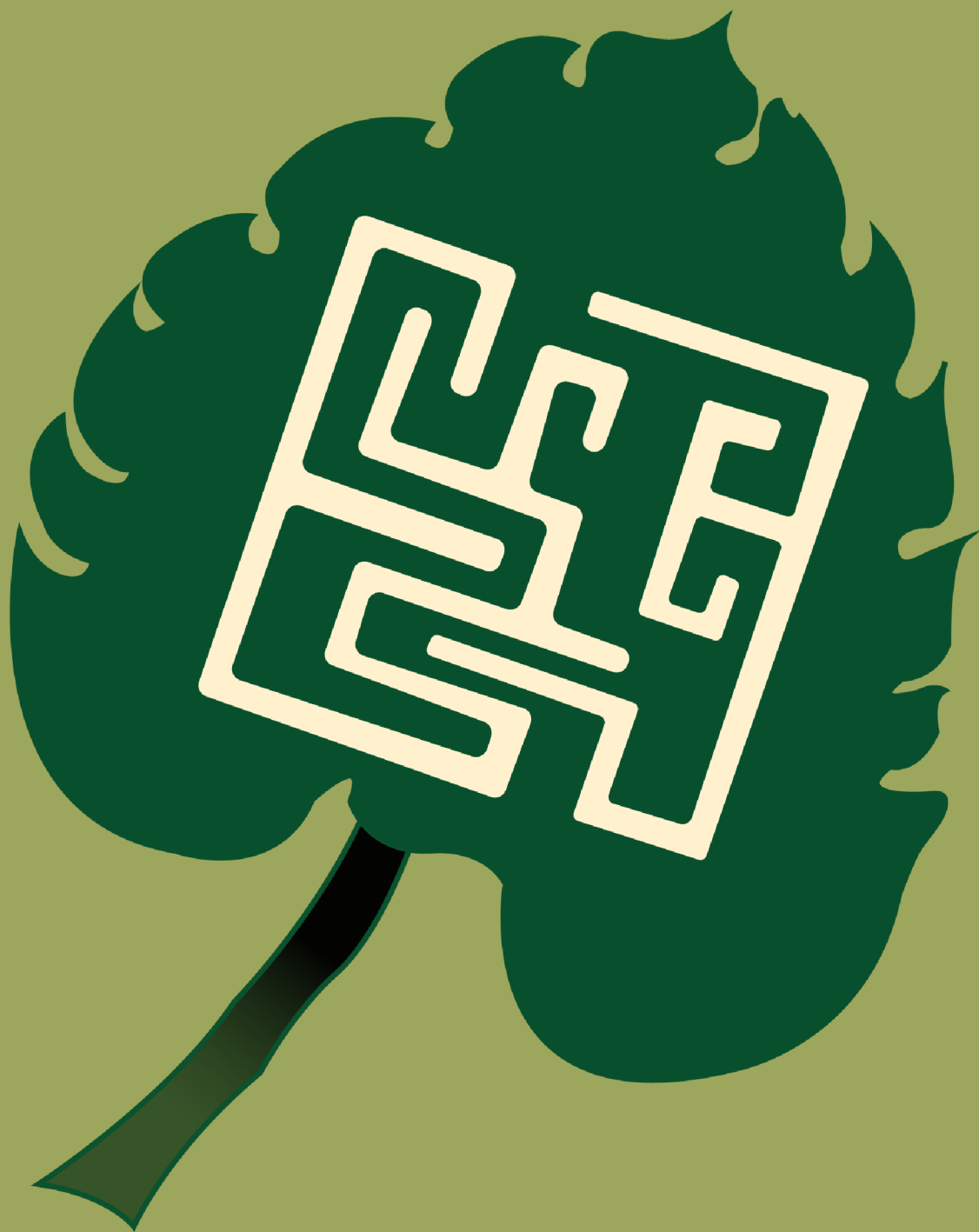


Complejidad y sostenibilidad

Estudio de casos
sobre turismo,
educación,
salud y
producción



Editor. Óscar Rafael Tinoco Gómez

Complejidad y sostenibilidad

Estudio de casos
sobre turismo,
educación,
salud y
producción

Karen Andrea Álava Chichanda
Paola Gabriela Álava Chichanda
Nancy Elizabeth Barreda de Miranda
Betsy Katherine Cambindo Quiñónez
Manuel Enrique Gonzales Aparicio
Ronald Javier Muñante Valle
Domingo Hussein Pacheco Alvaro
Edison Johny Quevedo Zambrano
Kareñth Elena Ramírez Álvarez
Jorge Luis Roca Becerra
Juan Manuel Sheput Moore
María Margoth Solórzano Vera
Óscar Rafael Tinoco Gómez
Jessica Gisell Valdivia Cuentas
Julio Douglas Vergara Trujillo

Editor. Óscar Rafael Tinoco Gómez

Complejidad y sostenibilidad

Estudio de casos sobre
turismo,
educación, salud
y producción

Autores:

- | | |
|--------------------------------------|-----------------------------------|
| © Karen Andrea Álava Chichanda | © Karenth Elena Ramírez Álvarez |
| © Paola Gabriela Álava Chichanda | © Jorge Luis Roca Becerra |
| © Nancy Elizabeth Barreda de Miranda | © Juan Manuel Sheput Moore |
| © Betsy Katherine Cambindo Quiñónez | © Maria Margoth Solórzano Vera |
| © Manuel Enrique Gonzales Aparicio | © Óscar Rafael Tinoco Gómez |
| © Ronald Javier Muñante Valle | © Jessica Gisell Valdivia Cuentas |
| © Domingo Hussein Pacheco Alvaro | © Julio Douglas Vergara Trujillo |
| © Edison Johny Quevedo Zambrano | |

Editado por :

© Óscar Rafael Tinoco Gómez
Calle El Abutillon 3881, Urb. Las Palmeras - Los Olivos. Lima - Perú
otinocog@unmsm.edu.pe

Diagramación de texto, maquetación y diseño:

© Carlos Alberto Vega Vidal

Hecho el depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2025-12921

Primera edición digital, Noviembre 2025

ISBN: 978-612-03-1728-0

Libro electrónico disponible en: [http:// librosctscafe.ctscafe.pe/](http://librosctscafe.ctscafe.pe/)

