



Plataforma de Agricultura 4.0 para la gestión inteligente de la Empresa
CONACADO como un biosistema agroalimentario de cacao en la República
Dominicana en el periodo 2023-2025

TESIS DOCTORAL

Para obtener el Grado de PhD.

DOCTOR EN DIRECCIÓN DE PROYECTOS

PRESENTA

Luis Manuel Castillo Cobas

ASESOR

Dr. Juan Alfredo Lino Gamiño

México, 2025

La presente Tesis Doctoral debe ser citada como:

Castillos Cobas, Luis Manuel (2025). Plataforma de Agricultura 4.0 para la gestión inteligente de la Empresa CONACADO como un Biosistema Agroalimentario de CACAO en la República Dominicana en el periodo 2023-2025. [Tesis de Doctorado de la Universidad de Investigación e Innovación de México - UIIX]



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Se permite la reproducción total o parcial y la comunicación pública de la obra con reconocimiento de la autoría y mención de la Universidad de Investigación e Innovación de México - UIIX.

No se permite el uso comercial ni la creación de obras derivadas.

Resumen.

La presente investigación tiene como objetivo diseñar una plataforma de Agricultura 4.0 orientada a la gestión inteligente de CONACADO, concebida como un biosistema agroalimentario de cacao, integrando dimensiones productivas, ambientales, organizacionales y tecnológicas. El estudio se desarrolló bajo un enfoque metodológico mixto, combinando análisis cuantitativo longitudinal de la producción cacaotera (2015–2025), indicadores ambientales derivados de la teledetección (estrés hídrico y deforestación), modelación espacio–temporal predictiva mediante técnicas de aprendizaje automático (Random Forest y XGBoost) y análisis cualitativo a partir de encuestas y entrevistas a productores, técnicos y directivos.

Los resultados evidencian una relación inversa de magnitud media entre el estrés hídrico y la producción de cacao, así como la capacidad explicativa y predictiva de los modelos de aprendizaje automático para estimar el comportamiento futuro del estrés hídrico en parcelas seleccionadas. Asimismo, la validación técnica, social y funcional del prototipo conceptual (Mockup) de la plataforma mostró un alto nivel de aceptación por parte de los actores de la cadena de valor, con promedios superiores al punto medio de la escala evaluada en todas las dimensiones analizadas.

La investigación concluye que el diseño de una plataforma de Agricultura 4.0 para CONACADO es técnica, funcional y socialmente viable, y constituye una herramienta con alto potencial para mejorar la toma de decisiones, la productividad, la sostenibilidad socioambiental, la trazabilidad y la competitividad internacional del sector cacaotero, aportando además un marco metodológico replicable para sistemas agroalimentarios complejos en contextos tropicales.

Palabras clave: Agricultura 4.0, cacao, biosistema agroalimentario, estrés hídrico, teledetección, aprendizaje automático, trazabilidad, sostenibilidad, plataformas digitales agroindustriales.

Abstract.

This research aims to design an Agriculture 4.0 platform for the intelligent management of CONACADO, conceived as a cocoa agri-food biosystem, integrating productive, environmental, organizational, and technological dimensions during the period 2023–2025. A mixed-methods approach was adopted. The quantitative component included a longitudinal analysis of cocoa production (2015–2025), the estimation of water stress and deforestation indicators using remote sensing data (Sentinel-2), and spatial-temporal predictive modeling through multivariate regression and machine learning techniques (Random Forest and XGBoost). The qualitative component was based on surveys and semi-structured interviews with producers, technicians, and managers, as well as the technical, social, and functional validation of a conceptual platform prototype (mockup).

The results demonstrate a moderate inverse relationship between water stress and cocoa production, as well as the explanatory and predictive capacity of machine learning models to estimate the future behavior of water stress in selected plots. Furthermore, the technical, social, and functional validation of the platform's conceptual prototype (mockup) showed a high level of acceptance among stakeholders in the value chain, with averages above the midpoint of the evaluated scale in all analyzed dimensions.

The study concludes that the proposed Agriculture 4.0 platform is technically, functionally, and socially viable, and has strong potential to enhance decision-making processes, productivity, socio-environmental sustainability, traceability, and international competitiveness of the Dominican cocoa sector, providing a replicable methodological framework for complex agri-food systems in tropical contexts.

Keywords: Agriculture 4.0, cocoa, agri-food biosystem, water stress, remote sensing, machine learning, traceability, sustainability, digital agro-industrial platforms.

Agradecimientos.

Para un doctorando es muy común mostrar agradecimiento a ciertos actores, ya que no es posible culminar con éxito sin que varios de ellos contribuyan significativamente al soporte del desempeño de una labor como esta. Primeramente quiero agradecer a Dios porque he apelado a él en cada momento de mi vida en busca de la fuerza y el entendimiento que he necesitado para llegar a todo lo que hoy tengo y he soñado. En paralelo a ello, debo mencionar a mi gran familia, mis padres Minerva y Luis, que desde la eternidad monitorean mi desempeño como ser humano y en conjunto con todos mis hermanos, los cuales han compartido el rol de la paternidad con mis progenitores para poder otorgarme una vida digna y plena.

No puedo concluir mis agradecimientos sin mencionar a la Universidad UIIX y sus docentes, en especial, a los asesores, el Dr. Pedro L. Díaz Fernández y el Dr. Juan Alfredo Lino Gamiño, quienes me han otorgado la asesoría pertinente para la tesis. También quiero hacer mención a mis profesores de Cuba, de los cuales he adquirido el pan del conocimiento, el cual puedo exhibir con orgullo, en todas las tierras por las que he peregrinado, en especial a mis profesores de la Facultad de Física del ISPEVJ, los del departamento de Estadísticas Matemáticas de la Facultad de Economía de la Universidad de la Habana y los del Instituto de Ciencias y Tecnologías Nucleares, muy particularmente al Dr. Jesús Rubayo Soneira, decano de la Facultad y gran amigo, de conjunto al Dr. Manuel Hernández Veles, mi tutor en investigaciones en el campo de la Electrodinámica y la Cuántica.

Y por último, como todo buen emigrante, a mis colegas y amigos de mi segunda patria, la República Dominicana, los cuales me han dado abrigo desde mi llegada, muy particularmente al staff de la Fundación de Investigación para los Biosistemas Agroalimentarios (FIBA), la alta gerencia de la Empresa CONACADO, donde me he desempeñado como consultor agroindustrial, muy especialmente al Dr. Cesar Ernesto López Cabrera, gran científico y amigo, el Sr. Isidoro de la Rosa, presidente de CONACADO, la Señorita Evelyn de la Cruz y mi hijo Daniel Morales, que junto a este soñador estamos cambiando el paradigma de la Bioeconomía, la Agroecología y la Agrotecnología Dominicana.

Dedicatorias.

A: Minerva Cobas Matos y Luis Castillo Díaz (In Memoriam), por ser mis faros de luz en todos mis momentos de vida.

A: Mis hijos Luis Enrique, Claudia Lorey, Luz Daniela y Daniel, que son la razón de mi existencia, quienes han aceptado con disciplina el despojo de mi atención en busca de una mejor vida para todos.

A: Mi adorada esposa, Danisa Morales Valverde de Castillo, o mejor dicho, a mi Sancho para quien la renuncia nunca fue una opción, a pesar del peso de mis armaduras y el tamaño de los molinos a los que nos hemos tenido que enfrentar.

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	25
Capítulo 1. Proyección de la investigación.	32
1.1. Línea de investigación de la Universidad de Innovación e Investigación de México y su ámbito de estudio.	32
1.2. Planteamiento del problema.	34
1.3. Formulación del problema (Pregunta de investigación).	42
1.4. Justificación.	45
1.5. Objeto de estudio.	46
1.6. Campo de acción.	47
1.7. Objetivos.	47
1.7.1. Objetivo General.	47
1.7.2. Objetivos específicos.	47
1.8. Hipótesis.	48
1.9. Alcance temático.	48
1.10. Delimitación Espacial y Temporal.	50
CAPÍTULO 2. Fundamentos Teóricos Referenciales.	52
2.1. Estado del arte (Marco Histórico y Actual).	53
2.2. Marco Teórico.	57
2.2.1. Fundamentos teóricos de la adopción tecnológica y la transformación organizacional en biosistemas agroalimentarios.	57
2.2.1.1. Marco de trabajo Tecnología–Organización–Entorno (TOE).	57
2.2.1.2. El Modelo de Aceptación de Tecnología (TAM).	58
2.2.1.3. Teoría de Recursos y Capacidades (RBV).	59
2.2.1.4. Teoría de Capacidades Dinámicas.	59
2.2.1.5. Integración conceptual del modelo propuesto	60
2.2.2. Agricultura 4.0: Conceptos, Tecnologías Emergentes y Digitalización.	61
2.2.3. Las Biofábricas de Fertilizantes Orgánicos y los Biosistemas Agroalimentarios.	73
2.2.3.1. Tipos de bioproductos generados en una biofábrica y el modelo de decisión.	75
2.2.3.2 Integración de biofábricas en sistemas ciberfísicos agroalimentarios	77
2.2.4. Automatización Industrial y el Modelo RAMI 4.0.	81
2.2.5. El uso de drones y el análisis hiperspectral en Agricultura 4.0.	88
2.2.6. Los biosistemas agroalimentarios de cacao como organizaciones inteligentes.	92
2.2.6.1. Integración de Tecnologías: Convergencia de Agricultura 4.0, RAMI 4.0, Teledetección y Business Intelligence.	97

2.2.6.1.1. Las metodologías CRISP-DM y de Ralph Kimball en el proceso de integración tecnológica de un biosistema agroalimentario de cacao.	98
2.2.6.2. La analítica aumentada y la ingeniería de características (variables) en la gobernanza de los biosistemas basada en datos generados por la Inteligencia Artificial.	109
2.2.6.3. Control de la dinámica etaria del árbol de cacao y la gestión de viveros/clones desde un sistema agroregenerativo 4.0.	112
2.2.6.4. Trazabilidad y Sostenibilidad en la Cadena de Valor del Cacao.	116
2.2.7. La gestión de proyectos de Agricultura 4.0 y las metodologías ágiles para abordar la incertidumbre de los biosistemas agroalimentarios.	120
2.2.8. Conclusiones del Estado del Arte y Brecha en la Literatura.	123
2.3. Marco Conceptual.	125
2.3.1. Las Plataformas de Agricultura 4.0.	125
2.3.2. La Gestión Inteligente de CONACADO como un Biosistema Agroalimentario de Cacao.	127
2.4. Marco Contextual.	131
2.4.1. Historia y estructura de CONACADO.	131
2.4.2. Importancia del cacao en la economía y cultura dominicana.	134
2.4.3. Problemáticas y desafíos en la producción de cacao.	136
2.4.4. Diagnóstico de la cadena de valor del cacao en la empresa.	136
2.4.5. Infraestructura tecnológica y capacidades digitales actuales.	138
2.5. Marco Legal y Normativo.	139
2.5.1. Fundamentación jurídica nacional.	139
2.5.2. Normas y estándares internacionales aplicables	140
2.5.3. Políticas nacionales y regionales	141
2.5.4. Normas éticas, ambientales y de datos	142
Capítulo 3. Fundamentos metodológicos y resultados de investigación.	144
3.1. Cuadro de Operacionalización de las variables.	144
3.2. Diseño metodológico.	147
3.2.1. Definición del enfoque, diseño y tipo de investigación de la tesis.	147
3.2.2. Definición de métodos, técnicas e instrumentos para la obtención de datos.	149
3.2.3. Determinación de la muestra y su criterio de selección.	154
3.3. Trabajo de campo (o Presentación de evidencias, si corresponde).	156
3.4. Aplicación de los instrumentos.	157
3.5. Procesamiento de la información.	159
3.6. Análisis de los resultados de los datos obtenidos.	161
3.6.1. Análisis de los resultados de la entrevista aplicada a los directivos de Conacado.	161
3.6.2. Análisis de los resultados de la entrevista aplicada a los técnicos de	

Conacado.	170
3.6.3. Análisis de los resultados del cuestionario aplicado a los productores de Conacado.	180
3.6.4. Análisis de los resultados de la modelación computacional de variables climáticas y productivas de productores de Conacado.	196
3.6.5. Análisis de los resultados del cuestionario aplicado a un grupo mixto de stakeholders para la validación técnica, social y funcional de un prototipo de plataforma de agricultura 4.0 para Conacado.	210
3.6.6. Análisis de los resultados para la validación de la hipótesis de investigación.	223
3.7. Redacción de resultados y discusión.	231
Capítulo IV: PROPUESTA DE TRANSFORMACIÓN	240
4.1. Fundamentación de la propuesta de transformación.	241
4.2. Estructura de la propuesta de transformación.	242
4.3. Valoración/evaluación/validación de la propuesta de transformación.	268
4.3.1. Validación de la propuesta mediante criterio de expertos.	274
CONCLUSIONES	281
RECOMENDACIONES	288
BIBLIOGRAFÍA	292
Anexo 1. Cuadro comparativo de bioinsumos para cacao orgánico y su correspondiente Matriz de decisión.	324
Anexo 2. Matriz de decisión de bioinsumos para cacao orgánico.	326
Anexo 3. Tipos de modelos de Minería de Datos aplicados un Biosistema Agroalimentario 4.0 de cacao.	327
Anexo 4. Plan de despliegue del trabajo de campo de la investigación.	328
Anexo 5. Aplicación del test Alpha de Cronbach a cuestionario de productores de Conacado.	329
Anexo 6. Matriz de Indicadores de Primer Nivel de Conacado (2025 -2030).	330
Anexo 7. Matriz de Indicadores de Segundo Nivel (ISN) de Conacado.	332
Anexo 8. Diseños estructurales de la biofábrica conectada del fabricante ALane.	334
Anexo 9. Plan de desarrollo de la propuesta transformadora por etapas.	337
Anexo 10. Cronograma de ejecución de la propuesta transformadora.	338
Anexo 11. Sobre proyecto para el plan Meta 2036 de la presidencia.	340
Anexo 12. Estimaciones de estrés hídrico y caracterización espacial en fincas.	347
Anexo 13. Infraestructura tecnológica que soporta el sistema de gestión de Conacado.	350
Anexo 14. Guía de entrevista para Directivos de CONACADO.	352
Anexo 15. Entrevista para Técnicos y Coordinadores de Campo.	352

Anexo 16. Encuesta para Productores de Cacao Afiliados a CONACADO.	353
Anexo 17. Encuesta para un grupo Mixto Stakeholders y productores de Cacao Afiliados a CONACADO.	355
Anexo 18. Resultados de las dimensiones en la encuesta a grupos de productores, técnicos y dirigentes de Conacado.	357
Anexo 19 Resultados de análisis longitudinal (2015-2025) de la producción anual de una muestra intencional de productores de Conacado.	358
Anexo 20. Resultados de la Evaluación cualitativa de los instrumentos aplicado en la investigación por los expertos.	361

Índice de gráficas.

Figura 1. Evolución de la población mundial, desde 1750 hasta el año 2050.	35
Figura 2. Gráfica del Mapa Internacional de la degradación de suelos.	35
Figura 3. Relación entre los fundamentos de la bioeconomía y los ODS.	39
Figura 4. Visión de la Bioeconomía en relación con la Agricultura y la Agroindustria.	40
Figura 5. Evolución de la Revolución Industrial.	52
Figura 6. Modelo teórico de adopción tecnológica y transformación organizacional en biosistemas agroalimentarios.	60
Figura 7. El ciclo ciberfísico de gestión agrícola.	61
Figura 8. Flujo genérico de las Plataformas IoT con drones o Microcontroladores para monitoreo edafoclimáticos.	62
Figura 9. Sensor NPK de suelos agrícolas.	67
Figura 10. Georreferenciación de puntos dentro de las parcelas para análisis de edafológico de parcelas.	68
Figura 11. Modelo de una red NeuroDifusa para las clases de fertilidad de las parcelas.	69

	10
Figura 12. Mapa de fertilidad de una parcela obtenido por FKCN.	69
Figura 13. Mapa de reflectancia de una parcela desde un DRON.	70
Figura 14. Proceso de gestión integral de agricultura sostenible.	71
Figura 15. El Modelo RAMI 4.0 para la digitalización de los procesos en Industria 4.0.	81
Figura 16. La pirámide CIM.	82
Figura 17. Aportes del modelo RAMI 4.0 sobre ISO/IEC 62264	83
Figura 18. Topología RAMI 4.0 para los elementos ciberfísicos del biosistema	84
Figura 19. Flujo AAS entre empresas de la cadena de valor de una Industria.	85
Figura 20. Estructura interna de un sensor hiperspectral de barrido	86
Figura 21. Formación de un cubo hiperspectral.	87
Figura 22. Dron DJI M350 RTK con cámara espectral 400-1700nm.	87
Figura 23. Diagrama de flujo del preprocesamiento y procesamiento de imágenes hiperspectrales.	89
Figura 24. Pirámide de conocimiento aplicada a los sistemas de información e inteligencia de negocios.	93
Figura 25. La estructura de inteligencia de negocios.	94
Figura 26. Ciclo de vida de la minería de datos.	96
Figura 27. Ciclo de Vida de Kimball.	99
Figura 28. Matriz Bus de Kimball.	99
Figura 29. Diseño Dimensional tipo estrella de Kimball.	100

Figura 30. La contribución de los datamarts en DW de un BI.	101
Figura 31. Cubos OLAP	103
Figura 32. Dashboard del Datamart de Clima y Suelo.	104
Figura 33. Inteligencia Agroregenerativa a partir de CRIPS DM	109
Figura 34. Capa de la IA Regenerativa del Biosistema 4.0 y su estructura.	110
Figura 35. Análisis de la productividad del cacao de acuerdo con la edad.	111
Figura 36. Flujo de trabajo automatizado de una IA agroregenerativa.	113
Figura 37. Etapas de la metodología Design Thinking	119
Figura 38. Design Thinking y SCRUM metodologías complementarias	121
Figura 39. Figura del modelo conceptual de la investigación.	122
Figura 40. Mapa de procesos de CONACADO.	130
Figura 41. Desafíos del grupo empresarial CONACADO para enfrentar la transformación digital.	160
Figura 42. Papel que juega la innovación tecnológica en la competitividad del cacao dominicano.	161
Figura 43. Evaluación actual de los mecanismos de trazabilidad en la cadena de valor del cacao.	162
Figura 44. Beneficios esperados de una plataforma integrada con blockchain y BI.	163
Figura 45. Conacado cuenta con las capacidades técnicas y humanas suficientes para operar una plataforma 4.0.	164
Figura 46. Tipo de soporte o capacitación que la institución considera necesaria.	165

Figura 47. Contribución de la plataforma al cumplimiento de estándares y certificación internacional.	166
Figura 48. Indicadores que pudieran medir el éxito de implementación de la Plataforma.	167
Figura 49. Tipo tecnologías utilizan actualmente en el monitoreo de cultivos.	169
Figura 50. Técnicos que han recibido capacitación sobre sensores, drones o plataformas digitales.	170
Figura 51. Método de recopilar, procesar y compartir los datos agronómicos y productivos.	171
Figura 52. Limitaciones enfrentan los técnicos en el acceso o manejo de datos.	172
Figura 53. Beneficios generales que aportará la plataforma 4.0.	173
Figura 54. Riesgos previstos en la implementación de la nueva plataforma.	174
Figura 55. Nivel de acompañamiento que requieren los técnicos de CONACADO.	175
Figura 56. Tipo de capacitación considerada prioritaria para los técnicos.	176
Figura 57. Cantidad de productores orgánicos certificados en la muestra.	180
Figura 58. Productores que utilizan herramientas digitales en su producción.	181
Figura 59. Uso de las principales tecnologías para el manejo y operación de la producción.	182
Figura 60. Tipo de tecnología le gustaría incorporar al productor.	184
Figura 61. Puede la tecnología mejorar la productividad de sus fincas.	185
Figura 62. El uso de sensores y drones ayuda a reducir pérdidas y plagas.	186

Figura 63. Disposición de los productores a aprender y usar una aplicación digital para gestionar sus fincas.	187
Figura 64. La trazabilidad digital aumentará el valor de su producto (cacao) en el mercado.	188
Figura 65. Nivel de confianza de los productores en el respaldo de Conacado.	189
Figura 66. Cantidad de productores que cuentan con internet estable en su finca.	191
Figura 67. Disposición de tecnología inteligente por parte del productor.	192
Figura 68. Disposición de los productores a participar en un programa de capacitación digital.	193
Figura 69. Valores de Producción e indicadores para el productor A.	197
Figura 70. Serie mensual de HWSI para el 2025 de la finca (7-14-033-1).	203
Figura 71. Valor HWSI predicho vs observado (2025).	204
Figura 72. Distribución de errores de la estimación de la serie HWSI 2025.	204
Figura 73. Georreferenciación de la finca (7-14-033-1) en QGIS.	205
Figura 74. Capa raster de la finca con la distribución espacial del HWSI.	206
Figura 75. Validación de la interfaz del prototipo de AgrosTIC 4.0.	209
Figura 76. Utilidad de los módulos de monitoreo, trazabilidad y de gestión productiva en la gestión del cacao.	210
Figura 77. Cómo la plataforma aportará a la toma de decisiones técnicas o de gestión.	211
Figura 78. Las funcionalidades del Dashboard.	212

Figura 79. Utilidad de la visualización de los datos con QGIS.	213
Figura 80. Nivel de fortalecimiento de la cooperación entre productores y técnicos al utilizar AgrosTIC 4.0.	214
Figura 81. Mejorar la transparencia y trazabilidad del Cacao orgánico.	215
Figura 82. Las facilidades que ofrece AgrosTIC 4.0 para la capacitación y adopción digital.	216
Figura 83. Contribución de AgrosTIC a la sostenibilidad social y económica de las comunidades.	217
Figura 84. Nivel de aceptación de AgrosTIC 4.0 por los miembros de la organización.	218
Figura 85. Disposición al uso de la plataforma AgrosTIC 4.0.	219
Figura 86. Mapa general de procesos de Conacado modificado.	245
Figura 87. Cuadro de mando integral de Conacado.	246
Figura 88. Estructura dimensional del DataWarehouse de Conacado 4.0.	249
Figura 89. Flujo del procedimiento para la obtención de los gemelos digitales de las fincas de Cacao.	250
Figura 90. Procedimiento de gestión de la información con drones agrícolas en AgrosTIC 4.0.	251
Figura 91. Imágenes de los dispositivos que acceden a AgrosTIC 4.0.	255
Figura 92. Imagen de AgrosTIC 4.0 para roles fundamentales.	256
Figura 93. Cuaderno de finca de AgrosTIC 4.0.	256
Figura 94. Chatbots Agras de la plataforma.	257

Figura 95. Consola del técnico extensionista.	258
Figura 96. Plataforma MES de la Biofábrica conectada.	258
Figura 97. Sistema SCADA de la Biofábrica de insumos del ALane.	259
Figura 98. Sistema BI del Biosistema Conacado 4.0.	260
Figura 99. Herramienta Power BI como soporte a las decisiones para los biosistemas agroalimentarios.	260
Figura 100. Sistema de trazabilidad del biosistema de Conacado 4.0.	261
Figura 101. Evaluación de la propuesta en las dimensiones técnica, social y organizativa-funcional.	271
Figura 102. Modelo capacidades funcionales de AgrosTIC 4.0 en función de la evaluación técnica.	274
Figura 103. Modelo capacidades funcionales de AgrosTIC 4.0 en función de la aceptación social.	275

Índice de tablas.

Tabla 1. Sobre las etapas de la agricultura en relación con la revolución industrial.	53
Tabla 2. Las principales fuentes de conceptos y herramientas en BI.	93
Tabla 3. Componente de una estructura estrella del DW de Kimball.	101
Tabla 4. Ejemplos de Diseño de los Datamarts para CONACADO.	102
Tabla 5. Algunos kpi importantes del Datamart Clima Suelo.	105
Tabla 6. Tipos de modelos de algoritmos de minería de datos.	106
Tabla 7. Relación simbiótica analítica aumentada e Ingeniería de características en CRIPS DM	109
Tabla 8. Matriz Visual de Decisión (Edad × Problema Ambiental × Clon)	112
Tabla 9. Cuadro comparativo entre las metodologías Design Thinking y SCRUM.	120
Tabla 10. Tecnologías que integran las plataformas de Agricultura 4.0	123
Tabla 11. Sistema de gestión inteligente de un biosistema agroalimentario de cacao.	126

Tabla 12. Factores intervinientes entre las variables objeto de estudio.	129
Tabla 13. Cuadro de Operacionalización de las Variables de la Investigación.	143
Tabla 14. Técnicas e instrumentos utilizados en la investigación.	149
Tabla 15. Cronograma para el desarrollo de la investigación.	151
Tabla 16. Unidades de muestreo de la investigación.	153
Tabla 18. Muestreo intencional para grupo de validación de prototipo.	154
Tabla 19. Desafíos del grupo empresarial CONACADO para enfrentar la transformación digital.	160
Tabla 20. Papel que juega la innovación tecnológica en la competitividad del cacao dominicano.	161
Tabla 21. Evaluación actual de los mecanismos de trazabilidad en la cadena de valor del cacao.	162
Tabla 22. Beneficios esperados de una plataforma integrada con blockchain y BI.	163
Tabla 23. ¿Conacado cuenta con las capacidades técnicas y humanas suficientes para operar una plataforma 4.0?	164
Tabla 24. Tipo de soporte o capacitación que la institución considera necesaria.	165
Tabla 25. Contribución de la plataforma al cumplimiento de estándares y certificación internacional.	166
Tabla 26. Indicadores que pudieran medir el éxito de implementación de la Plataforma.	167
Tabla 27. Tipo de tecnologías que utilizan actualmente en el monitoreo de cultivos.	168

Tabla 28. Técnicos que han recibido capacitación sobre sensores, drones o plataformas digitales.	169
Tabla 29. Método de recopilar, procesar y compartir los datos agronómicos y productivos en Conacado.	170
Tabla 30. Limitaciones enfrentan los técnicos en el acceso o manejo de datos.	171
Tabla 31. Beneficios generales que aportará la plataforma 4.0.	173
Tabla 32. Riesgos o dificultades previstos en la implementación de la nueva plataforma.	174
Tabla 33. Nivel de acompañamiento que requieren los técnicos de CONACADO.	175
Tabla 34. Tipo de capacitación considerada prioritaria para los técnicos.	176
Tabla 35. Escala numérica para variables categóricas en encuesta a productores.	179
Tabla 36. Cantidad de productores orgánicos certificados en la muestra.	180
Tabla 37. Productores que utilizan herramientas digitales en su producción.	181
Tabla 38. Uso de las principales tecnologías para el manejo y operación de la producción.	182
Tabla 39. ¿Qué tipo de tecnología le gustaría incorporar al productor?	183
Tabla 40. Puede la tecnología mejorar la productividad de sus fincas.	184
Tabla 41. El uso de sensores y drones ayuda a reducir pérdidas y plagas.	186
Tabla 42. Disposición de los productores a aprender y usar una aplicación digital para gestionar sus fincas.	187
Tabla 43. La trazabilidad digital aumentará el valor de su producto (cacao) en el mercado.	188

Tabla 44. Nivel de confianza de los productores en el respaldo de Conacado.	189
Tabla 45. Cantidad de productores que cuentan con internet estable en su finca.	190
Tabla 46. Disposición de tecnología inteligente por parte del productor.	192
Tabla 47. Disposición de los productores a participar en un programa de capacitación digital.	193
Tabla 48. Relación de productores para el análisis de estrés hídrico y el nivel de producción vendida a Conacado.	196
Tabla 49. Valores de Producción e indicadores para el productor A.	196
Tabla 50. Clasificación del estrés hídrico en cultivos tropicales perennes.	202
Tabla 51. Validación de la interfaz del prototipo de AgrosTIC 4.0.	208
Tabla 52. Los módulos de monitoreo, trazabilidad y de gestión productiva son útiles para la gestión del cacao.	209
Tabla 53. Cómo la plataforma aportará a la toma de decisiones técnicas o de gestión.	210
Tabla 54. Las funcionalidades del Dashboard.	211
Tabla 55. Utilidad de la visualización de los datos con QGIS.	212
Tabla 56. Nivel de fortalecimiento de la cooperación entre productores y técnicos al utilizar AgrosTIC 4.0.	213
Tabla 57. Mejorar la transparencia y trazabilidad del cacao orgánico.	214
Tabla 58. Las facilidades que ofrece AgrosTIC 4.0 para la capacitación y adopción digital.	215
Tabla 59. Contribución de AgrosTIC a la sostenibilidad social y económica de las comunidades.	216

Tabla 60. Nivel de aceptación de AgrosTIC 4.0 por los miembros de la organización.	217
Tabla 61. Disposición al uso de la plataforma AgrosTIC 4.0.	218
Tabla 62. Sugerencias de mejoras y posibles obstáculos para la implementación de AgrosTIC 4.0.	219
Tabla 63. Resultado de la prueba t a la validación técnica, social y funcional del Mockup AgrosTIC 4.0.	225
Tabla 64. Matriz variables en indicadores de la propuesta.	242
Tabla 65. Matriz Bus de Kimball de Conacado.	248
Tabla 66. Módulos de AgrosTIC 4.0.	252
Tabla 67. Matriz de riesgo de la propuesta transformadora.	264
Tabla 68. Matriz RACI de la propuesta transformadora.	264
Tabla 69. Presupuesto estimado para el desarrollo del proyecto.	265
Tabla 70. Evolución de la productividad esperada en el sector (2026 -2036).	266
Tabla 71. Matriz de Impacto - Productividad - kpi.	267
Tabla 72. Matriz de análisis multidimensional de la viabilidad socioeconómica.	267
Tabla 73. Matriz de contribución al plan Meta 2036.	268
Tabla 74. Evaluación de la propuesta AgrosTIC 4.0 por criterio de expertos	270

Relación de abreviaturas y símbolos.

