no se limitan a la pérdida de cobertura boscosa, sino que incluyen procesos de contaminación severos que alteran las propiedades del suelo. En este sentido, la presión sobre el ambiente no se circunscribe únicamente al área del cultivo, sino que se expande hacia todo el ecosistema circundante (Bernex, 2009).

Un enfoque integrador: la biorremediación artesanal. La biorremediación artesanal es un diálogo de saberes donde la sabiduría de la tierra, heredada de los ancestros, se encuentra con el conocimiento técnico para sanar los suelos. Como un enfoque innovador que no pretende reemplazar las técnicas de ingeniería ambiental, esta investigación ofrece una alternativa práctica y accesible para comunidades con recursos limitados, sentando las bases de una restauración participativa.

El fundamento científico de la biorremediación reside en el aprovechamiento de los procesos metabólicos microbianos. Esta tecnología emergente utiliza organismos vivos —como plantas, algas, hongos y bacterias— para absorber, degradar o transformar contaminantes, logrando inactivar o atenuar su efecto en el suelo, el agua y el aire (Vandera y Koukkou, 2017). Su implementación se basa en dos estrategias principales: la bioestimulación, que consiste en añadir nutrientes o donadores de electrones (como nitrógeno, fósforo o melaza) para activar el crecimiento de microorganismos autóctonos; y la bioaumentación, que implica la adición de cepas microbianas específicas con capacidad degradativa comprobada para potenciar el proceso (Margesin y Schinner, 2001).



Figura 3. Imagen de las prácticas de quema de bosque nativo.
Nota: Policía Nacional (2014).

Los beneficios de la biorremediación artesanal radican en la gestión de sus estrategias. Los insumos para la bioestimulación no provienen de costosos fertilizantes de síntesis química, sino de residuos orgánicos generados en las mismas parcelas: estiércol animal, melaza o panela, ceniza de fogón y restos de cosecha. De igual manera, la bioaumentación no depende de cultivos puros adquiridos en laboratorios comerciales, sino del uso de consorcios microbianos desarrollados localmente a partir de la biodiversidad del entorno

En cuanto a la aplicación de fertilizantes, una alternativa la constituye el empleo de abonos orgánicos (compost y biosólidos, entre otros) u órgano-minerales. Estos presentan parte del nitrógeno en formas orgánicas, más o menos estables, que paulatinamente se mineralizan y pasan a disposición de las plantas (Lamsfus et al., 2003). Un ejemplo paradigmático es la preparación artesanal de lactobacilos realizada por habitantes de la vereda; estos se obtienen a partir de la fermentación de leche cruda con una fuente de carbono y actúan como un potente activador biológico.

Además, se integra el conocimiento tradicional sobre el manejo de la tierra, como el concepto andino de “suelo vivo” (Chilón, 2019). Esta visión concibe el terreno no como un soporte inerte, sino como un organismo complejo que debe ser nutrido y cuidado. En esta misma línea, las prácticas de preparación de abonos orgánicos fermentados

como el “bocashi” (palabra japonesa que significa “materia orgánica fermentada”) han sido utilizadas por agricultores desde hace muchos años.

Este abono se descompone mediante un proceso aeróbico a partir de materiales de origen animal o vegetal. Su uso activa y aumenta la cantidad de microorganismos en el suelo, mejora sus características físicas y suple a las plantas con nutrimentos (Shintani et al., 2000). De igual manera, el uso de la ceniza para corregir la acidez y la siembra de plantas “rústicas” para mejorar el suelo constituyen saberes ancestrales que se alinean con los principios de la biorremediación, aportando una dimensión cultural y de sostenibilidad.

Metodología del estudio: un camino de doble vía entre el laboratorio y la comunidad. La investigación que sustenta este capítulo adoptó un diseño metodológico mixto de tipo explicativo secuencial (Creswell y Creswell, 2018), estructurado en la Fase I estudio experimental de laboratorio (Cuantitativa) y la Fase II acercamiento comunitario (Cualitativa-Participativa, cuyos resultados se integraron para el diseño final del protocolo.

Fase I: estudio experimental de laboratorio (Cuantitativa)

El desarrollo procedimental de esta fase contó con el apoyo técnico y académico de un programa de Biología de una Universidad Pública. El objetivo central fue caracterizar el impacto de los contaminantes sobre las propiedades fisicoquímicas y la microbiota nativa del suelo. Para ello, se recolectaron muestras en la vereda objeto de estudio, designando una porción como control (“suelo fértil”) y otra para un proceso de contaminación controlada. Esta última fue diseñada para simular el impacto de la producción de alcaloides, mediante la adición de proporciones específicas de gasolina, hexano, acetona, ácido sulfúrico y una mezcla de metales pesados (Fe, Mn, Zn y Cu) en 100 g de muestra, replicando las condiciones halladas en residuos reales.

Posteriormente, se realizaron análisis físicos (textura, densidad real y aparente, humedad gravimétrica) y químicos (pH, materia orgánica y disponibilidad de metales) en ambos tratamientos. Simultáneamente, se llevó a cabo el aislamiento microbiológico mediante la técnica de diluciones seriadas y siembra en agar nutritivo para cuantificar las Unidades Formadoras de Colonias (UFC) y determinar la diversidad de morfotipos bacterianos. Los aislamientos más abundantes fueron caracterizados macro y microscópicamente a través de la tinción de Gram y sometidos a una batería de pruebas bioquímicas para su identificación presuntiva a nivel de género, siguiendo los lineamientos del Manual de Bergey (Garrity et al., 2004).

Fase II: acercamiento comunitario (Cualitativa-Participativa)

El objetivo de esta fase fue comprender la percepción de los habitantes de la vereda del estudio respecto a la problemática ambiental, así como documentar sus saberes tradicionales en torno a la recuperación de suelos. Para el levantamiento de información, se empleó un enfoque de muestreo por conveniencia que incluyó a 12 campesinos con experiencia en cultivos de uso ilícito, a quienes se les aplicaron encuestas estructuradas. Complementariamente, se llevaron a cabo 12 entrevistas semiestructuradas a profundidad con líderes comunitarios para explorar las dimensiones sociales y técnicas del territorio.

Los instrumentos de recolección indagaron en variables socioeconómicas, arraigo territorial, percepción del grado de degradación edáfica y disposición para participar en procesos de restauración. Asimismo, se priorizaron los saberes sobre prácticas agrícolas tradicionales y el manejo del “suelo vivo”. Los datos obtenidos fueron procesados mediante estadística descriptiva para las variables cuantitativas y un análisis de contenido temático para la información cualitativa, permitiendo una triangulación efectiva con los hallazgos de la fase experimental.

Resultados: bacterias nativas y voluntad comunitaria, la base para la restauración. Los resultados de la investigación confirmaron el severo impacto de los contaminantes derivados del procesamiento de alcaloides sobre el suelo, al tiempo que revelaron un sólido potencial biológico y social para su restauración.

Caracterización fisicoquímica y microbiológica del suelo. Los análisis de laboratorio arrojaron diferencias significativas entre el suelo fértil y el contaminado artificialmente. Este último mostró una alteración en su textura, con una tendencia hacia fracciones arenosas debido a la adsorción de hidrocarburos en las partículas del suelo, lo cual afecta su estructura y capacidad de retención de humedad. Respecto a las propiedades químicas, se evidenció una alta disponibilidad de metales pesados (Fe, Mn y Zn) como consecuencia de su adición. Contrario a lo esperado, el suelo contaminado presentó un mayor porcentaje de materia orgánica y un pH ligeramente más ácido que el fértil; este fenómeno podría atribuirse a la complejidad de las interacciones químicas entre los contaminantes añadidos —muchos de los cuales son compuestos orgánicos— y la matriz del suelo.

Los análisis físicos revelaron variaciones significativas en las propiedades estructurales del suelo tras el proceso de contaminación. La clase textural del suelo fértil, clasificada originalmente como franco arenoso, transitó hacia una categoría de suelo de arena en la muestra intervenida. Este cambio se vio reflejado en una reducción drástica de la densidad real, que descendió de 2,45 g/mL a 1,46 g/mL, y de la densidad aparente, que pasó de 1,18 g/mL a 0,55 g/mL. Asimismo, se observó un incremento anómalo en la humedad gravimétrica, la cual aumentó del 3,7 % en el suelo fértil al 46,2 % en el contaminado. Estos resultados sugieren que la incorporación de hidrocarburos y solventes no solo altera la composición granulométrica, sino que ocupa el espacio poroso y modifica la masa volumétrica de la matriz edáfica.

Tabla 1.
Resumen de parámetros químicos analizados para las muestras de suelo fértil y contaminado.

| Parámetro | Valor en suelo contaminado | Valor en suelo fértil |
|-----------------------------|----------------------------|-----------------------|
| pH en H ₂ O | 7,33 | 7,55 |
| Carbono Orgánico | 18,99% | 1,68% |
| Disponibilidad de Hierro | 45,96% | 12,82% |
| Disponibilidad de Manganeso | 4,75% | 2,73% |
| Disponibilidad de Zinc | 6,36% | 0,41% |
| Disponibilidad de Cobre | 0,20% | 1,37% |

Nota: elaboración propia.

Los análisis químicos (Tabla 1) evidenciaron alteraciones profundas en la composición del suelo tras la exposición a los contaminantes. Se observó una ligera acidificación del medio, con un descenso del pH de 7,55 a 7,33. El cambio más drástico se registró en el contenido de carbono orgánico, el cual aumentó de un 1,68 % en el suelo fértil a un 18,99 % en la muestra contaminada, incremento atribuible a la presencia de cadenas carbonadas provenientes de los hidrocarburos y solventes utilizados. En cuanto a la disponibilidad de metales, el suelo contaminado presentó elevaciones significativas en los niveles de hierro (45,96 %), zinc (6,36 %) y manganeso (4,75 %) en comparación con los valores de control (suelo fértil). Curiosamente, la disponibilidad de cobre fue el único parámetro que mostró una disminución, reduciéndose del 1,37 % al 0,20 %, lo que podría sugerir procesos de lixiviación o complejas interacciones de adsorción con los nuevos componentes de la matriz edáfica.

El análisis microbiológico reveló hallazgos de alta relevancia para la comprensión de la resiliencia edáfica ante el estrés químico. Inicialmente, se observó una mayor abundancia de Unidades Formadoras de

Colonias (UFC) en el suelo fértil, lo que confirma que la carga tóxica de los contaminantes actúa como un inhibidor del crecimiento bacteriano masivo. No obstante, esta reducción en la cantidad total de microorganismos no se tradujo en una pérdida de diversidad; por el contrario, el Índice de Shannon (H') evidenció diferencias notables a favor del suelo impactado. Mientras que el suelo fértil presentó niveles de diversidad menores (promedio de 1,49), el suelo contaminado registró valores superiores y consistentes en sus tres réplicas (2,10; 2,11 y 2,10), alcanzando un promedio de 2,10. Con un estadístico $p_{\text{valor}} = 0,0463$, se confirma que la perturbación derivada de la producción de clorhidrato de cocaína ejerce una presión de selección que incrementa la riqueza y equidad de morfotipos. Este fenómeno sugiere que la presencia de agentes xenobióticos alteró la dominancia de las especies originales, permitiendo el surgimiento de poblaciones oportunistas o especialistas capaces de adaptarse y proliferar en ambientes degradados, resultando en una comunidad microbiana más heterogénea y potencialmente apta para procesos de biorremediación.

Este hallazgo indica que la contaminación opera como un filtro ambiental severo: aunque elimina a las poblaciones más sensibles, favorece la proliferación de especies adaptadas a condiciones extremas y con capacidad para metabolizar sustratos xenobióticos. Bajo la premisa de que el incremento en la densidad y actividad microbiana acelera la degradación de compuestos orgánicos (Namkoong et al., 2002; Jia et al., 2023), este potencial biológico es clave para la restauración del sitio.

En total, se aislaron 22 morfotipos predominantes, de los cuales 13 fueron obtenidos del suelo contaminado. Las pruebas bioquímicas (Tabla 2) permitieron la identificación presuntiva de géneros con reconocido potencial degradador, tales como *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Klebsiella* y *Enterobacter*. Estos géneros han sido reportados ampliamente por su capacidad para degradar hidrocarburos y tolerar metales pesados (Jia et al., 2020). La presencia de estos consorcios nativos, ya adaptados a las condiciones fisicoquímicas del territorio, constituye un recurso biológico invaluable para el diseño de estrategias de bioaumentación local.