Contenido

Introducción	6
--------------	---

Desafíos de la educación superior en Ecuador y Perú en la era de la complejidad.	8
--	---

Challenges of higher education in Ecuador and Peru in the age of complexity	8
---	---

Juan Manuel Sheput Moore

Universidad Nacional Mayor de San Marcos

María Margoth Solórzano Vera

Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Betsy Katherine Cambindo Quiñónez

Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Edison Johny Quevedo Zambrano

Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Caso de estudio del cáñamo industrial (<i>Cannabis sativa</i> L.) en Perú en la era de la complejidad.	28
---	----

Case study of industrial hemp (<i>Cannabis sativa</i> L.) in Peru in the era of complexity.	28
--	----

Domingo Hussein Pacheco Álvaro

Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Nancy Elizabeth Barreda de Miranda

Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Jorge Luis Roca Becerra

Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Revisión crítica de los estudios sobre el impacto del turismo en la sostenibilidad ambiental y cultural en las Isla Galápagos: un enfoque desde la teoría de la complejidad	66
---	----

Critical review of studies on the impact of tourism on environmental and cultural sustainability in the Galapagos Islands: a complexity theory approach	66
---	----

Karen Andrea Álava Chichanda

Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López

Paola Gabriela Álava Chichanda

Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López

Dr. Óscar Rafael Tinoco Gómez

Universidad Nacional Mayor de San Marcos

El sistema de salud peruano desde el enfoque de la complejidad: interacciones, trayectorias y dinámicas emergentes _____ 81

The Peruvian health system from a complexity perspective: interactions, trajectories, and emerging dynamics _____ 81

Julio Douglas Vergara Trujillo

Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Ronald Javier Muñante Valle

Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Eficiencia adaptativa en sistemas complejos de alimentación de cuyes destetados intensivos 91

Adaptive efficiency in complex feeding systems for intensively weaned guinea pigs _____ 91

Manuel Enrique Gonzales Aparicio

Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Karenth Elena Ramírez Álvarez

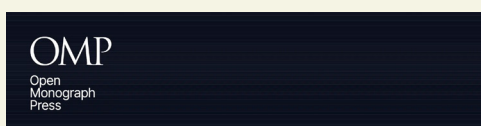
Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Jessica Gisell Valdivia Cuentas

Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Sobre los autores _____ 102

Este libro ha sido sometido a una rigurosa revisión por pares por expertos en el campo por medio del sistema



Agradecemos a los revisores por sus valiosos comentarios y sugerencias, que han contribuido a la calidad final de esta publicación científica

Libro para descarga disponible en <https://librosctscafe.ctscafe.pe/index.php/1>

Introducción

En los últimos treinta años se ha desarrollado un intenso debate sobre la percepción del mundo en que vivimos, se ha filosofado en un contexto cada vez más complejo y que escapa a una sola visión. Diferentes perspectivas se han sucedido. Por ejemplo, el positivismo, Ramos (2014) postula una “realidad absoluta y medible” para el post-positivismo, “la relación entre investigador y fenómeno de estudio debe ser controlada, puesto que no debe influir en la realización del estudio”. Desde entonces se han venido desarrollando paradigmas científicos en paralelo al pensamiento filosófico.

El seguimiento del proceso de evolución de los paradigmas científicos revela que estos permitieron aproximar e integrar las ciencias físicas y matemáticas con las sociales. Un punto de quiebre, en su tiempo, fue el aportado por Max Planck, en 1900, con la teoría de los cuanta. Según ella, la radiación es absorbida o emitida por un cuerpo caliente no bajo la forma de ondas, sino por medio de pequeños “paquetes” de energía, bajo forma de múltiplos enteros de una cantidad mínima básica denominada quantum. Esto es continuado por físicos notables, como N. Bohr, E. Schrodinger, W. Pauli, L. de Broglie, entre otros.

En dicho proceso se descubre que las unidades subatómicas poseen una naturaleza dual, pues dependiendo de cómo sean observadas, se presentan como partículas (materia) o como ondas (energía); esto derrumba definitivamente el principio aristotélico por el cual cualquier cosa solo puede ser ella misma (A solo puede ser A). Hegel ya había cuestionado este principio desde la perspectiva filosófica, pero ahora era presentada la comprobación empírica: A puede ser tanto A como no-A.

A principios del presente siglo se han sentado las bases del denominado “pensamiento complejo”. Teniendo como principales exponentes a Morin, desde Europa, y varios filósofos latinoamericanos (Barberousse y Platas, entre otros). Se reconoce como cimientos de este pensamiento a la teoría cibernética, las teorías de la información, teoría de sistemas, los sistemas complejos adaptativos, entre otros las fuentes principales del pensamiento complejo son: teoría de sistemas, los sistemas complejos adaptativos, dinámica no lineal, teoría cibernética, teorías de la información y comunicación, el legado piagetiano, la teoría del no equilibrio y la teoría del caos, entre otras.

El desarrollo de la ingeniería en el actual contexto debe contemplar no solamente el ingenio y la creatividad sino también la innovación, la preservación del ambiente, la sostenibilidad. Tanto en el ejercicio profesional como en el aspecto de las pesquisas se impone la multidisciplinariedad, el trabajo en equipo y el abordaje de la incertidumbre

En un mundo globalizado, con un desarrollo exponencial de las tecnologías de la comunicación, el pensamiento complejo tiene una creciente aceptación, a partir de las formulaciones de Edgar Morin, convergentes con las de Humberto Maturana (Chile) y Prigogine. Por su parte, Edgar Serna M. un ingeniero e investigador colombiano realiza un importante llamamiento en el proceso formativo de los ingenieros. Incorporación de una visión holística frente a una realidad global signada por el avance vertiginoso de las tecnologías de la comunicación y la necesidad de integrar al pensamiento complejo en la formación de los ingenieros, “como principio de innovación y de análisis”.

Finalmente, es pertinente señalar que las investigaciones contenidas en este libro son una muestra de la aplicación del pensamiento complejo a diversas situaciones, con un enfoque muy relacionado con la teoría de sistemas, tan cercano al de la ingeniería y las ciencias empresariales.