Abreviaturas y Símbolos:	
WEF	Foro Económico Mundial.
GIS	Sistemas de información geográfica.
IoT	Internet de las Cosas.
MIS	Sistema de gestión de la información.
RAMI 4.0	Modelo conceptual de la 4ta Revolución industrial.
IA	Inteligencia Artificial.
MES	Sistema de Ejecución de la Producción.
ERP	Sistema de Planificación de los recursos empresariales.
SCADA	Sistema de Supervisión , Control y Adquisición de Datos
OLAP	Procesamiento Analítico en Línea.
ML	Aprendizaje automático
CPS	Sistemas Ciberfísicos
KPI	Indicadores claves de rendimientos
BI	Inteligencia de Negocio.
DW	Almacén de Datos.
ISO	Organización de Normas Internacionales.
CRISP-DM	Procesos estandarizados para la Minería de Datos.
FMIS	Sistema de Gestión de la Información de Aplicaciones Agrícola.
ONU	Organización de las Naciones Unidas.
ODS	Objetivos del desarrollo Sostenible.
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
BID	Banco Interamericano de Desarrollo.
ANN	Redes Neuronales Artificiales.
MARD	Ministerio de Agricultura de República Dominicana.
MOLAP	Procesamiento Analítico en Línea Multidimensional.
TICs	Tecnologías de Información y la Comunicaciones.
DPP	Pasaporte Digital de Finca o productores.
CIM	Computación Integrada a la Manufactura.

INTRODUCCIÓN

El Foro Económico Mundial WEF (2024), señala que el escenario global contemporáneo estará condicionado por un conjunto de fuerzas estructurales que configurarán los principales riesgos globales en las próximas décadas. Entre estas fuerzas destacan el cambio climático, el crecimiento poblacional, la aceleración tecnológica y las transformaciones geoestratégicas y del poder político. Esta dinámica configura un espacio global marcado por la incertidumbre y la volatilidad, en el cual las sociedades e instituciones enfrentan crecientes desafíos adaptativos para responder de manera eficaz a dichos riesgos globales.

En este contexto, el crecimiento demográfico proyectado a escala global implica un aumento sostenido en la demanda de alimentos, lo que intensifica la presión sobre los sistemas agroproductivos y los recursos naturales. Esta dinámica ha conducido históricamente a una intensificación del uso de insumos agrícolas, como fertilizantes y pesticidas, así como a una mayor exigencia en el monitoreo de la productividad y la calidad de los suelos. Sin embargo, el incremento de la producción bajo esquemas convencionales ha evidenciado importantes externalidades negativas, particularmente en términos de degradación ambiental, pérdida de biodiversidad y vulnerabilidad de los ecosistemas agrícolas frente al cambio climático.

Ante este escenario, la búsqueda de modelos productivos capaces de conciliar productividad, sostenibilidad y resiliencia se ha convertido en una prioridad para

productores, gobiernos, científicos e ingenieros agroindustriales. En este sentido, la agroecología se ha consolidado como uno de los enfoques científicos más relevantes para la comprensión y gestión de la complejidad inherente a los sistemas agroproductivos, al integrar dimensiones ecológicas, sociales y económicas en el análisis de los procesos agrícolas (Nicholls & Altieri, 2000). No obstante, si bien la agroecología aporta un marco conceptual sólido, persisten desafíos significativos en su operacionalización a gran escala y en su articulación con herramientas tecnológicas avanzadas que permitan una gestión eficiente y basada en datos.

Paralelamente, la aceleración tecnológica identificada por el WEF (2024) ha impulsado procesos de transformación digital en prácticamente todos los ámbitos del quehacer humano, incluido el sector agroindustrial. Diversos autores coinciden en que la transformación digital implica un cambio estructural en los modelos de gestión productiva, basado en la integración sistemática de datos en los procesos operativos y en la toma de decisiones (Wolfert et al., 2017). En el ámbito agrícola, este enfoque ha dado lugar a conceptos como Agricultura Inteligente, Agricultura Digital o Agricultura 4.0, los cuales hacen referencia a la incorporación de tecnologías propias de la Cuarta Revolución Industrial, como el Internet de las Cosas, la inteligencia artificial, el análisis de grandes volúmenes de datos y la automatización, con el propósito de optimizar los sistemas productivos.

En esta dirección, Poppe, Wolfert y Verdouw (2015), como se citó en Sargana García (2021), señalan que la transformación digital en la agricultura asegura aumentar la eficiencia en la producción de materias primas agrícolas y ganaderas, utilizando el conocimiento factual de la realidad de las explotaciones en todas las dimensiones posibles. Donde el objetivo actual no es solo maximizar la producción o minimizar los costos, sino que la transformación digital, además de optimizar los factores económicos de las organizaciones productivas, busca al mismo tiempo mejorar la sostenibilidad de los agricultores y del contexto socioambiental en el que se desarrolla la actividad.

Para poder lograr estos objetivos superiores, aparte de la transformación digital de la agricultura, también tratará de integrar otras soluciones como la biotecnología,

bioeconomía, circularidad, descarbonización y transición agroecológica (Consultora ATKearney 2016; Laugerette and Stöckel 2016; Walker et al. 2016; Dongoski, Selck and Buie 2017; Andrew Penn 2018; DLG 2018), como se citó en (Sargana García, 2021) .

Desde una perspectiva organizacional, estos procesos pueden ser comprendidos a la luz del concepto de organizaciones inteligentes, entendido como la capacidad de las organizaciones para gestionar el conocimiento y utilizar la información de manera estratégica en sus procesos adaptativos y de toma de decisiones (Choo, 2002). Esta noción resulta especialmente pertinente para el análisis de los sistemas agroproductivos contemporáneos, en los cuales la generación, integración y análisis de datos provenientes de múltiples fuentes se convierten en un factor clave para la competitividad y la sostenibilidad.

En el contexto de la República Dominicana, el cacao (*Theobroma cacao L.*) se posiciona como el principal producto agropecuario de exportación (MEPyD, 2024). No obstante, pese al crecimiento sostenido del valor exportado, diversos estudios evidencian persistentes limitaciones en los niveles de productividad del sector, lo que revela una brecha estructural entre desempeño económico y eficiencia productiva (CEDAF, 2007); (IDIAF, 2022) ; (ADOEXPO, 2025).

Según Caribbean Export (2023), entre las empresas líderes del sector en el país se destaca la Confederación Nacional de Cacaocultores Dominicanos, CONACADO, siendo esta organización el objetivo fundamental de este trabajo de investigación, para la cual se ha utilizado la línea de investigación sobre la Tecnología de la Información y las Comunicaciones de la Universidad UIIX, desde donde se realizó una propuesta para el tema desarrollado en esta investigación.

A partir de esta problemática, la presente investigación se plantea como objetivo general el diseño de un modelo integrado de Agricultura 4.0 para el sector cacaotero, orientado a la optimización de los procesos productivos, la gestión empresarial y la sostenibilidad del sistema agroalimentario del cacao. La investigación adopta un enfoque sistémico y

multidisciplinario, integrando conceptos y herramientas de la agricultura digital, la automatización industrial, la teledetección, los sistemas de información geográfica y las soluciones de inteligencia de negocio, con el fin de superar la fragmentación tecnológica identificada en la literatura y en la práctica del sector.

En esta investigación se revisaron estudios de casos y documentos que proporcionan ejemplos reales y fundamentados sobre cómo se han implementado tecnologías relacionadas con Agricultura 4.0, automatización industrial (mediante RAMI 4.0), teledetección por satélite y soluciones de inteligencia de negocio en distintos contextos para que en la integración de estos componentes en el sector cacaotero, tal como se propone en el trabajo, sea beneficiada de la experiencia y lecciones aprendidas de estos casos, permitiendo así diseñar una solución integral y escalable, debido a obtención insumos valiosos para definir requerimientos, estrategias de integración y posibles desafíos que se pueden anticipar en la implementación de la plataforma.

Desde el punto de vista científico, el aporte central de este trabajo radica en la articulación de un biosistema agroalimentario de cacao que integra, de manera coherente, los procesos productivos, ambientales e informacionales, bajo un enfoque de gestión basada en datos. Este modelo busca contribuir tanto al avance del conocimiento en el ámbito de la Agricultura 4.0 como a la generación de soluciones aplicadas que respondan a las necesidades reales de las organizaciones productoras de cacao en contextos tropicales.

Metodológicamente, la investigación se sustenta en un enfoque mixto, combinando métodos cualitativos y cuantitativos para el diagnóstico del contexto productivo y organizacional, el diseño del modelo propuesto y la evaluación de su viabilidad técnica, social y económica. Este enfoque permite no solo analizar el impacto potencial de la integración tecnológica, sino también comprender las percepciones, capacidades y limitaciones de los actores involucrados en la cadena de valor del cacao.

Este trabajo de investigación presenta una estructura tradicional, la cual se ha dividido en cuatro capítulos anteccedidos de una introducción al trabajo de investigación, los cuales presentan el formato siguiente:

CAPÍTULO I: Donde se ofrece el Tema de Investigación propuesto, la Vinculación del tema con las líneas de Investigación de UIIX, la Importancia del tema en el contexto, el Planteamiento del problema, la Pregunta de investigación, la Justificación, el Objeto de Estudio, el Campo de acción, los Objetivos, la Hipótesis, la Profundidad del estudio, el Alcance del Estudio y la Delimitación temporal y espacial de este.

CAPÍTULO II: En este apartado se presentó los Fundamentos Teóricos Referenciales, donde se pudieron apreciar de la Agricultura 4.0: Conceptos, Tecnologías Emergentes y Digitalización, una Introducción a IoT, Big Data, Inteligencia Artificial y sistemas de información geográfica(GIS), los Biosistemas Agroalimentarios y el concepto de biosistemas integrados a la producción sostenible de fertilizantes orgánicos, la Automatización Industrial y el Modelo RAMI 4.0, sus Fundamentos y aplicaciones en los procesos de transformación industrial, con énfasis en la producción de chocolate, La ingeniería de Drones y Análisis Hiperespectral en la Agricultura, los Principios del análisis hiperespectral para la determinación de materia orgánica y nutrientes en suelos mediante drones, Las Soluciones de Inteligencia de Negocio para la Gestión Empresarial, Definición y componentes de un sistema de Business Intelligence (BI), La Integración de datos de diversos módulos (producción, mantenimiento, Laboratorios y logística) para la toma de decisiones empresariales, La Integración de Tecnologías: Convergencia de Agricultura 4.0, RAMI 4.0, Teledetección y Business Intelligence, Los Modelos integrados, La Trazabilidad y Sostenibilidad en la Cadena de Valor del Cacao. También se presentó la Historia y estructura organizacional de CONACADO, la Importancia del cacao en la economía y cultura dominicana, el Diagnóstico de la cadena de valor del cacao, la Infraestructura tecnológica y capacidades actuales, un Análisis del uso de fertilizantes y prácticas de producción, el Estado actual de la automatización en procesos de transformación y del monitoreo del suelo y las necesidades y retos en la

gestión empresarial integral, La Metodología de CRISP-DM para el desarrollo de Aplicaciones de Minería de datos junto a la metodología de Ralph Kimball para el diseño de un DataWarehouse y El diseño de un cubo OLAP en Minería de datos en una estructura de estrella y la definición de aprendizaje máquina, vista a través de técnicas para la determinación de parámetros en el Biosistema de CONACADO.

CAPÍTULO III: Se presentó los Fundamentos metodológicos y resultados de investigación, donde aparece la tabla de operacionalización de las variables bajo un enfoque mixto, donde la investigación combinará métodos cualitativos (entrevistas, grupos focales, análisis documental) para comprender las percepciones y necesidades de los actores (productores, técnicos, directivos) y métodos cuantitativos (análisis estadístico del resultado longitudinal de la producción, modelado predictivo, minería de datos) para evaluar el impacto de la implementación y se aportó un diseño de la investigación en cuatro fases: Diagnóstico, diseño y elaboración de un prototipo del Sistema Integrado y la Evaluación y Validación social, técnica y funcional de un prototipo conceptual(Mockup de la plataforma AgrosTIC 4.0). En la fase Diagnóstico brevemente el análisis documental de tecnologías de Agricultura 4.0, RAMI 4.0, drones Hiperespectrales, biofertilizantes y sistemas de inteligencia de negocio, posteriormente se evaluó el estado actual de la infraestructura tecnológica y la gestión empresarial en CONACADO y Diagnosticó la cadena de valor del cacao y se realizó un análisis de la necesidad de un sistema integrado de BI y se analizaron los métodos, técnicas e instrumentos de obtención de datos tanto en la parte experimental como en la cualitativa, se determinación de la muestra y su criterio de selección, se presentaron evidencias del Trabajo de campo, de cómo se aplicaron los instrumentos y sus aplicaciones, sobre la Aplicación de los instrumentos, el Procesamiento de la información y Análisis, Redacción y discusión de los resultados.

CAPÍTULO IV: El último capítulo de la tesis le correspondió a la Propuesta de transformación, la cual conlleva la propuesta del diseño y el plan para desarrollo del prototipo del sistema Integrado, su definición de requisitos y arquitectura: Diseño de la arquitectura modular que integre sensores IoT, sistemas de automatización (RAMI 4.0),

módulos de teledetección y un sistema de BI: Desarrollo de módulos, desarrollo y automatización del proceso en biofábricas, implementación del sistema RAMI 4.0 en la fábrica de transformación, Configuración de drones con cámaras hiperspectrales y desarrollo de algoritmos de análisis, desarrollo e integración del módulo de Inteligencia de Negocio que consolide los datos de los módulos anteriores, con dashboards interactivos y reportes analíticos, Implementación piloto y recolección de datos, el análisis de ejecución del prototipo para las fincas de cacao, planta de transformación y evaluación del módulo BI en condiciones reales, Recolección de datos a través de sensores, drones, sistemas de control y la solución de BI, La Evaluación y Validación del Sistema, El Análisis estadístico y modelado predictivo para evaluar el rendimiento de la plataforma y el impacto del módulo BI en la toma de decisiones empresariales, Evaluación de indicadores de productividad, eficiencia operativa, ahorro de insumos y mejora en la gestión empresarial y Validación económica y análisis de sostenibilidad del sistema integrado. Para posteriormente cerrar con las conclusiones y recomendaciones de este trabajo de investigación.

Capítulo 1. Proyección de la investigación.

En este capítulo se desarrollan los aspectos que contextualizan el trabajo de investigación, donde se realizaron los planteamientos generales que abordaron la problemática a investigar, entre los que se encuentran: La línea de investigación relacionada con la transformación digital en sistemas agroproductivos y su ámbito en la gestión del conocimiento institucional, el planteamiento del problema para diseñar una plataforma de Agricultura 4.0 para la gestión integrada de la empresa CONACADO, los objetivos perseguidos para dar solución a dicho problema, su justificación y delimitaciones.

1.1. Línea de investigación de la Universidad de Innovación e Investigación de México y su ámbito de estudio.

Según el programa doctoral en ingeniería de Biosistemas de la Universidad Autónoma de Querétaro (2025), señalo que los Biosistemas Agroalimentarios son sistemas de producción integrales de alimentos de origen vegetal y animal, que reciclan los residuos generados en sus actividades productivas, los cuales forman parte de los sistemas de producción primaria y secundaria de alimentos del siglo XXI. Estas organizaciones agroproductivas tratan de aplicar herramientas científicas y tecnológicas de vanguardia con fines de producción de alimentos de manera eficiente, suficiente y amigable con el ambiente.

Estos sistemas presentan una dinámica compleja, cuya alta dimensionalidad involucrada en la integración de los dos primeros sectores de la economía o de una Bioeconomía,

hace que las decisiones estratégicas de los grupos de dominios que gobiernan tales organizaciones se vean obligadas a poseer herramientas tecnológicas que sean capaces de modelar inteligentemente todo el ecosistema informacional de la dinámica organizacional y al mismo tiempo de que en estos sistemas tecnológicos especializados sean capaces de configurarse las decisiones más óptimas para el éxito organizacional, prediciendo de alguna manera el rumbo evolutivo de la empresa, por lo que estas soluciones reciben el nombre de INTELIGENCIA DE NEGOCIOS. Slusarczyk Antosz (2024) sostiene, que los BI manejan grandes volúmenes de datos de la información (Big Data) que emana desde sus procesos internos y de la interacción con su entornos (Conesa Caralt & Curto Díaz, Introducción al Business Intelligence, 2011).

Generalmente los sistemas de gestión agrícolas, los agroindustriales y agroalimentarios en la República Dominicana, no poseen herramientas de este tipo, que sean capaz de tomar decisiones integrales viendo sus subsistemas como un solo complejo productivo en la cadena de valor de sus producciones, a pesar de estar económicamente correlacionados, dado que las salidas de los primeros, son fundamentalmente los insumos de los subsiguientes y poseen en ocasiones mercados comunes y una dinámica de regulaciones que pueden afectar tanto a uno como a los otros.

Todo ello sin dejar de mencionar que dentro de los elementos que conforman estos sistemas, pueden existir productores que tengan un modo de producción convencional, que no estén aún en consonancia con el equilibrio ecológico o bajo los principios de la agroecología, para esto las autoridades de las organizaciones deben tener en cuenta la necesidad de llevar sus instituciones hacia una transición agroecológica completa de su modo de producción, basada en una oportuna transformación digital en sus sistemas de gestión, que este en consonancia con la 4ta Revolución Industrial y sus normativas, o sea que los procesos de toma de decisiones posean algoritmos de inteligencia artificial que operen sobre la incertidumbre y complejidad de los datos de su Sistema de gestión de la información(MIS) para la toma de decisiones (Slusarczyk Antosz, 2024).

La línea de investigación sobre las **Tecnologías de la Información y las Comunicaciones de la universidad UIIX**, que tiene como ámbito de estudio la Investigación en tecnologías de la información y la comunicación, el conocimiento y el

aprendizaje digital, son de vital importancia para que los nuevos Biosistemas Agroalimentarios de la República Dominicana puedan lograr de forma holística gestionar todos sus procesos y optimizar toda la cadena de valor de sus producciones, a partir de un diseño y desarrollo de un proceso de transformación digital de sus sistemas productivos.

Siendo lo anteriormente expuesto la motivación fundamental de este trabajo, el cual consiste en la elaboración de un diseño metodológico de una plataforma para cubrir la necesidad de los grupos de dominio de la empresa CONACADO de gestionar de forma integral la información y el conocimiento institucional, en condiciones de manejo agroecológico de sus producciones y bajo una transformación digital de su infraestructura productiva, que permita un método de aprendizaje digital. Donde aparezcan integrados los tres niveles económicos en que está enmarcada su dinámica organizacional, la cual consta de un sector agrícola donde hay integrado cerca de 10,000 productores de CACAO, pasando por un segmento poscosecha para la fermentación y secado del grano, para luego entregar a un segmento agroindustrial de procesamiento del CACAO para convertirlo en Nibs , licor o manteca y por ultimo una cooperativa de créditos y servicios para soportar técnicamente la actividad productiva o apalancar financieramente a los productores de la asociación.

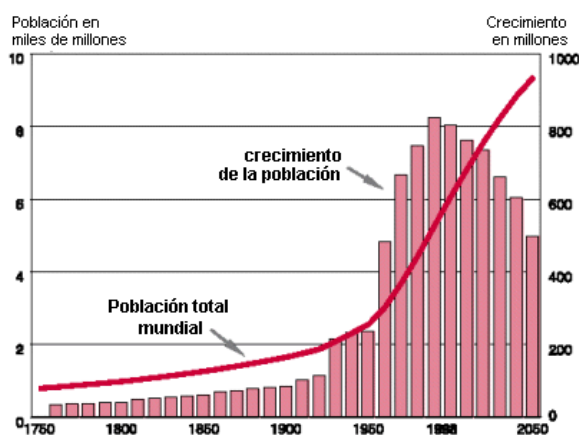
Todo el sistema está integrado bajo un enfoque de una bioeconomía basada en el conocimiento, donde se puedan gestionar los residuos de las producciones locales para producir algún tipo de biofertilizante para elevar la rentabilidad y controlar las producciones, utilizando las técnicas de la Agricultura 4.0.

1.2. Planteamiento del problema.

En gran parte de la literatura que analiza el orden económico mundial, se describe desde hace más de una década que la humanidad debe enfrentar grandes desafíos para este siglo XXI (WEF, 2012). Donde según ONU (2024), dentro de ellos se encuentra los casi 10 mil millones de personas que habrá que alimentar para el 2050 (ver figura 1), partiendo de los 8,2 mil millones que existen hoy, algo que supone un reto para los sectores agroalimentario, energéticos y de transportación, debido a que los niveles de

producción agrícola prácticamente **tendrán que aumentar en un 50%** con respecto a los existentes y los sistemas agrícolas actuales no soportaran modelos lineales de producción, donde la generación de biomasa, que garantizara la alimentación a ese nivel poblacional, no debe ser posible lograrla elevando en igual proporción el uso de pesticidas y fertilizantes agroquímicos, que tanto daño le hacen a los ecosistemas (ONU, 2022).

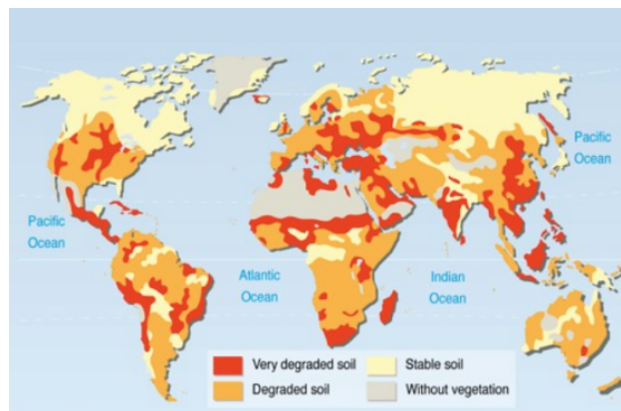
Figura 1. Evolución de la población mundial, desde 1750 hasta el año 2050.



Fuente: Informe Ejecutivo del WPF 2011. Sobre los Riesgos Globales.

Otro gran reto que tienen los productores agroindustriales es el nivel de degradación de los suelos productivos en gran parte del mundo (ver figura 2), debido a los efectos erosivos del clima en muchas de las regiones del planeta y a la cantidad de impactos nocivos producto de las aplicaciones químicas, físicas y mecánicas de la explotación con fines industriales del hombre, durante muchos años.

Figura 2. Gráfica del Mapa Internacional de la degradación de suelos.



Fuente: Atlas mundial de desertificación 2017.

En la actualidad el uso de pesticidas en la agricultura, no solo ha causado daños a la composición bioquímica de los suelos agrícolas, sino como expresa la Biblioteca del Congreso Nacional de Chile (2019), que aproximadamente **25 millones de personas** en el mundo, experimentan cada año envenenamiento involuntario a causa de los pesticidas, produciendo en este mismo lapso temporal más de **200 mil pérdidas de vidas humanas** y una enorme traza históricas de enfermedades fatales, como son: cáncer, leucemia, Parkinson, asma, trastornos neuropsicológicos y cognitivos, entre otros. Y esto se debe a la exposición a los plaguicidas, así como también al consumo de alimento e inhalación de aire contaminado con plaguicidas, ingresando por vía dérmica, oral, ocular y respiratoria.

Las causas anteriormente planteadas ha llevado a muchos países del mundo a optar por un sistema de producción agrícola con una visión agroecológica, el cual consiste en una forma diferente de aplicar la agricultura sostenible, en la que se promueve la regeneración del suelo, la capacidad de retención hídrica, la mejora de la huella de carbono y la creación de comunidades alrededor de la tierra, posicionándose esta como la mejor alternativa de gestionar la alimentación de las generaciones futuras (Food Reatail, El Diario de la Alimentación, 2021). Esto es posible, ya que tendremos un correcto estado del suelo, propiciándose alimentos más nutritivos y sin plaguicidas,

siendo de forma complementaria una vía de creación de empleo rural que genera comunidades unidas alrededor de la tierra.

Estas prácticas agroregenerativas generan en primer lugar la reconstrucción orgánica y la mineralización del suelo, con recuperación de la fertilidad. En esto es importante resaltar que conseguir esto a través de suelos más enraizados y con más vida dará lugar a una conservación de biomasa que contribuye a la retención de carbono mediante la eliminación y retención fotosintética de CO₂ atmosférico en la materia orgánica del suelo. También la reducción del laboreo y del uso de maquinaria reducirá de forma drástica las emisiones y el consumo de recursos naturales fósiles. Asimismo, al proteger el hábitat y la riqueza biológica de los organismos que pueblan el suelo, estas directrices reducen el impacto mecánico sobre el suelo, lo que se traduce en evitar la inversión de las capas, principio contrario al del arado profundo practicado en la agricultura intensiva.

Estos manejos de conjunto con la diversificación del cultivo y la rotación de las plantas cultivadas aumentan el número de poblaciones botánicas en relación con el suelo, para protegerlo eficazmente de los agentes atmosféricos y mejorar su estructura, manteniéndose también la vida de la materia orgánica y la prevención de la erosión del suelo, algo muy útil para la seguridad hidrogeológica de los territorios.

Este nuevo pensamiento agroecológico del siglo XXI, arriba de conjunto a unos estándares muy altos de las exigencias de un nuevo consumidor, en una competitividad empresarial globalizada y con una aplicación de las nuevas tecnologías en todos los campos industriales, productivos y del quehacer humano, son algunas de las razones que están llevando a la industria agroalimentaria a pasar de un sistema de producción con componentes manuales a otro totalmente automatizado.

Esta revolución industrial en la agricultura, llamada **Agricultura 4.0** o la era de la agricultura digital, tiene como líderes a países como Alemania, USA, Japón, México, Brasil, España, China, Argentina, Francia, entre otros. Donde se ha definido esta etapa como Industria 4.0 para la industria agroalimentaria (CEPAL, 2021).

El concepto de **Industria 4.0** tiene sus orígenes en Alemania, haciendo referencia a un sistema de fabricación/producción avanzada que recoge las tendencias y tecnologías que actualmente se pueden encontrar en el mercado y permite anticiparse a las que vendrán. Fue una empresa consultora y de investigación de las TIC, en su artículo “What Is Industrie 4.0 and What Should CIOs Do About It?”, la que realizó las primeras reflexiones para caracterizar la nueva revolución empresarial que está llegando a la industria agroalimentaria a nivel mundial (Beier et al., 2020).

En este paradigma se trata de unificar y hacer **converger los sistemas de producción con instalaciones inteligentes**, generando una sinergia digital entre la industria, los negocios y las funciones internas y los procesos, todo ello interconectado y haciendo uso del Big Data como base de trabajo.