Tabla 2.
Estimación de géneros de morfotipos en suelo contaminados.

| Morfotipo (Suelo Contaminado) | Género | Morfotipo (Suelo Fértil) | Género |
|-------------------------------|--------------|--------------------------|------------------|
| SCM001 | Klebsiella | SFM001 | Paenibacillus |
| SCM002 | Bacillus | SFM002 | Alicyclobacillus |
| SCM003 | Bacillus | SFM003 | Bacillus |
| SCM004 | Bacillus | SFM004 | Bacillus |
| SCM006 | Clostridium | SFM006 | Bacillus |
| SCM007 | Clostridium | SFM007 | Bacillus |
| SCM008 | Pseudomonas | SFM008 | Bacillus |
| SCM009 | Klebsiella | SFM009 | Bacillus |
| SCM010 | Pseudomonas | | |
| SCM011 | Pseudomonas | | |
| SCM012 | Enterobacter | | |
| SCM013 | Klebsiella | | |

Nota: elaboración propia.

El análisis de las encuestas y entrevistas reveló una comunidad con un conocimiento profundo y empírico de su territorio. Respecto al impacto ambiental, el 83% de los participantes calificó la afectación del suelo como “Alta” o “Muy Alta”, describiendo fenómenos de erosión y “quemazón” de la tierra. Este deterioro está intrínsecamente ligado a la deforestación necesaria para el establecimiento de cultivos, proceso que no solo elimina la información genética actual, sino que anula la posibilidad de especiaciones futuras y altera los ciclos hidrológicos y biogeoquímicos, dejando el suelo vulnerable a la degradación (Dalling y Tanner, 1995).

Desde la perspectiva socioeconómica, existe una conciencia unánime (100%) entre los campesinos de que la falta de oportunidades y el desempleo estructural constituyen la base de la persistencia de los cultivos de uso ilícito. Si bien la transición hacia economías legales es reconocida como un motor para la paz y la estabilidad.

Propuesta de protocolo: integrando ciencia y saberes para la acción diagrama de flujo. Como producto de la integración de los hallazgos de laboratorio y el diálogo comunitario, se diseñó un Protocolo de Restauración Sostenible (Figura 4). Este protocolo está concebido como una guía práctica, paso a paso, para que una familia campesina pueda iniciar la recuperación de una pequeña parcela de 5 m² de suelo contaminado.

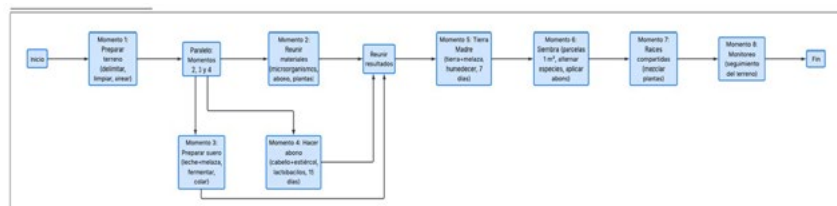


Figura 4. Protocolo de Restauración Sostenible.

Nota: elaboración propia.

El protocolo, lejos de ser un recetario rígido, se presenta como una herramienta flexible, que se nutre del intercambio de saberes. Se enfatiza la importancia del trabajo comunitario (mingas). La Minga, es una reunión de diversos actores, saberes y herramientas en busca de un objetivo común, es el encuentro donde circula la palabra, se piensa y se construye entorno al buen vivir.

Discusión y conclusiones

La presente investigación muestra la factibilidad técnica y social de diseñar estrategias de biorremediación adaptadas a las condiciones socioeconómicas y ambientales de la vereda que hizo parte del estudio. El análisis de la diversidad bacteriana, sustentado en el Índice de Shannon, confirma la existencia de un potencial metabólico intrínseco en los suelos perturbados, lo cual valida la implementación de técnicas de bioestimulación y el aprovechamiento de consorcios nativos para la bioaumentación. La identificación presuntiva de géneros con alta versatilidad metabólica, tales como *Pseudomonas* y *Bacillus*, refuerza esta premisa, coincidiendo con reportes previos que señalan cómo la

contaminación por hidrocarburos y xenobióticos actúa como un factor de selección que enriquece poblaciones microbianas capaces de utilizar estos compuestos como fuente de carbono y energía (Acuña et al., 2008; Rodríguez-González et al., 2022). En suma, el territorio no solo alberga la problemática, sino también los recursos biológicos necesarios para su propia restauración.

El componente social de este estudio resultó ser tan determinante como el rigor técnico de la fase experimental. La elevada percepción del daño ambiental y la disposición mayoritaria de la comunidad a participar en procesos de restauración revelan que los habitantes locales no son agentes pasivos, sino aliados estratégicos e indispensables para cualquier intervención biotecnológica. No obstante, la condición de no abandonar el cultivo de coca de manera inmediata, sumada al temor por la discontinuidad institucional y la persistencia de la violencia, evidencian las limitaciones de un enfoque puramente ambientalista.

En este contexto, la restauración del suelo no puede desligarse de la urgencia de generar alternativas económicas viables y sostenibles, ni del imperativo de garantizar condiciones de seguridad que permitan el trabajo de campo. Este hallazgo converge con la literatura sobre desarrollo alternativo, la cual subraya que cualquier transición duradera fuera de las economías ilícitas requiere abordar primero las causas estructurales de la pobreza y la exclusión (Bernex, 2009). Por lo tanto, el éxito de la biorremediación en estos escenarios depende de su integración en un modelo de desarrollo territorial que sea tanto técnica como socialmente pertinente.

La presente investigación sostiene que la restauración de suelos impactados por economías ilícitas en contextos rurales debe concebirse como un proceso sociotécnico. Bajo esta perspectiva, el territorio no es un escenario inerte, sino un “conjunto de lugares donde se despliega la historia” (Massey, 2008); por tanto, el protocolo de biorremediación artesanal desarrollado trasciende el manual de instrucciones técnicas para constituirse en una herramienta de empoderamiento comunitario.

Este enfoque busca integrar el conocimiento local en un camino pragmático que permita iniciar la sanación del entorno. Al apropiarse del territorio —donde se distribuyen los marcos que orientan las prácticas sociales—, cada grupo teje y fortalece sus lazos de identidad (Haesbaert, 2020). En consecuencia, estas territorialidades activas superan la lógica estatal moderna y sus escalas convencionales, expandiéndose a través de entramados vinculados a las luchas sociales y la defensa de los bienes comunes (Balmaceda y Deon, 2022). Así, la biorremediación se posiciona no solo como una técnica de descontaminación, sino como un acto de resistencia y cuidado del patrimonio colectivo.

Limitaciones y perspectivas futuras

Si bien el protocolo de biorremediación propuesto surge de una rigurosa fase de experimentación controlada y un diagnóstico social situado, las complejas condiciones de seguridad del territorio impidieron su validación técnica *in situ*. No obstante, esta limitación define la relevancia del presente estudio de caso como la base científica indispensable para una fase de implementación piloto. En este sentido, la ruta lógica de esta investigación requiere la puesta en marcha de proyectos en el territorio que cuenten con un sólido respaldo institucional y un plan de monitoreo participativo; esto permitiría no solo ajustar las variables operativas, sino validar la efectividad del protocolo en condiciones de campo reales bajo la supervisión de la propia comunidad.

Las líneas de investigación derivadas de este trabajo apuntan a dos horizontes complementarios: por un lado, la caracterización genética profunda de los microorganismos aislados para optimizar el diseño de consorcios bacterianos especializados; y por otro, la integración de estas biotecnologías con programas de sustitución de cultivos de uso ilícito. Solo mediante el acoplamiento de la recuperación edáfica con alternativas económicas sólidas, se podrá garantizar una transición sostenible y digna para las familias campesinas del suroeste colombiano.

Agradecimientos

El equipo de investigación agradece a la Universidad de Nariño los espacios para la investigación. El presente trabajo se enmarca en la línea de investigación que articula el estudio de las ciencias ambientales, la diversidad cultural y el territorio, con el propósito de abordar problemáticas socioambientales complejas desde un enfoque interdisciplinario y contextualizado en el grupo de investigación ciencias naturales, tecnología y su didáctica. En lo personal, el primer autor dedica este trabajo a Emilio: la esperanza. Asimismo, la segunda autora manifiesta que encontró su inspiración en el amor más bonito de su vida, su hijo Santiago.

Referencias

- Acuña, A. J., Pucci, O. H., & Pucci, G. N. (2008). Caracterización de un proceso de biorremediación de hidrocarburos en deficiencia de nitrógeno en un suelo de Patagonia Argentina. *Ecosistemas*, 17(2), 85–93.
- Balmaceda, A., & Deon, J. (2022). *Sanar con la tierra: Experiencias de salud comunitaria y educación ambiental*. Editorial de la Universidad Nacional de Córdoba.
- Bernex, N. (2009). El impacto del narcotráfico en el medio ambiente. Los cultivos ilícitos de coca: Un crimen contra los ecosistemas y la sociedad. En *El mapa del narcotráfico en el Perú* (pp. 83–98). Pontificia Universidad Católica del Perú; Congreso de la República del Perú.
- Chilón Camacho, E. (2019). Etnobiotecnología andina y la alimentación ancestral del “suelo vivo”. *Etnobiología*, 17(3), 32–48.
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches*. SAGE Publications.
- Dalling, J. W., & Tanner, E. V. J. (1995). An experimental study of regeneration on landslides in montane rain forest in Jamaica. *Journal of Ecology*, 83(1), 55–64. <https://doi.org/10.2307/2261150>
- Fu, R., Wen, D., Xia, X., Zhang, W., & Gu, Y. (2017). Electrokinetic remediation of chromium (Cr)-contaminated soil with citric acid (CA) and polyaspartic acid (PASP) as electrolytes. *Chemical Engineering Journal*, 316, 601–608. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.01.092>
- Garrity, G. M., Bell, J. A., & Lilburn, T. G. (2004). *Taxonomic outline of the prokaryotes: Bergey's manual of systematic bacteriology*. Springer-Verlag.
- Guevara, E. (2003). *El hombre y su ambiente*. Ediciones Universidad de Carabobo.

- Haesbaert, R. (2020). Del cuerpo-territorio al territorio-cuerpo (de la tierra): Contribuciones decoloniales. *Cultura y Representaciones Sociales*, 15(29), 267–301.
- International Crisis Group. (2021). *Raíces profundas: Coca, erradicación y violencia en Colombia* (Informe sobre América Latina N.º 87).
- Jia, W., Cheng, L., Tan, Q., Liu, Y., Dou, J., Yang, K., Yang, Q., Wang, S., Li, J., Niu, G., Zheng, L., & Ding, A. (2023). Response of the soil microbial community to petroleum hydrocarbon stress shows a threshold effect: Research on aged realistic contaminated fields. *Frontiers in Microbiology*, 14. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1188229>
- Lasa, B., Aparicio Tejo, P. M., Lamsfus Arrien, C., & Irigoyen Iriarte, I. (2003). Implicaciones ecofisiológicas y agronómicas de la nutrición nitrogenada. En A. M. Sánchez Moreiras, M. J. Reigosa Roger, & N. Pedrol Bonjoch, (coords.). *La ecofisiología vegetal: Una ciencia de síntesis* (pp. 361–386). Ediciones Paraninfo.
- Margesin, R., & Schinner, F. (2001). Bioremediation (natural attenuation and biostimulation) of diesel-oil-contaminated soil in an alpine glacier skiing area. *Applied and Environmental Microbiology*, 67(7), 3127–3133. <https://doi.org/10.1128/AEM.67.7.3127-3133.2001>
- Massey, D. (2008). Geometrías internacionales del poder y la política de una «ciudad global»: Pensamientos desde Londres. *Cuadernos del Cendes*, 25(68), 117–124.
- Namkoong, W., Hwang, E.-Y., Park, J.-S., & Choi, J.-Y. (2002). Bioremediation of diesel-contaminated soil with composting. *Environmental Pollution*, 119(1), 23–31. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(01\)00328-1](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(01)00328-1)
- Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito (UNODC) & Gobierno de Colombia. (2024). *Monitoreo de territorios con presencia de cultivos de coca 2023: Resumen ejecutivo*.