Dr. Óscar Rafael Tinoco Gómez

Docente Unidad de PosGrado FII

Octubre 2025

Eficiencia adaptativa en sistemas complejos de alimentación de cuyes destetados intensivos

Adaptive efficiency in complex feeding systems for intensively weaned guinea pigs

Manuel Enrique Gonzales Aparicio

Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Karenth Elena Ramírez Álvarez

Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Jessica Gisell Valdivia Cuentas

Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Este estudio examina la aplicación del enfoque de sistemas complejos adaptativos (CAS) en la producción intensiva de cuyes (Cavia porcellus), integrando factores biológicos, de gestión y ambientales. El análisis se sustenta en tendencias identificadas en un estudio experimental inédito sobre dietas concentradas, sin divulgación de datos numéricos, que evidencian un patrón de eficiencia marginal decreciente característico de los CAS (Airahua-cho Bautista & Vergara Rubín, 2017; Nieto-Escandón et al., 2023). Mediante un enfoque interdisciplinario, se reconocen interacciones no lineales, patrones emergentes y dinámicas adaptativas que influyen en la eficiencia productiva. El modelo conceptual propuesto incorpora bucles de retroalimentación y mecanismos de autoorganización, proporcionando fundamentos teóricos y prácticos para la toma de decisiones estratégicas. Los resultados contribuyen a ampliar la comprensión de la complejidad en sistemas agroproductivos y ofrecen directrices para su optimización y sostenibilidad.

Palabras clave: *Sistemas complejos adaptativos/ Eficiencia alimentaria/ Cuyes destetados/ Ingeniería industrial/ resiliencia.*

This study examines the application of the complex adaptive systems (CAS) approach to intensive guinea pig (Cavia porcellus) production, integrating biological, management, and environmental factors. The analysis is based on trends identified in an unpublished experimental study on concentrated diets, without the disclosure of numerical data, which demonstrates a pattern of diminishing marginal efficiency characteristic of CAS (Airahua-cho Bautista & Vergara Rubín, 2017; Nieto-Escandón et al., 2023). Through an interdisciplinary approach, nonlinear interactions, emergent patterns, and adaptive dynamics that influence production efficiency are recognized. The proposed conceptual model incorporates feedback loops and self-organization mechanisms, providing theoretical and practical foun-

dations for strategic decision-making. The results contribute to a broader understanding of complexity in agricultural production systems and offer guidelines for their optimization and sustainability.

Keywords: *Complex adaptive systems/ Feed efficiency/ Weaned guinea pigs/ Industrial engineering/ Resilience.*

Introducción

De acuerdo con el Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (2023) y el Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2022) la producción de cuyes en el Perú ha mostrado un crecimiento sostenido y una creciente importancia económica, impulsando la búsqueda de estrategias alimentarias que equilibren costos y eficiencia. Investigaciones recientes Meza-Rojas et al. (2024; Miranda-Yuquilema et al. (2025) respaldan la adopción de formulaciones alternativas que mantengan el rendimiento productivo con menor dependencia de insumos encarecidos como la soya.

Tal como señala Arce Rojas (2021), el enfoque de la complejidad permite trascender los límites del análisis disciplinario, integrando variables y relaciones que los enfoques sectoriales tradicionales no contemplan, lo que resulta esencial para comprender y gestionar sistemas de producción animal con múltiples dimensiones interdependientes. La producción intensiva de cuyes (*Cavia porcellus*) representa una de las principales actividades pecuarias de subsistencia y desarrollo económico en diversas regiones andinas. Sin embargo, su eficiencia alimentaria enfrenta limitaciones significativas debido al uso de modelos productivos lineales que no consideran la naturaleza compleja y adaptativa de los sistemas biológicos. La necesidad de integrar nuevas herramientas conceptuales para comprender el comportamiento de estos sistemas ha llevado al surgimiento de enfoques basados en la teoría de los sistemas complejos adaptativos (Mitchell, 2009).

Bases teóricas

Paredes & Goicochea (2021) señalan que el equilibrio entre fibra y almidón es determinante para la eficiencia digestiva en cuyes, lo que coincide con los principios de no linealidad y retroalimentación en sistemas complejos adaptativos (Holland, 2014; Mitchell, 2009). Este balance, combinado con el uso moderado de concentrados, se asocia a mejoras sostenibles en el rendimiento y resiliencia del sistema productivo.

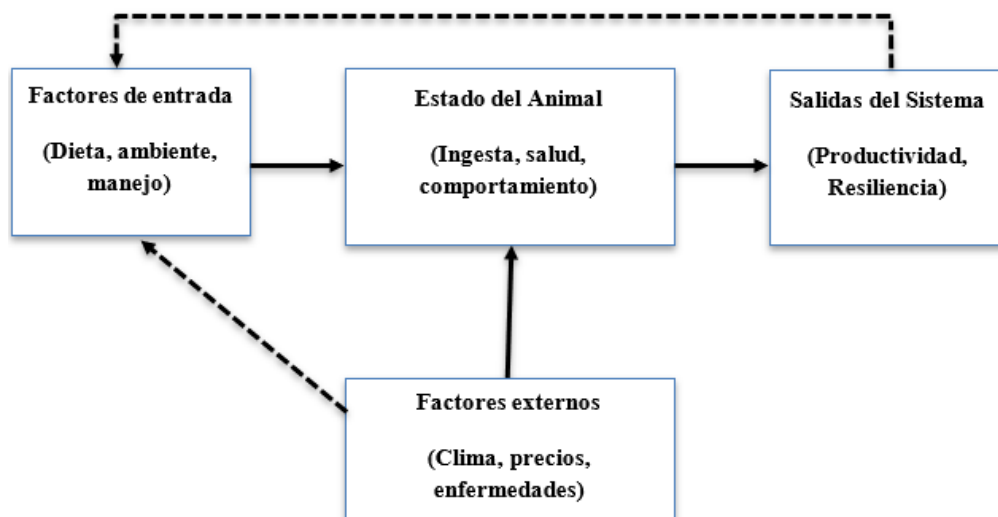
En el ámbito de la producción intensiva de cuyes destetados, la inocuidad y la estabilidad de los procesos pueden fortalecerse siguiendo lineamientos como los descritos por Gonzales M et al. (2024), quienes destacan la importancia de implementar POES, controlar la temperatura y aplicar buenas prácticas de manufactura para garantizar procesos estables y seguros en plantas de la industria cárnica.