Básicamente se trata de transformar un sistema que actualmente tiene componentes muy manuales, en un sistema totalmente automatizado que permita la gestión documental y de procedimientos de forma inmediata. Entre otros, los beneficios se podrían referir a la trazabilidad, gestión de producciones, planificación de suministros con los proveedores a tiempo real, fabricación de productos (alimentos/chocolates) totalmente personalizados, mejora de la planificación y gestión de la producción, todo ello encaminado a la optimización de costes e incremento de la productividad y rentabilidad de la empresa CONACADO, objeto de nuestro estudio.

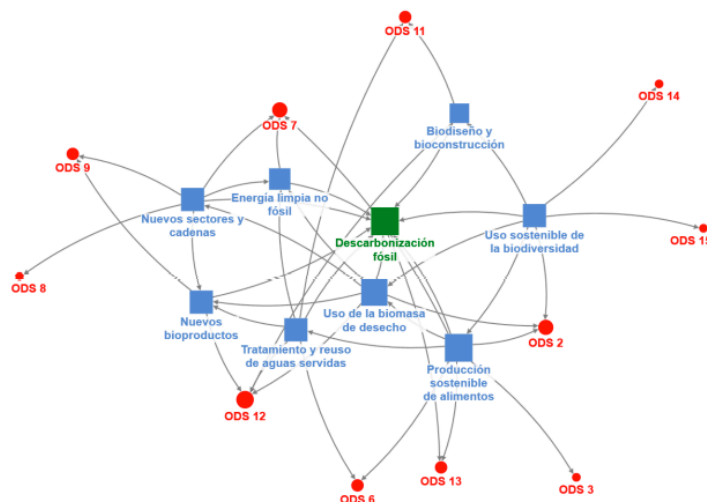
Para el caso específico del sector agroindustrial de la cacaocultura en la República Dominicana, implica una serie de cambios que deben realizarse a lo interno del sector, dado que prácticamente el 90% del sector es meramente convencional, con pequeñas empresas que realizan operaciones todavía muy manuales. Para iniciar un cambio a un proceso de transformación digital, se necesita que esté asociado a un cambio de mentalidad, tanto si se quiere que la empresa esté adaptada a las tendencias y a las realidades de futuro que están llegando, como si se desea que los procesos innovadores den como resultado un nuevo modelo de negocio que haga cambiar hacia la

virtualización de los sistemas y procesos. Para lograr este cambio, el país se ha trazado una agenda (AgendaDigital 2030, 2021) o un plan de transformación digital de todos los sectores de la economía (Ley 527-21, 2021).

En la República Dominicana, ninguna de las tendencias científicas y tecnológicas expresadas anteriormente serían económica, social y políticamente viables en la Agricultura y la Agroindustria si estas no vienen a tratar de resolver los grandes desafíos del pequeño y mediano productor agrícola y agroindustrial dominicano, el cual se encuentra inmerso en una crisis de naturalezas múltiples, provocadas por una etapa pos pandemia COVID-19, La guerra Ruso-Ucraniana y su consecuente elevación global del precios de los insumos de producción, la pujante presión del cambio climático sobre los suelos, las aguas, el clima, la biomasa producida y hasta los mercados internos y externos. Todo esto unido a una población de productores con edad avanzada, sin el relevo generacional adecuado, con una gran tercerización en sus cadenas de valor productiva y un escaso nivel de desarrollo tecnológico de sus medios de producción para competir en un mercado nacional e internacional cada vez más globalizado. Sin dejar de mencionar que esta gran masa de trabajadores produce el 90% de todo el alimento que consume la población dominicana de casi 11 millones de habitantes, con tasas de crecimiento positivas hacia el 2030 y un turismo que ya casi llega a los 11 millones.

Si se analiza las aplicaciones de la Agricultura 4.0 en Tovar-Quiroz (2023), se puede apreciar que estas técnicas son aplicables también en contextos que propicien la utilización de agroquímicos, cuyo enfoque aun no es agroecológico, por lo que una propuesta de diseño de solución integral desde el campo científico técnico a los problemas Socioambientales, Socioeconómicos y Sociopolíticos antes mencionados para la población dominicana está en el empoderamiento e implementación de los principios generales de la Bioeconomía Rodríguez et al. (2017), donde existe una estrecha vinculación entre sus principios y los objetivos de desarrollo sostenibles (ODS) del siglo XXI (ver figura 3).

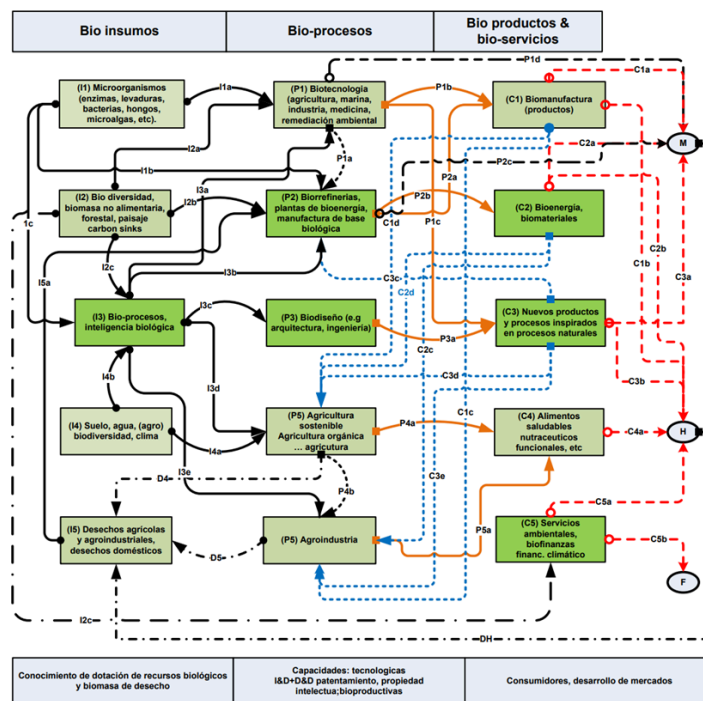
Figura 3. Relación entre los fundamentos de la bioeconomía y los ODS.



Fuente: Bioeconomía en América Latina y el Caribe (CEPAL, 2017)

Donde a través de propuestas claras de Investigación, Desarrollo, Innovación y Emprendimiento (I+D+i+e), pueden lograrse a nivel regional desarrollos sistémicos de comunidades de pequeños y medianos productores de CACAO, con intervención estatal y de alianzas inclusivas de la gran agroindustria dominicana. Produciéndose réplicas regionales de ecosistemas que vinculen de forma general los bioinsumos como entradas fundamentales a bioprocesos y que estos den lugar a bioproductos y bioservicios, generándose una dinámica socioeconómica que da solución a una gran parte de la problemática enunciada con anterioridad como expresa la figura siguiente:

Figura 4. Visión de la Bioeconomía en relación con la Agricultura y la Agroindustria.



Fuente: Bioeconomía en América Latina y el Caribe (CEPAL, 2017)

El aporte fundamental de este trabajo aparece como una posible propuesta de diseño metodológica para un proyecto de desarrollo de una plataforma de Inteligencia de Negocio (BI) y de transformación digital para dar solución a la problemática tratada anteriormente, la cual tiene como finalidad el aporte metodológico para la investigación y el desarrollo de capacidades para la gestión de proyectos tecnológicos en el sector del cacao y su economía, pero con un énfasis especial en los modelos de bioeconomía para ecosistemas agrícolas, la gestión agroindustrial de los principales rubros nacionales y la aplicación de la bioingeniería para optimizar nuevas soluciones tecnológicas de los modelos agroecológicos en la economía circular en la República Dominicana.

Todo los elementos científicos tecnológicos aplicados especialmente a la empresa CONACADO Inc, objeto general del estudio de este trabajo, que se pueda utilizar la inteligencia artificial para soportar los sistemas de producción agrícolas, agropecuarios y agroindustriales, sustentados bajo el paradigma de Agricultura 4.0, desde una perspectiva agroecológica, ya sea desde la agricultura orgánica, la biodinámica, la

agricultura regenerativa o cualquier otro método de cultivo o de producción animal, que sea respetuoso del medio ambiente, los animales y el hombre.

Este diseño sostiene varios principios, entre los que se encuentran: el respeto por el medio ambiente, la resiliencia al cambio climático, la seguridad alimentaria y el de “One Health”, como una visión regenerativa del ecosistema para trabajar por la salud del hombre, los animales y los ecosistemas como una sola. Al mismo tiempo, del trabajo por una ciencia inclusiva de la mujer y la proyección hacia una sociedad del conocimiento que optimice los recursos energéticos, promoviendo las energías verdes y tratando de disminuir la huella de carbono a nivel planetario.

Adicionalmente a todo lo anteriormente planteado, existen dos factores a tener en cuenta en esta problemática, que son elementos que dinamizan la necesidad de realizar un cambio en el sistema agroproductivo del país y en especial en la cacaocultura dominicana, el primero está asociado a las exigencias y regulaciones de los diferentes mercados receptarios de las producciones agroalimentarias, con respecto a la necesidad producir de forma más sana y ecoamigable (Diario Libre, 2024); (MICM, 2025) .

El segundo elemento y no menos importante, es la baja productividad en general del sistema agrícola, pero en este momento tan especial del cacao, donde IDIAF (2022) , expreso que el caso de la baja productividad en el cultivo del cacao en el país está asociada a muchos factores como el suelo, fertilidad, material genético, marco de plantación, deschuponado, poda y polinización, todas éstas variables pueden enmascarar el efecto de algunos factores sobre la productividad, muchas de las cuales pueden dársele seguimiento por medios digitales sin ningún problema.

1.3. Formulación del problema (Pregunta de investigación).

Este trabajo de investigación pretende lograr un diseño metodológico para el desarrollo de una plataforma de gestión del conocimiento en una empresa cooperativa del sector cacacultor de la República Dominicana con la finalidad no solo de optimizar la gestión de sus procesos internos, sino también que de forma indirecta se coadyuve a mejorar la tasa de rendimiento de los pequeños y medianos productores que están corporativizados

en esta compañía, utilizando los constructos teóricos más avanzados de los fundamentos de una Bioeconomía basada en el conocimiento y las tecnologías de la 4ta revolución industrial.

Pero en la formulación del proyecto se ha tenido que realizar un estudio profundo de análisis sobre la complejidad del contexto en el que el sistema está inmerso, dado que la República Dominicana es el primer país exportador de cacao orgánico que es fino de aroma del mundo y sus principales producciones están destinadas a los mercados de Europa y Estados Unidos fundamentalmente, que además por esta misma razón las producciones en cada una de estas fincas y en casi todo el segmento de la cadena de valor están frecuentemente supervisadas por compañías certificadoras internacionales para que estas producciones lleguen a sus mercados finales con las exigencias de calidad e inocuidad que exigen sus demandantes.

A pesar de los controles realizados por las entidades certificadoras y los técnicos extensionistas, la rentabilidad promedio de las producciones (volumen de producción/hectáreas) a nivel nacional es mucho más baja de lo esperado (IICA, 2020). Esta situación se muestra en el país en un momento muy especial para este mercado, donde se han elevado los costos de todos los insumos agrícolas que utiliza el trabajador agrícola dominicano, que los efectos climáticos han creado una alta tasa de estrés hídrico en el cultivo debido a las sequías, que adicionalmente a esto la generación de cacaocultores tiene una edad muy avanzada (60 años) y no tiene garantizada una generación de relevo, ya que sus hijos prefieren otros tipos de empleos más rentables y modernos. A todo esto se suma que los productores, por su edad, no poseen recursos ni habilidades tecnológicas básicas y la gran mayoría realiza sus procesos poscosecha de fermentación y secado de la almendra de forma artesanal, sin control tecnológico de los parámetros organolépticos que garanticen la calidad exigida y con una gran presencia de mano de obra extranjera, además de que no todas las fincas pueden garantizar un manejo agroecológico.

La necesidad de buscar soluciones para este problema es de interés tanto del gobierno dominicano, como de las empresas y las entidades internacionales, ya que estas empresas aportan más de 260 millones de euros cada año al país y están involucradas en más de 35 mil familias dominicanas que aportan un gran porcentaje del chocolate fino destinado a países como Francia, Alemania, etc.

La necesidad nacional fundamentalmente es el aumento de la producción y rentabilidad de la producción del CACAO orgánico o bajo un manejo agroecológico, que se encuentra ante un crecimiento de la demanda mundial, para que pueda aumentar el nivel económico de las familias productoras, al mismo tiempo que a nivel industrial se puedan garantizar los parámetros de calidad del chocolate demandado por los mercados asociados de forma sistémica.

Esta situación define una Bioeconomía Agroecológica donde se utilizarán insumos locales y orgánicos, además los servicios de control de los suelos y los cultivos se pueda realizar utilizando drones, mapas satelitales y alta tecnología, no solo para la aplicación de biofertilizantes y control de la huella de carbono, sino también para el análisis y monitoreo, para la bioremediación o fitoremediación de los suelos y los cultivos, además las aplicaciones móviles en poder del productor, tendrán el control de la eficiencia y rendimiento sus fincas que parecerán georreferenciadas para cada productor y donde en una aplicación en la nube podrán monitorear sus sistemas productivo y toda la cadena de valor de la producción. Tratando con todo este despliegue tecnológico, motivar a las nuevas generaciones e incluso tratar de ser más inclusivos con el género femenino.

Ante todo lo anteriormente expuesto la empresa CONACADO Inc. se encuentra ante el desafío de lograr la **Transición Agroecológica de todas las fincas** de sus productores para lograr un aumento de la producción más demandada y al mismo tiempo experimentar una **transformación digital de sus sistema productivo**, que garantice una infraestructura para el control de la calidad y la optimización en toda la cadena de valor de su segmento de producción, creando una Bioeconomía basada en el

conocimiento utilizando las tecnologías de la 4ta Revolución Industrial que integre tanto el nivel agrícola como el industrial y de servicio a productores y sus mercados de competencia, para esto, el grupo de dominio de CONACADO debe poseer una metodología que le sirva de guía para realizar el despliegue del desarrollo de la plataforma tecnológica que coadyuvará con estos fines cuando este momento llegue.

La Agricultura 4.0 se presenta como una oportunidad estratégica para enfrentar estos retos mediante la integración de tecnologías como IoT, Big Data, automatización de operaciones industriales, inteligencia artificial, blockchain y plataformas de inteligencia de negocios. Sin embargo, en la empresa CONACADO, líder en el sector, aún no existe una plataforma integral que articule la gestión tecnológica, productiva, administrativa y comercial como un biosistema agroalimentario sostenible.

Por lo que surge la necesidad de investigar : **¿Cómo aportar a la gestión inteligente de la Empresa CONACADO como un biosistema agroalimentario de cacao en la República Dominicana, que contribuye potencialmente a mejorar la productividad, sostenibilidad socioambiental, eficiencia administrativa y competitividad internacional en el periodo 2023-2025?**

1.4. Justificación.

La presente investigación se justifica desde una perspectiva científica, metodológica, económica, social y estratégica, en coherencia con los desafíos asociados a la transformación digital, la sostenibilidad de los sistemas agroalimentarios de cacao y las políticas nacionales de innovación en la República Dominicana.

Desde el punto de vista estratégico, el estudio se alinea con los lineamientos de la Política Nacional de Innovación 2030 y la Estrategia Nacional de Inteligencia Artificial, que promueven la incorporación de tecnologías digitales avanzadas en sectores productivos clave para fortalecer la competitividad y la inserción del país en la economía del conocimiento (Presidencia de la República Dominicana, 2023).

En el ámbito económico, el sector cacaotero constituye un pilar fundamental de las exportaciones agropecuarias y del empleo rural. En particular, la Confederación Nacional de Cacaocultores Dominicanos (CONACADO) desempeña un rol determinante en la sostenibilidad del sector. Sin embargo, persisten brechas de productividad asociadas al acceso desigual a tecnologías, conocimiento técnico y herramientas de gestión, lo que limita la eficiencia y competitividad del sistema.

Desde una dimensión social, la investigación contribuye al fortalecimiento de las capacidades productivas de los pequeños y medianos productores, favoreciendo la mejora de sus ingresos, la reducción de vulnerabilidades y la promoción de un desarrollo rural más inclusivo y resiliente.

En el plano científico, el estudio aporta a la integración de enfoques de Agricultura 4.0 con modelos de gestión sistémica en biosistemas agroalimentarios tropicales de cacao, abordando vacíos existentes en la literatura respecto a la articulación entre tecnologías digitales, sostenibilidad y gestión organizacional en cadenas de valor agrícolas.

Desde el punto de vista metodológico, la investigación se justifica por el desarrollo de un procedimiento integrador para el diseño y validación de plataformas de Agricultura 4.0 en biosistemas agroalimentarios de cacao, que articula el análisis de variables multidimensionales, la modelación sistémica y la validación participativa. Este enfoque constituye un aporte novedoso de carácter instrumental, susceptible de ser replicado y adaptado en otros contextos agroproductivos y estudios similares.

Finalmente, la relevancia práctica de la investigación radica en el diseño de una plataforma de Agricultura 4.0, basada en un modelo de gestión inteligente aplicable a organizaciones del sector cacaotero, orientado a mejorar la toma de decisiones, la productividad, la sostenibilidad y la competitividad, en correspondencia con las prioridades de desarrollo tecnológico del país. La presente investigación se justifica desde una perspectiva científica, metodológica, económica, social y estratégica, en

coherencia con los desafíos globales asociados a la transformación digital, la sostenibilidad de los sistemas agroalimentarios y las políticas nacionales de innovación y desarrollo tecnológico.

1.5. Objeto de estudio.

El objeto de estudio de la presente investigación es el sistema de gestión de la información y del conocimiento institucional de la empresa cooperativa CONACADO Inc., analizado como un sistema sociotécnico integrado, que articula infraestructura tecnológica, procesos organizacionales, recursos humanos, flujos de información y mecanismos de toma de decisiones. Dicho sistema se examina en función de su estructura, funcionamiento y capacidad para generar, organizar, compartir y utilizar información y conocimiento estratégicos, en coherencia con los objetivos institucionales y los lineamientos de sostenibilidad organizacional (Lapiedra Alcamí et al., 2021); (Torres & Lamenta, 2015).

Desde un enfoque sistémico y organizacional, el estudio se centra en evaluar cómo este sistema de gestión de la información y del conocimiento soporta la planificación estratégica, la gestión por procesos, la mejora continua y la alineación institucional con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 2030), considerando tanto los factores tecnológicos como los sociales y culturales que inciden en su desempeño. Asimismo, el objeto de estudio se delimita a la dimensión institucional interna de CONACADO, excluyendo el análisis de actores externos, con el propósito de identificar oportunidades de fortalecimiento y transformación del sistema hacia modelos de gestión más inteligentes, integrados y orientados a la innovación.

1.6. Campo de acción.

El campo de acción de esta investigación radica en la mejora de la productividad, sostenibilidad socioambiental, eficiencia administrativa y competitividad internacional de la Empresa CONACADO desde la gestión inteligente en el periodo 2023-2025.

Utilizando un proceso de transformación digital del ecosistema general que pueda integrar todos los elementos ciberfísicos de la cadena de valor.

1.7. Objetivos.

Lo anteriormente planteado en el análisis nos lleva a considerar a la empresa CONACADO como un sistema complejo y adaptativo, que necesita del procesamiento de la información tanto interna como externa para optimizar su proceso estratégico institucional, lo que permite formular los siguientes objetivos.

1.7.1. Objetivo General.

Diseñar una plataforma de Agricultura 4.0 para la gestión inteligente de la Empresa CONACADO como un biosistema agroalimentario de cacao en la República Dominicana, que contribuya potencialmente a mejorar la productividad, sostenibilidad socioambiental, eficiencia administrativa y competitividad internacional en el periodo 2023-2025.

1.7.2. Objetivos específicos.

- **OE1.** Determinar los fundamentos teóricos referenciales sobre los modelos explicativos relacionados con la Agricultura 4.0, los biosistemas agroalimentarios y la gestión inteligente de la cadena de valor del cacao.
- **OE2.** Diagnosticar el estado de la infraestructura tecnológica, capacidades digitales, procesos administrativos y trazabilidad de CONACADO, integrando los factores tecnológicos, ambientales, socioeconómicos, organizacionales y de mercado que condicionan la adopción de Agricultura 4.0.
- **OE3.** Especificar la arquitectura conceptual y tecnológica de una plataforma de Agricultura 4.0, integrando IoT, Big Data, Inteligencia Artificial, biofábricas conectadas, automatización de procesos, blockchain e inteligencia de negocios.
- **OE4.** Modelar un sistema de gestión inteligente que articule los procesos productivos, administrativos y comerciales de CONACADO como un biosistema agroalimentario sostenible.

- **OE5.** Validar la viabilidad técnica, social y funcional de un prototipo conceptual (mockup) de la plataforma mediante encuestas y entrevistas a los actores de CONACADO.
- **OE6.** Evaluar el impacto potencial del diseño de la plataforma en términos de productividad, sostenibilidad socioambiental, eficiencia administrativa y competitividad internacional, a partir de escenarios simulados y percepción de los actores.

1.8. Hipótesis.

El diseño de una plataforma de Agricultura 4.0 para la gestión inteligente de la Empresa CONACADO como biosistema agroalimentario de cacao, estructurada bajo un enfoque de integración tecnológica, organizacional y ambiental, y validada técnica, social y funcionalmente, contribuirá de manera significativa y potencial a fortalecer las capacidades de toma de decisiones basadas en datos, mejorar la productividad agrícola, optimizar la eficiencia administrativa, promover la sostenibilidad socioambiental y consolidar la competitividad internacional durante el periodo 2023–2025.

1.9. Alcance temático.

La elaboración de la presente tesis tiene como alcance temático el análisis, diseño y estructuración de una metodología de transformación digital aplicada a un biosistema agroalimentario de cacao, enmarcada en los principios de la Cuarta Revolución Industrial, la Agricultura 4.0 y la bioeconomía agroecológica, tomando como caso de estudio la empresa cooperativa CONACADO Inc. en la República Dominicana.

El estudio se centra en la integración conceptual y metodológica de dos ámbitos complementarios del sistema agroindustrial del cacao:

1. El segmento de producción agrícola, abordado desde los enfoques y tecnologías propias de la Agricultura 4.0, y

2. El segmento de transformación agroindustrial, analizado a partir del modelo de referencia RAMI 4.0, como marco normativo para la digitalización y automatización de procesos industriales.

El alcance de la investigación comprende la gestión integrada de la cadena de valor del cacao, considerando las interrelaciones entre producción primaria, poscosecha, transformación, gestión empresarial y toma de decisiones estratégicas, con énfasis en la generación, procesamiento y uso de la información y el conocimiento institucional como activos clave para la mejora de la productividad, la sostenibilidad y la competitividad del sistema.

Desde una perspectiva analítica, el estudio aborda la incorporación de principios de bioeconomía y agroecología en el diseño del biosistema, incluyendo el análisis conceptual de bioinsumos, sistemas agroforestales, sostenibilidad de suelos y eficiencia en el uso de recursos, sin pretender la validación experimental a escala industrial, sino la formulación de un modelo metodológico integrador y replicable.

La investigación contempla el análisis de variables productivas, ambientales, tecnológicas y organizacionales, apoyándose en información geoespacial, datos provenientes de tecnologías digitales y documentación institucional, con el propósito de identificar relaciones, patrones y dinámicas relevantes para la gestión del sistema agroalimentario del cacao. No obstante, el alcance del estudio se limita a la modelación conceptual, metodológica y funcional del sistema, excluyendo la implementación física completa, la certificación comercial de tecnologías o la evaluación financiera detallada a largo plazo.

Como resultado, la tesis culmina en la propuesta de un modelo metodológico de gestión y transformación digital, presentado bajo un enfoque de gestión de proyectos, que establece lineamientos, componentes y fases para el desarrollo de una plataforma integrada de Agricultura 4.0 e Inteligencia de Negocio aplicada al sector cacaotero, sin

constituir un desarrollo tecnológico finalizado, sino una base científica y metodológica para futuras implementaciones y estudios aplicados

1.10. Delimitación Espacial y Temporal.

Delimitación espacial

La investigación se delimita espacialmente a la Confederación Nacional de Cacaocultores Dominicanos (CONACADO Inc.), como unidad de análisis institucional, considerando a los productores de cacao orgánicos y convencionales afiliados a la organización, así como a los actores vinculados a los procesos de gestión y toma de decisiones estratégicas de la empresa. El estudio se circunscribe a las unidades productivas, procesos de poscosecha y estructuras organizativas bajo la influencia directa de CONACADO Inc., excluyendo a productores y empresas no afiliadas, así como a otros rubros agroindustriales distintos al cacao.

Asimismo, el análisis incorpora a la alta gerencia de la organización y a los principales grupos de interés institucionales (stakeholders) en la medida en que su participación incide en la gestión de la información, el conocimiento y la cadena de valor del cacao, sin extenderse a un análisis sectorial nacional completo.

Delimitación temporal

La investigación se delimita temporalmente al período comprendido entre los años 2023 y 2025, intervalo durante el cual se recolectaron y analizaron los datos cualitativos y cuantitativos necesarios para el desarrollo del estudio. Este período permite observar las dinámicas productivas, organizacionales y tecnológicas del sistema agroindustrial del cacao en un contexto reciente, caracterizado por procesos de recuperación pospandémica, transformaciones en los mercados internacionales y avances en la agenda nacional de transformación digital, sin pretender realizar análisis históricos de largo plazo ni proyecciones posteriores al año 2025.

CAPÍTULO 2. Fundamentos Teóricos Referenciales.

En este capítulo se desarrolla el marco teórico que sustenta esta investigación doctoral, mediante un análisis crítico, sistemático y comparativo de los principales enfoques conceptuales y modelos explicativos relacionados con la Agricultura 4.0, los biosistemas agroalimentarios y la gestión inteligente de la cadena de valor del cacao.

La revisión exhaustiva de la literatura científica permitió identificar los principales fundamentos teóricos asociados a la transformación digital del sector agroindustrial, así

como el papel de tecnologías emergentes como sensores IoT, inteligencia artificial, teledetección, analítica avanzada y sistemas de gestión de la información.

Adicionalmente, se pudieron analizar los principios de sostenibilidad, resiliencia productiva y trazabilidad, dentro del marco de la adopción tecnológica y su correlación sociotécnica dentro del proceso.

A diferencia de un enfoque meramente descriptivo, el presente marco teórico adopta una perspectiva analítica orientada a identificar brechas conceptuales, limitaciones metodológicas y desafíos contextuales asociados a la adopción de tecnologías digitales en sistemas agroproductivos tropicales. De igual forma, los fundamentos teóricos se correlacionan con las variables de estudio y los objetivos de la investigación, proporcionando el sustento epistemológico para la formulación de hipótesis y la construcción del modelo analítico propuesto.

La construcción del modelo analítico recae dentro del marco contextual de la empresa CONACADO, destacando sus procesos fundamentales de gestión (estratégicos, misionales y de apoyo) y operacionales (producción, poscosecha y asistencia), así como el conjunto de normativas técnicas, disposiciones legales y de proyección estratégica institucional, que permitan convertir cada proceso en un sistema ciberfísico dentro del sistema de gestión del conocimiento de la organización.

Finalmente, se delimitan de forma crítica las principales restricciones estructurales del sistema de gestión del conocimiento de la empresa CONACADO, como biosistema agroalimentario objeto de estudio.

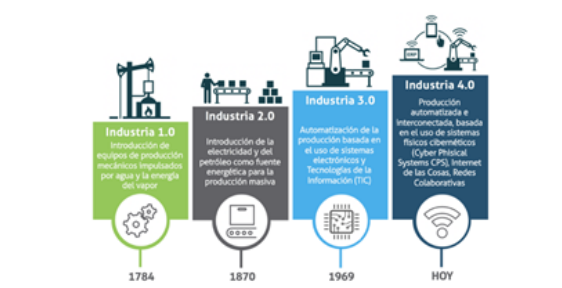
2.1. Estado del arte (Marco Histórico y Actual).

El desarrollo histórico de la agricultura ha estado directamente correlacionado con los procesos de transformación tecnológica asociados a las revoluciones industriales. Desde la transición de sociedades cazadoras-recolectoras hacia sistemas agrícolas más sedentarios, llegando a la incorporación de las tecnologías digitales avanzadas, cada etapa ha redefinido la productividad, la organización del trabajo y la relación entre los sistemas productivos y el entorno socioeconómico.

Las distintas revoluciones industriales (véase figura 5) han impulsado transformaciones progresivas en la actividad agrícola, desde la mecanización y el uso de fertilizantes hasta la automatización y digitalización de procesos productivos. Estos avances permitieron incrementos significativos en la productividad y facilitaron la transición hacia modelos agroindustriales más complejos.