- Organización Nacional Indígena de Colombia. (2021, 17 de mayo). La Minga Indígena es un acto de vida y paz. *ONIC: Organización Nacional Indígena de Colombia*. <https://n9.cl/e2bkz>
- Policía Nacional de Colombia. (2014). *Coca: Deforestación, contaminación y pobreza: Acercamiento a la actividad agronómica y la problemática ambiental de los cultivos de coca en Colombia*. Dirección de Antinarcóticos.
- Rodríguez-Gonzales, A., Zárate-Villarroe, S. G., & Bastida-Codina, A. (2022). Biodiversidad bacteriana presente en suelos contaminados con hidrocarburos para realizar biorremediación. *Revista de Ciencias Ambientales*, 56(1), 178–208. <https://doi.org/10.15359/rca.56-1.9>
- Sharma, J., Kumar, N., Singh, N. P., & Santal, A. R. (2023). Phytoremediation technologies and their mechanism for removal of heavy metal from contaminated soil: An approach for a sustainable environment. *Frontiers in Plant Science*, 14. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1076876>
- Shintani, M., Leblanc, H. A., & Tabora, P. (2000). *Bokashi: Abono orgánico fermentado; Tecnología tradicional adaptada para una agricultura sostenible y un manejo de desechos modernos*. Escuela de Agricultura de la Región Tropical Húmeda.
- Vandera, E., & Koukkou, A.-I. (2017). Bacterial community response to hydrocarbon contamination in soils and marine sediments: A critical review of case studies. En C. Cravo-Laureau, C. Cagnon, B. Lauga, & R. Duran, (eds.). *Microbial ecotoxicology* (pp. 185–226). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-61795-4_9
- Vidali, M. (2001). Bioremediation: An overview. *Pure and Applied Chemistry*, 73(7), 1163–1172. <https://doi.org/10.1351/pac200173071163>

Luis Andrés Rodríguez Coral

Universidad de Nariño | San Juan de Pasto | Nariño | Colombia

<https://orcid.org/0009-0000-1794-5033>

larodriguez@udenar.edu.co

Licenciado en Educación Básica con énfasis en Ciencias Naturales y Educación Ambiental, Especialista en Gestión Ambiental, Magíster en Ingeniería Ambiental, Magíster en Educación con énfasis en Interculturalidad y Doctorando en Ciencias de la Educación Universidad Pedagógica Experimental el Libertador.

María Lorcy Rosero Mora

Universidad de Nariño | San Juan de Pasto | Nariño | Colombia

<https://orcid.org/0009-0002-8534-3557>

mlorcy@udenar.edu.co

lorcym@hotmail.com

Investigadora Junior en MinCiencias en la Facultad de Educación de la Universidad de Nariño. Doctoranda en Ciencias de la Educación Universidad Pedagógica Experimental el Libertador. Magíster en Educación, Especialista en Administración Educativa y Licenciada en Informática.

Oscar Jardey Suarez

Universidad de Nariño | San Juan de Pasto | Nariño | Colombia

<https://orcid.org/0000-0001-8780-595X>

osuardez@udenar.edu.co

oscar.jardey.suarez@gmail.com

Doctor en Educación y Doctor en Ciencias, Magíster en Teleinformática, Especialista en Ingeniería de Software, Licenciado en Física. Investigador Senior. Líneas de investigación física educativa, educación en ciencias, formación de maestros, enfoque STEM+, diversidad cultural y tópicos generales de la educación.

Artisanal Bioremediation in Soils Contaminated by Cocaine Production in a Rural Village of Nariño, Colombia

Abstract

This chapter describes the design of a small-scale bioremediation protocol for soils contaminated by cocaine hydrochloride production in a rural community in Nariño, Colombia. The text is situated within the context of the environmental crisis generated by illicit crops, which cause deforestation, biodiversity loss, soil acidification, and chemical contamination in regions of high socioeconomic vulnerability. The aim is to integrate scientific knowledge about bioremediation with the community's ancestral knowledge to develop a sustainable and low-cost solution. The research, employing a mixed-methods and experimental approach, presents a laboratory study in which samples of fertile soil were contaminated with chemical substances representative of the cocaine production process. Subsequently, the physicochemical characterization of the soils was performed, along with the isolation and identification of bacterial morphotypes in contaminated and uncontaminated samples. Simultaneously, surveys and interviews were conducted with farmers cultivating coca leaves and community leaders to gather information on

their environmental perceptions, traditional practices, and willingness to participate in restoration projects. The results form the basis for the participatory development of a restoration protocol that utilizes local resources such as native microorganisms, manure, human hair, and plants with phytoremediation capacity, with the aim of restoring soil fertility and promoting the transition to sustainable agricultural practices.

Keywords: Artisanal bioremediation; soil contamination; cocaine hydrochloride; alternative crops; sustainable rural development.

Biorremediação Artesanal em Solos Contaminados pela Produção de Cocaína em uma Comunidade Rural de Nariño, Colômbia

Resumo

Este capítulo descreve o desenho de um protocolo de biorremediação artesanal para solos contaminados pela produção de cloridrato de cocaína em uma comunidade rural de Nariño, Colômbia. O texto situa-se no marco da crise ambiental gerada pelos cultivos ilícitos, causando desmatamento, perda de biodiversidade, acidificação dos solos e contaminação química em regiões de alta vulnerabilidade socioeconômica. O propósito é integrar o conhecimento científico sobre biorremediação com os saberes ancestrais da comunidade para desenvolver uma solução sustentável e de baixo custo. A pesquisa, com abordagem metodológica mista e experimental, apresenta um estudo de laboratório no qual amostras de solo fértil foram contaminadas com substâncias químicas representativas do processo de produção de cocaína. Posteriormente, realizou-se a caracterização físico-química dos solos e o isolamento e identificação dos morfotipos bacterianos em amostras contaminadas e não contaminadas. Paralelamente, foram aplicados questionários e entrevistas a camponeses que se dedicavam ao cultivo de folha de coca e líderes comunitários para coletar informações sobre suas percepções ambientais, práticas tradicionais e disposição para participar de projetos de restauração. Os resultados constituem a base para a construção participativa de um protocolo de restauração que utiliza recursos locais como microrganismos nativos, esterco, cabelo humano e plantas com capacidade fitorremediadora, com o objetivo de devolver a fertilidade ao solo e promover a transição para práticas agrícolas sustentáveis.

Palavras-chave: Biorremediação artesanal; contaminação do solo; cloridrato de cocaína; cultivos alternativos; desenvolvimento rural sustentável.

Capítulo 7

Sistema de análisis de datos abiertos para evaluar la calidad del aire y el clima en Sectores rurales del Cesar

*Lizeth Badillo Duran, Luis Manuel Palmera Quintero,
Karen Cristina Coronel Robles, Didier Fernando Guerrero Sumalave*

Badillo Duran, L., Palmera Quintero, L. M., Coronel Robles, K. C., & Guerrero Sumalave, D. F. (2026). Sistema de análisis de datos abiertos para evaluar la calidad del aire y el clima en Sectores rurales del Cesar. En F. J. Manjarés Arias. (Coord). *El espectro de las ingenierías. Investigaciones situadas en contextos regionales (Volumen I)*. (pp. 137-150). Religación Press. <http://doi.org/10.46652/religacionpress.401.c866>



07

Sistema de análisis de datos abiertos para evaluar la calidad del aire y el clima en Sectores rurales del Cesar

Resumen

La contaminación atmosférica es un problema prioritario de salud pública en Colombia y se agrava en municipios que carecen de estaciones de monitoreo, como Aguachica, Cesar. Este estudio presenta el diseño e implementación de un sistema de análisis de datos abiertos para evaluar la calidad del aire y el clima en Aguachica. El sistema integra datos de contaminantes ($PM_{2.5}$, PM_{10} , O_3 , NO_2 , SO_2 , CO) y variables meteorológicas de fuentes oficiales y públicas, los procesa mediante métodos cuantitativos y los visualiza mediante mapas, tableros interactivos y reportes descargables. La metodología combina investigación aplicada con enfoque cuantitativo y una adaptación de Extreme Programming para estructurar las fases de planificación, diseño, desarrollo y pruebas. Los resultados del periodo analizado muestran predominio de categorías de calidad del aire “buena” y ausencia de anomalías recientes, evidenciando el potencial de la herramienta para generar indicadores locales en territorios sin monitoreo continuo. El sistema se perfila como insumo para estrategias de vigilancia ambiental, educación y formulación de políticas públicas con enfoque territorial en Aguachica.

Palabras claves: Aire; Calidad del aire; Contaminación atmosférica; Cambio climático; Salud pública

Introducción

La contaminación atmosférica se ha consolidado como uno de los principales desafíos ambientales y de salud pública en Colombia, con impactos directos en la calidad de vida, la productividad económica y la sostenibilidad de los ecosistemas urbanos. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2016), el 92 % de la población mundial reside en zonas donde los niveles de contaminantes superan los límites seguros, y anualmente se registran alrededor de 3 millones de muertes prematuras atribuibles a la exposición prolongada a aire contaminado, especialmente en países de ingresos bajos y medios. En este contexto, Colombia no es la excepción: el Departamento Nacional de Planeación (2018), estimó que en 2015 se registraron 8.052 muertes asociadas a la mala calidad del aire, con costos económicos cercanos a los 12,2 billones de pesos, equivalentes al 1,5 % del PIB nacional. Estas cifras subrayan la urgencia de fortalecer los sistemas de monitoreo ambiental y la toma de decisiones basadas en evidencia científica.

El principal contaminante atmosférico en el país es el material particulado fino ($PM_{2,5}$ y PM_{10}), cuyas concentraciones superan frecuentemente los umbrales establecidos por la OMS en ciudades como Bogotá, Medellín y Cali. El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2018), señala que aproximadamente el 80 % de las emisiones de $PM_{2,5}$ provienen de fuentes móviles, mientras que el 20 % restante se origina en actividades industriales y quema de biomasa. De acuerdo con el IDEAM, MinAmbiente y la Coalición Clima y Aire Limpio (CCAC, 2019), en 2014 Colombia emitió cerca de 242.000 toneladas de $PM_{2,5}$, de las cuales el 25 % corresponden a fuentes urbanas.

Sin embargo, en municipios como Aguachica, Cesar, la situación es crítica no solo por la posible exposición a contaminantes, sino por la falta de infraestructura de monitoreo ambiental. La ausencia de estaciones oficiales de medición de calidad del aire impide generar diagnósticos precisos, evaluar tendencias históricas o implementar políticas públicas efectivas adaptadas al contexto local. Esta brecha de información limita la capacidad de respuesta institucional frente

140
CAPÍTULO 7

a episodios de contaminación o fenómenos climáticos extremos, que se han intensificado en los últimos años debido al cambio climático (Vélez, 2019; Banco Mundial, 2023).

Ante este panorama, se hace indispensable el desarrollo de sistemas de análisis de datos abiertos que, mediante el uso de fuentes alternativas como sensores remotos, modelos satelitales, estaciones móviles y datos meteorológicos públicos, permiten reconstruir indicadores de calidad del aire y variables climáticas en tiempo real o retrospectivo. Estas herramientas no solo democratizan el acceso a la información ambiental, sino que también empoderan a la comunidad, a las autoridades locales y al sector académico para intervenir de manera proactiva en la protección de la salud pública y la gestión del territorio.

Por ello, este proyecto propone el diseño e implementación de un sistema de análisis de datos abiertos para evaluar la calidad del aire y el clima en Aguachica, Cesar, integrando técnicas de procesamiento de datos, visualización interactiva y, potencialmente, modelos predictivos basados en inteligencia artificial. La iniciativa busca no solo suplir la carencia de mediciones directas, sino también sentar las bases para un observatorio ambiental local que apoye la investigación, la educación y la formulación de políticas públicas con enfoque territorial.

Tipo de investigación

La investigación aplicada tiene como objetivo resolver problemas concretos mediante la utilización del conocimiento científico, orientándose a mejorar situaciones reales a través de soluciones prácticas. En este proyecto, ese propósito se materializa en un sistema de datos abiertos para evaluar la calidad del aire y el clima en Aguachica, generando líneas base, tableros y alertas que apoyen decisiones públicas. Para ello, se emplean métodos cuantitativos para la recopilación y análisis de datos ambientales procedentes de fuentes oficiales y abiertas (IDEAM, 2022; MinAmbiente, 2022). La investigación aplicada con enfoque cuantitativo es la adecuada, pues traduce series de contami-

nantes y variables meteorológicas en evidencia operativa alineada con guías y protocolos técnicos (OMS, 2006; MinAmbiente, 2021).

El enfoque de la investigación es cuantitativo, y se centra en la recolección y el análisis de información numérica (p. ej., $PM_{2.5}$, PM_{10} , O_3 , temperatura, precipitación, humedad, viento) para medir niveles, tendencias, estacionalidad y cumplimiento de referentes de salud. Este enfoque permite comparar resultados con valores guía, construir indicadores y modelar relaciones clima–contaminantes de forma objetiva y reproducible (OMS, 2006; EPA, s.f.). Se aplicarán procedimientos de control de calidad y análisis de series temporales, con apoyo en lineamientos MRV y guías técnicas sectoriales, incorporando cuando proceda analítica avanzada para clasificación o imputación (IDEAM, 2021; Rodríguez, 2020).