Desde el enfoque sistémico, la producción pecuaria se concibe como un sistema abierto con interacciones dinámicas entre componentes biológicos, ambientales y de manejo, en el que fenómenos como la emergencia, la sinergia y la retroalimentación condicionan el rendimiento (Martínez Benavides et al., 2022). Casanova-Pérez et al. (2020) evidencian que la diferenciación e interdependencia entre sistemas agropecuarios surgen como respuesta a presiones externas y a la necesidad de mantener la funcionalidad del sistema, lo que coincide con las adaptaciones observadas en la respuesta productiva y comportamental de los cuyes frente a dietas diferenciadas.

Según Miller (2007) y Holland (2014), los sistemas complejos adaptativos se componen de múltiples elementos o agentes interconectados que interactúan entre sí y con su entorno, adaptando su comportamiento en respuesta a cambios internos o externos. Entre sus propiedades clave se encuentran la no linealidad, la autoorganización, la resiliencia y la emergencia de patrones que no pueden predecirse únicamente a partir del análisis de las partes individuales.

En el contexto de la producción intensiva de cuyes, el sistema productivo puede entenderse como un CAS en el que intervienen factores biológicos (ganancia de peso, comportamiento animal), de gestión (tipo de dieta, decisiones de manejo) y ambientales (temperatura, disponibilidad de insumos), cuyas interacciones dan lugar a comportamientos globales y dinámicas adaptativas. La figura 1 ilustra el diagrama conceptual CAS propuesto para este estudio, destacando los componentes principales, las relaciones de influencia y los bucles de retroalimentación presentes en el sistema.

Figura N° 1: Modelo simplificado de un sistema complejo adaptativo en la producción intensiva de cuyes



Fuente: Elaboración propia

Nota. El esquema representa un sistema complejo adaptativo en la producción intensiva de cuyes, integrando los factores de entrada (línea continua izquierda) que inciden directamente en el estado interno del animal, y que determinan las salidas del sistema (línea continua derecha) en términos de productividad y resiliencia. Las flechas punteadas indican retroalimentaciones: desde las salidas hacia los factores de entrada (impacto de la productividad en la disponibilidad y calidad de insumos) y desde los factores externos hacia los factores de entrada (influencia de condiciones climáticas, precios y enfermedades sobre el manejo y la dieta).

En este sentido, la epistemología cualitativa propuesta por González Rey ofrece un marco transdisciplinario que enriquece la comprensión de los sistemas complejos adaptativos, al incorporar pilares metodológicos como la complejidad, la lógica del tercero incluido y los niveles de realidad, evitando reduccionismos y dogmatismos (Pinto & Paula, 2018). Este enfoque se alinea con el presente estudio al reconocer que la interacción entre dieta, entorno y comportamiento animal no puede ser explicada desde perspectivas lineales, sino desde una integración de saberes y métodos.

De manera complementaria, Oliva-Figueroa et al. (2018) resaltan que la transdisciplinariedad posee un alto valor social y académico, lo que en el contexto productivo implica articular conocimientos de zootecnia, ingeniería industrial y economía rural para optimizar sistemas de crianza intensiva. Incluso en ámbitos aparentemente distantes, como el análisis de complejidad sintáctica y léxica en la escritura universitaria Lahuerta Martínez (2024), se observa que la medición precisa de indicadores específicos permite desentrañar dinámicas complejas, una lógica que también subyace en la evaluación de la eficiencia adaptativa en este estudio.

Finalmente, (Catalán et al., 2024) muestran que la adaptación a entornos globalizados y tecnológicamente interconectados exige redefinir competencias y marcos de actuación, un principio extrapolable a la gestión de sistemas productivos que requieren ajustarse a demandas de sostenibilidad y competitividad.

La eficiencia productiva en sistemas pecuarios tradicionales ha sido históricamente abordada desde una perspectiva mecanicista, centrada en la maximización de insumos y resultados medibles. No obstante, dicha visión resulta limitada cuando se trata de comprender dinámicas complejas como las que ocurren en la alimentación de cuyes destetados criados en condiciones intensivas.

La teoría de los sistemas complejos adaptativos permite una nueva aproximación al estudio de la eficiencia alimentaria. Estos sistemas se caracterizan por la existencia de múltiples componentes interrelacionados que se adaptan a cambios del entorno mediante mecanismos de retroalimentación, autoorganización y coevolución, Mitchell (2009); Holland (2014). En el caso de la producción de cuyes, esto implica reconocer que la respuesta a una dieta específica no es uniforme, sino que depende del entorno

físico, la densidad poblacional, el comportamiento de los animales y la interacción con otros componentes del sistema.

En los estudios realizados por Kuhmonen et al. (2024), se destaca la importancia de la resiliencia estructural de los agroecosistemas, los cuales presentan alta sensibilidad a perturbaciones, pero también capacidad de reorganización interna. Esta propiedad es observable en sistemas de crianza de cuyes, donde el estrés ambiental, las variaciones nutricionales o los cambios de densidad generan efectos amplificados que alteran la eficiencia del sistema completo. En estos entornos, la evaluación de eficiencia debe incorporar indicadores dinámicos y métricas que reconozcan el comportamiento adaptativo.

Caso de estudio

El caso se sustenta en un ensayo de 30 días con tratamientos basados en combinaciones de forraje y concentrado, desarrollado en condiciones representativas de pequeños productores, lo que permitió observar ajustes adaptativos y autoorganización en el comportamiento alimentario de los animales (Nieto-Escandón et al., 2023).

En el marco de este estudio, el análisis de la producción intensiva de cuyes se concibe como una aplicación práctica de los principios de los sistemas complejos adaptativos, integrando dimensiones biológicas, de gestión y ambientales en un mismo entramado dinámico. Este enfoque permite no solo describir las variables del sistema, sino también comprender cómo sus interacciones generan comportamientos emergentes que influyen en la eficiencia y resiliencia del proceso productivo. Así, el caso de estudio constituye una instancia empírica idónea para validar la pertinencia del modelo conceptual propuesto, explorando la manera en que las decisiones de manejo y las condiciones externas pueden desencadenar adaptaciones colectivas en el sistema.