En la actualidad, se reconoce la existencia de una cuarta revolución industrial, caracterizada por la integración de sistemas ciberfísicos, analítica de datos e inteligencia artificial. Su correlación en el ámbito agrícola es la denominada Agricultura 4.0.

Figura 5. Evolución de la Revolución Industrial.



Fuentes: ResearchGate (Pilar Escott-Mota, 2020)

Esta relación entre la agricultura y las revoluciones industriales es intrínseca, con la agricultura proporcionando materias primas, alimentos y mano de obra para la industria, mientras que a su vez, la Revolución Industrial proporcionó herramientas, maquinaria y técnicas que mejoraron la eficiencia y la productividad agrícola, permitiendo así que los cambios tecnológicos experimentados en una, se vieran reflejados en el desarrollo de la otra.

Tabla 1. *Sobre las etapas de la agricultura en relación con la revolución industrial.*

Etapas Agrícolas	Periodo (años)	Principales innovaciones	Población Mundial
Agricultura 1.0	Desde 10,000 a.C. hasta alrededor de 5,000 a.C.	Invencción de la agricultura en sí misma para obtener alimentos con riego manual.	5 a 10 millones

Agricultura 2.0	Desde 5,000 a.C. hasta aproximadamente el año 1,500 d.C.	Creación del arado, sistemas de riego más eficientes y se implementan las rotaciones de los cultivos.	250 Millones
Agricultura 3.0	Desde el siglo XVIII hasta el siglo XX	Mecanización de la producción e introducción de la maquinaria agrícola, mejoramiento genético de plantas, creación de pesticidas y fertilizantes químicos.	1,600 a 6,000 millones
Agricultura 4.0	Desde finales del siglo XX hasta la actualidad	Agricultura de precisión, el monitoreo y control remoto de cultivos y sistemas de riego inteligentes, el uso de drones, sensores y robots agrícolas y la aplicación de la inteligencia artificial y el aprendizaje automático en la toma de decisiones.	8.2 mil millones

Fuente: creación propia a partir de (Pilar Escott-Mota, 2020)

La evolución histórica de la agricultura puede analizarse en correspondencia con las revoluciones industriales, estableciendo una relación entre los paradigmas tecnológicos dominantes y las transformaciones en los sistemas productivos agroalimentarios (ver tabla 1). En este sentido, diversos autores coinciden en que actualmente nos encontramos en la Cuarta Revolución Industrial, denominada Industria 4.0, cuyo correlato en el ámbito agrícola se reconoce como Agricultura 4.0.

La Agricultura 4.0 es definida como las prácticas agrícolas que incluyen los elementos de transformación digital para el uso masivo de las TIC y los datos en la agricultura, según Braun et al. (2018, como se citó en Sargana García, 2021). De manera complementaria, otros investigadores la conciben como la integración de tecnologías avanzadas, como son: drones, sensores remotos, Big Data, Inteligencia Artificial e Internet de las Cosas (IoT), orientadas a optimizar la producción, mejorar la eficiencia operativa y fortalecer la sostenibilidad socioambiental (Wolfert et al., 2017); (Fernández Donoso, 2020); (Berrios Gomez & Rivera Herrera, 2022).

En el contexto latinoamericano, específicamente en sistemas productivos de cacao, se observan avances significativos en la incorporación de estas tecnologías. En el caso de Alvarado et al. (2025), los cuales evaluaron una plataforma digital en una finca cacaotera en Ecuador, reportaron reducciones sustanciales en tiempos de registro y errores de inventario, aunque persistieron limitaciones asociadas a la conectividad y a la adaptación cultural. De igual manera, Buenaño Vera et al. (2024) desarrollaron un

modelo de visión artificial basado en EfficientDet-Lite4, implementado en una aplicación móvil para la detección temprana de enfermedades como la moniliasis y la podredumbre negra.

Las investigaciones desarrolladas en la Universidad de Atenas (Buenaño Vera et al., 2024) evidencian el potencial de modelos de redes neuronales multicapa (MLP) para mejorar el análisis predictivo de propiedades del suelo, superando en determinados casos metodologías estadísticas tradicionales como PCR y PLS. Estos hallazgos refuerzan la viabilidad técnica del uso de algoritmos avanzados en sistemas agrícolas inteligentes.

De forma complementaria, Sargana García (2021) analiza el concepto de Agricultura 4.0 como una forma de agricultura inteligente basada en la integración de tecnologías de información y comunicación dentro de sistemas ciberfísicos de gestión agrícola. Este enfoque destaca el papel del Internet de las Cosas (IoT) en la recopilación, procesamiento y análisis de datos productivos, permitiendo optimizar los procesos de gestión de las explotaciones agrícolas. No obstante, el autor advierte que el diseño de estas soluciones digitales debe considerar las necesidades y capacidades tecnológicas de pequeños y medianos productores, especialmente en contextos agrícolas de países en desarrollo.

En algunos estudios se puede constatar que las grandes aplicaciones de la cuarta revolución industrial en los países productores de cacao, están dadas fundamentalmente en el segmento de la producción agrícola, pues estos países son fundamentalmente exportadores del grano, mientras que los países industrializados de la Unión Europea y Estados Unidos, que son los encargados del procesamiento del producto para la comercialización del chocolate y sus derivados se pueden ver en el segmento industrial (BUHLER, 2025). Esta asimetría tecnológica sugiere la existencia de una brecha en la digitalización integral de la cadena de valor del cacao.

En este sentido, aunque estudios como el de Quintero Rizzuto (2015), donde el objetivo fue analizar la cadena agroalimentaria del cacao en Venezuela y sus perspectivas, especialmente la producción (primaria y procesamiento) y comercialización de cacao y sus derivados, como motor de desarrollo territorial, se identifica un vacío en el diseño

sistémico de plataformas digitales que integren de manera articulada las dimensiones productivas, administrativas, ambientales y comerciales bajo un enfoque de biosistema agroalimentario.

Los biosistemas agroalimentarios, según Odum & Barrett (2006), pueden entenderse como sistemas complejos que integran componentes bióticos (organismos vivos) y abióticos (factores ambientales) interrelacionados mediante flujos de materia, energía e información. Desde esta perspectiva, un biosistema agroalimentario puede abarcar desde un ecosistema agrícola específico hasta redes complejas de producción, procesamiento y distribución de alimentos a escala regional o global.

En este contexto, el sistema cacaotero gestionado por CONACADO puede analizarse como un biosistema agroalimentario caracterizado por múltiples interacciones entre factores ecológicos, productivos, organizacionales y de mercado. La incorporación de herramientas digitales propias de la Agricultura 4.0 permite abordar dicha complejidad mediante el uso de tecnologías de monitoreo ambiental, analítica de datos y plataformas de gestión inteligente orientadas a mejorar los procesos de toma de decisiones en entornos caracterizados por alta incertidumbre climática y dinámica socioeconómica.

Dentro del mismo marco contextual, aunque en la revisión documental de esta investigación se determinó la relevancia de la implementación de la Agricultura 4.0 en la empresa CONACADO para una gobernanza inteligente, existen fundamentos teóricos y metodológicos paralelos de igual magnitud en la significancia de la medición y la optimización de las principales variables de estudio. En la demarcación de algunos de estos elementos se encuentra la intromisión de los fundamentos de la bioeconomía basada en el conocimiento para lograr el aumento de la productividad del biosistema agroalimentario apoyando la necesidad nutricional de los cultivos y la resiliencia climática.

Adicionalmente a los elementos anteriores, se identificó la ingeniería de características y el uso de los algoritmos de inteligencia artificial para la caracterización del impacto de las variables climáticas, algo que permitirá una mejor toma de decisiones sobre la sostenibilidad ambiental y, por último, el uso de sistemas digitales distribuidos para el

control y trazabilidad de las producciones, algo que le otorga a la organización un marco de alta competitividad internacional.

En el próximo capítulo aparecen las principales teorías que fundamentan el modelo teórico propuesto, donde se aprecian los mecanismos de interrelación entre la adopción tecnológica, las tecnologías habilitantes, los procesos ciberfísicos o digitalizados y la transformación organizacional en biosistemas agroalimentarios.

2.2. Marco Teórico.

2.2.1. Fundamentos teóricos de la adopción tecnológica y la transformación organizacional en biosistemas agroalimentarios.

El proceso de transformación digital en los sistemas agroalimentarios no puede analizarse exclusivamente desde una dimensión tecnológica, sino que requiere un enfoque explicativo que articule perspectivas organizacionales, ambientales y estratégicas. En este contexto, la presente investigación se sustenta en cuatro marcos teóricos complementarios que permiten fundamentar conceptualmente la hipótesis general y el modelo analítico propuesto: el modelo Technology–Organization–Environment (TOE), el Technology Acceptance Model (TAM), la teoría de Recursos y Capacidades (Resource-Based View, RBV) y la teoría de Capacidades Dinámicas.

2.2.1.1. Marco de trabajo Tecnología–Organización–Entorno (TOE).

El modelo Technology–Organization–Environment (TOE), propuesto por Tornatzky y Fleischer (1990) y ampliamente desarrollado en estudios posteriores, donde Baker (2011), plantea que la adopción de innovaciones tecnológicas en las organizaciones está condicionada por tres dimensiones interrelacionadas:

- **Contexto tecnológico:** disponibilidad, compatibilidad y complejidad de las tecnologías.
- **Contexto organizacional:** estructura interna, recursos, capacidades y cultura organizacional.

- **Contexto ambiental:** presión competitiva, regulaciones y entorno de mercado.

En el caso del biosistema agroalimentario de CONACADO, el contexto tecnológico se caracteriza por la integración de sensores IoT, sistemas de control automatizado para el procesamiento industrial, computación en la nube, analítica de datos, inteligencia artificial y sistemas de trazabilidad. El contexto organizacional se vincula con su estructura cooperativa, el sistema de gestión estratégica basado en procesos (estratégicos, misionales y de apoyo) y el nivel de capacidades digitales de productores, técnicos y directivos. Finalmente, el contexto ambiental incluye las exigencias del mercado internacional del cacao, las certificaciones socioambientales y la variabilidad climática.

Desde esta perspectiva, la adopción de una plataforma de Agricultura 4.0 no depende exclusivamente de la disponibilidad tecnológica, sino de la interacción sistémica entre factores organizacionales y presiones externas del entorno.

2.2.1.2. El Modelo de Aceptación de Tecnología (TAM).

Según Yong Varela et al. (2010), el Modelo de Aceptación de Tecnología (TAM), desarrollado por Davis (1989), sostiene que la intención de uso de una tecnología está determinada principalmente por dos variables:

- Utilidad percibida (grado de mejora en el desempeño).
- Facilidad de uso percibida (esfuerzo necesario).

Este marco teórico sustenta metodológicamente el proceso de validación del prototipo conceptual (mockup) desarrollado en esta investigación, dado que las dimensiones de evaluación técnica, social y de escenarios simulados se orientan a medir la percepción de utilidad, aplicabilidad y viabilidad del diseño propuesto.

La incorporación del TAM permite interpretar los resultados de las encuestas no como valoraciones subjetivas aisladas, sino como indicadores estructurados de aceptación tecnológica que influyen en la probabilidad de adopción futura dentro del biosistema agroalimentario.

2.2.1.3. Teoría de Recursos y Capacidades (RBV).

La teoría de Recursos y Capacidades de Barney (1991) plantea que las organizaciones obtienen ventajas competitivas sostenibles cuando poseen recursos valiosos, raros, difíciles de imitar y organizativamente explotables (VRIO) (Fong Reynoso, 1998).

Desde esta perspectiva, una plataforma de Agricultura 4.0 puede conceptualizarse como un activo estratégico intangible, capaz de:

- Integrar información productiva y ambiental.
- Reducir asimetrías informativas.
- Mejorar la trazabilidad y el posicionamiento internacional.
- Fortalecer la diferenciación competitiva.

En el caso de CONACADO, la digitalización integrada del biosistema agroalimentario constituye un recurso organizacional que potencialmente puede generar ventajas en mercados internacionales exigentes en términos de sostenibilidad y calidad.

2.2.1.4. Teoría de Capacidades Dinámicas.

De manera complementaria, la teoría de Capacidades Dinámicas de Teece, Pisano y Shuen, (1997) sostiene que la ventaja competitiva no depende únicamente de poseer recursos, sino de la capacidad organizacional para integrarlos, reconfigurarlos y adaptarlos ante entornos cambiantes (Hamed , 2026).

La plataforma propuesta en esta investigación no se concibe únicamente como un instrumento tecnológico, sino como un habilitador de capacidades dinámicas orientadas a:

- La toma de decisiones basada en datos.
- La adaptación ante la variabilidad climática.
- La optimización de procesos administrativos.
- La respuesta estratégica a exigencias del mercado internacional.

De este modo, la Agricultura 4.0 se integra conceptualmente como mecanismo de fortalecimiento de la resiliencia organizacional y de la sostenibilidad sistémica del biosistema agroalimentario.

2.1.1.5. Integración conceptual del modelo propuesto

La articulación de los marcos teóricos TOE, TAM, RBV y Capacidades Dinámicas permite construir un modelo explicativo integrado en el que la adopción tecnológica actúa como un mecanismo catalizador del desarrollo de capacidades organizacionales, las cuales influyen posteriormente en el desempeño productivo, ambiental y competitivo del biosistema agroalimentario.

Esta estructura teórica aporta una visión sistémica que supera los enfoques meramente descriptivos de la digitalización agrícola, permitiendo fundamentar epistemológicamente la hipótesis general de esta investigación. En este marco, el diseño de la plataforma de Agricultura 4.0 se concibe como un mecanismo estructural de transformación organizacional con potencial impacto en la productividad, la sostenibilidad socioambiental y la competitividad internacional del sector cacaotero.

A partir de la integración de los marcos teóricos analizados (TOE, TAM, RBV y Capacidades Dinámicas), se propone un modelo conceptual que explica la relación entre la adopción de tecnologías digitales de Agricultura 4.0 y la transformación organizacional en biosistemas agroalimentarios complejos (ver figura 6).

Figura 6. *Modelo teórico de adopción tecnológica y transformación organizacional en biosistemas agroalimentarios.*



Fuente: Elaboración propia a partir de Tornatzky y Fleischer (1990), Davis (1989), Barney (1991) y Teece et al. (1997).

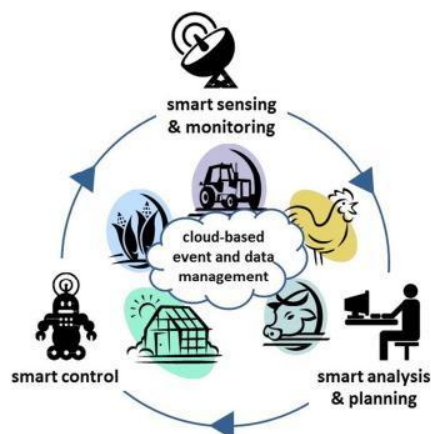
Este modelo plantea que la adopción tecnológica está influenciada por factores tecnológicos, organizacionales y ambientales, así como por la percepción de utilidad y facilidad de uso por parte de los actores del sistema. A su vez, la incorporación de plataformas digitales puede constituirse en un recurso estratégico organizacional que fortalece el desarrollo de capacidades dinámicas orientadas a mejorar la toma de decisiones, la sostenibilidad y la competitividad del biosistema agroalimentario.

2.2.2. Agricultura 4.0: Conceptos, Tecnologías Emergentes y Digitalización.

La Agricultura 4.0 se refiere a la integración de tecnologías de la información y la comunicación dentro de sistemas ciberfísicos aplicados a la gestión agrícola, permitiendo la automatización, el monitoreo en tiempo real y la toma de decisiones basada en datos (Wolfert et al., 2017), (ver figuras 6 y 7). Entre las principales tecnologías habilitadoras de la Agricultura 4.0 se encuentran el Internet de las Cosas (IoT), la computación en la nube, la inteligencia artificial, el análisis de Big Data, los

sistemas de información geográfica (SIG) y las tecnologías de trazabilidad basadas en blockchain. (Tovar-Soto et al., 2019); (Boruah et al., 2024); (Payán Rodríguez , 2023); (N. P. Ndjuluwa et al., 2023).

Figura 7. El ciclo ciberfísico de gestión agrícola.

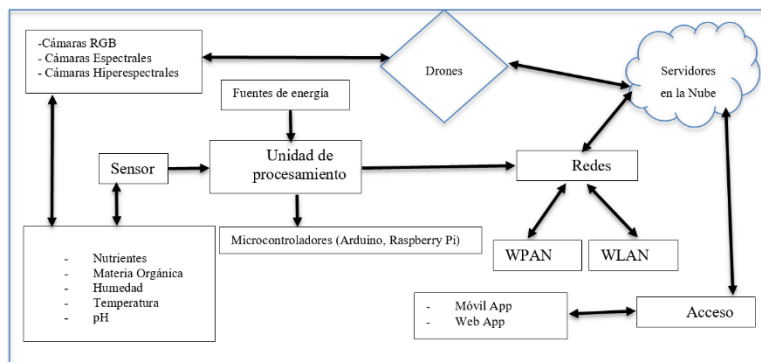


Fuente: (Wolfert et al., 2017)

El Internet de las Cosas (IoT) constituye un ecosistema de dispositivos interconectados capaces de recopilar información en tiempo real mediante sensores instalados en los sistemas productivos agrícolas. Estos sensores permiten monitorear variables edafoclimáticas, fisiológicas y ambientales del cultivo, facilitando la toma de decisiones basadas en datos y optimizando los procesos productivos (N. P. Ndjuluwa et al., 2023). No obstante, la implementación efectiva de soluciones basadas en IoT en el sector agrícola enfrenta limitaciones asociadas a la disponibilidad de infraestructura digital, especialmente en zonas rurales remotas donde el acceso a conectividad de alta velocidad y a infraestructuras de procesamiento de datos aún es limitado.

Para lograr su objetivo en la producción agrícola el IoT necesita monitorear los cultivos en cada etapa de su crecimiento, lográndose así mejorar la germinación, el crecimiento y la producción de las plantas, garantizando así la seguridad alimentaria, convirtiéndose una herramienta vital para la agricultura a gran escala, dado que se utilizan plataformas y procesos automatizados como el riego, el monitoreo de nutrientes y del pH del suelo, el control del nivel de humedad (ver figura 8), activando automáticamente los actuadores para suministrar la cantidad necesaria de agua y fertilizante sin intervención humana.

Figura 8. Flujo genérico de las Plataformas IoT con drones o Microcontroladores para monitoreo edafoclimáticos.



Fuente: Elaboración Propia

En la figura 8 se puede observar cómo los drones pueden desempeñar una doble función dentro de los sistemas agrícolas inteligentes: por un lado, como plataformas de monitoreo equipadas con sensores multispectrales e hiperspectrales para la captura de información del cultivo; y, por otro, como plataformas de intervención capaces de realizar aplicaciones localizadas de fertilizantes, bioinsumos o fitosanitarios (N. P. Ndjuluwa et al., 2023).

Las cámaras multispectrales son sensores que forman las imágenes que al ser enviadas a los servidores de procesamiento que están alojados en la nube serán procesadas por algoritmos estadísticos o de aprendizaje automático para realizar una caracterización global del sistema y así poder elaborar mapas georreferenciados de la estimación de nutrientes, humedad, productividad y otros mediante inteligencia artificial generativa y así enviar recetas de manejos a una Aplicación móvil o web de los técnicos extensionistas o al productor según las configuraciones de cada pasaporte digital para cada finca, teniendo en cuenta las normas y protocolos establecidos.

Otra de las tecnologías importantes abordadas en el ciclo ciberfísico de gestión agrícola es la computación en la nube, la cual es el uso de redes de servidores remotos conectados a Internet para almacenar, administrar y procesar datos en lugar de servidores físicos locales (Orozco & Jacobs , 2016); (Mell & Grance, 2011). Esta permite a los agricultores acceder a datos y herramientas avanzadas en tiempo real a través de

plataformas basadas en Internet para mejorar la productividad y la sostenibilidad. Ejemplos de ellos, son los vistos anteriormente, cuando en la agricultura incluyen el análisis de datos de sensores y satélites para la agricultura de precisión, la previsión meteorológica avanzada y la gestión de recursos hídricos y de biofertilizantes.

Las herramientas avanzadas hospedadas en los servidores de procesamiento en la nube, nos permiten procesar las variables edafoclimáticas y generar conocimientos sobre el segmento de producción agrícola, pero estas forman parte de un conjunto más grandes de variables que son generadas por los sistemas transaccionales de gestión institucional o de control automático de los sistemas de operaciones industriales de las plantas poscosecha y de transformación del cacao en chocolate, los cuales son parte de la solución de inteligencia integral (BI) de Biosistema que se verá más adelante. Dentro de las principales herramientas podemos encontrar los algoritmos de inteligencia artificial, los sistemas de información geográfica (SIG) y la tecnología de trazabilidad basada en blockchain.

La inteligencia artificial (IA), según el Gobierno de España (2023), es el desarrollo de sistemas informáticos capaces de realizar tareas que normalmente requieren inteligencia humana, como el aprendizaje, el razonamiento, la percepción y la toma de decisiones. Se basa en algoritmos y modelos matemáticos que procesan grandes cantidades de datos para identificar patrones y tomar acciones. La IA se utiliza en diversas áreas, como asistentes virtuales, análisis de datos, recomendaciones personalizadas, detección de fraudes, y su desarrollo continúa transformando industrias y la vida cotidiana. En el contexto de la presente investigación se emplean dos algoritmos de aprendizaje automático: Random Forest y XGBoost. (Ver Anexo 12).

Según XGBoost Tutorials (2025), el algoritmo XGBoost, o eXtreme Gradient Boosting, es un algoritmo de ML basado en aprendizaje por conjuntos, el cual es muy utilizado para tareas de aprendizaje supervisado, como regresión y clasificación. Este construye un modelo predictivo combinando iterativamente las predicciones de múltiples modelos individuales, a menudo árboles de decisión, el cual funciona añadiendo secuencialmente aprendices débiles al conjunto, y cada nuevo aprendiz se centra en corregir los errores de

los existentes, este utiliza una técnica de optimización por descenso de gradiente para minimizar una función de pérdida predefinida durante el entrenamiento.

Las características clave del algoritmo XGBoost incluyen su capacidad para manejar relaciones complejas en datos, técnicas de regularización para evitar el sobreajuste y la incorporación de procesamiento paralelo para un cálculo eficiente (Tyagi, 2025).

Paralelamente, el algoritmo Random Forest, según Amat Rodrigo (2025), es un modelo que está formado por múltiples árboles de decisión individuales, donde cada uno de estos árboles es entrenado con muestras ligeramente distintas de los datos de entrenamiento, generadas mediante técnicas de bootstrapping. En el caso de la realización de predicciones sobre nuevas observaciones, se combinan las predicciones de todos los árboles que conforman el modelo (Sayed, 2024).

Adicionalmente, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son una tecnología clave en la agricultura digital, los cuales pueden combinarse con las tecnologías y algoritmos mencionados anteriormente, permitiendo a los agricultores tomar decisiones basadas en datos geolocalizados para optimizar el rendimiento, gestionar recursos y aplicar la agricultura de precisión. Los SIG integran información del campo, datos climáticos y satelitales para crear mapas temáticos que revelan patrones, identifican problemas y ayudan a planificar estrategias de manejo más eficientes, desde la siembra hasta la cosecha (Olaya, 2025); (Cantos Sánchez et al., 2022).

Dentro de las aplicaciones más reciente de este tipo de herramienta podemos encontrar a la plataforma AlphaEarth del fabricante Google (2025), la cual es una IA que funciona como un 'satélite virtual inteligente', que permite acceder a datos satelitales históricos (2017–2025) para generar mapas de cobertura de suelo, vigor vegetativo, humedad y riesgos de sequía, la cual será parte de este trabajo investigación, donde se conjugaran con los datos de las cámaras hiperespectrales para afinar el diagnostico edafoclimático de los sistemas y así servir a los procesos de certificación que serán sometidos los productores según su pasaporte digital(DPP).

El concepto de pasaporte digital de finca puede entenderse como una adaptación del Pasaporte Digital de Producto (Digital Product Passport, DPP), que consiste en un registro digital que documenta información relevante sobre el ciclo de vida de un producto o activo, incluyendo su origen, procesos productivos y características de sostenibilidad (Caldwell, 2025).

Otra de las tecnologías importantes en este ecosistema es el Blockchain, la cual es una tecnología de registros en un sistema de base de datos distribuida y descentralizada que funciona como un libro de contabilidad inmutable y transparente para registrar transacciones de forma segura, sin necesidad de una autoridad central. Los datos se agrupan en bloques, que se enlazan criptográficamente en una cadena cronológica, haciendo imposible la modificación o eliminación de transacciones una vez registradas. Esta estructura proporciona mayor confianza, seguridad y eficiencia al descentralizar el control y replicar el registro entre múltiples participantes (nodos) de una red (IBM, 2025). Esta tecnología otorgará un seguimiento riguroso a toda la cadena de valor de la producción cacaotera y según Alzate & Giraldo (2023) y Pérez Fernández (2024) las principales funciones de esta tecnología son:

- **Mejora de la Trazabilidad y Transparencia:** Permite un seguimiento exhaustivo de los productos (cacao, nibs, manteca, licor, bioinsumos) en tiempo real, desde su origen hasta el destino final, facilitando la identificación de problemas y el control de calidad.
- **Prevención del Fraude:** La inmutabilidad de los registros dificulta actividades fraudulentas como la falsificación o la manipulación de datos de carga, proporcionando un historial claro y confiable del manejo en toda la cadena de valor.
- **Gestión de Inventarios Eficiente:** Facilita el seguimiento detallado de productos por lotes, optimizando la gestión de inventario y reduciendo errores y pérdidas.

- **Verificación de Ética y Sostenibilidad:** Ayuda a verificar que los productos se producen de manera responsable, cumpliendo con estándares ambientales y laborales, y fomentando el comercio justo.
- **Optimización de Rutas y Procesos:** La visibilidad mejorada de la cadena de suministro permite identificar patrones y optimizar rutas de transporte, lo que puede reducir costos y emisiones contaminantes.
- **Eliminación de Intermediarios:** Al crear un sistema de confianza y seguridad compartido, el blockchain elimina la necesidad de confiar en intermediarios, haciendo los procesos más eficientes.

Según Plattform Industrie 4.0 (2025), uno de los grandes éxitos que han tenido los modelos productivos de la Industria 4.0 (I 4.0) ha sido la implementación de las consolas de administración de activos (AAS), donde se entiende que una representación digital es igual al conjunto de informaciones que describen completamente las características y el comportamiento de una entidad (activo), llamado gemelos digitales. Donde las AAS son la implementación de los gemelos digitales (DT) de un activo, procesos o los negocios dentro de la propia cadena de valor, los cuales se encuentran interconectados y pueden interactuar entre ellos (Sharma et al., 2022).

Un enfoque metodológico relevante para la integración tecnológica en la construcción de gemelos digitales (DT) de fincas inteligentes y su dinámica en la cadena de valor agroproductiva, los constituyen las aplicaciones que utilizan sensores IoT de mediciones múltiples (ver figura9), de conjunto con los sistemas de clasificación para la fertilidad de los suelos, el análisis hiperespectral basado en drones y los modelos de inteligencia artificial de redes neuronales difusas aplicados áreas productivas bajo un código de producción DDP, los cuales no son más que identificador único de cada activo dentro de un AAS.

De acuerdo con Salazar (2024), el Mapeo Digital de suelos (MDS) constituye una herramienta fundamental para analizar la variabilidad espacial de las propiedades edáficas, permitiendo optimizar el uso de fertilizantes, priorizar estrategias de mitigación

de contaminantes como metales pesados y gestionar las reservas de materia orgánica del suelo. Estas capacidades resultan esenciales para la toma de decisiones agronómicas basadas en datos dentro de sistemas agrícolas inteligentes.

Figura 9. Sensor NPK de suelos agrícolas.



Fuente: adoptado de (Amazon, 2025)

En este sentido, diversos dispositivos electrónicos conectados a placas microcontroladoras, tales como Arduino o Raspberry Pi, pueden funcionar como nodos de sensorización dentro de redes IoT agrícolas. Según L. Lenin et al. (2024), estos dispositivos permiten medir propiedades físicas y químicas del suelo, así como el contenido de materia orgánica, con niveles de precisión comparables a los análisis de laboratorio, siempre que se realicen procesos adecuados de calibración basados en muestras de referencia.