Metodología de desarrollo

La metodología Extreme Programming (XP) se adopta por su énfasis en calidad técnica y adaptación continua: TDD (desarrollo guiado por pruebas), programación en parejas, integración continua y retroalimentación frecuente con el “cliente” (autoridad ambiental/local y equipo académico). Esto es idóneo para una plataforma ambiental que ya opera (tableros en tiempo real por puntos de interés, interpretaciones, gráficos, tablas, exportación a Excel y mapa interactivo) y requiere iteraciones cortas para robustecer ingestión de datos, validaciones y reportes alineados con prácticas MRV y lineamientos de gestión de calidad del aire. El foco es transformar evidencia cuantitativa en decisiones operativas para prevención, mitigación y adaptación climática.

Planificar

En la fase de planificación se definió de manera individual el alcance del proyecto, el municipio a analizar y las variables de interés. Se revisó la documentación de una API de datos abiertos y se elaboró

una lista de funcionalidades: consultar datos históricos, organizarlos y mostrar tendencias generales.

Diseñar

En la fase de diseño se estableció la arquitectura por capas del sistema, se definieron los modelos de datos para contaminantes, variables climáticas y puntos de interés, y se diseñaron los prototipos de tableros, mapas interactivos y reportes orientados tanto a usuarios técnicos como al público general.

Desarrollar

Durante la fase de desarrollo se implementaron los módulos de ingestión, almacenamiento y procesamiento de datos, así como los tableros, mapas y reportes. Se trabajó en iteraciones cortas, aplicando principios de integración continua y refactorización para mejorar legibilidad, rendimiento y mantenibilidad del código.

Pruebas

En la fase de pruebas se aplicaron pruebas unitarias e integrales sobre los procesos de ingestión, validación y cálculo de indicadores. Posteriormente se ejecutaron pruebas funcionales y de aceptación con datos reales, ajustando la interfaz y los productos generados según su retroalimentación.

Población y muestra

La población objetivo de esta investigación está conformada por los habitantes de Aguachica (Cesar, Colombia), con énfasis en la ca-

becera urbana expuesta a variaciones de calidad del aire y condiciones climáticas. Se consideran como grupos sensibles a niñas y niños, personas mayores, gestantes y población con enfermedades respiratorias o cardiovasculares, así como trabajadores del transporte, comunidad educativa y usuarios de los servicios de salud del municipio.

La muestra está integrada por puntos de interés urbanos (corredores viales de alto flujo, terminal y patios, zonas comerciales/industriales, instituciones educativas y de salud y barrios de alta densidad) y sus series temporales de contaminantes ($PM_{2.5}$, PM_{10} , O_3 , NO_2 , SO_2 , CO) y variables meteorológicas. Se compondrá de datos abiertos (IDEAM/SISAIRE, reanálisis y sensores satelitales) y del sistema web local existente, seleccionados por representatividad espacial, disponibilidad/calidad y relevancia sanitaria. Los productos (tableros, mapas, reportes y alertas) se dirigen a la población urbana general y, prioritariamente, a los grupos sensibles e instituciones del municipio.

Resultados y discusión

En los resultados se observa que el sistema integra datos de múltiples puntos urbanos de Aguachica y genera mapas, gráficos y tablas donde, en el periodo analizado, predominan categorías de calidad del aire “buena” y niveles bajos de $PM_{2.5}$ y PM_{10} . Estos hallazgos se discuten frente a los informes nacionales de calidad del aire (IDEAM, 2022) y al reconocimiento de la contaminación atmosférica como problema de salud pública en Colombia por parte de la OPS/OMS, lo que resalta la importancia de contar con indicadores locales accesibles para la población y las autoridades.

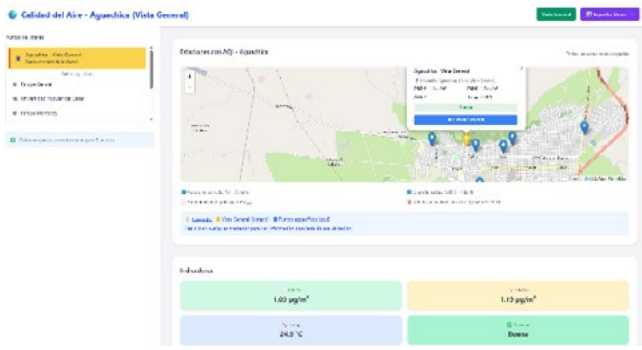


Figura 1. Vista general de Aguachica
Nota: elaboración propia.

En la Figura 1 se muestra la vista general para Aguachica, donde se cargan ocho puntos de interés urbanos y se observa una categoría global de calidad del aire “Buena”, con concentraciones bajas de $PM_{2.5}$ y PM_{10} . Este comportamiento contrasta con lo reportado para grandes ciudades colombianas, donde estos contaminantes superan con frecuencia los límites recomendados por la OMS (MinAmbiente, 2018; IDEAM, y CCAC, 2019).

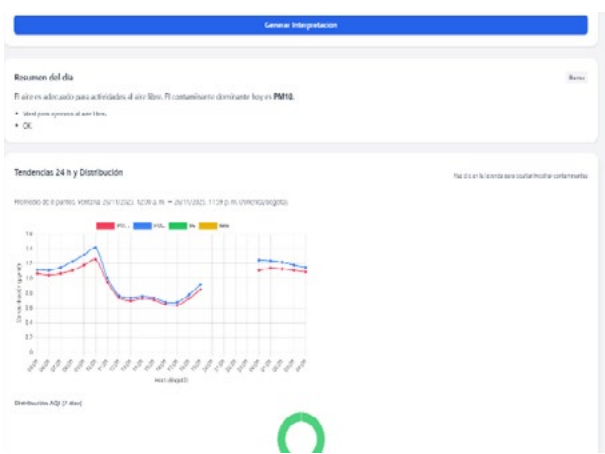


Figura 2. Tendencias en 24 horas
Nota: elaboración propia.

En la Figura 2 se presentan los indicadores diarios y las tendencias de 24 horas para los principales contaminantes, manteniéndose en rangos que el panel interpreta como adecuados para actividades al aire libre. Esta situación coincide con las guías de calidad del aire, que asocian los niveles bajos de material particulado con riesgos reducidos para la salud de poblaciones generales y sensibles.

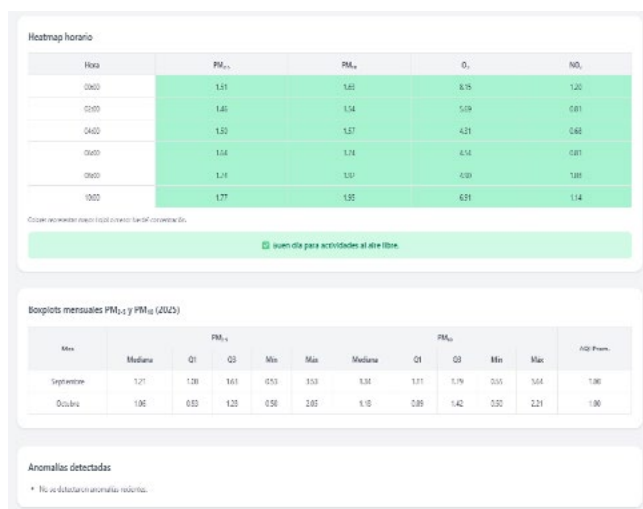


Figura 3. Patrones horarios y mensuales
Nota: elaboración propia.

La Figura 3 integra un heatmap horario y boxplots mensuales de PM_{2.5} y PM₁₀, donde predominan valores en intervalos reducidos y asociados a buena calidad del aire, sin anomalías recientes. Estos resultados muestran cómo el sistema de datos abiertos permite reconstruir indicadores locales en un municipio que carece de estaciones oficiales de monitoreo, contribuyendo a cerrar la brecha de información para la toma de decisiones ambientales en Aguachica (Vélez, 2019; Banco Mundial, 2023).

Conclusiones

El desarrollo del sistema de análisis de datos abiertos para Agua-chica evidencia el potencial de las herramientas tecnológicas para fortalecer la vigilancia ambiental y la toma de decisiones basadas en evidencia, especialmente en territorios sin estaciones oficiales de monitoreo.

La integración de módulos de ingestión, procesamiento y visualización interactiva permite reconstruir indicadores de calidad del aire y variables climáticas, democratizando el acceso a información local sobre contaminantes como $PM_{2.5}$ y PM_{10} .

El uso de una metodología de desarrollo iterativa alineada con guías y protocolos técnicos garantiza que los productos del sistema (mapas, tableros, reportes y alertas) respondan a los estándares recomendados para la evaluación de la calidad del aire y la protección de la salud.

Los resultados obtenidos muestran, para el periodo analizado, predominio de categorías de aire “bueno” y ausencia de anomalías recientes, lo que ofrece un insumo inicial para interpretar riesgos y planear intervenciones preventivas en grupos sensibles. Finalmente, el sistema sienta las bases para un futuro observatorio ambiental local en Agua-chica y sugiere una ruta replicable en otros municipios que enfrentan brechas de información sobre calidad del aire y clima.

Referencias

- Environmental Protection Agency. (s.f.). *Guía de calidad del aire para contaminación por partículas*. U.S. Environmental Protection Agency.
- Gobierno de México. (2020). *Comunicado índice calidad aire 05 2020 FINAL v3*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2020). *Informe del estado de la calidad del aire en Colombia 2020*. IDEAM.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2021). *Informe de calidad del aire año 2021*. IDEAM.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2022). *Informe del estado de la calidad del aire en Colombia 2022*. IDEAM; ANDI.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2024a). *Boletín de calidad del aire junio 2024* (BCA No. 09). IDEAM.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2024b). *Informe anual calidad del aire 2024*. Área Metropolitana del Valle de Aburrá.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (s.f.-a). *Calidad del aire y salud*. MinAmbiente; Ministerio de Salud y Protección Social.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (s.f.-b). *Estrategia nacional de calidad del aire*. MinAmbiente.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2021). *Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire: Manual de diseño*. MinAmbiente.
- Organización Mundial de la Salud. (s.f.). *El cambio climático y sus efectos en la salud*. OMS.

- Organización Mundial de la Salud. (2006). *Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre*. OMS.
- Organización Mundial de la Salud. (2018). *Contaminación atmosférica y salud infantil: Prescribir aire limpio*. OMS.
- Organización Panamericana de la Salud. (s.f.). *La calidad del aire en Colombia: Un problema de salud pública*. OPS/OMS.
- Rodríguez, A. (2020). *Guía de transporte, cambio climático y calidad del aire* (SET2020). GIZ.
- Serna M., M. A. (2024). Aplicación de la inteligencia artificial en la evaluación del impacto ambiental de proyectos de ingeniería. *Magazine de las Ciencias Revista de Investigación e Innovación* 9(3), 99-114.
- Toro, R. (s.f.). *Comprendiendo la calidad del aire*. Benton County Health Department.
- Uribe Botero, A. (2009). Ciudades y contaminación ambiental. *Revista de Ingeniería*, 30, 110-117. <https://doi.org/10.16924/revinge.30.14>
- Valencia, S. (s.f.). Contaminación atmosférica en centros urbanos. *Revista Luna Azul*, 72, 193-204.
- Vargas, J. (2019). Impacto de la contaminación auditiva sobre el ambiente y la salud. *Mundo Fesc*, 13(27), 7-20.
- Vélez, P. (2019). Efectos del cambio climático en la salud de la población colombiana. *Duazary*, 16(2), 319-333.
- World Bank. (2023). *Impacto del cambio climático en la salud en Colombia y recomendaciones para mitigación y adaptación*. Banco Mundial.
- World Health Organization. (s.f.). *Preguntas y respuestas sobre calidad del aire*. Health and Environment Alliance.
- Zuluaga, G. (2013). Niveles de contaminantes en el aire de Cartagena, Colombia. *Revista de Salud Pública*, 15(4), 612-624.

Lizeth Badillo Duran

Universidad Popular del Cesar Seccional Aguachica | Aguachica | Colombia

<https://orcid.org/0009-0004-2169-8556>

lizethbadillo@unicesar.edu.co

lizethbadillooduran@gmail.com

Ingeniera de Sistemas, Magister y docente de la Universidad Popular del Cesar – Seccional Aguachica

Luis Manuel Palmera Quintero

Universidad Popular del Cesar Seccional Aguachica | Aguachica | Colombia

<https://orcid.org/0000-0002-3242-2115>

Impalmera@unicesar.edu.co

Impalmera04@gmail.com

Doctor en Ciencias de la Educación, Magister en Gobierno Tecnologías de la Información, Investigador Junior, Docente categoría asociado de la Universidad Popular del Cesar Seccional Aguachica.