Contexto del sistema productivo

La unidad productiva se desarrolló en un entorno de crianza intensiva bajo condiciones semi-controladas, utilizando jaulas metálicas de 1 m², cada una albergando cinco cuyes destetados. Las condiciones ambientales fueron naturales, sin intervención térmica artificial, replicando entornos propios de productores rurales. La duración total del ensayo fue de 30 días, iniciando tras el destete.

Resultados

El análisis del sistema productivo de cuyes destetados, bajo el enfoque de sistemas complejos adaptativos (CAS), evidenció patrones no lineales en la respuesta productiva, caracterizados por una eficiencia marginal decreciente frente al incremento de insumos proteicos, coherente con lo reportado por Nieto-Escandón et al. (2023) y Airahuacho Bautista & Vergara Rubín (2017).

Se identificaron diferencias relevantes entre los tratamientos. Un tratamiento con mayor aporte proteico mostró la mayor ganancia de peso, aunque con el costo unitario más elevado; mientras que otro tratamiento intermedio presentó un equilibrio favorable entre eficiencia productiva y costos operativos. Este comportamiento sugiere que, más allá de un umbral óptimo, el aumento de la concentración proteica no genera mejoras proporcionales en el rendimiento, lo cual se alinea con principios de retroalimentación adaptativa.

Asimismo, se reconocieron bucles de retroalimentación positivos y negativos, donde los resultados productivos influyen en ajustes del manejo y la dieta para ciclos posteriores, en concordancia con las dinámicas adaptativas descritas por Mitchell (2009) y Holland (2014).

Discusión

Los resultados observados coinciden con lo señalado por Airahuacho Bautista & Vergara Rubín (2017) y Tapie et al. (2024), en cuanto a que incrementos superiores al umbral óptimo de energía digestible no generan mejoras proporcionales en el rendimiento, fenómeno alineado con la dinámica no lineal propia de los sistemas complejos adaptativos. Este hallazgo refuerza la necesidad de políticas alimentarias basadas en la eficiencia adaptativa más que en la maximización de insumos.

Comparativamente, Casanova-Pérez et al. (2020) y Arce Rojas (2021) destacan que la resiliencia y la capacidad de autoorganización son esenciales para la sostenibilidad de sistemas productivos, lo que refuerza la necesidad de adoptar perspectivas complejas en la gestión de la producción cuyícola. En este estudio, los resultados muestran que la dieta T2 logró un equilibrio óptimo entre eficiencia productiva y costos, mientras que la dieta T3, aunque generó la mayor ganancia de peso, presentó un costo más elevado por kilo ganado.

Asimismo, la observación de cambios en el ritmo de consumo, patrones de interacción social y rutinas de descanso según el tipo de dieta confirma la presencia de propiedades como la no linealidad, la emergencia y la autoorganización, descritas por Martínez Benavides et al. (2022) en el contexto del enfoque sistémico en producción pecuaria. Estos fenómenos sugieren que pequeñas modificaciones en un componente del sistema —como el tipo de

dieta—pueden producir efectos amplificados en el desempeño global, respaldando la visión de Kuhmonen et al. (2024) sobre la resiliencia estructural en agroecosistemas adaptativos.

Desde la perspectiva de la ingeniería industrial, la incorporación de herramientas como la simulación basada en agentes y el modelado de sistemas dinámicos permitiría predecir comportamientos emergentes y optimizar la asignación de recursos en sistemas de crianza de pequeña escala, especialmente en contextos de recursos limitados. Además, estas herramientas pueden integrarse con metodologías de análisis multiobjetivo para equilibrar variables de producción, costo y bienestar animal.

En línea con la estabilidad de las condiciones de proceso, González M et al. (2024) señalan que la implementación de procedimientos operativos estandarizados de saneamiento (POES), el control de temperatura y las buenas prácticas de manufactura son medidas fundamentales para asegurar procesos estables y seguros en plantas de la industria cárnica.

Finalmente, la eficiencia adaptativa observada en este experimento tiene implicancias para la sostenibilidad productiva en zonas rurales, al demostrar que sistemas de producción con alta capacidad de ajuste pueden mantener su viabilidad económica y productiva frente a variaciones en el entorno, en línea con las reflexiones de Arce Rojas (2021) sobre la necesidad de perspectivas complejas para enfrentar la incertidumbre en sistemas productivos. Además, es importante señalar que, aunque los resultados coinciden con estudios previos, también se detectaron ligeras diferencias en el comportamiento adaptativo de los cuyes frente a variaciones dietéticas, lo que sugiere la necesidad de explorar factores externos no controlados como la temperatura ambiental o el estrés por manipulación.

De forma complementaria, este estudio aporta evidencia empírica sobre cómo las propiedades de sistemas complejos adaptativos—como la autoorganización, la resiliencia y las dinámicas no lineales— se manifiestan en sistemas pecuarios de pequeña escala. Esto coincide parcialmente con lo propuesto por Kuhmonen et al. (2024), pero también abre un debate sobre la influencia de variables contextuales propias de cada ecosistema productivo.

Este hallazgo coincide con la propuesta epistemológica de González Rey, que plantea la necesidad de marcos de análisis capaces de integrar múltiples niveles de realidad para interpretar fenómenos complejos (Pinto & Paula, 2018). Además, el reconocimiento de la diversidad de perspectivas y roles en el análisis de sistemas, tal como destacan (Oliva-Figueroa et al., 2018) en su estudio sobre transdisciplinariedad, es aplicable a la producción cuyícola, donde intervienen actores con conocimientos y objetivos diferenciados. Incluso el análisis de patrones lingüísticos en contextos educativos. Lahuerta Martínez (2024) y la redefinición de competencias para enfrentar entornos globales. Catalán et al. (2024) aportan ejemplos de cómo la complejidad y la adaptabilidad

son principios transversales que pueden fortalecer la interpretación de los resultados y la formulación de estrategias productivas.

Este capítulo se centra en la interpretación CAS de sistemas cuyícolas intensivos a partir de literatura y tendencias empíricas no divulgadas. La ausencia de métricas detalladas limita el análisis comparativo. Futuras investigaciones deberían integrar simulaciones multiagente, indicadores de bienestar y métricas dinámicas para validar umbrales de eficiencia adaptativa en distintos contextos productivos.