La aplicación metodológica de estas tecnologías permitirá recolectar las señales emitidas por cada controlador geoespacialmente distribuido y tener un mapeo digital de la variabilidad de las propiedades nutricionales del suelo agrícola y de esta forma obtener una clasificación nutricional según UASD y la FAO (CSr Laboratorio, 2025); (Kang & Tripathi, 2025).

La utilización de herramientas GIS en Plataformas 4.0, permite la utilización de diferentes algoritmos para obtener clasificaciones digitales de suelos, entre los que se encuentran las redes neuronales artificiales (ANN), los de lógica difusa o ambos

integrados (Taghizadeh-Mehrjardi et al., 2019); (R. Valera et al., 2018) ; (Valera & Orta Fernández, 2018).

Estos algoritmos permiten que cada parcela, donde están ubicados estos dispositivos, puedan ser envueltas en una geocercas para su diferenciación y análisis, con la finalidad de dividir en cuadrículas de una distancia fija “d”, donde cada vértice de la cuadrícula representa un punto en el terreno que va estar georreferenciado por el sistema GPS de la plataforma, como muestra la (Figura10), para la delimitación de áreas homogéneas con fines de manejo de suelos o para el establecimiento de parcelas que requiere del conocimiento de la variación de las propiedades del suelo y la interpretación basada en la dependencia espacial de las variables más relevantes. Con la finalidad de predecir la variación de propiedades y las clases de fertilidad del suelo.

Figura 10. *Georreferenciación de puntos dentro de las parcelas para análisis de edafológico de parcelas.*

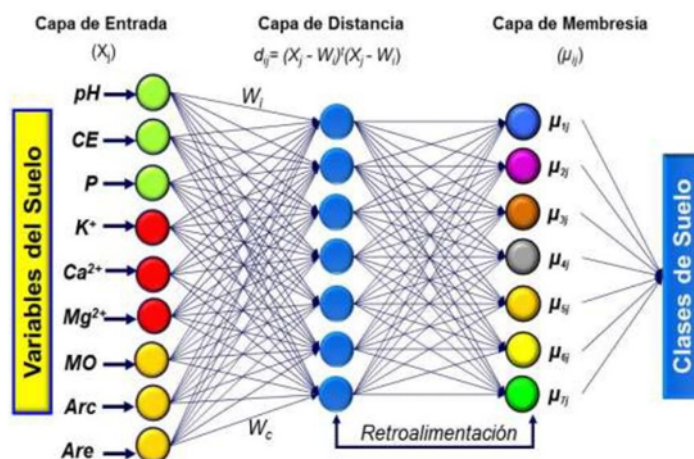


Fuente: (Valera & Fernández, 2018)

Según Valera & Orta Fernández (2018), si se logra obtener correctamente los valores de las variables edáficas en cada punto georreferenciado, se puede utilizar el método geoestadístico de kriging ordinario para la interpolación de las propiedades del suelo y el algoritmo neurodifuso FKCN para la obtención de los modelos representativos de las clases de fertilidad del suelo. Donde la arquitectura de la red neuronal FKCN que se utilizó en el análisis consta de tres capas (Figura 11), la capa de entrada contiene los valores normalizados de las variables edáficas procedentes de los modelos de predicción de variables del suelo. La capa de distancias incluye las neuronas equivalentes al número

preestablecido de clases digitales de suelo, y la tercera capa calcula la función de pertenencia de cada celda a cada una de las clases de suelo, basada en las distancias calculadas en la capa anterior y los valores preestablecidos del coeficiente difuso.

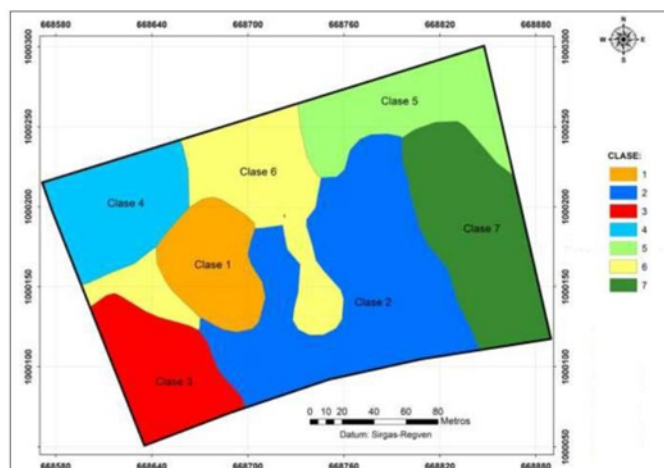
Figura 11. *Modelo de una red NeuroDifusa para las clases de fertilidad de las parcelas.*



Fuente: (Valera & Orta Fernández, 2018)

El modelo digital neuro-difuso obtenido permite determinar la relación de tipos de clases que componen el sistema edáfico representado por la imagen que aparece a continuación (Figura 12), donde *Academiaruraldigital* (2025) manifiesta, que esta caracterización constituye la base para obtener una réplica virtual de las instalaciones agrícolas, a través de la cual se logre monitorizar, simular y optimizar procesos en tiempo real.

Figura 12. Mapa de fertilidad de una parcela obtenido por FKC.N.

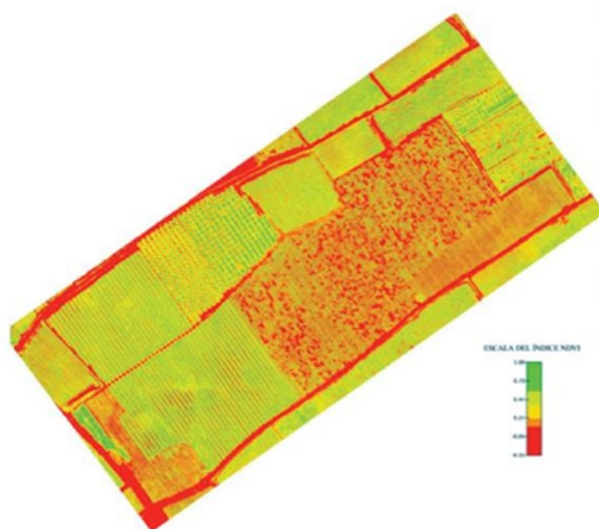


Fuente: (Valera & Orta Fernández, 2018)

Con el uso de microcontroladores digitales conectados en red que recojan todas las señales digitales de los sensores edáficos antes mencionados, que tengan conectados también a dicha red de datos, otros tipos de sensores ambientales, permite que el gemelo digital de la finca productiva se robustezca, logrando incorporar en la capa de entrada de la red neuronal variables de naturaleza climática, como la precipitación, la radiación solar, la temperatura ambiental entre otras (Niuboltech, 2025).

Una alternativa muy robusta desde el punto de vista del análisis de la información es la incorporación de las imágenes hiperespectrales, utilizando drones (ver figura 13) lo que permite obtener por métodos ópticos un conjunto de variables edáficas y climáticas, para convertir el modelo en un sistema edafoclimático, que permite monitorear el comportamiento del sistema en ambas dimensiones, aportando mapas como el que aparece en la figura 13, donde el modelo recoge variables de índices espectrales, que permiten manejar el estrés hídrico, la contaminación por metales pesados y la presencia de plagas (Gonzalez & Amarillo, 2016).

Figura 13. Mapa de reflectancia de una parcela desde un DRON.



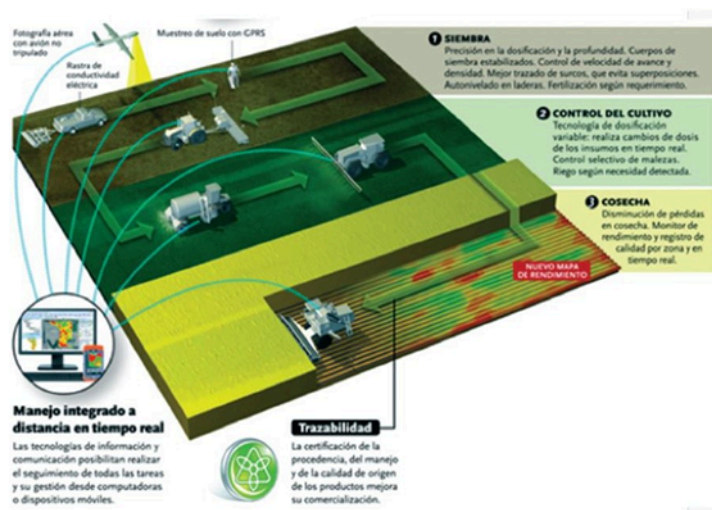
Fuente: (Gonzalez & Amarillo, 2016).

La teledetección multiespectral, la cual esta explicada en detalle en el capítulo de 2.2.4 de este trabajo de investigación, tiene una significación similar a la de una radiografía, que permite determinar cualquier anomalía a priori en los cultivos y suelos, determinado el grado de salud de los cultivos y el estado de los suelos, el nivel de estrés hídrico, etc. Todos los índices obtenidos serán la base de conocimiento que dinámicamente estará trabajando la plataforma para conformar su sistema de gestión de inteligencia empresarial, convirtiendo a la granja agrícola en una estructura ciberfísica inteligente para relacionarla con los productos industriales, que utiliza el conocimiento para el desarrollo de su actividad y donde se creara una sinergia que responde a un complejo de operaciones de producción agrícola, donde el productor y los demás miembros del grupo de dominio de la granja y el sector industrial, tendrá de forma sencilla la posibilidad de nutrirse y aportar a los procesos en los que intervienen y toman decisiones de una forma integral.

En un biosistema Agroalimentario 4.0, todos los elementos del sistema, trabajadores, gestores, clientes, autoridades, comerciales, maquinarias y procesos estarán conectados a la nube, a través de internet, donde cada elemento ciberfísico, que compone el ciclo agrícola completo, estará intercambiando información a través de su propio AAS,

logrando un sistema distribuido de funcionamiento que optimiza la cadena agroalimentaria y va dando fundamento a la aplicación del paradigma de la inteligencia artificial en base a la 4ta. Revolución industrial en el siglo XXI (ver figura 14).

Figura 14. Proceso de gestión integral de agricultura sostenible.



Fuente: (González & Amarillo, 2016).

Dentro de este marco de digitalización agrícola, el gemelo digital de la finca productiva permite integrar múltiples componentes físicos y digitales del biosistema agroalimentario. Entre estos componentes destacan las biofábricas conectadas, cuya representación digital dentro del sistema ciberfísico permitirá gestionar de forma inteligente la producción de bioinsumos necesarios para mantener las fincas en condiciones óptimas de sostenibilidad y productividad. Este aspecto será analizado en el siguiente apartado.

2.2.3. Las Biofábricas de Fertilizantes Orgánicos y los Biosistemas Agroalimentarios.

Las biofábricas son centros de producción de insumos biológicos como biofertilizantes, bioestimulantes y otros productos orgánicos, que utilizan microorganismos y procesos naturales para transformar residuos y crear alternativas sostenibles para la agricultura. Su objetivo es regenerar la salud del suelo, nutrir los cultivos de forma natural y reemplazar el uso de agroquímicos, contribuyendo a la seguridad alimentaria, la

sostenibilidad y la adaptación al cambio climático (Goulet et al., Las biofábricas, nuevos modelos de producción y acceso a los insumos agrícolas en América Latina., 2024); (Weaver et al., 2009).

En esta investigación, las biofábricas se conceptualizan como componentes del ciclo ciberfísico de gestión agrícola dentro del biosistema agroalimentario del cacao, constituyendo nodos productivos responsables de la generación de bioinsumos requeridos por las fincas inteligentes del sistema. La bioeconomía basada en conocimiento se define como un modelo económico que integra ciencia, tecnología e innovación para la producción sostenible, utilización y conservación de recursos biológicos renovables, orientado a generar nuevos productos, procesos y servicios que contribuyan al desarrollo económico, social y ambiental (Ponce Sánchez & Carrillo González, 2020).

A las instalaciones que cumplen las condiciones del párrafo anterior se les denomina "biofábricas conectadas", dado que se refieren a la articulación de centros de producción de insumos agroecológicos con un ecosistema global de sostenibilidad, empresas, instituciones y conocimientos para potenciar el desarrollo rural y la agricultura regenerativa. En estas se busca conectar el conocimiento local y la tecnología de las biofábricas con el mercado, la investigación científica y otras iniciativas para crear una economía más resiliente e inclusiva, utilizando la biodiversidad local como base (FAO, 2023); (Asohofrucol, 2024); (Ponce Sánchez & Carrillo González, 2020).

Esto implica que en el biosistema agroalimentario de Conacado, las soluciones de Agricultura 4.0 a través de los elementos IoT y los drones con sus cámaras multiespectrales generaran un conjunto de datos que posteriormente los algoritmos de IA hospedados en los servidores en la nube los convierten en mapas de nutrientes, hidrológicos, materia orgánica y de estimaciones de factores ambientales asociados al DDP de cada finca del ecosistema, convirtiéndose así en automático en una demanda de bioinsumos generada para el plan del sistema de producción de la propia biofábrica, según el plan agronómico de cada productor.

La inclusión de las Biofabricas en el ciclo ciberfísico de la gestión agrícola de un biosistema agroalimentario, muestra la diferencia sustancial entre el concepto de Digitalización de los procesos en la agricultura y el concepto de transformación digital, según Rijswijk et al. (2021), la digitalización de procesos en la agricultura transforma el sector al incorporar tecnologías como sensores, drones, IoT y análisis de datos para mejorar la eficiencia y sostenibilidad, mientras la transformación digital, en un sentido más amplio, implica un cambio cultural y estratégico que busca optimizar la toma de decisiones, aumentar la productividad y la rentabilidad, y hacer el sector más atractivo para el talento joven, lo que lleva a una producción más inteligente, sostenible y competitiva.

Esto implica que el proceso de transformación digital impacta los ecosistemas productivos en las dimensiones económicas, ambientales, sociales, tecnológicas e institucionales y sus interrelaciones, por lo que es necesario comprender y desarrollar marcos de investigación e innovación responsables que brinden una mejor comprensión y anticipación de los impactos, a menudo desconocidos, sobre todo en el entendimiento de las relaciones entre lo social, lo cibernético y lo físico, es decir, un sistema socio-ciber-físico, para una transformación digital exitosa de dicho sistema, como son el diseño y la creación de acceso a las tecnologías digitales, y la gestión de la complejidad del biosistema agroalimentario.

2.2.3.1. Tipos de bioproductos generados en una biofábrica y el modelo de decisión.

Las biofábricas para el caso específico de un biosistema agroalimentario de cacao orgánico producen varios bioinsumos, entre los que podemos encontrar los biofertilizantes líquidos y sólidos, los bioestimulantes, bioplaguicidas, entre otros, cada uno con sus características y funciones propias, como establece la tabla siguiente:

Tabla 2. Tipos de bioproductos y sus características para cacao orgánico.

Categoría del Bioinsumo	Bioinsumo	Concepto	Principales Características
Biofertilizantes	Fijadores de Nitrógeno (Azotobacter, Azospirillum, Rhizobium)	Microorganismos que convierten el N ₂ atmosférico en formas disponibles para la planta.	Aumentan la fertilidad del suelo, reducen el uso de fertilizantes

			sintéticos, mejoran el crecimiento inicial.
	Solubilizadores de Fósforo y Potasio (<i>Bacillus megaterium</i> , <i>Pseudomonas fluorescens</i>)	Microorganismos que transforman nutrientes insolubles en formas asimilables.	Incrementan la disponibilidad de P y K, estimulan el desarrollo radicular y promueven la floración.
	Micorrizas arbusculares (<i>Glomus</i> spp.)	Hongos simbiosntes que se asocian a las raíces.	Mejoran absorción de nutrientes y agua, aumentan tolerancia a sequía y estrés.
	Bioles líquidos	Fertilizantes líquidos fermentados con estiércol, melaza y Microorganismos eficientes.	Aportan nutrientes solubles, microorganismos benéficos y hormonas de crecimiento natural.
Bioestimulantes	Extractos de algas	Derivados de macroalgas marinas (<i>Ascophyllum</i> , <i>Sargassum</i>).	Estimulan el crecimiento, inducen resistencia al estrés y mejoran cuajado de frutos.
	Aminoácidos vegetales	Moléculas orgánicas obtenidas de leguminosas y otros cultivos.	Mejoran el metabolismo de la planta y aumentan la resistencia al calor y a la sequía.
	Quitosano	Polisacárido obtenido de hongos o crustáceos.	Activa defensas naturales, reduce incidencia de enfermedades, promueve la sanidad foliar.
Biocontroladores	<i>Trichoderma</i> spp.	Hongo antagonista contra patógenos del suelo.	Controla <i>Phytophthora</i> , escoba de bruja y moniliasis; regenera microbiota del suelo.
	<i>Bacillus subtilis</i>	Bacteria antagonista contra hongos y bacterias patógenas.	Produce antibióticos naturales, mejora la salud foliar y radicular.
	<i>Beauveria bassiana</i> y <i>Metarhizium anisopliae</i>	Hongos entomopatógenos que atacan insectos plaga.	Controlan chinches, escamas, orugas y picudos del cacao.
	<i>Bacillus thuringiensis</i>	Bacteria que produce toxinas específicas contra larvas de insectos.	Biocontrol selectivo contra lepidópteros sin afectar fauna benéfica.
Bioinoculantes	Consortios microbianos nativos	Mezcla de bacterias y hongos aislados de suelos cacaoteros.	Adaptados a condiciones locales, regeneran biodiversidad microbiana y mejoran fertilidad.
	Microorganismos eficientes (ME)	Combinación de bacterias ácido-lácticas, levaduras y actinomicetos.	Mejoran la descomposición de materia orgánica y la disponibilidad de nutrientes.
Biosustratos y Acondicionadores	Compost y vermicompost	Residuos orgánicos transformados por microorganismos o lombrices.	Aportan materia orgánica estable, mejoran estructura del suelo, retención de agua y nutrientes.
	Biochar enriquecido	Carbón vegetal activado y cargado con nutrientes y microorganismos.	Aumenta retención de nutrientes, captura carbono, mejora suelos degradados.
	Hongos descomponedores (ligninolíticos y celulolíticos)	<i>Pleurotus</i> spp., <i>Phanerochaete</i> spp. que degradan lignina y celulosa.	Convierten residuos de cacao en sustratos fértiles y reciclables.
Bionematicidas y Biofungicidas	Extractos vegetales (Neem, higuera, ají, ajo, tabaco)	Sustancias naturales con acción insecticida y antifúngica.	Controlan nematodos y plagas, son biodegradables y compatibles con orgánico.
	Fermentados microbianos con metabolitos secundarios	Cultivos microbianos que producen compuestos antifúngicos y nematicidas.	Reducen nematodos de raíz y hongos fitopatógenos sin afectar microorganismos benéficos.

Fuente: Elaboración propia a partir de (Weaver et al., 2009)

La tabla anterior (tabla 2) constituye un ejemplo de un estado del arte práctico de lo que se produce en las biofábricas conectadas para cacao, con foco en normas orgánicas internacionales y agricultura regenerativa. Esto va a permitir la elaboración de otras

tablas importantes, donde el ingeniero extensionista y el productor orgánico podrán controlar los bioinsumos para cacao orgánico, incluyendo modo de acción, forma de aplicación y compatibilidad con normativas internacionales (EU 848/2018, USDA Organic, ROC, etc.), esto les permitirá obtener un cuadro de uso técnico para identificar qué bioinsumos aplicar en cacao orgánico, cómo actúan, cómo se aplican y si cumplen con las certificaciones internacionales, lo cual puede pasársele en un formato de matriz de decisión mediante un sistema de experto en IA para que un productor sepa qué bioinsumo aplicar según problema: nutrición, plagas, hongos, suelos degradados, metales pesados a partir de la interpretación recogidas de los mapas digitales obtenidos del análisis de la información IoT o de las cámaras hiperespectrales que utilizan los drones o la plataforma QGIS sobre el polígono georreferenciado de cada predio productivo(ver anexos).

2.2.3.2 Integración de biofábricas en sistemas ciberfísicos agroalimentarios

Esta configuración convierte la capa de aplicación del control inteligente de la producción agrícola en un controlador complejo adaptativo del sistema general de todas las fincas productivas pertenecientes a Conacado, donde la matriz de decisión de los bioinsumos a aplicar en cada parcela aparecerá como respuesta a un problema de optimización resuelto por la inteligencia artificial hospedada en la nube (Castillo Cobas et al., (2025).

Un modelo de optimización para una fábricas de biofertilizantes que posee una matriz de producción de bioinsumos como la que aparece en anteriormente (tabla 2) para atender fincas compuestas por parcelas con características heterogéneas (fertilidad, estrés hídrico, metales pesados, cultivos, etc.), puede ser un modelo (Mixed-Integer Linear Programming)MILP/MINLP real, los cuales es uno de los modelos matemáticos más usados en: optimización industrial, logística, planificación de producción, asignación de recursos, ruteo, agricultura de precisión y plantas de bioinsumos en este el objetivo puede ser modelar la planta con su red logística y la asignación de bioinsumos a parcelas (da Silva Neiro et al., 2022), (Bayá et al., 2022). Para ello se puede considerar que los posibles objetivos son:

- Minimizar costo total (producción, materias primas, transporte, aplicación).
- Maximizar beneficio/ganancia agrícola o aumento esperado de rendimiento.
- Minimizar impacto ambiental o riesgo (ej. reducción de metales pesados, uso de agroquímicos).
- Maximizar cobertura de demanda o equidad entre fincas.

Para ello se deben tener en cuenta una serie de conjuntos, parámetros y variables:

Los conjuntos pueden ser:

- P:** Parcelas (indexadas por p).
F: Fincas.
C: Tipos de cultivo (cacao, etc.).
B: Tipos de bioinsumo que produce la planta (biofertilizante A, bioestimulantes B, enmienda para metales M, inoculante, etc.).
T: Periodos de tiempo (si modelas horizonte).
R: Recursos/insumos crudos disponibles en la planta.

Con la relación siguiente de parámetros:

- $d_{p,t}$: Demanda “efectiva” de tratamiento para parcela p en periodo t (puede venir de superficie $\times$ dosis).
 $area_p$: Área de parcela p .
 $ef_{p,b}$: Eficacia esperada del bioinsumo b en parcela p (factor que depende de fertilidad, pH, estrés hídrico, contaminación por metales, cultivo).
 c_b^{prod} : Costo unitario producción de bioinsumo b .
 $c_{b,r}^{mat}$: Cantidad de materia prima r necesaria por unidad de b .
 cap_b^{plant} : Capacidad máxima de producción de b en planta por periodo.
 cap_r^{mat} : Disponibilidad de materia prima r .
 c_p^{trans} : Costo de transporte por unidad hacia parcela p (puede depender de distancia).
 lim_p^{metal} : Límite permisible u objetivo de reducción de metal en parcela p .
 y_p : Rendimiento base esperado en p sin tratamientos.
 $inc_{p,b}$: Incremento esperado de rendimiento por unidad aplicada de b en p (puede relacionarse con $ef_{p,b}$).

Y el conjunto de variables de decisión:

- $x_{b,t}$: Cantidad producida de bioinsumo b en periodo t .
 $y_{b,p,t}$: Cantidad de b enviada/aplicada a parcela p en periodo t (puede expresarse en litros/kg por ha).
 $z_{b,p,t} \in \{0, 1\}$ Si se aplica b en p , t (para restricciones de compatibilidad o mínimo pedido).

$I_{b,t}$: Variables de inventario.

Donde sí la función objetivo a optimizar sería el costo total, el modelo MILP quedaría:

$$\text{mín} \sum_t \sum_b c_b^{prod} x_{b,t} + \sum_t \sum_p \sum_b c_p^{trans} y_{b,p,t} \quad (1)$$

Sujeto a las siguientes restricciones:

1. Balance producción — despacho:

$$\forall b, t: x_{b,t} \geq \sum_p y_{b,p,t} + I_{b,t} - I_{b,t-1} \quad (2)$$

2. Capacidad de planta:

$$\forall b, t: x_{b,t} \leq cap_b^{plant} \quad (3)$$

3. Disponibilidad de materias primas:

$$\forall r, t: \sum_b c_{b,r}^{mat} x_{b,t} \leq cap_r^{mat} \quad (4)$$

4. Satisfacción mínima / demanda de parcela (con incumplimientos $u_{p,t}$):

$$\forall p, t: \sum_b ef_{p,b} y_{b,p,t} \geq d_{p,t} - u_{p,t} \quad (5)$$

5. Restricciones agronómicas / dosis máximas:

$$\forall p, b, t: 0 \leq y_{b,p,t} \leq area_p \cdot dose_{b,p}^{m\acute{a}x} \quad (6)$$

6. Compatibilidades (ej. no mezclar bioinsumo X con Y):

$$\forall p, t: z_{b,p,t} + z_{b,p,t} \leq 1 \text{ (si son incompatibles)}$$

$$y, z_{b,p,t} = 1 \text{ si } y_{b,p,t} > 0 \quad (7)$$

7. Restricción por metales pesados (por reducción objetivo):

En el caso de Conacado, donde se han detectado producciones de Cacao, fuera de parámetro por aluminio, se han comprobado métodos de bioinsumos para precipitar el Al, elevando el pH o métodos de fitorremediación (ScienceDirect, 2023), utilizando microorganismos que absorben el aluminio del suelo, por tanto, si un bioinsumo remedia metales, se puede modelar por efecto acumulativo:

$$\forall p: metal_{p, final} = metal_{p,0} - \sum_t \sum_b rem_{b,p} y_{b,p,t} \leq lim_p^{metal} \quad (8)$$

El modelado de MILP, según (da Silva Neiro et al., 2022), es un modelo donde la función objetivo y las condiciones de restricción son lineales, con algunas de las restricciones de variables enteras. Ahora bien, si el objetivo es maximizar el rendimiento en lugar de minimizar el costo, entonces la ecuación (1) habría que sustituirla por la siguiente ecuación.

$$máx (yield_{p, final}) = máx (y_p + \sum_{b,t} inc_{p,b} y_{b,p,t}) \quad (9)$$

El método de optimización puede cambiar si en dependencia de las variantes del problema que se puedan presentar, según el nivel incertidumbre y la condiciones de no linealidades que se presenten, pasando a un problema Estocástico (programación por escenarios), si la respuesta de parcela es incierta, genera escenarios y optimiza el valor esperado, esto ayuda a manejar variabilidad climática o respuesta biológica. También se puede utilizar Optimización robusta: si se prefiere garantías frente al peor caso (p. ej. no fallar en reducción de metales), usado un enfoque robusto con intervalos de incertidumbre.

Se puede utilizar la modelación no lineal, cuando se analiza la ganancia de rendimiento, que suele ser no lineal (curva dosis-respuesta), donde el modelo pasa a MINLP o a aproximación por trozos o Multiobjetivos, si se usa ponderación o técnicas de Pareto (optimiza costo vs rendimiento vs impacto) o realiza optimizaciones secuenciales (minimizar costo sujeto a alcanzar X% de mejora en rendimiento). También sería adecuado utilizar Modelado espacial, si la conectividad/ubicación importa (transporte, difusión de tratamientos), incorpóralo con datos GIS y distancias; donde el término transporte será función de distancia o del tiempo.