Karen Cristina Coronel Robles

Universidad Popular del Cesar Seccional Aguachica | Aguachica | Colombia

<https://orcid.org/0009-0002-7466-5702>

kcoronelrobles@gmail.com

Ingeniera Ambiental Docente del programa de Ingeniería Ambiental de la Universidad Popular del Cesar – Seccional Aguachica

Didier Fernando Guerrero Sumalave

Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña | Ocaña | Norte de Santander | Colombia

didierguerrero@unicesar.edu.co

Magister en Gobierno en Tecnologías de la Información, docente catedrático de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.

Open data analysis system to assess air quality and climate in rural areas of Cesar**Abstract**

Air pollution is a priority public health problem in Colombia and is exacerbated in municipalities lacking monitoring stations, such as Aguachica, Cesar. This study presents the design and implementation of an open data analysis system to assess air quality and climate in Aguachica. The system integrates pollutant data ($PM_{2.5}$, PM_{10} , O_3 , NO_2 , SO_2 , CO) and meteorological variables from official and public sources, processes them using quantitative methods, and visualizes them through maps, interactive dashboards, and downloadable reports. The methodology combines applied research with a quantitative approach and an adaptation of Extreme Programming to structure the planning, design, development, and testing phases. The results from the analyzed period show a predominance of "good" air quality categories and an absence of recent anomalies, demonstrating the tool's potential for generating local indicators in areas without continuous monitoring. The system is poised to serve as input for environmental

monitoring strategies, education, and the formulation of territorially focused public policies in Aguachica.

Keywords: Air; Air quality; Air pollution; Climate change; Public health

Sistema de Análise de Dados Abertos para Avaliar a Qualidade do Ar e o Clima em Áreas Rurais do Cesar, Colômbia

Resumo

A poluição atmosférica é um problema prioritário de saúde pública na Colômbia e se agrava em municípios que carecem de estações de monitoramento, como Aguachica, Cesar. Este estudo apresenta o desenho e a implementação de um sistema de análise de dados abertos para avaliar a qualidade do ar e o clima em Aguachica. O sistema integra dados de poluentes ($PM_{2.5}$, PM_{10} , O_3 , NO_2 , SO_2 , CO) e variáveis meteorológicas de fontes oficiais e públicas, processa-os por meio de métodos quantitativos e os visualiza por meio de mapas, painéis interativos e relatórios para download. A metodologia combina pesquisa aplicada com abordagem quantitativa e uma adaptação do Extreme Programming para estruturar as fases de planejamento, desenho, desenvolvimento e testes. Os resultados do período analisado mostram predominância de categorias de qualidade do ar "boa" e ausência de anomalias recentes, evidenciando o potencial da ferramenta para gerar indicadores locais em territórios sem monitoramento contínuo. O sistema se configura como insumo para estratégias de vigilância ambiental, educação e formulação de políticas públicas com abordagem territorial em Aguachica.

Palavras-chave: Ar; Qualidade do ar; Poluição atmosférica; Mudanças climáticas; Saúde pública

Capítulo 8

Nanotecnología sostenible mediante generación de energía, síntesis verde de nanopartículas y nanocaracterización de materiales

*Antia Ivett Álvarez Bernabé, Juan Vicente Méndez Méndez,
Agustín Leobardo Herrera May, Israel Arzate Vázquez,
Gregorio Guadalupe Carbajal Arizaga*

Álvarez Bernabé, A. I., Méndez Méndez, J. V., Herrera May, A. L., Arzate Vázquez, I., & Carbajal Arizaga, G. G. (2026). Nanotecnología sostenible mediante generación de energía, síntesis verde de nanopartículas y nanocaracterización de materiales. En F. J. Manjarrés Arias. (Coord). *El espectro de las ingenierías. Investigaciones situadas en contextos regionales (Volumen I)*. (pp. 152-166). Religación Press. <http://doi.org/10.46652/religacionpress.401.c867>



08

Nanotecnología sostenible mediante generación de energía, síntesis verde de nanopartículas y nanocaracterización de materiales

Resumen

La nanotecnología constituye un campo interdisciplinario con un creciente impacto en la búsqueda de soluciones tecnológicas orientadas al desarrollo sostenible. Este capítulo examina tres enfoques complementarios que contribuyen a acercar la nanotecnología a contextos académicos, productivos y sociales mediante estrategias accesibles y sostenibles. En primer lugar, se describe el desarrollo de nanogeneradores triboeléctricos como sistemas de cosecha de energía capaces de transformar energía mecánica ambiental en energía eléctrica utilizable. En segundo lugar, se presenta la síntesis verde de nanopartículas obtenidas a partir de biomasa de microalgas cultivadas en laboratorio. Finalmente, se aborda la caracterización de materiales mediante microscopía de fuerza atómica, técnica que permite analizar la topografía y rugosidad superficial de materiales a escala nanométrica. En conjunto, el capítulo ofrece una visión integradora que articula energía, biotecnología y nanocaracterización como estrategias para ampliar el acceso al conocimiento nanotecnológico.

Palabras clave: Nanotecnología; energía verde; nanogeneradores; nanopartículas; microscopía.

Introducción

La nanotecnología ha emergido como uno de los campos más dinámicos de la ciencia contemporánea debido a su capacidad para manipular materiales a escala nanométrica y generar propiedades físicas, químicas y biológicas únicas. En las últimas décadas, este campo ha impulsado avances significativos en energía, medicina, biotecnología y ciencia de materiales. Sin embargo, uno de los principales desafíos actuales consiste en traducir estos avances científicos en soluciones accesibles, sostenibles y aplicables a diversos contextos sociales y productivos.

En muchos países en desarrollo, el acceso a tecnologías avanzadas se encuentra limitado por factores económicos, infraestructura científica restringida y altos costos asociados a los procesos de fabricación de nanomateriales. En este escenario, surge la necesidad de promover enfoques de nanotecnología sostenible que integren materiales accesibles, metodologías verdes y técnicas de caracterización avanzadas que permitan comprender y optimizar el comportamiento de los materiales.

Este capítulo aborda tres líneas de investigación que contribuyen a este objetivo. En primer lugar, se analiza el desarrollo de nanogeneradores triboeléctricos como dispositivos capaces de transformar energía mecánica en energía eléctrica utilizable, constituyendo una alternativa prometedora para sistemas de energía autónoma (Shi et al., 2024). En segundo lugar, se examina la síntesis verde de nanopartículas obtenidas a partir de microalgas, destacando su potencial para aplicaciones ambientales y biotecnológicas sostenibles (Sutradhar et al., 2025). Finalmente, se presenta la microscopía de fuerza atómica como una herramienta fundamental para comprender la topografía y rugosidad superficial de los materiales, factores que influyen directamente en su desempeño funcional (Joo et al., 2025).

La integración de estos tres enfoques permite explorar nuevas formas de democratizar el acceso a la nanotecnología, promoviendo su

aplicación en ámbitos educativos, científicos y productivos, así como en estrategias de innovación orientadas al desarrollo sostenible.

Marco conceptual de la nanotecnología sostenible

La nanotecnología sostenible surge como una evolución del enfoque tradicional de la nanotecnología, integrando principios de sostenibilidad ambiental, eficiencia energética y responsabilidad social en el desarrollo de materiales y dispositivos a escala nanométrica. Este enfoque busca minimizar el impacto ambiental de los procesos de síntesis, reducir el uso de sustancias tóxicas y promover el empleo de recursos renovables o reciclados en la fabricación de nanomateriales (Du et al., 2024).

En este contexto, la investigación contemporánea en nanotecnología se orienta hacia el desarrollo de soluciones que respondan simultáneamente a desafíos energéticos, ambientales y tecnológicos. Entre estas estrategias destacan los sistemas de cosecha de energía, la síntesis verde de nanomateriales y la aplicación de técnicas avanzadas de caracterización que permitan comprender la relación entre la estructura y la funcionalidad de los materiales a escala nanométrica.

Los nanogeneradores triboeléctricos representan una de las tecnologías emergentes dentro del campo de la energía sostenible, ya que permiten transformar energía mecánica ambiental en energía eléctrica utilizable mediante mecanismos de electrificación por contacto y acoplamiento electrostático (Shi et al., 2024). Esta tecnología ha demostrado un gran potencial para alimentar dispositivos electrónicos de baja potencia, sensores autónomos y sistemas de internet de las cosas, especialmente en entornos donde el acceso a fuentes de energía convencionales es limitado.

Por otro lado, la síntesis verde de nanopartículas constituye una alternativa sostenible frente a los métodos químicos tradicionales. Este enfoque utiliza organismos biológicos o extractos naturales como agentes reductores y estabilizadores durante la formación de nanopartículas, reduciendo la generación de residuos tóxicos y el consumo

energético asociado a los procesos de síntesis. En este sentido, las microalgas han sido ampliamente estudiadas debido a su capacidad para producir compuestos bioactivos que facilitan la formación de nanopartículas con propiedades funcionales para aplicaciones ambientales y biotecnológicas (Sutradhar et al., 2025).

Asimismo, la caracterización de materiales a escala nanométrica desempeña un papel fundamental en el diseño de tecnologías nanotecnológicas eficientes. Técnicas como la microscopía de fuerza atómica permiten analizar la topografía y rugosidad superficial de los materiales, proporcionando información detallada sobre las interacciones físicas que ocurren a nivel nanométrico (Joo et al., 2025). Estas propiedades superficiales son particularmente relevantes en dispositivos triboeléctricos, donde la morfología del material influye directamente en la transferencia de carga eléctrica.

En conjunto, la nanotecnología sostenible se configura como un campo interdisciplinario que integra principios de ingeniería, biotecnología y ciencia de materiales. Este enfoque permite desarrollar soluciones tecnológicas más accesibles y responsables, contribuyendo a la transición hacia modelos de innovación científica orientados al desarrollo sostenible y a la democratización del conocimiento nanotecnológico.

Nanogeneradores triboeléctricos como sistemas de cosecha de energía

Los nanogeneradores triboeléctricos constituyen una tecnología emergente capaz de convertir energía mecánica ambiental en energía eléctrica mediante el efecto triboeléctrico y la inducción electrostática. Estos dispositivos han despertado gran interés en los últimos años debido a su capacidad para alimentar sensores autónomos, dispositivos portátiles y sistemas de internet de las cosas sin requerir fuentes de energía convencionales (Du et al., 2024).

En esta investigación se diseñaron nanogeneradores triboeléctricos utilizando materiales poliméricos de bajo costo y elementos reci-

clados. La fabricación de los dispositivos se realizó a escala de laboratorio, empleando configuraciones simples que permitieron demostrar el principio de generación eléctrica a partir de excitación mecánica controlada, mediante el procedimiento para la elaboración y estudio de un nanogenerador triboeléctrico como se muestra en la figura 1.

El desempeño eléctrico de los dispositivos fue evaluado mediante instrumentos de medición eléctrica, registrando el voltaje generado durante ciclos de contacto y separación entre los materiales triboeléctricos. Estos experimentos permitieron analizar cómo las propiedades superficiales de los materiales influyen en la transferencia de carga y en la eficiencia de generación energética.



Figura 1. Procedimiento para la elaboración y estudio de un nanogenerador triboeléctrico
Nota: elaboración propia.

Síntesis verde de nanopartículas a partir de microalgas

La síntesis verde de nanopartículas representa una alternativa sostenible frente a los métodos químicos convencionales utilizados en la producción de nanomateriales. Este enfoque utiliza organismos biológicos, extractos vegetales o biomasa microbiana como agentes reductores y estabilizadores durante la formación de nanopartículas.

En el presente estudio se empleó biomasa de microalgas cultivadas en laboratorio para la obtención de nanopartículas mediante un proceso de síntesis biológica. Este proceso se basa en la capacidad de los metabolitos presentes en las microalgas para reducir iones metálicos y estabilizar las nanopartículas formadas.