Conclusiones

El patrón identificado confirma que el sistema cuyícola, interpretado desde la perspectiva CAS, presenta un punto de máxima eficiencia adaptativa que no coincide con el uso máximo de insumos, lo que tiene implicancias directas en el diseño de estrategias de alimentación sostenible y en la optimización de recursos en sistemas de pequeña escala.

El análisis realizado evidencia que los sistemas de producción intensiva de cuyes funcionan como sistemas complejos adaptativos, en los que las interacciones entre componentes biológicos, de gestión y ambientales generan comportamientos emergentes difíciles de predecir mediante enfoques lineales. La inclusión del modelo conceptual CAS permite visualizar las relaciones críticas y los bucles de retroalimentación que influyen en la eficiencia productiva. Este enfoque facilita la identificación de estrategias adaptativas que potencien la resiliencia y la sostenibilidad del sistema, contribuyendo al desarrollo de políticas y prácticas más efectivas para el sector.

La dieta T2 representa un balance adecuado entre ganancia de peso y costo por kilo ganado. El análisis desde un enfoque sistémico permite una mejor comprensión de las interacciones entre dieta, comportamiento animal y eficiencia productiva.

Recomendaciones

- Incorporar herramientas de simulación basada en agentes y modelado de sistemas dinámicos para predecir comportamientos emergentes.
- Considerar indicadores dinámicos que integren rendimiento productivo, costos y bienestar animal.
- Promover investigaciones adicionales que integren variables contextuales como temperatura ambiental y densidad poblacional.

Referencias

- Airahuacho Bautista, F. E., & Vergara Rubín, V. (2017). Evaluación de dos niveles de energía digestible en base a los estándares nutricionales del NRC (1995) en dietas de crecimiento para cuyes (*Cavia porcellus* L). *Revista de Investigaciones Veterinarias Del Perú*, 28(2), 255–264. <https://doi.org/10.15381/rivep.v28i2.13079>
- Arce Rojas, R. S. (2021). Contributions of Complexity Approaches to Innovative Forestry Development. *Investigación & Desarrollo*, 28(2), 147–167. <https://doi.org/10.14482/indes.28.2.333.75>
- Casanova-Pérez, L., Martínez-Dávila, J. P., Rosales-Martínez, V., Cruz-Bautista, P., & García-Alonso, F. (2020). Differentiation And Complexity In Agroecosystems Of The Mexican Sub-Humid Tropics. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 23(3). <https://doi.org/10.56369/tsaes.3342>
- Catalán, J. P., Pérez Carvajal, A., Roy Sadradín, D., & Chacana Yordá, C. (2024). Redefiniendo las competencias pedagógicas en la educación superior: un enfoque chileno en la complejidad de un mundo interconectado. *European Public & Social Innovation Review*, 9, 1–15. <https://doi.org/10.31637/epsir-2024-1069>
- Gonzáles Manuel, Rosales Pedro, & Rivera Juan. (2024). Procesos mínimos que garantizan la inocuidad en una planta de la industria cárnica. *Revista De Investigación Multidisciplinaria CTSCAFE*, 8(22). <https://www.ctscafe.pe/index.php/ctscafe/article/view/271>
- Holland, J. H. (2014). *Complexity: A Very Short Introduction*. Oxford University Press Oxford. <https://doi.org/10.1093/actrade/9780199662548.001.0001>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2022). Encuesta Nacional Agropecuaria 2022 Principales resultados pequeñas y medianas unidades agropecuarias 2014-2019 y 2021 – 2021. https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1912/libro.pdf
- Kuhmonen, T., Kuhmonen, I., & Huuskonen, A. (2024). Sustainability-driven regime shifts in Complex Adaptive Systems: The case of animal production and food system. *Sustainable Production and Consumption*, 52, 469–486. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2024.11.022>
- LahuertaMartínez, A. C. (2024). The dynamics of syntactic and lexical complexity measures in academic writing. *Ibérica*, 47, 251–274. <https://doi.org/10.17398/2340-2784.47.251>

- Martínez Benavides, J. A., Jurado Gámez, H., & Parreño Salas, J. J. (2022). Enfoque sistémico de la producción pecuaria.
- Meza-Rojas, E., Rodríguez-Vargas, A., Hermitaño-Osorio, F., Aquino-Tacza, A., & García-Olarte, E. (2024). Comparative evaluation of an artisanal feed supplement and four commercial feeds on the productive efficiency of growing guinea pigs. *Revista de Investigaciones Veterinarias Del Peru*, 35(4). <https://doi.org/10.15381/rivep.v35i4.28780>
- Miller, J. H. ; P. S. E. (2007). *Complex adaptive systems: an introduction to computational models of social life*. Princeton University Press.
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. (2023). Cadena productiva del cuy [Edición digital]. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/4061856/Cadena%20productiva%20de%20cuy.pdf>
- Miranda-Yuquilema, J. E., Taboada-Pico, J., Luna-Velasco, D., Cuenca-Condoy, M., & Briñez, W. (2025). Impact of agroindustrial waste fermented with bacteria and yeasts and their effect on productive, hematological and microbiota indicators in guinea pigs (*Cavia porcellus*). *Fermentation*, 11(1). <https://doi.org/10.3390/fermentation11010010>
- Mitchell, M. (2009). *Complexity A Guided Tour*. Oxford University Press New York, NY. <https://doi.org/10.1093/oso/9780195124415.001.0001>
- Nieto-Escandón, P. E., Malta-García, Y. I., Jácome-Aucay, A. S., Velesaca-Ayala, P. G., Garay-Peña, G. S., Murillo-Apolo, Y. A., Rosales-Jaramillo, C. A., & Urdaneta-Rincón, M. D. C. (2023). Assessment of different diets in the productive behavior of native guinea pigs (*Cavia porcellus*) from the andes of Ecuador | Valoración de dietas simples y mixtas para engorde de cobayos (*Cavia porcellus*) nativos de los andes del Ecuador. *Revista Científica de La Facultad de Veterinaria*, 33(2). <https://doi.org/10.52973/rcfcv-e33259>
- Oliva-Figueroa, I. G., Molina-Chávez, W. M., Quintero-Tapia, J. J., & Díaz-Barrera, N. S. (2018). Prospectiva transdisciplinaria y organización del conocimiento: una aproximación epistémica a la educación superior en la región de Magallanes, Chile. *Magallania (Punta Arenas)*, 46(2), 129–142. <https://doi.org/10.4067/S0718-22442018000200129>
- Paredes, A. M., & Goicochea, P. (2021). Effect of five diets with different neutral detergent fibre and starch ratios on productive performance, ingestive ratio, and weight of digestive organs in guinea pigs (*Cavia porcellus*) | Efecto de cinco dietas con diferentes proporciones de fibra detergente. *Revista de Investigaciones Veterinarias Del Perú*, 32(1). <https://doi.org/10.15381/RIVEPV32I1.19495>