En el acápite siguiente se podrá observar cómo se integran los modelos de decisión con la normativa empleada para estandarizar la cuarta revolución industrial (RAMI 4.0)

2.2.4. Automatización Industrial y el Modelo RAMI 4.0.

La cuarta revolución industrial es una nueva forma de entender la industria y su relación con el mercado, el consumidor, el proveedor, los sistemas de producción, la tecnología, entre otros. Donde todo está interconectado y se puede llegar a establecer una nueva época industrial en la que la industria agroalimentaria puede tener un gran peso y relevancia, dadas sus características y las interrelaciones creadas con los consumidores, cada vez más exigentes, críticos, exclusivos y demandantes de productos personalizados y basados en sus necesidades cotidianas o estilo de vida (Montiel Rosales et al., 2021). Esta revolución industrial tiene como componentes fundamentales:

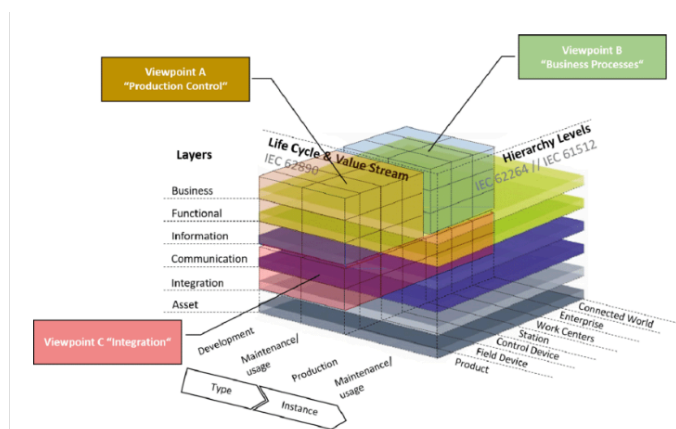
- a) Los sistemas ciberfísicos (CPS) que flexibilicen la cadena de valor.
- b) Robots inteligentes y colaborativos, como máquinas capaces de interactuar de forma inteligente.
- c) Big Data, como grandes volúmenes de información, se van a generar y tienen que ser capaces de gestionarlos e interpretarlos.
- d) Movilidad remota, aplicada a todo aquello que pueda ser gestionado y manipulado de forma externa.
- e) Bioenergía eficiente y descentralizada, debido al cambio climático y a la escasez de recursos.

- f) Industrialización virtual y realidad aumentada, que permitirán realizar simulaciones y tests de nuevas plantas de producción o nuevos productos en un tiempo muy reducido.
- g) Factorías 4.0, que representarán la máxima conectividad para fabricar “cosas” y permitirán realizar personalización de productos utilizando sensores, impresoras 3D o robots inteligentes.

Esta tendencia, muy bien definida, que empezó a engendrarse en 2015 y que en los años venideros va a suponer un nuevo paradigma para la industria, cubriendo también la agroalimentaria a nivel mundial. En el momento de la aplicación, los beneficios serán importantes y supondrán una gran oportunidad para las industrias. Todas las partes de la cadena podrán interactuar a tiempo real, con una transmisión de datos que permita la toma de decisiones de forma inmediata, lo cual podrá generar grandes beneficios en la relación empresa-proveedor-distribuidor-mercado.

La automatización en la Industria 4.0 o la cuarta revolución industrial, como se ha descrito con anterioridad, utiliza tecnologías como el Internet Industrial de las Cosas (IIoT), la inteligencia artificial, el cloud computing, los sistemas ciberfísicos (CPS) y el análisis de datos para crear sistemas interconectados y autónomos que controlan, monitorean y optimizan procesos industriales en tiempo real, reduciendo la intervención humana y mejorando la eficiencia, la calidad y la flexibilidad de la producción (Da Costa Pimenta et al., 2025); (Barragán Martínez & Zaldivar Almarales, 2023); (Peñalver-Higuera et al., 2025). Todo ello a través de un modelo normativo llamado **RAMI 4.0** (ver figura 15).

Figura 15. El Modelo RAMI 4.0 para la digitalización de los procesos en Industria 4.0.



Fuente: Towards Viewpoint-Oriented Engineering for Industry 4.0, (Kannengiesser & Müller, 2018)

La arquitectura de referencia para la Industria 4.0 o RAMI 4.0 es un modelo que proporciona un marco estructural para la transformación digital en las empresas de manufactura. Este concepto es clave para aquellas organizaciones que buscan integrar tecnologías emergentes y optimizar la conectividad entre sus procesos industriales, garantizando una mayor eficiencia y competitividad en el mercado, adaptándolas a nuevos retos y automatizando procesos.

El RAMI 4.0 es un modelo estructural que organiza los componentes esenciales para la transformación digital de la industria. Esto lo logra dividiendo los sistemas de producción en capas y niveles, para facilitar la integración de tecnologías como IoT, inteligencia artificial y automatización en los procesos industriales.

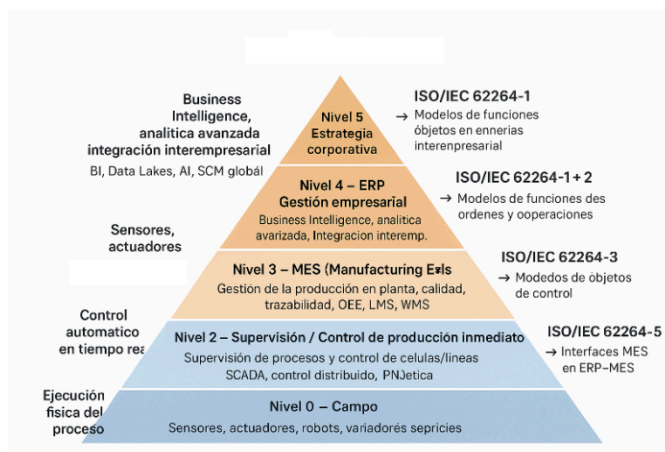
Resumiendo, su objetivo es estandarizar la conectividad y mejorar la interoperabilidad entre máquinas, sistemas y personas, optimizando así la eficiencia operativa en fábricas inteligentes.

La aplicación del modelo RAMI 4.0 en la fabricación de chocolate podría centrarse en la optimización de los procesos de producción de cacao, sus procesos poscosecha, los bioinsumos y el chocolate a través de la integración de la Industria 4.0, utilizando la estructura de RAMI 4.0 (Reference Architectural Model Industry 4.0) como marco para mejorar la trazabilidad, la eficiencia y la calidad. Esta investigación implica el mapeo de

los procesos de fabricación del cacao y chocolate (cosecha, secado, fermentación, tostado, molienda, conchado, etc.) dentro de las capas y jerarquías de RAMI 4.0, el diseño de soluciones de automatización y digitalización (sensores, IoT, sistemas ciberfísicos) para etapas específicas y la evaluación de los beneficios (reducción de costos, mejora del control de calidad) mediante un caso de estudio en una fábrica de chocolate.

Uno de los grandes desafíos que tiene la industria 4.0 para su implementación en el sector cacacultor dominicano es que todavía existen muchos procesos manuales, o sea que no están automatizados y el concepto de biofábrica conectada como elemento dentro del ciclo ciberfísico de la gestión del biosistema agroalimentario es un elemento que incorpora este trabajo de investigación, como respuesta a la gestión de la calidad y la baja productividad en estos sistemas productivos. En el modelo RAMI 4.0, como modelo tridimensional, visto en la figura 15, podemos observar que uno de sus ejes muestra una jerarquía estructural del control automatizado de cada fábrica o proceso productivo, definida como la pirámide CIM (Computer Integrated Manufacturing), que describe cómo se integran los diferentes niveles de automatización y gestión en una empresa manufacturera, la cual está regida por la norma ISO/IEC 62264 (ver figura 16).

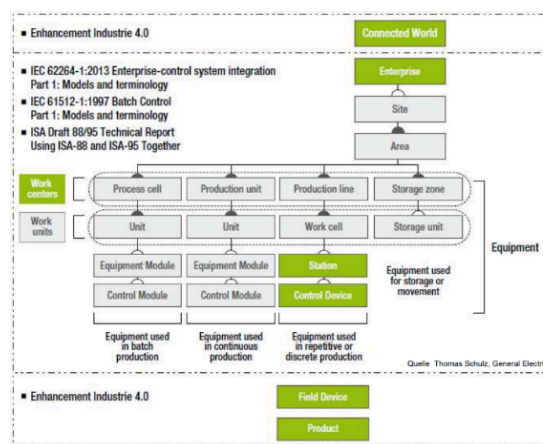
Figura 16. La pirámide CIM.



Fuente: ISO/IEC 62264

Esta norma se utiliza para entender y estructurar la relación entre los sistemas de planta (producción) y los sistemas empresariales (gestión/ERP), facilitando la integración vertical de la información en la industria. Uno de los aportes fundamentales que realiza la norma RAMI 4.0 sobre la norma ISO/IEC 62264 es la de adicionarle la capa de **conexión con el mundo** (figura 17), esta capa permite el intercambio de información entre todos los elementos ciberfísicos que se encuentren dentro del Biosistema productivo (fincas inteligentes, centros poscosecha, Biofábricas, empresa, etc.) y con el resto del mundo (Adolphs, 2015).

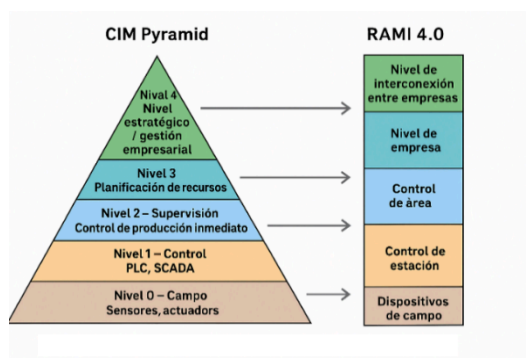
Figura 17. Aportes del modelo RAMI 4.0 sobre ISO/IEC 62264



Fuente: RAMI 4.0

Esta propiedad de que cada elemento ciberfísico del sistema esté conectado y digitalizado por capas permite que pueda realizarse un paralelo digital de cada uno de estos elementos, llamado “gemelo digital”, el cual es una representación virtual exacta de activos físicos, procesos o sistemas que utilizan datos en tiempo real para monitorizar, simular y predecir el comportamiento del objeto real. Esta tecnología permite a las empresas mejorar la eficiencia operativa, el mantenimiento predictivo y la toma de decisiones informadas, dado que se pueden realizar pruebas virtuales y analizar el rendimiento de un sistema sin afectar el entorno físico (Sharma et al., 2022). Esto permite que ocurra en el Biosistema un encadenamiento de la información productiva basada en la topología RAMI 4.0, como expresa la figura siguiente:

Figura 18. Topología RAMI 4.0 para los elementos ciberfísicos del biosistema



Fuente: Elaboración propia a partir de RAMI 4.0

Como ha expresado Sharma et al. (2022), la evolución del Machine Learning, el Big data y el IoT sobre los gemelos digitales de los elementos ciberfísicos del Biosistema, han permitido que este encadenamiento otorgue métodos para optimizar la cadena de valor agroproductiva, un ejemplo de esto es que al analizar la finca de cacao inteligente en la plataforma (QGIS/AlphaEarth) y las imágenes del análisis espectral del mapeo con drones, la IA puede estimar un decremento de la producción de 15% por estrés hídrico y automáticamente en el ciclo de gestión agronómica que se había planificado cambia, enviando a las Biofábrica un plan adicional de producción de Bioestimulantes para corregir dicha variabilidad.

Las estructuras funcionales que aparecen en las figuras (15, 16, 17 y 18) muestran la organización del modelo RAMI 4.0 en sus tres ejes principales y las jerarquías que se producen de los diferentes activos para cada elemento ciberfísico que conforman el sistema de gestión agrícola de un biosistema, esto permite que la biofábrica funcione como una fábrica Industria 4.0: interoperable, orientada a activos (AAS), con un gemelo digital, una sensorica en tiempo real y capas bien separadas para información, integración y negocio.

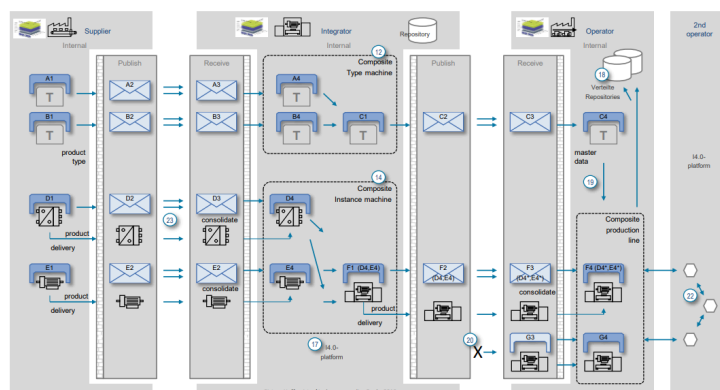
Esto permite además que se puedan declarar cuáles son los activos principales de la planta, con sus respectivos AAS y en qué capa funcional se puede ubicar la función del optimizador del proceso, que, según la información obtenida del gemelo digital de las

fincas, constituyen entradas al modelo de optimización que se expresó anteriormente en la ecuación (1).

Según Binder (2023) y Plattform Industrie 4.0 (2025), los activos son cualquier parte física del biosistema que necesite de una conexión dentro de la dinámica operativa del propio sistema y la consola de administración del activo (AAS) es la parte digital, donde se almacena la información de su estado técnico, operacional y de identificación del activo y su ciclo de vida completo. Por ende, el modelo RAMI 4.0 organiza sistemas en capas (Negocio, Funcional, Información, Comunicación, Integración, Activo), un eje de ciclo de vida (tipo/instancia) y niveles jerárquicos (desde sensores hasta la planta o la empresa), donde el modelo de optimización de la planta de bioinsumos se convertirá en un servicio en la capa funcional o del negocio y consumirá los datos estandarizados (AAS) expuestos por la capa de Información o de Integración.

La consola de administración de activos (AAS) es la ficha electrónica estandarizada de cada activo (tanque, línea de mezcla, vehículo, parcela como “activo digital”), con propiedades, APIs y submodelos, es la pieza clave para la interoperabilidad. Por lo que los AAS, se utilizan para exponer parámetros del mundo real al optimizador y para inyectar órdenes de producción/aplicación a la Biofábrica, como muestra la figura 19 de ejemplo que aparece a continuación:

Figura 19. Flujo AAS entre empresas de la cadena de valor de una Industria.



Fuente: (Plattform Industrie 4.0, 2025)

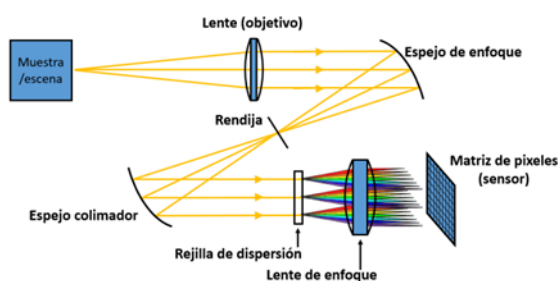
De esta forma, los AAS de la finca inteligente, a través de la capa de comunicación, envían a la capa de negocios de la planta y esta proporciona al optimizador la vista canónica de cada parcela, mientras que el optimizador solicita AAS, calcula el plan y manda órdenes (o propuestas) a MES / SCADA / ERP a través de la capa de comunicación o integración.

2.2.5. El uso de drones y el análisis hiperespectral en Agricultura 4.0.

Como propone Wieme et al. (2022), un sensor hiperespectral para agricultura (ver figura 20 B) captura y analiza cientos de bandas de luz para identificar características únicas de los suelos, las plantas, arvenses y enfermedades. Su estructura incluye un sistema óptico, un elemento dispersivo (prisma o rejilla) que separa la luz, y detectores que registran la intensidad de cada banda (ver figura 20 A). El principio de funcionamiento consiste en dispersar la luz reflejada por el suelo y los cultivos para obtener un espectro detallado de cada píxel, generando un "cubo de datos" 3D que permite el análisis para la agricultura de precisión (ver imagen 21).

Figura 20. Estructura interna de un sensor hiperespectral de barrido

A. Estructura interna de un sensor hiperespectral



Fuente: <https://geo.sofexamericas.com/resumen/2018/p14.pdf>

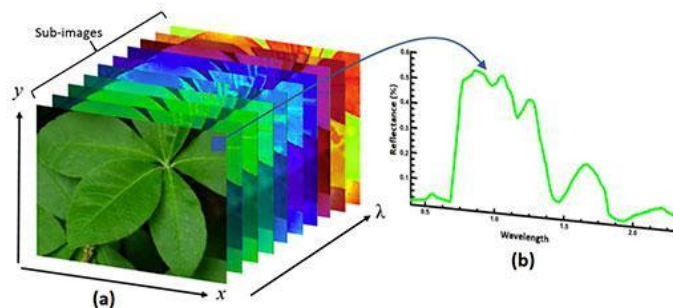
B. Sensor hiperespectral FS60-C



Fuente: <https://www.chnspec.net/es/Spanish/Hyperspectralcameras.html>

Este análisis espectral permite identificar materiales específicos en los suelos, evaluar la salud de los cultivos, detectar enfermedades y malezas, y optimizar la gestión de recursos, mejorando la precisión, la rentabilidad y la sostenibilidad agrícola, pues al montarlas sobre un dron (ver Figura 22) pueden resultar en pruebas no destructivas alternativas a las mediciones en los análisis realizados en los laboratorios.

Figura 21. *Formación de un cubo hiperespectral.*



Fuente: <https://atriainnovation.com/blog/tecnologia-hiperespectral/>

Como sostiene Ram et al. (2024), la adecuación de los sensores hiperespectrales a las imágenes digitales en la agricultura de precisión es una técnica novedosa, dado que las imágenes hiperespectrales (HSI) aportan una gran cantidad de datos para resolver problemas agrícolas, que además de la salud de los cultivos, la situación de malezas y estrés, pueden ayudar en el monitoreo de cultivos, la aplicación de nutrientes, la mineralogía del suelo, la estimación del rendimiento y las aplicaciones de clasificación.

El desafío fundamental, es con la ayuda de la agricultura de precisión moderna llevar estas aplicaciones al campo para obtener soluciones en tiempo real, donde las máquinas puedan realizar análisis sin supervisión experta y comunicar los resultados a los usuarios para una mejor gestión de las tierras de cultivo; un paso necesario para lograr una autonomía completa en las explotaciones agrícolas.

Figura 22. *Dron DJI M350 RTK con cámara espectral 400-1700nm.*



Fuente: (CHNSpec, 2025)

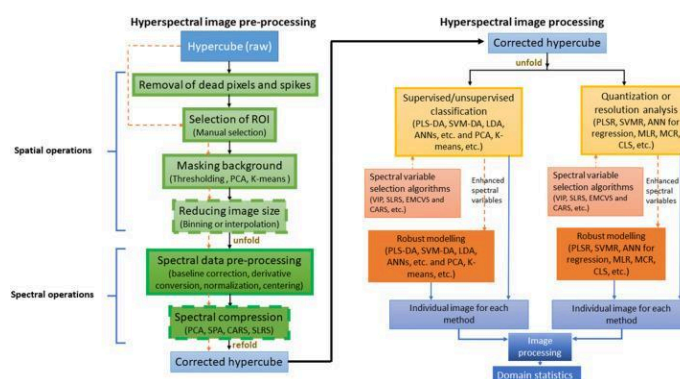
En este contexto Ram et al. (2024) , recalca que aún existen retos persistentes en su aplicabilidad, porque la HSI pueden utilizarse como una herramienta eficaz en sistemas pre y poscosecha de cultivos para evaluar parámetros de calidad relacionados con variables bien definidas que pueden analizarse en el laboratorio, así como propiedades complejas como la madurez, la maduración, la detección de defectos bióticos, los trastornos fisiológicos, los daños mecánicos y la calidad sensorial. Donde el uso de la inteligencia artificial y sus subdominios, el aprendizaje automático y el aprendizaje profundo, para el análisis de imagen hiperespectral tiene un gran potencial para una mejor integración de la transferencia de conocimiento de los parámetros de investigación a parámetros relevantes para los actores industriales.

De acuerdo con Chen et al. (2019), la teledetección hiperespectral, también conocida como imagen hiperespectral, ha experimentado un auge en numerosos campos de aplicación. En la agricultura 4.0 el sistema puede trabajar desde un satélite o montado en un dron (ver figura 22) para recopilar y procesar información en decenas o cientos de bandas espectrales estrechas y adyacentes de todo el espectro electromagnético, que pueden ir desde los 400 nm a los 2500 nm. Estas mediciones permiten obtener un espectro continuo para cada celda de imagen (píxel) de una escena, para la que se han desarrollado diversas técnicas para la recopilación de datos.

Para obtener imágenes fiables, la calibración espacial y la calibración de la reflectancia espectral son fundamentales en el proceso de adquisición de imágenes. La calibración espacial es necesaria para fijar los ángulos y las distancias de los sistemas de iluminación a los objetos, ajustar el periodo de imagen y el tiempo de integración, y decidir el tamaño de imagen y la resolución de la adquisición de imágenes. La calibración de la reflectancia espectral tiene en cuenta la respuesta espectral de fondo del instrumento y la respuesta de la cámara en condiciones de oscuridad. Por lo tanto, los valores de reflectancia corregidos de las señales medidas se calculan píxel por píxel (Amigo et al., 2013) como se citó en (Wieme et al., 2022).

Una vez adquiridos los datos, el preprocesamiento de los datos de imágenes hiperespectrales tiene como propósito fundamental realizar operaciones espaciales y espectrales para eliminar la información irrelevante y el ruido de las imágenes y los espectros recopilados, así como para reducir la dimensionalidad de los datos para su posterior análisis. La Figura 23 muestra las operaciones espaciales, que incluyen la eliminación de píxeles muertos y picos mediante métodos de filtrado de imágenes, la selección de la región de interés (ROI), la creación de máscaras para la eliminación de información de fondo mediante umbrales y clasificadores, así como la reducción del tamaño de las imágenes mediante la agrupación de datos o la interpolación.

Figura 23. Diagrama de flujo del preprocesamiento y procesamiento de imágenes hiperespectrales.



Fuente: (Wieme et al., 2022)

La Figura 23, muestra, que el cubo de datos corregido espacialmente se despliega en un marco de datos 2D y las operaciones espectrales implican algoritmos de preprocesamiento de datos espectrales, como la corrección de la línea base, la conversión de derivadas, la normalización, el centrado, entre otros.

Para mejorar las características espectrales, sobre la información espectral obtenida, dado que el rango espectral puede ser redundante para la obtención de imágenes químicas específicas, se pueden utilizar métodos de compresión espectral, como el análisis de componentes principales (PCA), el algoritmo de proyecciones sucesivas (SPA), el muestreo adaptativo ponderado competitivo (CARS), la selección por regresión lineal escalonada (SLRS), etc., para una mayor compresión de datos hiperespectrales (Wieme et al., 2022).

Además, los algoritmos de selección de variables espectrales, como Importancia de Variable en Proyección (VIP), SLRS, Selección de Variable de Monte Carlo por Conjunto (EMCVS), CARS, pueden ser empleados con Regresión de Mínimos Cuadrados Parciales (PLSR), Regresión de Componentes Principales (PCR), Regresión Lineal Múltiple (MLR), Análisis Discriminante de Mínimos Cuadrados Parciales (PLS-DA), para seleccionar las variables espectrales más relevantes para mantener un tamaño más pequeño y aún más condensado del grupo de variables. Adicionalmente, los modelos o algoritmos desarrollados se aplican en cada hipercubo adquirido para generar mapas de distribución química y se realizan métodos estadísticos de dominio en los mapas de distribución para demostrar el rendimiento del modelo.

2.2.6. Los biosistemas agroalimentarios de cacao como organizaciones inteligentes.

El cacao (*Theobroma cacao L.*) es una especie arbórea tropical perteneciente a la familia Malvaceae, cuyas semillas constituyen la materia prima fundamental para la producción de cacao y chocolate en la industria agroalimentaria. La producción de cacao a nivel mundial, está estimada en alrededor de 5 millones de toneladas de grano cada año (Kakaoplatform, 2024). Este aporte proviene fundamentalmente de los pequeños y medianos productores de 50 países tropicales de los continentes de América, África y Asia.

Algunos estudios científicos señalan que los biosistemas agroalimentarios de cacao contribuyen significativamente a la sostenibilidad del suelo, debido a que los sistemas agroforestales asociados al cultivo generan aportes constantes de materia orgánica y favorecen la actividad biológica del suelo (Guerrero Guerrero, 2019). Debido a estos aportes biológicos de cobertura vegetal, se promueven un crecimiento y un equilibrio en los organismos formadores de suelo, evitando así los problemas de erosión, compactación, entre otros.

Los biosistemas agroalimentarios de cacao son sistemas de producción que integran el cultivo de cacao con otros componentes, como árboles maderables, frutales y cultivos complementarios, para crear ecosistemas agrícolas más resilientes y sostenibles. Estos sistemas promueven la biodiversidad, mejoran la salud del suelo y ofrecen múltiples

productos además del cacao, como alimentos, madera y recursos medicinales (FAO, 2024).

Estos biosistemas productivos pueden alcanzar estructuras organizacionales altamente distribuidas a escala regional o global, con una dinámica de elevada complejidad para su gestión, debido a los innumerables elementos que conforman la cadena de valor de sus procesos productivos y la cantidad de interacciones en tiempo real que se producen en su estructura interna y en la del propio sistema con su contexto.

Esta elevada complejidad organizacional requiere que los sistemas de gestión de estos biosistemas sean concebidos bajo el enfoque de organizaciones inteligentes, capaces de procesar información, generar conocimiento y adaptar su comportamiento estratégico frente a cambios del entorno.

Las Organizaciones inteligentes(O.I.), realizan su gestión, considerando la entidad como un sistema abierto que intercambia energía, recursos, bienes y servicios con el entorno, donde su recurso más valorado es la información, o más exactamente, la información que ha sido procesada y convertida en conocimiento (Inteligencia de Negocio (BI)), el cual pueda guiarlos en la acción para optimizar toda la cadena de valor de sus procesos productivos y comerciales, utilizando procesamiento masivo de datos de todo el entorno operacional (Big Data), para realizar pronósticos que los posicionen competitivamente tanto en su mercado interno como el internacional (Choo, 2002).

La organización inteligente (O.I.) es experta en la gestión y movilización de las formas de conocimiento organizacional. Esta persigue sus metas en un entorno cambiante, para la adaptación de su comportamiento acorde al conocimiento de sí misma y del mundo en el que ella opera. Estas constituyen un tipo de organización que aprende, que es hábil en la creación, adquisición, organización y difusión de conocimiento y en la aplicación de este conocimiento para desarrollar su conducta, posición y objetivos, lográndolo a través de la técnica del Escaneo Medioambiental (E.M.).

La técnica (E.M.) es la adquisición y uso de la información sobre eventos, tendencias y relaciones en el entorno interno y externo de la organización y el conocimiento, lo cual

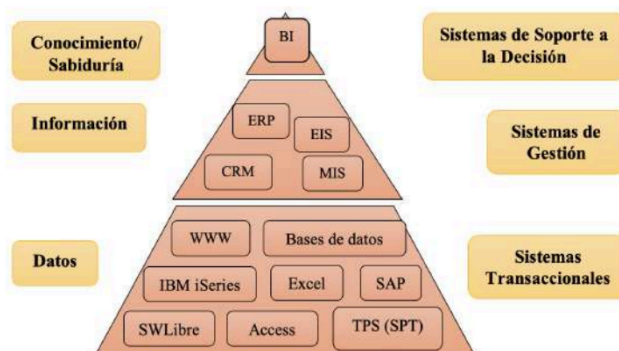
podría ayudar en la gestión de la planificación del curso de acción futuro de la organización. La magnitud de la habilidad de una organización para adaptarse efectivamente a su entorno depende de su conocimiento e interpretación de los cambios en el entorno, por tanto, el escaneo medioambiental constituye un modo estratégico de aprendizaje organizacional (Choo, 2002).

En este contexto, cada unidad productiva del ecosistema: fincas, centros de beneficiado, biofábricas o agroindustrias— puede conceptualizarse como un sistema ciberfísico (Cyber-Physical System, CPS) que integra componentes físicos (cultivos, maquinaria, procesos biológicos) con componentes digitales (sensores, sistemas de información, analítica de datos e inteligencia artificial). Estos elementos Ciberfísicos (CPS) dentro del Biosistema Agroalimentario, necesitan desarrollar y personalizar su propio sistema de escaneo, que dirija sus aspiraciones, posición en el entorno, fuerzas internas y sus recursos, a los cuales les llevará un tiempo desarrollar un sistema efectivo de E.M.

Actualmente, la herramienta de E.M. más desarrollada y difundida es la de los sistemas de inteligencia de negocios (BI), la cual no es más que el uso de estrategias y herramientas que sirven para transformar datos en bruto en información, e información en conocimiento, con el objetivo de mejorar el proceso de toma de decisiones en la organización. Se trata de que la toma de decisiones esté basada en fundamentos de una lógica racional optimizada (Slusarczyk Antosz, 2024).

En algunos casos, como en la empresa Conacado, se hace necesario cambiar la cultura y las políticas de información, antes de lograr un sistema de escaneo efectivo (ver Figura 24), ya es importante que cada miembro del biosistema pueda gestionar la parte inherente a su conocimiento, para poder tomar decisiones desde una comprensión de la infraestructura que le propicia la BI.