Las nanopartículas obtenidas fueron caracterizadas mediante densidad óptica (OD) por espectroscopía visible, microscopía electrónica de barrido (SEM) y espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), con el propósito de analizar su morfología y propiedades estructurales, siguiendo los procedimientos reportados para nanopartículas sintetizadas por rutas verdes a partir de microalgas (Michalec et al., 2025). Finalmente, se evaluó su aplicación en el tratamiento de aguas residuales mediante pruebas químicas y microbiológicas, considerando parámetros como OD, NO_3^- , NO_2^- , $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ y porcentaje de floculación (Figura 2) en concordancia con la evidencia reciente sobre la eficiencia de microalgas en la remoción de nutrientes y su implementación en procesos de tratamiento y con estudios actuales que documentan el uso de estrategias de coagulación/floculación asociadas a sistemas con microalgas en matrices de aguas residuales (Liberti et al., 2024). Asimismo, revisiones recientes destacan la convergencia entre microalgas y nanopartículas como una vía sostenible para aplicaciones ambientales y de remediación (Sutradhar et al.,

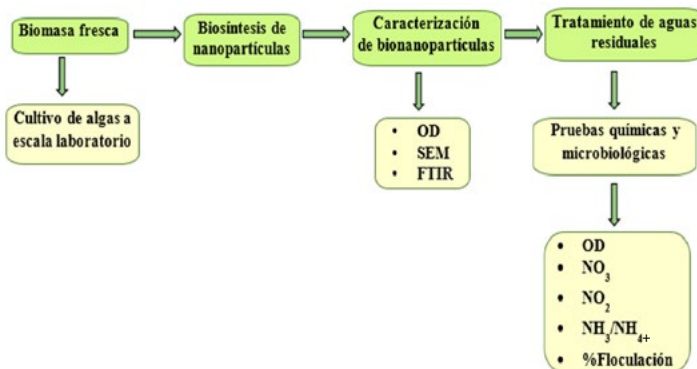


Figura 2. Metodología para la obtención de nanopartículas. Nota: elaboración propia.

Integración de resultados de los enfoques nanotecnológicos sostenibles

La convergencia entre generación de energía, biotecnología y nanocaracterización permite desarrollar estrategias nanotecnológicas orientadas al desarrollo sostenible. La integración de estos enfoques facilita la creación de tecnologías accesibles que combinan el aprovechamiento de recursos biológicos, el uso de materiales de bajo costo y el análisis avanzado de propiedades superficiales.

Este enfoque interdisciplinario abre nuevas oportunidades para el desarrollo de soluciones tecnológicas aplicables en sectores como la agricultura inteligente, la gestión ambiental, la educación científica y el desarrollo de dispositivos autónomos.

Los resultados obtenidos evidencian que la nanotecnología puede desarrollarse mediante enfoques accesibles y sostenibles sin comprometer su funcionalidad. En el caso de los nanogeneradores triboeléctricos, los nanogeneradores fabricados con materiales poliméricos de bajo costo mostraron una respuesta eléctrica estable bajo excitación mecánica controlada (Figura 4). Se observó que el desempeño del dispositivo está directamente influenciado por las características superficiales de los materiales en contacto, lo que favorece la transferencia de carga triboeléctrica.

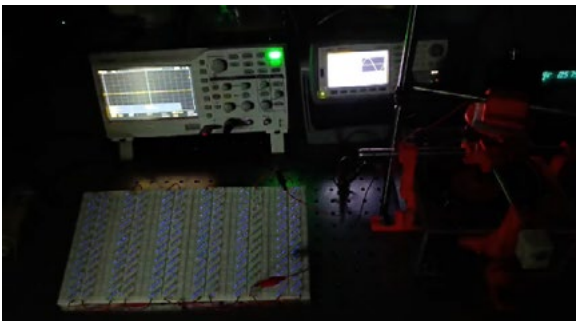


Figura 4. Sistema experimental para la evaluación de un TENG, mostrando el dispositivo en operación, el sistema de excitación mecánica y los equipos de medición eléctrica utilizados para el registro de la señal generada.

Nota: elaboración propia.

Respecto a las nanopartículas derivadas de microalgas, los procesos de síntesis verde permitieron obtener estructuras con una distribución homogénea y propiedades funcionales adecuadas para aplicaciones biotecnológicas. Estos resultados confirman que las microalgas representan una fuente viable y ambientalmente responsable para la obtención de nanopartículas con potencial uso en agricultura sostenible, protección ambiental y sistemas biofuncionales (Figura 5).

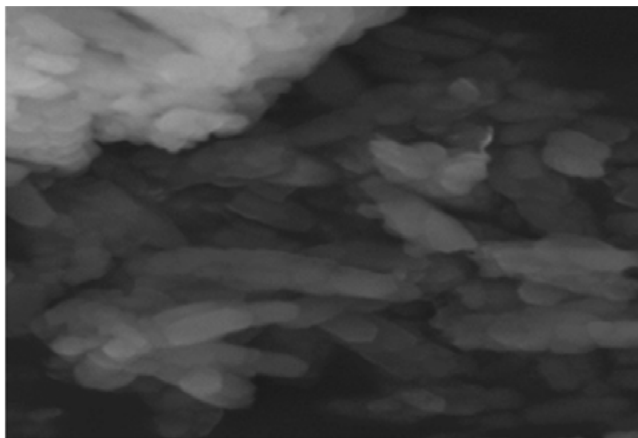


Figura 5. Nanopartículas de ZnO por síntesis verde de microalgas, presentan una superficie lisa y forma de bastones. Nota: elaboración propia.

La caracterización mediante Microscopía de Fuerza Atómica (AFM) proporcionó información detallada sobre la topografía y morfología superficial de los materiales analizados (Figura 6). Las imágenes obtenidas permitieron identificar patrones estructurales a escala nanométrica que explican las diferencias observadas en el desempeño de los nanogeneradores. En conjunto, los resultados demuestran una relación clara entre estructura, funcionalidad y aplicación, validando la integración de técnicas de nanocaracterización como herramienta clave para el diseño y optimización de tecnologías nanotecnológicas accesibles.

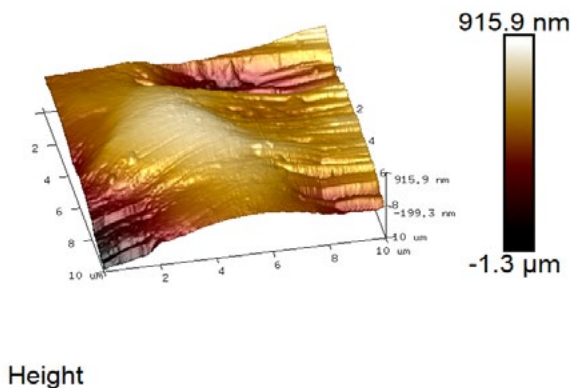


Figura 6. Material de teflón (PTFE), presenta una topografía con picos alineados y mesetas en un solo sentido favoreciendo la generación de carga.

Nota: elaboración propia.

Conclusiones

La presente investigación demuestra que la nanotecnología puede desarrollarse y aplicarse de manera accesible, sostenible y con impacto social, cumpliendo los objetivos planteados. Los resultados obtenidos confirman que los nanogeneradores triboeléctricos constituyen una alternativa viable para la generación autónoma de energía verde, especialmente cuando se emplean materiales de bajo costo y se optimizan sus superficies a escala nanométrica.

Asimismo, se evidenció que las nanopartículas derivadas de microalgas, obtenidas mediante síntesis verdes, representan una opción biotecnológica prometedora, alineada con principios de sostenibilidad ambiental. Su potencial aplicación en agricultura, salud y remediación ambiental refuerza la importancia de integrar biomateriales en el desarrollo de soluciones nanotecnológicas responsables.

Por otro lado, la microscopía de fuerza atómica (AFM) se consolidó como una herramienta clave para comprender la relación entre la topografía superficial y el desempeño funcional de materiales y dispositivos. El análisis de rugosidad y morfología permitió explicar de manera directa los comportamientos observados en los nanogeneradores, aportando conocimiento fundamental para el diseño y optimización de tecnologías futuras.

En conjunto, los aportes de este trabajo fortalecen una visión de nanotecnología al alcance de todos, donde la integración de energía, biotecnología y nanocaracterización impulsa una ciencia con propósito, orientada al desarrollo sostenible, la divulgación científica y la transferencia de conocimiento hacia contextos educativos y productivos.

Referencias

- Bakhtiyari, S., Bagherzadeh, R., Ezazshahabi, N., Jahanshahi, A., Van Langenhove, L., & Malengier, B. (2025). Yarn-to-yarn surface area and roughness as structural engineering tools for optimizing the electrical output of triboelectric nanogenerators: Geometrical and experimental verification. *Advanced Materials Technologies*, 10(7). <https://doi.org/10.1002/admt.202401346>
- Du, T., Chen, Z., Dong, F., Cai, H., Zou, Y., Zhang, Y., Sun, P., & Xu, M. (2024). Advances in green triboelectric nanogenerators. *Advanced Functional Materials*, 34(24). <https://doi.org/10.1002/adfm.202313794>
- Joo, S., Eom, S., Choi, Y., Jeong, U., Cho, Y., Yu, W., Park, K., & Hong, S. (2025). Atomic force microscopy for cross-disciplinary materials research. *Small Methods*, 9(11). <https://doi.org/10.1002/smt.202500514>
- Liberti, D., Pinheiro, F., Simões, B., Varela, J., & Barreira, L. (2024). Beyond bioremediation: The untapped potential of microalgae in wastewater treatment. *Water*, 16(19). <https://doi.org/10.3390/w16192710>
- Michalec, S., Nieckarz, W., Klimek, W., Lange, A., Matuszewski, A., Piotrowska, K., Hotowy, A., Kunowska-Słórsarz, M., & Sosnowska, M. (2025). Green synthesis of silver nanoparticles from *Chlorella vulgaris* aqueous extract and their effect on *Salmonella enterica* and chicken embryo growth. *Molecules*, 30(7). <https://doi.org/10.3390/molecules30071521>
- Shi, Z., Zhang, Y., Gu, J., Liu, B., Fu, H., Liang, H., & Ji, J. (2024). Triboelectric nanogenerators: State of the art. *Sensors*, 24(13). <https://doi.org/10.3390/s24134298>
- Sutradhar, M., Sharma, R. K., Dey, G., Sukul, U., Das, K., Taharia, M., Lin, P.-Y., Ali, S., Wang, C.-W., & Chen, C.-Y. (2025). Freshwater microalgae-mediated engineered nanoparticles: Sustainable approach for heavy metals remediation. *Bioresource Technology*, 434. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2025.132761>

Antia Ivett Álvarez Bernabé

Instituto Tecnológico Superior de Misantla | Veracruz | México

<https://orcid.org/0009-0007-5433-9092>

232t0519@itsm.edu.mx

ivettalvarez83@gmail.com

Ingeniera Bioquímica por el Tecnológico Nacional de México, Maestra en Ingeniería Industrial por el Tecnológico Nacional de México. Actualmente alumna de posgrado candidata a Doctor en Ciencias de la Ingeniería

Juan Vicente Méndez Méndez

Instituto Politécnico Nacional | Ciudad de México | México

Centro de Nanociencias y Micro y Nanotecnologías | Ciudad de México | México

<https://orcid.org/0000-0002-1227-8072>

jmendezm@ipn.mx

najuvi@hotmail.com

Ingeniero mecánico por el Instituto Politécnico Nacional y Doctorado Ingeniería Mecánica por la universidad de Manchester Reino Unido. Actualmente docente e investigador del Centro de Nanociencias y Micro y Nanotecnología del Instituto Politécnico Nacional.

Agustín Leobardo Herrera May

Centro de Nanociencias y Micro y Nanotecnologías | Ciudad de México | México

<https://orcid.org/0000-0002-7373-9258>

leherrera@uv.mx

Es investigador del Centro de Investigación en Micro y Nanotecnología (MICRONA) de la Universidad Veracruzana (UV). Dirige el grupo de investigación en Micro y Nanodispositivos.

Israel Arzate Vázquez

Instituto Politécnico Nacional | Ciudad de México | México

<https://orcid.org/0000-0002-9220-2405>

iarzate@ipn.mx

alexfe26@yahoo.com.mx

Doctor en Ciencias de los Alimentos egresado de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas-IPN. Actualmente es especialista del Laboratorio de AFM y Nanoindentación del CNMN-IPN. Perteneció al SNII Nivel I.

Gregorio Guadalupe Carbajal Arizaga

Universidad de Guadalajara | Guadalajara | Jalisco

<https://orcid.org/0000-0003-3120-0243>

gregorio.carbajal@academicos.udg.mx

gregoriocarbajal@yahoo.com.mx

Doctor en Química. Profesor docente en la Universidad de Guadalajara. Dedicado a la investigación en química de materiales laminares y materiales multifuncionales.

Sustainable Nanotechnology through Energy Generation, Green Synthesis of Nanoparticles, and Nanoscale Material Characterization

Abstract

Nanotechnology constitutes an interdisciplinary field with a growing impact on the search for technological solutions aimed at sustainable development. This chapter examines three complementary approaches that contribute to bringing nanotechnology closer to academic, productive, and social contexts through accessible and sustainable strategies. First, the development of triboelectric nanogenerators as energy harvesting systems capable of converting ambient mechanical energy into usable electrical energy is described. Second, the green synthesis of nanoparticles obtained from microalgae biomass cultivated in the laboratory is presented. Finally, the characterization of materials using atomic force microscopy is addressed, a technique that allows the analysis of the topography and surface roughness of materials at the nanoscale. Together, the chapter offers an integrative vision that articulates energy, biotechnology, and nanoscale characterization as strategies to broaden access to nanotechnological knowledge.