- Pinto, J. de F., & Paula, A. P. P. de. (2018). Contribuições Da Epistemologia Qualitativa De González Rey Para Estudos Transdisciplinares. *Psicologia & Sociedade*, 30(0). <https://doi.org/10.1590/1807-0310/2018v30166100>
- Tapie, W. A., Posada Ochoa, S. L., & Rosero Noguera, R. (2024). Un acercamiento teórico a los requerimientos de energía en cuyes (*Cavia porcellus*). *Agronomía Mesoamericana*. <https://doi.org/10.15517/am.2024.57058>

Sobre los autores

Mg. Juan Manuel Kosme Sheput Moore

Ingeniero industrial y político peruano. Fue congresista de la república, durante el periodo 2016-2019, y ministro de trabajo, durante el gobierno de Alejandro Toledo (2005) y en el gobierno de Manuel Merino durante el 2020.

Estudió la carrera de ingeniería industrial en la Universidad Nacional Federico Villarreal y laboró como docente en la UNI, la UNMSM y la Universidad Ricardo Palma.

Es egresado del programa de alto gobierno de la Universidad de Los Andes, de Colombia. Así mismo, es magíster en pensamiento estratégico y prospectiva por la Universidad Externado, también de Colombia, y máster en project management por la Universidad de La Rioja, de España. Cuenta, además, con un posgrado de especialización en desarrollo regional y territorial también en la Universidad de Los Andes y ha seguido cursos de posgrado en el BID en temas de políticas públicas.

Mg. María Margoth Solórzano Vera

Ingeniera comercial en administración de empresas por la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López. Máster en dirección de recursos humanos por la Universidad de Barcelona, España. Actualmente cursa el doctorado en gerencia de empresas en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima.

Cuenta con experiencia en gestión administrativa, atención al cliente y manejo documental. Además, se ha desempeñado como docente universitaria, lo que ha fortalecido sus capacidades de organización, liderazgo y comunicación efectiva.

Mg. Ing. Betsy Katherine Cambindo Quiñónez

Ingeniera industrial, tecnóloga en mecánica industrial especialidad máquinas y herramientas y magíster en sistemas de gestión de calidad con mención en sistemas integrados, reside en la ciudad de Esmeraldas, Ecuador, y desde el año 2023 viene estudiando un doctorado en ingeniería industrial en la Universidad Nacional Mayor De San Marcos fortaleciendo su perfil como investigadora y profesional especializada en el ámbito industrial, de investigación y educativo.

Mg. Edison Johny Quevedo Zambrano

Ingeniero comercial con mención en administración de empresas agroindustriales y agropecuarias en ESPAM MFL, Ecuador. Doctorando en gestión empresarial en la UNMSM, Perú. Maestría en administración de negocios en Southern New Hampshire University, EE. UU. Maestría en seguridad industrial, salud ocupacional y relaciones comunitarias en Universidad de Piura, Perú. Reside en la ciudad de Manta, Ecuador, en la actualidad viene desempeñando las labores como gerente general de la empresa pública ESPAM MFL-EP en la dirección de proyectos públicos y privados en áreas de desarrollo productivo, innovación y gestión empresarial, también es docente universitario, ESPAM MFL de asignaturas en administración, mercadeo y canales de comercialización y realiza las labores de consultor en gestión empresarial en el diseño de planes estratégicos y de innovación para empresas públicas y privadas.

Mg. Ing. Domingo Hussein Pacheco Alvaro

Auditor MINTRA | CIP 196890 | Especialista en sistemas de gestión, seguridad y salud en el trabajo y sostenibilidad

Profesional con más de 16 años de experiencia en sectores estratégicos como minería, petróleo, construcción, manufactura y educación superior. Especialista en sistemas integrados de gestión, mejora continua, sostenibilidad, lean six sigma y seguridad ocupacional, con una sólida trayectoria en auditorías legales, implementación de normas internacionales (ISO 9001, ISO 14001, ISO 45001, ISO 50001, ISO 37001, BASC, GRS) y gestión por procesos.

Ha liderado proyectos de certificación, optimización operativa y reducción de impactos ambientales, integrando herramientas estadísticas y enfoques de economía circular.

Actualmente cursa estudios de doctorado en ingeniería industrial, consolidando una carrera enfocada en la transformación digital, la excelencia operativa y el desarrollo sostenible.

Mg. Ing. Nancy Elizabeth Barreda de Miranda

Ingeniero químico de FQIQ-UNMSM. Profesional con 20 años de experiencia en la industria textil exportadora como jefa de laboratorio textil y jefa de planta de tintorería. Docente investigadora (cátedra) de la EPITC-FII-UNMSM. Docente de maestría en la FII-UNMSM. Con estudios de doctorado en ingeniería industrial en FII-UNMSM. Coordinadora de laboratorio de fibrología y procesos textiles de EPITC.

Ha realizado pasantías en la Universidad de Texas USA 2009, Universidad Carolina del Norte al College de Textiles USA 2009, Universidad Sao Paulo Brasil 2017 y Universidad Bolivariana Medellín Colombia.

Mg. Jorge Luis Roca Becerra

Actualmente realiza doctorado en gestión de empresas en la Unidad de Posgrado en la Facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Colegiado CIP 88975, magíster en gestión de operaciones y servicios logísticos, especialización en auditoría y control logístico en ESAN y especialización en sistemas integrados de gestión en la Universidad Politécnica de Valencia España. Especialización en seguridad y salud en el trabajo. Asesor y consultor especializado en sistema de gestión integrados que incluye gestión de seguridad y salud en el trabajo y gestión ambiental en Green Environment (empresa de consultoría y asesoría ambiental inscrita en el MINAM). Docente expositor tiempo parcial en Lima y provincias en temas de la cadena de suministro (supply chain management) y administración logística integral en la Facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos UNMSM en los programas del posgrado de pre maestría y maestría FII en riesgos laborales y ambientales, así como en la maestría de operaciones y servicios logísticos de la Facultad de Ingeniería Industrial de la UNMSM.