Figura 24. Pirámide de conocimiento aplicada a los sistemas de información e inteligencia de negocios.



Fuente: (Slusarczyk Antosz, 2024).

Observando la capa de la BI, Surma (2010, como se citó en Slusarczyk Antosz, 2024) muestra que las características fuentes de conceptos o herramientas utilizadas fundamentalmente a este nivel de gestión, quedan expresadas en la tabla siguiente:

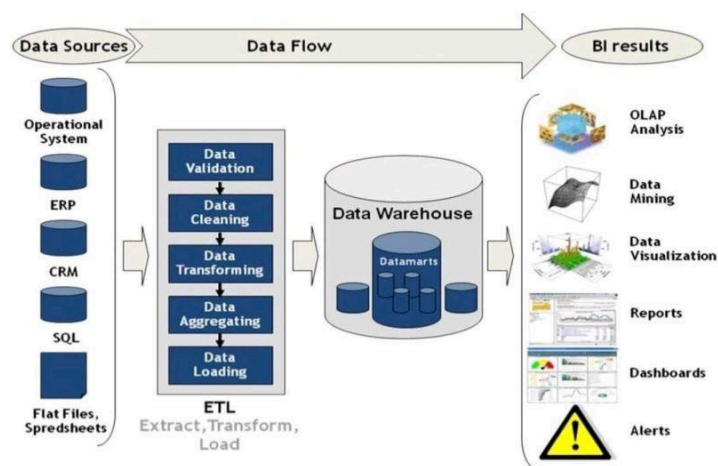
Tabla 2. Las principales fuentes de conceptos y herramientas en BI.

Fuentes de Conceptos o Herramientas	Descripción
Estadística y econometría:	Son las teoría estadística del reconocimiento de imágenes, métodos taxonómicos, inferencia estadística, métodos de pronóstico, etc.
Investigación operativa:	incluye programación lineal, teoría de decisiones y teoría de juegos.
Inteligencia artificial:	Son los métodos de búsqueda heurística, aprendizaje automático, sistemas expertos, algoritmos genéticos, redes neuronales Artificiales, el aprendizaje profundo y sistemas de razonamiento analógico.
Tecnologías de bases de datos:	Es el modelado de datos, lenguajes de consulta, optimización de consultas y métodos de indexación.
Herramientas OLAP:	El procesamiento analítico en línea: software que permite el análisis multidimensional de datos operativos, económicos y comerciales.
Herramientas de minería de datos:	Son los algoritmos para el análisis automático de grandes volúmenes de datos.
Herramientas de gestión del conocimiento:	Permiten almacenar, indexar y analizar documentos de texto y vincularlos con otros datos.

Fuente: Elaboración propia a partir de (Slusarczyk Antosz, 2024) .

Como indica Zamora et al. (2019) como se citó en (Slusarczyk Antosz, 2024), plantea que las funciones de un BI se pueden clasificar en tres tipos: la inteligencia de negocios histórica, analítica y predictiva, permitiendo a los ejecutivos y analistas del negocio observar ¿qué está ocurriendo?, comprender ¿por qué ocurre?, predecir ¿qué va a ocurrir?, para decidir la ruta óptima que deben tomar. Estos sistemas forman capas, como se muestran en la figura que aparece a continuación:

Figura 25. *La estructura de inteligencia de negocios.*



Fuente: (Slusarczyk Antosz, 2024)

Siguiendo la lógica de la Figura 25, podemos observar que el primer paso que se realiza en una herramienta de inteligencia de negocios es la carga de datos al almacén de datos (Data Warehouse (DW)). Donde debemos analizar los diferentes aspectos relacionados con el ingreso de datos en el sistema, como el origen de fuentes de datos, el formato de datos y el proceso ETL.

En su libro Conesa Caralt & Curto Díaz (2011), plantean que un Data Warehouse (DW) es un repositorio de datos que proporciona una visión global, común e integrada de los datos de la organización, independientemente de cómo se vayan a utilizar posteriormente por los consumidores o usuarios, con las propiedades siguientes: estable, coherente, fiable y con información histórica. Al abarcar un ámbito global de la organización y con un amplio alcance histórico, el volumen de datos puede ser muy grande (centenas de

terabytes), pero estos sistemas de inteligencia pueden suministrar varios servicios, como son: mensajería de alertas y monitoreo del estado del sistema, tableros de control de mandos, donde se puedan ver los principales KPI institucionales o los de un subproceso, reportes o visualizaciones de datos y a nivel más profundo del uso de la inteligencia artificial se podrán observar la actividad de minería de los datos y su procesamiento analítico en línea.

2.2.6.1. Integración de Tecnologías: Convergencia de Agricultura 4.0, RAMI 4.0, Teledetección y Business Intelligence.

En el contexto de los biosistemas agroalimentarios inteligentes, la Agricultura 4.0 puede concebirse como la incorporación sistemática de datos al proceso de gestión agrícola, permitiendo la monitorización, análisis y optimización de los procesos productivos mediante tecnologías digitales avanzadas.

En este marco, la percepción remota hiperespectral, los sistemas de gestión de transacciones digitales, las aplicaciones de sistemas de información geográfica (GIS) y los dispositivos IoT instalados en campo contribuyen a la generación de variables fundamentales para la caracterización y gestión de una finca de cacao inteligente.

Dentro de este ecosistema tecnológico, la biofábrica conectada, la planta de transformación del cacao en subproductos derivados (como el chocolate) y los sistemas de poscosecha constituyen elementos ciberfísicos del ciclo de gestión agrícola del biosistema. Cada uno de estos componentes dispone de su correspondiente gemelo digital, lo que permite representar, simular y analizar su comportamiento dentro del sistema productivo.

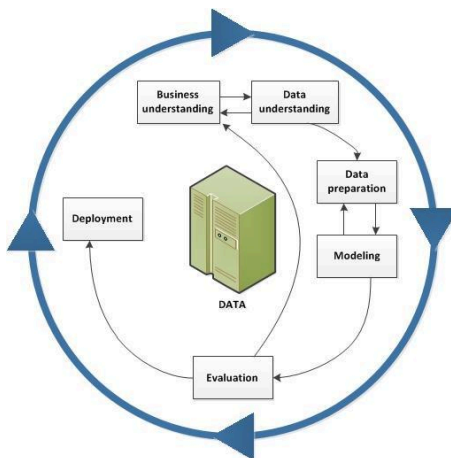
La interconexión entre estos elementos se realiza a través de la capa de conexión del modelo RAMI 4.0, que proporciona una arquitectura de referencia para la integración de sistemas industriales y ciberfísicos. En este contexto, la integración tecnológica del biosistema agroalimentario se aborda mediante metodologías provenientes del ámbito de la ciencia de datos empresarial y la inteligencia de negocios, particularmente las metodologías CRISP-DM y Ralph Kimball, las cuales permiten estructurar los procesos

de análisis de datos y el diseño de arquitecturas de almacenamiento y explotación de información.

2.2.6.1.1. Las metodologías CRISP-DM y de Ralph Kimball en el proceso de integración tecnológica de un biosistema agroalimentario de cacao.

La metodología CRISP-DM (Cross-Industry Standard Process for Data Mining) es un proceso de seis fases para proyectos de minería de datos y ciencia de datos, que proporciona un enfoque estructurado para resolver problemas empresariales (ver figura 26). Las fases son: Comprensión empresarial, Comprensión de datos, Preparación de datos, Modelado, Evaluación y Despliegue. Aunque se presenta de forma secuencial, en la práctica las fases a menudo se iteran o se realizan en un orden diferente (IBM, 2021); (LAROSE, 2005); (Witten & Frank, 2005).

Figura 26. Ciclo de vida de la minería de datos.



Fuente: (IBM, 2021).

Las fases de la metodología CRISP-DM son:

- **Comprensión empresarial:** El primer paso consiste en entender los objetivos del negocio, los requisitos y el alcance del proyecto para definir el problema y establecer una estrategia para resolverlo.

- **Comprensión de datos:** Se recopilan los datos disponibles y se realiza una exploración inicial para comprenderlos en profundidad, identificando la calidad y las características relevantes para el proyecto.
- **Preparación de datos:** En esta fase, los datos se preparan para el modelado. Las tareas incluyen la selección, limpieza, construcción y verificación de los datos, a menudo involucrando la creación de nuevas variables con ingeniería de características (feature engineering).
- **Modelado:** Se seleccionan y aplican diversas técnicas de modelado (por ejemplo, modelos de regresión o clasificación), ajustándolas a los datos.
- **Evaluación:** Se evalúa el modelo resultante para determinar si cumple con los objetivos de negocio definidos en la primera fase. Se analizan los resultados y se decide si el modelo es apropiado para el despliegue.
- **Despliegue:** El modelo final se implementa para su uso en un entorno real. Esto puede implicar la creación de informes, la integración en sistemas operativos o el desarrollo de aplicaciones.

Realizando un análisis en paralelo, encontramos que la metodología de Ralph Kimball es un enfoque para el diseño e implementación de Data Warehouse (DW) y sistemas de Business Intelligence (BI) basado en el modelo dimensional y el ciclo de vida dimensional del negocio. Su principio central es priorizar las necesidades del negocio para construir sistemas de datos que faciliten la toma de decisiones y el análisis de informes. La metodología es iterativa y orientada a los procesos del negocio, lo que permite un desarrollo escalonado y flexible (Kimball Group, 2025). Los principios clave de esta metodología son:

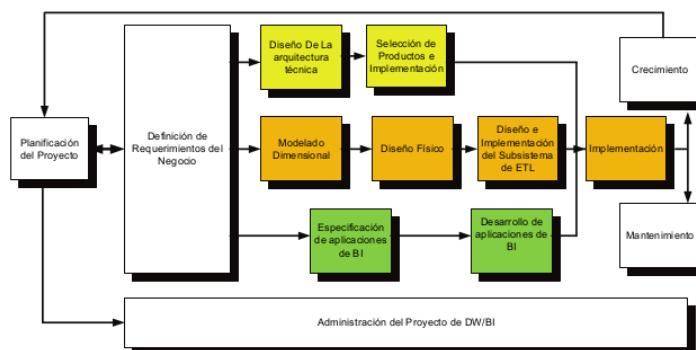
- **Enfoque en el negocio:** Se prioriza el diseño de los sistemas de datos (data marts) en torno a los procesos de negocio para satisfacer directamente las necesidades de los usuarios finales.
- **Ciclo de vida dimensional del negocio:** Es un enfoque iterativo que avanza en ciclos de desarrollo, donde cada iteración genera datos coherentes, estructuras de datos e informes analíticos.

- **Modelo dimensional:** Se centra en el diseño de tablas de hechos (con las medidas numéricas) y tablas de dimensiones (con los atributos descriptivos) para una consulta y análisis de datos eficientes.
- **Integración y gobernanza de datos:** Se enfoca en la consolidación de datos de múltiples fuentes, asegurando la consistencia y la calidad para una mayor fiabilidad y cumplimiento de políticas.
- **Desarrollo escalonado:** Permite construir el almacén de datos de forma gradual, comenzando con un proceso de negocio prioritario y expandiéndose en iteraciones posteriores. Esto es especialmente útil para proyectos pequeños y medianos.

La metodología de Ralph Kimball para el diseño del sistema BI sobre el Biosistema Agroalimentario de cacao de Conacado debe seguir el diseño para un Data Warehouse (figura 25), la estructura de los procesos institucionales que aparece en la tabla 13 y la lógica del ciclo de vida de la figura 27, para dar cumplimiento a cada una de las fases de la implementación, que aparecen a continuación:

- **Planificación:** Se define el alcance del proyecto, las prioridades de información y se identifican los procesos de negocio clave.
- **Diseño conceptual:** Se crea un modelo conceptual inicial del data warehouse y se genera una matriz de procesos de negocio.
- **Detalle de requerimientos:** Se examinan los requisitos de negocio para cada proceso prioritario, detallando los datos, las fuentes, los atributos, las definiciones y las reglas.
- **Diseño paralelo:** Se procede con tres vías paralelas: el diseño de los ETL (Extracción, Transformación y Carga), el diseño de la base de datos y el diseño de la aplicación analítica.
- **Iteraciones:** El proceso se repite en varias iteraciones varios meses, en las que se incorporan nuevos procesos de negocio y datos al almacén.

Figura 27. Ciclo de Vida de Kimball.



Fuente: (Kimball Group, 2025)

En la fase de planificación de Kimball, donde se definen los procesos claves del negocio, uno de los instrumentos más importante es La Matriz de Bus de Kimball como elemento de correlación entre los procesos de un Biosistema y las dimensiones dinámicas estructuras para la toma de decisiones (ver figura 28).

Figura 28. Matriz Bus de Kimball.

Business Process	Business Priority	Conformed Dimensions										
		Date (Order, Part, Ship)	Product	Promotion	Customer	Employee	Place	Internet, Register, User	Part	Vendor	Shopper	Problem
Orders Forecasting	2	X	X	X	X	X						
Orders	1	X	X	X	X	X						
Purchasing		X	X		X	X			X	X	X	
Parts Inventory		X	X	X					X	X		
Manufacturing	6	X	X						X			
Finished Goods Inventory		X	X	X								
Shipping		X	X	X	X	X					X	
Returns	5	X	X		X	X					X	
Registration Cards		X	X		X							
Customer Calls	4	X	X	X	X	X			X			X
Web Support		X	X		X	X						X
Financial Forecasting		X	X	X	X	X	x	x		x		
Exchange Rate Management	3	X										

Fuente: (Kimball Group, 2025)

La matriz de bus de Kimball es una herramienta de planificación de almacenes de datos que modela y comunica las relaciones entre los procesos de negocio de una empresa (filas) y las dimensiones (o atributos de datos comunes) que los describen (columnas). Su propósito principal es asegurar la integración de toda la empresa mediante el uso de dimensiones conformadas, que son atributos de datos reutilizables y consistentes en toda

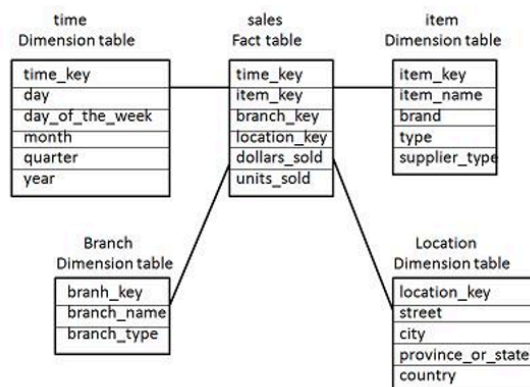
la organización, sirviendo como un plano para el diseño de los almacenes de datos (Kimball Group, 2025).

La utilización de algoritmos de minería de datos e inteligencia artificial como mecanismo de control adaptativo de la complejidad de biosistemas agroalimentarios, permitiendo transformar grandes volúmenes de datos heterogéneos en conocimiento operativo para la toma de decisiones.

Complementariamente a los algoritmos minería, está el modelo Kimball, dado que el método Kimball de diseño de almacenes de datos proporciona una estructura de datos optimizada para el análisis, que facilita la alimentación de sistemas de DM y de la IA, donde la estructura del modelo Kimball prioriza la facilidad de consulta y el análisis rápido mediante el uso de esquemas de estrella, con tablas de hechos/dimensiones (ver figura 29), esto es ideal para la inteligencia empresarial y el procesamiento analítico en línea (OLAP).

La IA puede entonces utilizar estos datos bien organizados para tareas como análisis avanzado, machine learning e inteligencia artificial, complementando el enfoque de autoservicio de Kimball con análisis más profundos y sofisticados, permitiendo un sistema analítico moderno, a partir de un ecosistema de inteligencia ciberfísica capaz de aprender y adaptarse (por ejemplo, el biosistema agroindustrial del cacao 4.0 de Conacado).

Figura 29. *Diseño Dimensional tipo estrella de Kimball.*



Fuente: (wordpress, 2025)

En el enfoque de Ralph Kimball, el Data Warehouse Dimensional se diseña para análisis rápido y flexible (figura 29), como muestra la tabla siguiente:

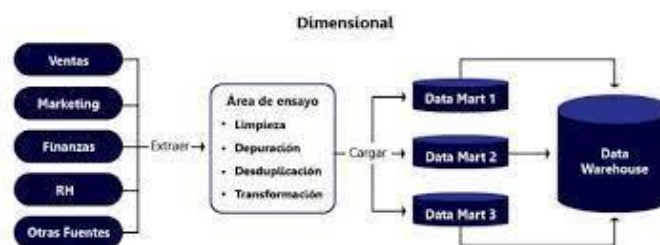
Tabla 3. *Componente de una estructura estrella del DW de Kimball.*

Componente	Descripción	Ejemplo agroindustrial
Tabla de Hechos	Contiene los <i>eventos cuantificables</i> de la organización (kpi, indicadores, métricas).	Rendimiento de parcelas, producción de cacao fermentado, ventas de chocolate.
Tablas de Dimensión	Describen el <i>contexto</i> de los hechos.	Tiempo, finca, clima, tipo de suelo, sensor IoT, cliente, producto.
Relación	Cada fila de la tabla de hechos está vinculada a varias dimensiones mediante <i>claves foráneas</i> , formando un esquema estrella .	Hechos de “producción diaria” conectados a “DimTiempo”, “DimFinca”, “DimClima”, etc.

Fuente: Elaboración propia a partir de (wordpress, 2025).

En este contexto, cada proceso dentro del sistema de gestión de Conacado, mostrado en la Tabla 3, puede convertirse en una estructura analítica con sus correspondientes tablas de hechos y sus respectivas dimensiones para el análisis, ya que las tablas de hechos representan los eventos medibles del negocio, mientras que las dimensiones describen el contexto en el que esos eventos ocurren (Forero-Castañeda & Sánchez-García, 2021). Por tanto, la relación directa entre las tablas de hechos y los procesos del negocio es que cada proceso operativo (producción, fermentación, secado, logística, ventas, etc.) genera hechos cuantificables, que luego son almacenados y analizados (ver Figura 30).

Figura 30. *La contribución de los datamarts en DW de un BI.*



Fuente: (Forero-Castañeda & Sánchez-García, 2021)

Esta proyección permite crear pequeñas lógicas de negocios enfocadas a ciertas misiones de la organización llamados datamarts, estos son subconjuntos temáticos del Data

Warehouse, organizado para analizar un área específica del negocio (por ejemplo: producción, clima, calidad, finanzas, etc.). Esto asegura contar con una información menos densa y más sencilla de clasificar para posteriormente realizar la integración de estos datamarts en un componente más global (DataWarehouse), quedando de esta forma como un solo centro de almacenamiento de datos con información confiable.

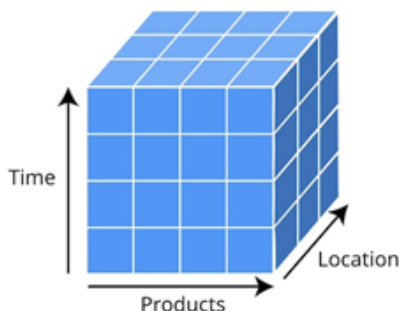
Los datamarts contienen una o varias tablas de hechos relacionadas con un tema o proceso del negocio y a su vez a su alrededor se ubican las tablas de dimensiones que describen el contexto de esas métricas, como se aprecia en la tabla de ejemplo siguiente:

Tabla 4. *Ejemplos de Diseño de los Datamarts para CONACADO.*

Datamart	Foco analítico	Tabla(s) de hechos principales	Algunas Dimensiones
Producción y Cosecha	Rendimiento agrícola y productividad	FactCosecha, FactEdadArbol	DimTiempo, DimFinca, DimClon, DimSuelo
Calidad y PosCosecha	Fermentación, secado, metales pesados	FactCalidad, FactFermentado	DimClima, DimProceso, DimOperario
Gestión Climática e Hídrica	Estrés hídrico, humedad, evapotranspiración	FactClimaSuelo	DimSensor, DimZona, DimPeriodo

Fuente: Elaboración propia a partir de (Lamia & Aissa , 2016).

El procesamiento analítico en línea (OLAP) es una tecnología que permite realizar análisis complejos y rápidos de grandes volúmenes de datos de una empresa. Utiliza estructuras multidimensionales, llamadas "cubos OLAP"(ver figura 31), para organizar los datos de forma que se puedan analizar desde diferentes perspectivas (por ejemplo, ventas por producto, región y tiempo) de manera rápida e interactiva (Kimball group, 2025). Con esto se hace evidente que OLAP es crucial para la inteligencia de negocios, el apoyo a la toma de decisiones y la generación de informes.

Figura 31. *Cubos OLAP*

Fuente: Elaboración propia a partir de (Tamayo & Moreno, 2006)

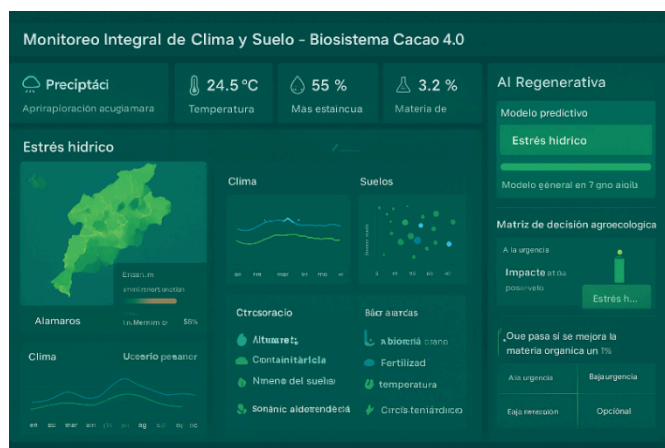
Los **cubos OLAP** son estructuras de datos multidimensionales creadas a partir de los Data Marts o directamente del DW, que permiten combinar hechos (medidas numéricas) y dimensiones (tiempo, finca, clon, clima), las cuales constituyen la base de la analítica avanzada y visualización (dashboards). Un ejemplo es un cubo OLAP del Datamart de “Clima y Suelo” del Biosistema Conacado 4.0, que puede tener dimensiones como:

- **Tiempo:** año, mes, estación.
- **Ubicación:** finca, parcela, coordenadas.
- **Medidas:** humedad, materia orgánica, metales, rendimiento.

Con esto se está llevando la arquitectura analítica del Biosistema Cacao 4.0 hacia la visualización inteligente de datos, que es donde realmente se traducen los datos en decisiones y donde se podrán visualizar y analizar los indicadores agroclimáticos y edáficos que influyen en la productividad, el estrés hídrico y la fertilidad del suelo de las fincas de cacao.

Al construir el Dashboard del Datamart de Clima y Suelo, siguiendo una estructura profesional de Business Intelligence (BI), pensada para un entorno agroindustrial inteligente, se puede obtener la figura siguiente:

Figura 32. Dashboard del Datamart de Clima y Suelo.



Fuente: Elaboración propia.

Utilizando los siguientes datos fuentes:

Fuente:

Datamart de **Clima y Suelo**, derivado del Data Warehouse Conacado 4.0.

Con Tablas clave:

- **Hechos:** FactClimaSuelo (precipitación, temperatura, humedad, pH, materia orgánica, CE, metales, evapotranspiración, etc.)
- **Dimensiones:**
 - **DimTiempo** (año, mes, estación)
 - **DimFinca** (ubicación, altitud, tipo de suelo)
 - **DimClima** (región, zona climática)
 - **DimSensor** (ID, tipo, precisión)

Y proyectando los KPI fundamentales de ese proceso en la tabla siguiente:

Tabla 5. *Algunos kpi importantes del Datamart Clima Suelo.*

Indicador	Descripción	Meta / Estado
Precipitación acumulada (mm)	Total mensual / anual	Meta ideal: 1.800–2.200 mm/año
Temperatura promedio (°C)	Variación por zona y mes	Ideal: 23–27 °C
Humedad del suelo (%)	Nivel de humedad por parcela	Ideal: 40–60 %
Materia orgánica (%)	Calidad biológica del suelo	> 3 % deseable
pH del suelo	Acidez / alcalinidad promedio	6.0–7.0 óptimo
Metales pesados (mg/kg)	Riesgo de contaminación	Bajo: < 1.5 mg/kg

Fuente: Elaboración propia.

Inteligencia empresarial (BI) y IA sobre el modelo Kimball son ampliamente utilizados para BI, y la IA puede aprovechar este entorno para realizar análisis más avanzados, minería de datos y otras aplicaciones de IA. Existen otros métodos, que se apoyan en el análisis dirigido por expertos; estos son más adecuados para la IA avanzada y la minería de datos, pero la metodología Kimball permite una integración gradual de nuevos data marts y la adición de nuevas capas de análisis de IA, permitiendo a las organizaciones construir y escalar su sistema de datos de manera más flexible (Slusarczyk Antosz, 2024) (ver figura 25).

La metodología CRISP-DM (Cross Industry Standard Process for Data Mining) es la tecnología más reconocida para proyectos de analítica avanzada y minería de datos (Espinosa Zúñiga, 2020). Esta encaja perfectamente con el enfoque de un Biosistema Agroindustrial 4.0, como el del cacao, donde se integran datos agrícolas, industriales, económicos, sociales y ambientales. Como se explicó anteriormente, de acuerdo con los pasos o etapas para su implementación, una vez que se tengan analizados las necesidades y problemas de la organización y habiendo comprendido, limpiado y cargado los datos, el cuarto peldaño de dicha metodología es la aplicación de modelos.

Los modelos de DM no son más que algoritmos que, de acuerdo con (Massahiro Shimaoka et al., 2024), son los que realmente dan vida a la inteligencia analítica, permitiendo descubrir patrones, correlaciones, predicciones y clasificaciones en los datos agrícolas, climáticos y productivos. Dentro de sus principales algoritmos para el modelado de datos se encuentran bajo la clasificación que ofrece la tabla siguiente:

Tabla 6. *Tipos de modelos de algoritmos de minería de datos.*

Tipo de modelo	Objetivo	Resultado típico
Predicción (regresión)	Estimar un valor continuo	Rendimiento, humedad, producción esperada
Clasificación	Asignar categorías a registros	Nivel de estrés hídrico, calidad del suelo
Agrupamiento (clustering)	Identificar grupos naturales en los datos	Zonas agroecológicas similares
Asociación	Descubrir reglas “si-entonces” entre variables	Relaciones entre pH, metales y fertilidad
Reducción de dimensionalidad	Simplificar datos complejos	Identificar las variables más influyentes
Detección de anomalías	Identificar datos atípicos o fuera de norma	Fincas con sensores defectuosos o rendimientos anormales

Fuente: Elaboración propia a partir de (IBM, 2024)

Los algoritmos de minería de datos, que generalmente podemos utilizar para un biosistema agroalimentario 4.0 de cacao y chocolate, bajo la clasificación de la tabla anterior, pueden ser apreciados en el anexo 3 de este trabajo de investigación.

Una vez revisado ambas metodologías, se puede ver que tanto la metodología CRISP-DM como la de Kimball en su primera fase tratan de entender los objetivos del negocio, los requisitos y el alcance del proyecto para definir el problema y establecer una estrategia para resolverlo, aportando cada una desde sus dimensiones, la primera con los algoritmos de minería para analizar grandes cantidades de información y descubrir patrones, anomalías y correlaciones útiles en el biosistema, logrando de esta manera predecir resultados futuros sobre los gemelos digitales de cada elemento ciberfísico y tomar decisiones estratégicas, empleando técnicas de estadísticas, inteligencia artificial y aprendizaje automático, para optimizar la cadena de valor agroproductiva del biosistema. De forma complementaria, Kimball analiza las prioridades de información e identifica los procesos de negocio clave para crear el almacén de datos (DW) sobre el que actuarán los algoritmos anteriormente expuestos (Kumari J., 2025).

2.2.6.2. La analítica aumentada y la ingeniería de características (variables) en la gobernanza de los biosistemas basada en datos generados por la Inteligencia Artificial.

El funcionamiento dinámico y altamente complejo de los biosistemas agroalimentarios de cacao en el contexto de la Agricultura 4.0 requiere la incorporación de herramientas avanzadas de análisis de datos que permitan apoyar los procesos de toma de decisiones y adaptación del sistema productivo.