Keywords: Nanotechnology; green energy; nanogenerators; nanoparticles; microscopy.

Nanotecnologia Sustentável por meio da Geração de Energia, Síntese Verde de Nanopartículas e Nanocaracterização de Materiais

Resumo

A nanotecnologia constitui um campo interdisciplinar com crescente impacto na busca por soluções tecnológicas voltadas ao desenvolvimento sustentável. Este capítulo examina três abordagens complementares que contribuem para aproximar a nanotecnologia de contextos acadêmicos, produtivos e sociais por meio de estratégias acessíveis e sustentáveis. Em primeiro lugar, descreve-se o desenvolvimento de nanogeradores triboelétricos como sistemas de coleta de energia capazes de transformar energia mecânica ambiental em energia elétrica utilizável. Em segundo lugar, apresenta-se a síntese verde de nanopartículas obtidas a partir de biomassa de microalgas cultivadas em laboratório. Finalmente, aborda-se a caracterização de materiais por meio da microscopia de força atômica, técnica que permite analisar a topografia e a rugosidade superficial de materiais em escala nanométrica. Em conjunto, o capítulo oferece uma visão integradora que articula energia, biotecnologia e nanocaracterização como estratégias para ampliar o acesso ao conhecimento nanotecnológico.

Palavras-chave: Nanotecnologia; energia verde; nanogeradores; nanopartículas; microscopia.

Capítulo 9

Ingeniería, territorio y bien común: Lecciones del Antiguo Egipto para América Latina

*Humberto Andrés Álvarez Sepúlveda, Claudine Glenda
Benoit Ríos*

Álvarez Sepúlveda, H. A., & Benoit Ríos, C. G. (2026). Ingeniería, territorio y bien común: Lecciones del Antiguo Egipto para América Latina. En F. J. Manjarrés Arias. (Coord). *El espectro de las ingenierías. Investigaciones situadas en contextos regionales (Volumen I)*, (pp. 168-182). Religación Press. <http://doi.org/10.46652/religacionpress.401.c869>



09

Ingeniería, territorio y bien común: Lecciones del Antiguo Egipto para América Latina

Resumen

Este capítulo analiza las principales lecciones que ofrece la ingeniería del Antiguo Egipto para los desafíos contemporáneos de América Latina. El estudio se sustenta en una revisión de alcance de literatura especializada, desarrollada desde un enfoque cualitativo e interpretativo, inscrito en un paradigma humanista-crítico y un diseño narrativo de tópico. El análisis sostiene que la ingeniería egipcia no puede entenderse solo como un conjunto de logros técnicos, sino como un sistema sociotécnico orientado a la sostenibilidad, la previsión y la cohesión social. En diálogo con problemáticas actuales de la región, como la crisis hídrica, la planificación urbana y la desigualdad estructural, se propone que la recuperación crítica de saberes históricos permite repensar modelos de desarrollo menos extractivistas y más integrados al entorno. Se concluye que estas lecciones históricas constituyen un insumo valioso para debates sobre ingeniería, políticas públicas y justicia social en América Latina.

Palabras clave: Ingeniería antigua; Egipto; Sostenibilidad; América Latina; Saberes históricos.

Introducción

La ingeniería del Antiguo Egipto ha ocupado un lugar central en la historia de la técnica debido a la magnitud y durabilidad de sus obras monumentales, entre las que destacan las pirámides, los complejos templarios y los sofisticados sistemas hidráulicos asociados al río Nilo. No obstante, reducir estos logros a simples proezas constructivas implica desconocer su profunda inserción en un entramado social, político, económico y ambiental altamente organizado. Como sostiene Kemp (1989), la ingeniería egipcia debe entenderse como parte constitutiva de una civilización que articuló conocimiento técnico, administración estatal y cosmovisión religiosa en función de la estabilidad territorial y la reproducción social a largo plazo.

Desde esta perspectiva, la ingeniería egipcia no operó de manera aislada ni respondió exclusivamente a fines utilitarios, sino que se integró a una concepción holística del territorio, en la cual el entorno natural —particularmente el Nilo— era comprendido como un sistema dinámico que debía ser observado, regulado y respetado (Lorena y Celeste, 2022; Romero, 2023). Esta relación entre técnica y naturaleza contrasta con los modelos de desarrollo dominantes de la actualidad, caracterizados por una lógica extractivista y de corto plazo, ampliamente cuestionada en América Latina por sus efectos socioambientales y su contribución al aumento de la desigualdad estructural (Svampa, 2019).

En el contexto latinoamericano actual, marcado por crisis ecológicas recurrentes, procesos acelerados de urbanización, precarización de infraestructuras y conflictos socioambientales, resulta particularmente pertinente recuperar enfoques históricos que permitan repensar la ingeniería como práctica social y política, y no solo como aplicación instrumental del conocimiento científico. Tal como advierte Escobar (2016), los desafíos del desarrollo en la región requieren cuestionar las epistemologías técnicas hegemónicas e incorporar miradas relacionales que integren territorio, cultura y comunidad. En este sentido, el estudio de la ingeniería del Antiguo Egipto ofrece un campo fértil para

reflexionar sobre formas históricas de articulación entre saber técnico, organización colectiva y sostenibilidad ambiental.

Este ensayo busca argumentar que las lecciones de la ingeniería egipcia para América Latina no radican en la transferencia directa de soluciones técnicas, sino en la recuperación crítica de principios estructurantes que orientaron dichas prácticas, como la planificación de largo plazo, la centralidad del bien común y la integración entre conocimiento especializado y organización social. A partir de un enfoque interpretativo y comparativo, se analizan tres dimensiones fundamentales: la gestión hídrica y la adaptación al entorno natural, la arquitectura y la planificación territorial como expresiones de cohesión social, y la organización del trabajo y del conocimiento ingenieril en el marco del Estado egipcio. Estas dimensiones permiten establecer puentes analíticos con problemáticas actuales de América Latina, aportando elementos para repensar el rol de la ingeniería en la construcción de modelos de desarrollo más justos, sostenibles y socialmente integrados.

Metodológicamente, este capítulo se construye a partir de una revisión de alcance de literatura historiográfica, arqueológica, antropológica y de estudios críticos sobre desarrollo, centrada en la ingeniería del Antiguo Egipto y en debates contemporáneos sobre sostenibilidad, territorio e infraestructura en América Latina. Se analizaron fuentes obtenidas desde bases de datos académicas como Scopus, Scielo y Google Académico, junto con obras clásicas y estudios especializados en historia de la ingeniería, arqueología egipcia, ecología histórica y pensamiento crítico latinoamericano sobre bienes comunes y modelos de desarrollo.

El estudio se inscribe en un enfoque cualitativo-interpretativo y adopta un diseño narrativo de tópicos, sustentado en un paradigma humanista y crítico que privilegia la comprensión histórica y contextualizada de los saberes técnicos, antes que su evaluación desde parámetros ingenieriles contemporáneos o lecturas evolucionistas del progreso tecnológico. Desde esta perspectiva, la ingeniería es comprendida como una práctica social y política situada, inseparable de las formas

de organización del trabajo, la gestión del territorio y las concepciones éticas que estructuran una civilización.

Esta estrategia metodológica permitió examinar los principios que organizaron la ingeniería egipcia —gestión hídrica adaptativa, planificación arquitectónica de largo plazo y articulación colectiva del conocimiento técnico— y ponerlos en diálogo con los desafíos actuales que enfrenta América Latina en materia de crisis ecológica, urbanización desigual y mercantilización de la infraestructura. Al mismo tiempo, el enfoque adoptado posibilita proyectar reflexiones orientadas a repensar el rol de la ingeniería en la región, no solo como respuesta técnica a problemas inmediatos, sino como un campo estratégico para la construcción de modelos de desarrollo más sostenibles, equitativos y socialmente comprometidos, reconociendo el valor histórico y epistemológico de los saberes técnicos del pasado.

Gestión hídrica y adaptación al entorno natural

Uno de los aportes más significativos de la ingeniería del Antiguo Egipto fue su capacidad para articular el conocimiento técnico con una comprensión sistemática de los ciclos naturales del río Nilo, cuya dinámica anual de crecidas y estiajes condicionaba la supervivencia de la civilización. A diferencia de modelos hidráulicos basados en el control absoluto del entorno, los egipcios desarrollaron una ingeniería de adaptación, sustentada en la observación empírica prolongada, la acumulación intergeneracional de saberes y la planificación estatal de largo plazo (Butzer, 1976; Kemp, 1989). Sistemas como los canales de riego, los diques de contención y el nilómetro no solo permitieron regular el flujo del agua, sino también anticipar riesgos, organizar el calendario agrícola y distribuir los recursos de manera relativamente equitativa.

El nilómetro, en particular, cumplió una función técnica y política central, ya que la medición de las crecidas permitía prever la productividad agrícola, ajustar la recaudación fiscal y planificar la redis-

tribución de alimentos en períodos de escasez. Este dispositivo, como plantea Gómez (2025), evidencia que la ingeniería hídrica egipcia no se limitaba a una dimensión instrumental, sino que estaba estrechamente vinculada a mecanismos de gobernanza, justicia distributiva y legitimación del poder estatal. En este sentido, el manejo del agua se constituía como un bien común estratégico, cuya administración requería coordinación colectiva y responsabilidad pública.

Desde una perspectiva comparativa, esta lógica resulta especialmente pertinente para América Latina, región que enfrenta crecientes conflictos socioambientales vinculados al acceso, uso y privatización del agua. Sequías prolongadas, inundaciones recurrentes y megainfraestructuras extractivas han puesto en evidencia las limitaciones de modelos hidráulicos centrados en la mercantilización del recurso y en la intervención tecnocrática descontextualizada (Budds, 2013; Swynedouw, 2015). Frente a ello, la experiencia egipcia invita a repensar la gestión hídrica desde una lógica preventiva, territorializada y orientada al bienestar colectivo, en lugar de respuestas fragmentarias y reactivas ante la crisis.

Asimismo, la ingeniería egipcia pone de relieve la importancia de concebir el agua como un elemento articulador entre naturaleza, sociedad y política. En América Latina, siguiendo a Boelens (2014), diversos enfoques críticos y saberes indígenas han insistido en esta misma dirección, subrayando la necesidad de modelos de gestión que reconozcan la interdependencia entre sistemas ecológicos y comunidades humanas. En este marco, el caso egipcio no opera como un modelo a imitar, sino como un antecedente histórico que permite cuestionar la racionalidad hídrica dominante y abrir el debate hacia formas más integrales, democráticas y sostenibles de relación con el entorno natural.

Arquitectura, infraestructura y sentido colectivo

La arquitectura del Antiguo Egipto ha sido frecuentemente interpretada como una manifestación del poder faraónico y de la cen-

tralización política del Estado. Sin embargo, una lectura más amplia permite comprender estas obras como expresiones materiales de una concepción territorial y social profundamente integrada. Los templos, complejos funerarios y obras de infraestructura no solo respondían a fines religiosos o administrativos, sino que se inscribían en un proyecto colectivo orientado a garantizar estabilidad, continuidad y cohesión social (Kemp, 1989; Lehner, 1997). La planificación arquitectónica egipcia articulaba criterios técnicos, simbólicos y ambientales, integrando las construcciones al paisaje natural y a los ciclos cósmicos mediante alineaciones astronómicas y orientaciones rituales.

Esta integración entre arquitectura, territorio y cosmovisión revela una concepción del espacio público como ámbito compartido y socialmente significativo. La monumentalidad egipcia, lejos de ser un simple despliegue estético, operaba como dispositivo pedagógico y político, reforzando narrativas de orden, permanencia y pertenencia colectiva (Assmann, 2011). La durabilidad de estas construcciones — muchas de las cuales han perdurado por milenios— refleja una concepción del tiempo orientada al largo plazo, en contraste con las lógicas actuales de obsolescencia programada y rápida degradación de la infraestructura urbana.

Desde una mirada comparativa, esta lógica resulta especialmente iluminadora para el análisis de las ciudades latinoamericanas, caracterizadas en muchos casos por procesos de urbanización acelerada, segregación socioespacial y planificación fragmentada. La precariedad de la vivienda, la insuficiencia del transporte público y la débil articulación entre infraestructura y entorno natural evidencian modelos de desarrollo urbano centrados en la rentabilidad inmediata y no en el bienestar colectivo (Harvey, 2012; Rolnik, 2019). En este contexto, la experiencia egipcia permite revalorizar la obra pública como un bien común, concebido para sostener la vida social a lo largo del tiempo y no únicamente como respuesta coyuntural a demandas urgentes.