Mg. Ing. Karen Andrea Álava Chichanda

Ingeniera en turismo y magíster en mercadotecnia con mención en turismo y hospitalidad de la Universidad Internacional SEK (2005). Reside en Bolívar, provincia de Manabí, Ecuador y desde el año 2005 viene desempeñándose como jefa de ventas en el Centro Agrícola Álava destacándose por su trabajo y su compromiso con la calidad de los servicios ofrecidos. Actualmente cursa estudios de doctorado en gerencia de empresas en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (Perú) para fortalecer sus conocimientos y sus capacidades de liderazgo, gestión estratégica e innovación.

Mg. Ing. Paola Gabriela Álava Chichanda

Ingeniera en turismo y magíster en marketing con mención en turismo y hospitalidad. Reside en Calceta, provincia de Manabí, Ecuador, y desde el año 2016 se ha desempeñado como docente, destacándose por su vocación académica y su compromiso con la educación de calidad.

Actualmente, cursa estudios de doctorado en gerencia de empresas en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (Perú), fortaleciendo su perfil como investigadora y profesional especializada en el ámbito empresarial, turístico y educativo.

Su trayectoria combina una sólida formación académica con experiencia en la enseñanza, el liderazgo académico y la promoción de un turismo sostenible e innovador.

Dr. Óscar Rafael Tinoco Gómez

Nació en Huaraz, capital del departamento de Ancash, sus estudios primarios los realizó entre Huaraz y Lima, la secundaria en la Gran Unidad Escolar Ricardo Bentín, Lima, su formación profesional la realizó en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM), donde se recibió como ingeniero industrial. Su grado de doctor lo obtuvo en la Universidad Nacional Federico Villarreal, en medio ambiente y desarrollo sostenible. Actualmente es Decano de la Facultad de Ingeniería Industrial de la UNMSM, así como docente investigador RENACYT nivel VI y coordinador del grupo de investigación “Producción más limpia”. Autor de textos universitarios y artículos científicos en revistas indexadas, impulsor de actividades de responsabilidad social universitaria y promotor de eventos científicos con participación estudiantil en la UNMSM (Ciiddeii, Codeii, Citexim, Coditex, entre otros)

Expositor en diferentes eventos internacionales como el SustexModa de la Universidad de Sao Paulo (Brasil) y el simposio internacional “Circularidad y sostenibilidad en la cadena de suministro” (CIRSOS) en la UNMSM, el IX evento internacional “La universidad en el siglo XXI”, Manabí, Ecuador, entre otros.

Mg. Julio Douglas Vergara Trujillo

Ingeniero industrial egresado de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, MBA en administración de negocios y finanzas internacionales (UCSS-Universidad de Génova)

Mg. Ronald Javier Muñante Valle

Licenciado en administración, maestro en gerencia de servicios de salud por la Universidad de San Martín de Porres, actualmente doctorando en gerencia de empresas en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, cuenta con programa de especialización en gestión por procesos de la Pontificia Universidad Católica del Perú, con amplia experiencia laboral en el sector sanitario, actualmente funcionario público desempeñando el cargo de jefe de la Oficina de Gestión y Desarrollo de la Red Asistencial Ica y docente de la Facultad de Medicina Humana de la Universidad Privada San Juan Bautista, ha sido jefe de la División de Inteligencia Sanitaria de la Red Asistencial Ica, así mismo desempeñó cargos como estadístico - planificador en el Hospital IV Augusto Hernández Mendoza, especialista en indicadores de gestión, manejo de equipo de alto rendimiento y autor principal del libro “Gestión del talento humano y desempeño laboral”.

Mg. Manuel Enrique Gonzales Aparicio

Candidato a doctor en administración de negocios (Miami, EE.UU.) y doctorando en ingeniería industrial en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (Perú). Ingeniero industrial, con un MBA por EUDE Business School (México/España), una maestría en dirección de empresas industriales y de servicios por la UNMSM, además de especializaciones en gestión pública, finanzas y supply chain management.

Cuenta con más de veinte años de experiencia profesional, incluyendo cargos directivos en los sectores industrial y logístico, y funciones de gestión en el sector público. Actualmente se desempeña como docente universitario en gestión de procesos, logística e innovación, además de asesorar tesis y participar en proyectos académicos internacionales.

Es autor principal de artículos científicos publicados en revistas académicas indexadas en Latindex y Google Scholar, entre ellos “ Procesos mínimos que garantizan la inocuidad en una planta de la industria cárnica ” (2024). Sus líneas de investigación se enfocan en manufactura esbelta, industria 4.0 y prospectiva estratégica.

Mg. Karenth Elena Ramírez Álvarez

Ingeniera químico de profesión, con maestría en ingeniería ambiental y desarrollo sustentable de la Pontificia Universidad Católica Argentina – sede Rosario, cursando el 5to ciclo de doctorado en ingeniería industrial en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Docente con 8 años de experiencia en la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana -UNAP, en el departamento académico de ingeniería química. Docente de los cursos de ingeniería en gestión industrial, cinética y diseño de reactores y tratamiento de aguas.

Mg. Ing. Jessica Gisell Valdivia Cuentas

Doctorando en Ingeniería Industrial en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Magister en Dirección de empresas en la Universidad ESAN e Ingeniera Industrial de la Universidad Nacional San Agustín de Arequipa. Fue directora de la Escuela de Ingeniería Industrial (2020-2023) en la Universidad Católica San Pablo y en la actualidad se viene desempeñando como docente a tiempo completo y dictando cursos relacionados a Gestión y Procesos. Líder del foco de Internacionalización en el Departamento de Ingenierías de la Industria y el ambiente, forma parte del comité de calidad de la Escuela de Ingeniería Industrial de dicha universidad, además de poseer una gran experiencia en trabajo de acreditación modelo ICACIT y ABET.