Del mismo modo, la arquitectura egipcia invita a repensar la dimensión ética y política de la planificación territorial. Concebir la in-

fraestructura como parte de un proyecto colectivo implica reconocer su impacto en la construcción de ciudadanía, memoria e identidad. En América Latina, donde las desigualdades urbanas reproducen exclusiones históricas, recuperar esta perspectiva resulta clave para avanzar hacia modelos de urbanismo sostenible que integren justicia social, cuidado ambiental y participación comunitaria (Borja, 2013; Svampa, 2019). En esta línea, la lección egipcia no se limita a la técnica constructiva, sino que interpela directamente a las formas contemporáneas de imaginar y habitar el espacio público.

Organización del trabajo y conocimiento técnico

Contrario a ciertos mitos persistentes que han reducido la ingeniería del Antiguo Egipto a un sistema basado exclusivamente en el trabajo esclavo, la evidencia historiográfica y arqueológica demuestra la existencia de una compleja organización laboral sustentada en la especialización técnica, la cooperación comunitaria y la movilización estacional de trabajadores por parte del Estado (Lehner, 1997; Shaw, 2000). Ingenieros, escribas, arquitectos, artesanos y obreros agrícolas participaban de manera articulada en los grandes proyectos constructivos, especialmente durante los períodos de inundación del Nilo, cuando la actividad agrícola se veía temporalmente interrumpida.

Este modelo de organización del trabajo permitía integrar el conocimiento técnico especializado con mecanismos de redistribución de recursos, tales como el acceso a alimentos, vivienda y protección estatal, reforzando la legitimidad política del poder faraónico (Kemp, 1989). En este sentido, la ingeniería egipcia no solo producía infraestructura, sino que también cumplía una función social clave, al generar empleo, cohesión comunitaria y sentido de pertenencia a un proyecto colectivo. El saber técnico, lejos de ser un capital individual desvinculado del conjunto social, se encontraba inserto en una red de responsabilidades públicas y obligaciones mutuas.

Del mismo modo, la transmisión del conocimiento ingenieril se basaba en procesos de aprendizaje prolongados, combinando experiencia práctica, observación directa y formación administrativa a través de las escuelas de escribas. Este sistema, como señala Arnold (1991), garantizaba la continuidad del saber técnico a lo largo de generaciones, evitando rupturas abruptas y permitiendo la adaptación gradual a nuevas condiciones materiales. La ingeniería, en este marco, se concebía como un saber situado, estrechamente ligado al territorio, a las necesidades sociales y a una ética de servicio al Estado y a la comunidad.

Desde una perspectiva comparativa, estas características resultan particularmente relevantes para América Latina, donde la precarización del trabajo técnico, la fragmentación del conocimiento y la subordinación de la ingeniería a lógicas puramente mercantiles han debilitado su función social. La desigualdad en el acceso a la formación especializada y la desvinculación entre saber técnico y proyectos colectivos han contribuido a reproducir brechas estructurales en infraestructura, innovación y desarrollo (Laval y Dardot, 2013; Giroux, 2014). Frente a este escenario, la experiencia egipcia invita a repensar la formación técnica desde una ética del bien común, que reconozca el valor social del conocimiento ingenieril y su potencial para contribuir a proyectos de desarrollo más inclusivos y democráticos.

En consecuencia, recuperar esta dimensión histórica no implica idealizar el pasado, sino utilizarlo como espejo crítico para interrogar las condiciones actuales de producción del conocimiento técnico en América Latina. Revalorizar la ingeniería como práctica socialmente comprometida supone fortalecer vínculos entre educación, Estado y comunidad, promoviendo modelos de formación y trabajo orientados no solo a la eficiencia productiva, sino también a la justicia social y la sostenibilidad territorial.

Conclusión

El análisis de la ingeniería del Antiguo Egipto permite afirmar que el desarrollo técnico no puede comprenderse de manera aislada ni reducido a criterios de eficiencia instrumental. La experiencia egipcia demuestra que la ingeniería se configuró como una práctica social compleja, profundamente vinculada a valores culturales, formas de organización política y concepciones éticas sobre la relación entre sociedad y naturaleza. La gestión hídrica adaptativa, la planificación arquitectónica orientada al largo plazo y la organización colectiva del trabajo técnico evidencian que es posible articular conocimiento especializado con sostenibilidad ambiental, cohesión social y previsión histórica.

Desde una mirada latinoamericana, estas lecciones adquieren especial relevancia en un contexto marcado por crisis ecológicas, expansión urbana desregulada y profundización de las desigualdades sociales. La comparación histórica desarrollada en este ensayo pone de manifiesto los límites de modelos de desarrollo centrados en la mercantilización de los bienes comunes y en la subordinación del conocimiento técnico a lógicas de corto plazo. Frente a ello, la ingeniería egipcia ofrece un horizonte alternativo que invita a repensar la infraestructura y la planificación territorial como expresiones de responsabilidad colectiva y compromiso intergeneracional.

Asimismo, recuperar críticamente estos saberes históricos no implica idealizar el pasado ni proponer una trasposición acrítica de modelos antiguos al presente. Supone, más bien, utilizar la historia como un recurso analítico y formativo que permita cuestionar las racionalidades técnicas dominantes y abrir espacios para imaginar formas de desarrollo más justas, democráticas y territorialmente situadas. En esta línea, la ingeniería puede resignificarse como una herramienta al servicio de la vida colectiva, orientada no solo a resolver problemas técnicos, sino también a fortalecer el tejido social y la relación ética con el entorno natural.

En efecto, las lecciones de la ingeniería del Antiguo Egipto invitan a América Latina a reconsiderar el papel del conocimiento técnico en la construcción del futuro. Integrar sostenibilidad, equidad y planificación de largo plazo en los proyectos de infraestructura y en la formación técnica constituye un desafío ineludible para la región. La historia, en este marco, se presenta no como un archivo inerte, sino como una fuente activa de reflexión crítica capaz de contribuir a la transformación de los debates contemporáneos sobre desarrollo, justicia social y bienestar común.

Las reflexiones desarrolladas en este ensayo abren diversas líneas futuras de investigación orientadas a profundizar el diálogo entre historia de la ingeniería y problemáticas actuales de América Latina. Resulta especialmente pertinente avanzar hacia estudios comparativos que analicen, desde enfoques interdisciplinarios, las continuidades y rupturas entre sistemas ingenieriles antiguos y saberes técnicos indígenas y campesinos de la región, particularmente en ámbitos como la gestión hídrica, la planificación territorial y la construcción sustentable. Asimismo, se proyecta la necesidad de investigar el rol de la formación técnica y universitaria en la reproducción o transformación de modelos de desarrollo, incorporando perspectivas éticas, socioambientales y de justicia social en los currículos de ingeniería. Finalmente, estas líneas de investigación pueden contribuir al diseño de políticas públicas y proyectos de infraestructura que reconozcan el valor del conocimiento histórico como insumo crítico para la toma de decisiones, fortaleciendo una ingeniería orientada al bien común, la sostenibilidad y la responsabilidad intergeneracional.

Referencias

- Arnold, D. (1991). *Building in Egypt: Pharaonic stone masonry*. Oxford University Press.
- Assmann, J. (2012). *Cultural memory and early civilization: Writing, remembrance, and political imagination*. Cambridge University Press.
- Boelens, R. (2014). Cultural politics and the hydrosocial cycle: Water, power and identity in the Andean highlands. *Geoforum*, (57), 234-247. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2013.02.008>
- Borja, J. (2013). *Revolución urbana y derechos ciudadanos*. Alianza.
- Budds, J. (2013). Water, power, and the production of neoliberalism in Chile, 1973-2005. *Environment and Planning D: Society and Space*, 31(2), 301-318. <https://doi.org/10.1068/d9511>
- Butzer, K. (1976). *Early hydraulic civilization in Egypt: A study in cultural ecology*. University of Chicago Press.
- Escobar, A. (2016). *Autonomía y diseño: La realización de lo comunal*. Universidad del Cauca.
- Giroux, H. (2014). *Neoliberalism's war on higher education*. Haymarket Books.
- Gómez, G. (2025). *La ciencia en el Antiguo Egipto: Los orígenes sagrados del conocimiento científico*. Erasmus Ediciones.
- Harvey, D. (2012). *Rebel cities: From the right to the city to the urban revolution*. Verso.
- Kemp, B. (1989). *Ancient Egypt: Anatomy of a civilization*. Routledge.
- Laval, C., y Dardot, P. (2013). *La nueva razón del mundo: Ensayo sobre la sociedad neoliberal*. Gedisa.
- Lehner, M. (1997). *The complete pyramids*. Thames & Hudson.
- Lorena, S., y Celeste, V. (2022). La imagen en clave de interpretación de los rituales funerarios. Un estudio de iconografía del antiguo Egipto. *Estudios de Teoría Literaria*, 11(25), 82-95.

- Romero, V. (2023). La categoría del arte en el antiguo Egipto: Una reflexión desde el giro ontológico. *Comechingonia*, 27(3), 91-107.
- Rolnik, R. (2019). *La guerra de los lugares: La colonización de la tierra y la vivienda en la era de las finanzas*. LOM Ediciones.
- Shaw, I. (2000). *The Oxford handbook of ancient Egypt*. Oxford University Press.
- Svampa, M. (2019). *Las fronteras del neoextractivismo en América Latina: Conflictos socioambientales, giro ecoterritorial y nuevas dependencias*. CALAS.
- Swyngedouw, E. (2015). *Liquid power: Contested hydro-modernities in twentieth-century Spain*. MIT Press.

Humberto Andrés Álvarez Sepúlveda

Universidad Católica de la Santísima Concepción | Concepción | Chile

<https://orcid.org/0000-0001-5729-3404>

halvarez@ucsc.cl

humalvarezsep@gmail.com

Académico de la Universidad Católica de la Santísima Concepción (Chile). Doctor en Sociedad y Cultura por la Universidad de Barcelona (España). Autor de diversos capítulos de libros y artículos sobre educación histórica publicados en revistas científicas indexadas a WoS, Scopus y Scielo.

Claudine Glenda Benoit Ríos

Universidad Católica de la Santísima Concepción | Concepción | Chile

<https://orcid.org/0000-0002-1791-2212>

cbenoit@ucsc.cl

claudbenoit@gmail.com

Académica del Departamento de Didáctica de la Universidad Católica de la Santísima Concepción, Concepción (Chile). Doctora en Lingüística, por la Universidad de Concepción. Investigadora en didáctica de la comprensión y producción del lenguaje, y estrategias colaborativas durante el procesamiento.

Engineering, territory, and the common good: Lessons from Ancient Egypt for Latin America

Abstract

This chapter analyzes the main lessons that ancient Egyptian engineering offers for contemporary challenges in Latin America. The study is based on a scoping review of specialized literature, developed from a qualitative and interpretive approach, within a humanistic-critical paradigm and a narrative design of the topic. The analysis argues that Egyptian engineering cannot be understood solely as a set of technical achievements, but rather as a socio-technical system oriented toward sustainability, foresight, and social cohesion. In dialogue with current issues in the region, such as the water crisis, urban planning, and structural inequality, it is proposed that the critical recovery of historical knowledge allows for a rethinking of development models that are less extractivist and more integrated with the environment. It is concluded that these historical lessons constitute a valuable input for debates on engineering, public policy, and social justice in Latin America.

Keywords: Ancient engineering; Egypt; Sustainability; Latin America; Historical knowledge.

Engenharia, território e bem comum: Lições do Antigo Egito para a América Latina

Resumo

Este capítulo analisa as principais lições que a engenharia do Antigo Egito oferece para os desafios contemporâneos da América Latina. O estudo baseia-se em uma revisão de escopo da literatura especializada, desenvolvida a partir de uma abordagem qualitativa e interpretativa, inserida em um paradigma humanista-crítico e um design narrativo tópico. A análise sustenta que a engenharia egípcia não pode ser entendida apenas como um

conjunto de realizações técnicas, mas como um sistema sociotécnico orientado para a sustentabilidade, a previsão e a coesão social. Em diálogo com problemas atuais da região, como a crise hídrica, o planejamento urbano e a desigualdade estrutural, propõe-se que a recuperação crítica dos saberes históricos permite repensar modelos de desenvolvimento menos extrativistas e mais integrados ao meio ambiente. Conclui-se que essas lições históricas constituem um insumo valioso para os debates sobre engenharia, políticas públicas e justiça social na América Latina.

Palavras-chave: Engenharia antiga; Egito; Sustentabilidade; América Latina; Saberes históricos.

El espectro de las ingenierías. Investigaciones situadas en
contextos regionales (Vol. I)

Religación Press
[Ideas desde el Sur Global]



Religación
Press

ISBN: 978-9942-594-35-8



9 789942 594358