En este sentido, además de los servicios analíticos proporcionados por los sistemas tradicionales de Business Intelligence (BI) aplicados a la gestión organizacional (ver Figura 25), en la actualidad se hace necesario incorporar enfoques de analítica aumentada, los cuales integran técnicas de inteligencia artificial (IA) y aprendizaje automático (Machine Learning, ML) con herramientas tradicionales de análisis de datos (Tableau, 2025). Esto permitirá a los técnicos y usuarios del biosistema, explorar datos de manera más eficiente, hacer preguntas en lenguaje natural y obtener información y visualizaciones para tomar decisiones más rápidas y fundamentadas (Kumari J., 2025).

La ingeniería de características (Feature Engineering) consiste en el proceso de transformación, selección y creación de variables derivadas a partir de datos originales, con el objetivo de mejorar la capacidad predictiva y explicativa de los modelos de aprendizaje automático (Sharma G. , 2024). O sea, una característica (feature) es una variable de entrada utilizada por los modelos de aprendizaje automático para generar predicciones o clasificaciones.

Dado que el rendimiento del modelo depende en gran medida de la calidad de los datos utilizados durante el entrenamiento, la ingeniería de características es una técnica de preprocesamiento crucial que requiere seleccionar los aspectos más relevantes de los datos de entrenamiento sin procesar, tanto para la tarea predictiva como para el tipo de modelo en cuestión (Murel, 2025).

En muchas ocasiones, algunos actores utilizan ingeniería de características y extracción de características indistintamente para referirse al mismo proceso de creación de

variables del modelo, y en otros momentos hay otras fuentes, que también utilizan extracción de características para referirse a la reasignación de un espacio de características original a un espacio de características de menor dimensión (Murel, 2025). Sin embargo, la selección de características es una forma de reducción de la dimensionalidad, porque consiste en seleccionar un subconjunto de variables para crear un nuevo modelo con el fin de reducir la multicolinealidad y, de esta forma, maximizar la generalización y la optimización del modelo.

En el caso particular de un biosistema agroalimentario de cacao 4.0, donde se puedan conjugar la ingeniería de características y la analítica aumentada en el proceso de gobernanza, puede apreciar que se pueden obtener nuevas variables más relevantes, representativas y con mayor poder explicativo, y al mismo tiempo lograr dashboards inteligentes, modelos autoajustables, predicciones visuales. Un ejemplo de ello para cacao es el siguiente:

Mediante procesos de ingeniería de características es posible transformar datos provenientes de sensores IoT y análisis hiperespectrales (temperatura, humedad del suelo, pH, materia orgánica, entre otros) en indicadores agroecológicos sintéticos que faciliten el análisis del comportamiento del biosistema:

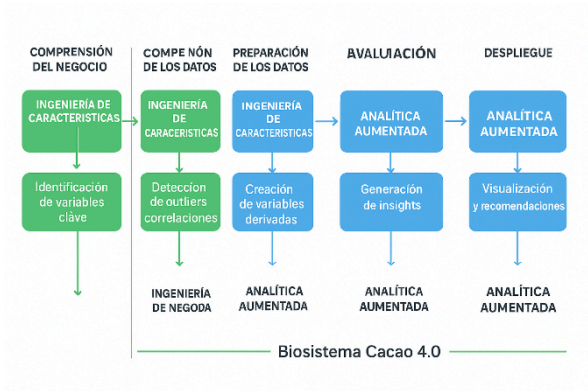
- Índice de Estrés Hídrico (HIS)
- Índice de Fertilidad Compuesto (CFI)
- Edad Efectiva de Productividad (AEP)

Y con la Analítica Aumentada, se puede lograr que el sistema detecte que “las fincas con materia orgánica < 2% y árboles > 18 años presentan 20% menos rendimiento” y sugiera replantación o regeneración de suelo.

La figura 33 demuestra que ambas tecnologías pueden ser integradas dentro de la metodología CRISP DM, lográndose una “**Inteligencia Agroregenerativa**”, donde al integrarlas, el Biosistema de Cacao 4.0 obtiene un sistema de análisis adaptativo, capaz entre otras cosas de:

- Detectar degradación o estrés antes de que sea visible.
- Priorizar replantaciones como indica la curva de productividad.
- Simular escenarios (ejemplo: “¿Qué pasa si llueve 30% menos?”).
- Tomar decisiones regenerativas basadas en datos vivos.

Figura 33. Inteligencia Agroregenerativa a partir de CRIPS DM



Fuente: Elaboración propia

Con esta integración se logra una relación simbiótica entre ambas tecnologías, como expresa la tabla siguiente:

Tabla 7. Relación simbiótica analítica aumentada e Ingeniería de características en CRIPS DM

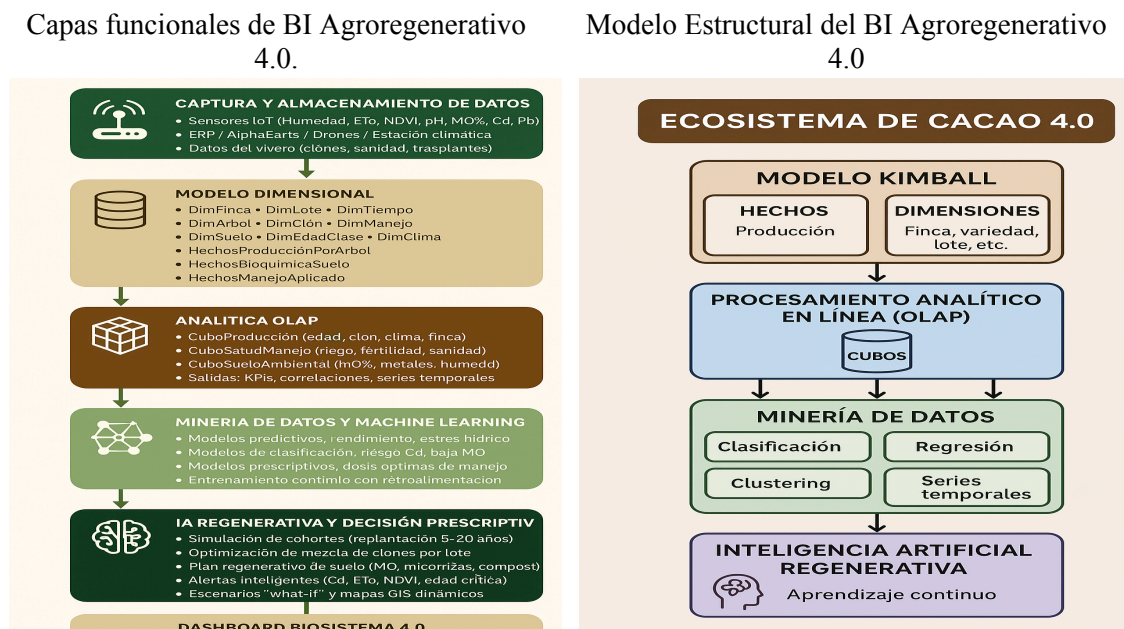
Ingeniería de características	Analítica aumentada
Crea variables explicativas de calidad	Aprende de esas variables para detectar relaciones ocultas
Requiere conocimientos agroecológicos, bioeconómicos, socioeconómicos y humanos.	Aprende y amplifica el conocimiento con IA
Prepara el terreno para modelos precisos	Convierte modelos en decisiones accionables y visuales
Base con Data Mart Clima y Suelo de DW de Conacado	Motor del Dashboard Inteligente Agroindustrial

Fuente: Elaboración propia a partir de la revisión bibliográfica.

La integración de la Analítica Aumentada y la ingeniería de Características, dentro de la Metodología CRISP DM, que está diseñada sobre el DW de un Biosistema Agroalimentario 4.0, donde corre también un procesamiento analítico en línea (OLAP) y Algoritmos de Minería de Datos, convierten al sistema en una capa de IA Regenerativa o

Analítica Aumentada Agroindustrial, que presenta cuatro niveles de análisis de datos como muestra la figura siguiente:

Figura 34. Capa de la IA Regenerativa del Biosistema 4.0 y su estructura.



Fuente: Elaboración propia de la revisión de la literatura.

2.2.6.3. Control de la dinámica etaria del árbol de cacao y la gestión de viveros/clones desde un sistema agroregenerativo 4.0.

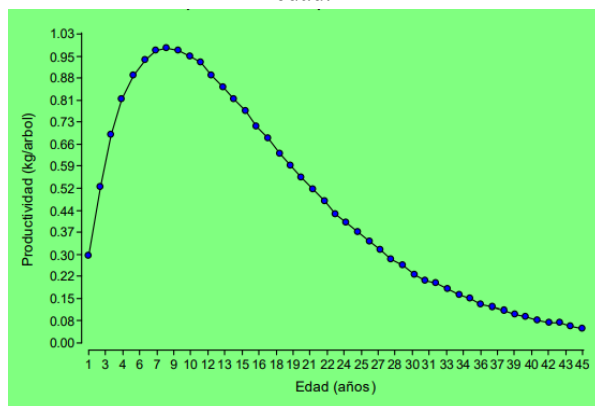
El análisis de la dinámica etaria del árbol de cacao y la gestión de viveros y clones constituyen un elemento estratégico para mejorar la productividad de los biosistemas agroalimentarios de cacao en el contexto de la República Dominicana. En un territorio con limitaciones relativas de expansión agrícola, como es el caso dominicano, el incremento de la producción cacaotera debe sustentarse principalmente en mejoras en la productividad y en la calidad del cultivo, más que en la expansión de la superficie cultivada. En este sentido, la optimización del manejo agronómico de las plantaciones, junto con la incorporación de tecnologías de análisis de datos y sistemas inteligentes de gestión, se convierte en un factor clave para fortalecer la competitividad del sector cacaotero en los mercados internacionales.

De acuerdo con el Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (IDIAF, 2022) , la baja productividad del cultivo del cacao en el país se deben fundamentalmente a la falta de manejo adecuado, donde las causas centrales que gravitan en este problema son la edad de las plantaciones, con árboles de más de 60 años y la inadecuada fertilización.

No obstante, el análisis anterior no considera explícitamente la influencia del cambio climático sobre la productividad de los sistemas agroforestales de cacao, podemos observar en otros actores internacionales y de la región, que tratan la misma temática si lo manifiestan (ver figura 35 A y B), pero emiten curvas hipotéticas de productividad del árbol de cacao que pueden rondar por los 2 a 3 qq/ta en sus periodos más óptimos, mientras que la media dominicana solo alcanza los 0.6 qq/ta.

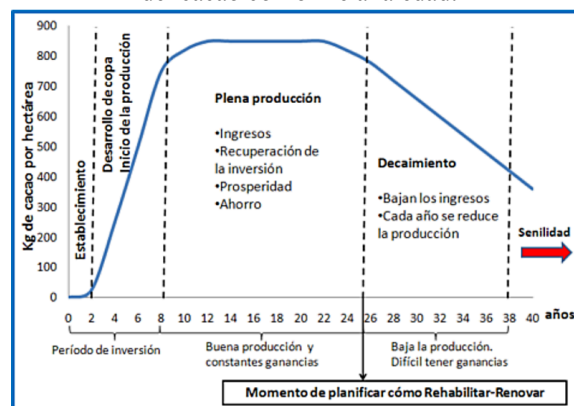
Figura 35. Análisis de la productividad del cacao de acuerdo con la edad.

A. Productividad del árbol de cacao conforme a la edad.



Fuente: (Orozco-Aguilar, 2015)

B. Modelo hipotético de la evolución de la productividad del cacao conforme a la edad.



Fuente: (Orozco Aguilar & López Sampson, Mejora productiva del cacao, 2016)

Los modelos de productividad presentados en las Figuras 35A y 35B permiten establecer una base analítica para el entrenamiento de modelos de analítica aumentada orientados al manejo agronómico del cultivo. A partir de estos modelos, los sistemas de inteligencia artificial pueden generar recomendaciones dinámicas para la gestión de clones, viveros y procesos de renovación de plantaciones, permitiendo al personal técnico de la organización optimizar el manejo de las fincas y mantener los niveles de productividad en condiciones cercanas a su potencial agronómico, inclusive bajo escenarios de variabilidad climática.

Para un modelo Agroregenerativo 4.0 en el BI de Conacado, explicado en el acápite anterior, la IA regenerativa usa los resultados del OLAP más la DM minería para ajustar dinámicamente la recomendaciones, la cual puede ser la siguiente: prioriza clones y manejos de acuerdo a tolerancia, edad y condiciones locales (Cd, MO, ETo, NDVI, etc.), la cual puede presentar una matriz de decisión como expresa el ejemplo de la tabla siguiente:

Tabla 8. *Matriz Visual de Decisión (Edad × Problema Ambiental × Clon)*

Edad del Árbol (años)	Problema Principal	Condición Detectada (OLAP/ML)	Recomendación Regenerativa (IA)	Acción Operativa
0–5 (juvenil)	Baja supervivencia vivero	Supervivencia < 85% o vigor < 0.8	IA genera lista de clones alternativos + ajuste en riego de establecimiento	Revisión vivero y densidad siembra
5–10 (crecimiento)	Estrés hídrico	ETo > 5 mm/día y NDVI ↓ 10%	IA sugiere riego localizado + mulch orgánico; simulación ROI	Instalar coberturas y monitoreo IoT
10 (óptimo)	Baja MO / fertilidad	MO% < 2.0 y kg/árbol ↓	Plan de restauración MO (compost + biochar + micorrizas)	Aplicar compost + medir recuperación anual
10–15 (transición)	Acumulación Cd / Pb	Cd > 0.5 mg/kg en suelo y clon sensible	IA propone mezcla de clones tolerantes y fitorremediación	Reemplazo escalonado con clones Cd-resistentes
15–20 (maduro)	Caída rendimiento	kg/árbol ↓ > 15% y sanidad < 0.7	IA optimiza calendario de replantación 10%/año	Rejuvenecer o replantar por sectores
>20 (viejo)	Obsolescencia productiva	vida productiva > límite clon	Simulación de productividad post-replantación	Renovar lote completo

Fuente: Elaboración propia a partir de (Asana, 2025), (Weaver et al., 2009) y (Orozco Aguilar & López Sampson, Mejora productiva del cacao, 2016).

Todo ese flujo de trabajo entre las diferentes capas del sistema Agroregenerativo puede automatizarse, generando un flujo ciberfísico de la forma siguiente:

Datos → Análisis → Decisión → Acción → Retroalimentación → Aprendizaje

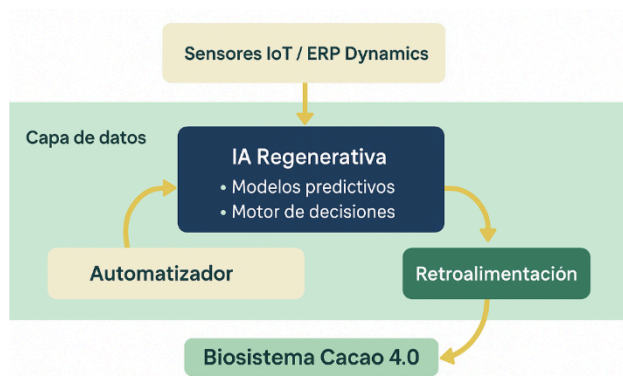
Este flujo operativo corresponde a un sistema de gestión basado en un ciclo cerrado de aprendizaje, en el cual los datos generados por el biosistema alimentan continuamente los modelos analíticos, permitiendo mejorar progresivamente la calidad de las decisiones y la capacidad adaptativa del sistema.

Este nivel de automatización del flujo permite disminuir el error de la operación humana ante la complejidad del ecosistema, logrando que el Biosistema 4.0 de Cacao pase de ser un sistema analítico a convertirse en un sistema inteligente y autónomo o semiautónomo, porque la relación entre un automatizador de tareas y la capa de IA regenerativa es

profundamente complementaria, dado que el primero ejecuta acciones, y la segunda decide cuáles deben ejecutarse.

En este contexto, los sistemas de automatización basados en inteligencia artificial permiten ejecutar de forma autónoma o semiautónoma diversas tareas operativas dentro del biosistema. A diferencia de los sistemas tradicionales de automatización basados en reglas fijas, los sistemas inteligentes pueden aprender de los datos históricos, identificar patrones y ajustar sus decisiones de forma dinámica, lo que contribuye a mejorar la eficiencia operativa y reducir los errores asociados a la intervención humana. Su objetivo es aumentar la eficiencia, reducir errores humanos y liberar a las personas para que se enfoquen en trabajos más estratégicos y creativos, generándose una arquitectura integrada entre la IA Regenerativa y el Automatizador dentro del Biosistema Cacao 4.0, como expresa la figura siguiente:

Figura 36. *Flujo de trabajo automatizado de una IA agroregenerativa.*



Fuente: Elaboración propia.

Según Microsoft (2025), la automatización que utiliza la IA puede realizarse inteligentemente a través del procesamiento de lenguaje natural o la visión por computadora para realizar tareas de manera más eficiente. Esta puede aprender de los datos y mejorar su desempeño con el tiempo, a diferencia de los sistemas de automatización convencionales que siguen reglas fijas. Esto le permite tomar decisiones basadas en patrones y datos históricos, lo que le hace posible realizar acciones más complejas de forma autónoma.

También IBM (2025) y Microsoft (2025) plantean que sus potencialidades permiten la optimización de recursos, porque liberan a los empleados de tareas repetitivas y mecánicas, permitiéndoles concentrarse en actividades de mayor valor que requieren pensamiento crítico. Al igual que la automatización tradicional, minimizan los errores humanos comunes en tareas monótonas, como la falta de atención.

2.2.6.4. Trazabilidad y Sostenibilidad en la Cadena de Valor del Cacao.

El control holístico de las operaciones dentro del biosistema, analizado en el acápite anterior, no garantiza por sí solo que las actividades realizadas a lo largo de toda la cadena de valor se ejecuten de manera segura y libre de errores humanos. Por ello, resulta necesario incorporar tecnologías adicionales orientadas a fortalecer los mecanismos de seguridad, transparencia y trazabilidad dentro del sistema agroalimentario.

Como sostienen Moreano Guerra et al. (2023), la tecnología blockchain constituye una innovación disruptiva orientada a transformar los mecanismos de seguridad y registro de transacciones digitales. Su fundamento se basa en un libro mayor distribuido (distributed ledger) que permite almacenar información de manera descentralizada y segura mediante técnicas criptográficas.

La característica principal de esta tecnología es la descentralización, dado a que la información es distribuida a diversos nodos, lo que asegura tanto la seguridad como la transparencia de los datos. Cada uno de los nodos cuenta con una copia del libro contable, lo cual suprime la dependencia de terceros e incrementa la confiabilidad de las transacciones, aquello también acrecienta la resiliencia en el sistema contribuyendo a evitar posibles fallos que puedan presentarse dentro de los nodos individualizados.

Así mismo, los mecanismos de validación criptográfica y la encriptación de datos constituyen ventajas fundamentales de esta tecnología, dado que garantizan la integridad y autenticidad de la información registrada.

Un proyecto de blockchain en una empresa agroindustrial incluye definir objetivos, investigar el mercado, y seleccionar la plataforma y tecnología adecuadas, junto con

contratos inteligentes y, potencialmente, soluciones IoT. El desarrollo debe ser incremental, comenzando con una prueba de concepto, seguida del desarrollo de contratos inteligentes y aplicaciones descentralizadas (dApps) para la trazabilidad y transparencia, y finalmente la implementación y mantenimiento de la red (Castilla Villanueva et al., 2019). La aplicación de la blockchain en la agricultura revoluciona la forma de gestionar la cadena de suministro agroalimentaria, algo que tradicionalmente en este sector ha sufrido de falta de transparencia, exceso de intermediarios y procesos manuales que encarecen los productos y generan incertidumbre en el consumidor (IAF, 2025).

En este contexto (IAF, 2025) se define que esta tecnología DLT (Distributed Ledger Technology) crea un registro inmutable y compartido entre todos los actores: agricultores, cooperativas, distribuidores y retailers. Como resultado, se genera una trazabilidad digital integral que fortalece la seguridad alimentaria, agiliza los procesos de gestión documental y contribuye a la sostenibilidad del ciclo ciberfísico de producción agrícola, especialmente cuando se integra con tecnologías como IoT y big data, elementos centrales del paradigma de Agricultura 4.0.

Este libro mayor descentralizado en el que cada bloque almacena información cronológica y vinculada criptográficamente al anterior permitirá que en un Biosistema Agroalimentario cada bloque pueda contener datos del pasaporte digital del productor (DDP) y la ruta logística de su producto: fecha y lugar de plantación, condiciones de riego y fertilización, almacenamiento y temperatura, logística y distribución. Al eliminar la necesidad de una autoridad central, se reduce la posibilidad de manipulaciones y se asegura de que todos los participantes: productores, cooperativas, transportistas y minoristas dispongan de la misma información en tiempo real. Este modelo descentralizado favorece la confianza y mejora la coordinación entre eslabones.

Los smart contracts o contratos inteligentes codificados en la cadena, automatizan procesos: validan condiciones (por ejemplo, llegada en buen estado de la mercancía) y liberan pagos al instante. Esta automatización reduce la burocracia, acelera los flujos de caja y minimiza errores humanos. Además, la tokenización de activos convierte lotes de

producto en tokens digitales, facilitando la venta fraccionada, la participación de inversores y el seguimiento granular.

Existen implementaciones tanto en cadenas públicas (Ethereum, BNB Smart Chain) como en soluciones privadas o híbridas optimizadas para la agroindustria. Cada modelo ofrece distintos niveles de descentralización, escalabilidad y costes de transacción, permitiendo adaptarse a las necesidades de grandes corporaciones o de cooperativas de pequeño y mediano tamaño.

La transparencia es un factor decisivo para el consumidor actual. Estudios indican que más del 70 % de los compradores pagarían un sobreprecio por productos con información verificada sobre su origen y prácticas de cultivo. La trazabilidad digital basada en blockchain ofrece un historial irreversible y accesible de cada lote:

- **Escaneo de código QR:** acceso inmediato a fotos satelitales, informes de laboratorio y rutas logísticas.
- **Certificación de origen:** garantía contra el fraude alimentario (mezclas adulteradas, etiquetados falsos).
- **Alertas sanitarias:** localización precisa y rápida de lotes afectados en caso de retirada de producto.

Este nivel de detalle fideliza a los clientes y mejora la reputación de la marca. Supermercados y distribuidores pueden publicitar “alimentos 100 % trazables”, diferenciándose en un mercado cada vez más exigente. Además, la trazabilidad contribuye a detectar y aislar problemas de forma quirúrgica, sin paralizar toda la cadena de suministro.

Al implantar blockchain se automatizan las tareas de registro, conciliación y auditoría, reduciendo hasta un 40 % el tiempo de gestión documental y acelerando los pagos en promedio 30 días. Esto permitirá numerosas ventajas, como son:

- **Smart contracts:** ejecución automática de pagos y liberación de certificados al cumplirse hitos de calidad.

- **Eliminación de intermediarios:** menor número de comisiones y márgenes, aumentando el margen del productor y reduciendo el precio final para el consumidor.
- **Digitalización integral:** registro en tiempo real de cada evento logístico, evitando duplicidades y discrepancias de datos.

La tokenización de activos agrícolas permite representar digitalmente productos físicos: como sacos de cacao o derivados del cacao, mediante tokens enriquecidos con metadatos asociados a su origen, calidad y trazabilidad logística. Este mecanismo facilita nuevas formas de financiamiento agrícola, al permitir que inversores participen en la financiación anticipada de las cosechas, mejorando la liquidez de los productores y promoviendo la democratización del acceso al capital en el sector agroalimentario.

Por ejemplo, según El Hajji et al. (2024) la tecnologías blockchain como Hyperledger Fabric, son óptimas para la aplicación en la cadena agroalimentaria de Conacado Debido a que permiten que la tokenización convierta activos físicos (Cubetas de Manteca de cacao, Sacos de Granos de Cacao, etc.) en tokens digitales enriquecidos con metadatos: Variedad y calidad del cultivo, Fechas de cosecha y análisis, Ruta de transporte y Los contratos inteligentes ejecutan automáticamente acciones predefinidas: emisión de certificados de calidad, activación de pagos y actualizaciones de estado. Lo que permite que se den una serie de ventajas, como son:

1. Minimiza fraudes: condiciones codificadas, sin posibilidad de alteración (Katharina Kraft & Kellner, 2022).
2. Acelera transacciones: liberación de fondos y documentos al instante.
3. Facilita auditorías: seguimiento exhaustivo y legible para reguladores (Tang y otros, 2024).

Para un Biosistema agroalimentario de cacao y chocolate dominicano, la implantación de estas tecnologías permitirá que los mercados internacionales con estrictos estándares de trazabilidad, como Unión Europea, Japón, etc. se le abran puertas para la exportación de productos de alto valor añadido (Matloob Ellahi et al., 2024).

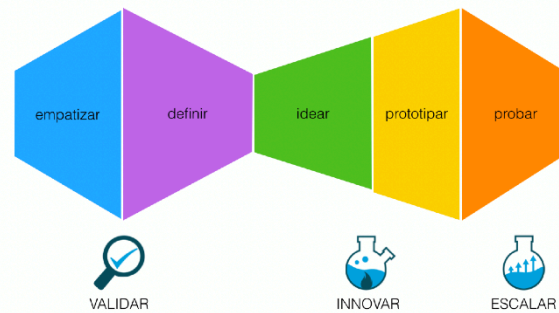
2.2.7. La gestión de proyectos de Agricultura 4.0 y las metodologías ágiles para abordar la incertidumbre de los biosistemas agroalimentarios.

La gestión de proyectos de transformación digital en biosistemas agroalimentarios de cacao y chocolate se caracteriza por una elevada complejidad estructural. Esta complejidad se deriva de la gran cantidad de variables agronómicas, logísticas y comerciales que deben ser gestionadas simultáneamente, así como de la diversidad de actores involucrados en la cadena de valor.

En este contexto, la toma de decisiones debe realizarse en horizontes temporales cada vez más reducidos, lo que incrementa significativamente los niveles de incertidumbre en la gestión estratégica de estos sistemas. Como consecuencia, la implementación de proyectos de Agricultura 4.0 requiere la adopción de metodologías ágiles de gestión de proyectos, capaces de adaptarse dinámicamente a entornos altamente cambiantes.

También, debido la necesidad de innovar en estos tipos de proyecto, buscando un modelo de optimización de toda la cadena agroproductiva del Biosistema, queriendo lograr una alta tasa de aceptación de los actores y una elevada probabilidad de éxito, el equipo de proyecto está obligado, como bien expresa (Sargana García, 2021) en su trabajo de investigación, a que cada producto o servicio digital propuesto en el proyecto, este diseñado en conjunto con los actores fundamentales del sistema y que estos responda a sus necesidades dentro de ciclo de gestión agrícola, es por esta razón que se utilizó la metodología Design Thinking, la cual es un enfoque para resolver problemas de forma creativa con y para las personas.

Design thinking, como sostiene Janhagen (2019), la metodología Design Thinking constituye un enfoque centrado en el ser humano para la resolución creativa de problemas complejos. Este enfoque prioriza la comprensión profunda de las necesidades de los usuarios antes de diseñar soluciones tecnológicas, lo que resulta particularmente relevante en proyectos de innovación digital en entornos agroproductivos. Donde el ciclo de vida del proyecto, desarrolla fases (ver figura 37) que permitieron desarrollar de forma innovadora los requisitos funcionales de la plataforma con ayuda de actores fundamentales.

Figura 37. *Etapas de la metodología Design Thinking*

Las cinco fases de la metodología Design Thinking son: empatizar, definir, idear, prototipar y probar. Estas fases son un proceso iterativo y no lineal, lo que permite volver a etapas anteriores en la medida en que se obtenga nueva información y se mejoren las soluciones, como se presentan a continuación:

1. **Empatizar:** Es la fase de partida donde se busca entender en profundidad al usuario y su contexto. Esto se logra mediante la observación, entrevistas y otras técnicas para comprender sus necesidades, motivaciones y puntos débiles.
2. **Definir:** En esta etapa se recopila y analiza la información obtenida en la fase de empatía. Se sintetizan los hallazgos para identificar y formular el problema o desafío central que se va a resolver de manera clara y procesable.
3. **Idear:** Se busca generar la mayor cantidad de ideas posible para solucionar el problema definido. Es un momento para la creatividad sin juicios, utilizando técnicas como el brainstorming para explorar diferentes soluciones y desafiar suposiciones.
4. **Prototipar:** Las ideas se materializan en prototipos tangibles, que pueden ser de baja, media o alta fidelidad. El objetivo no es la perfección, sino crear versiones sencillas de las soluciones para poder probarlas rápidamente y experimentar con ellas.
5. **Probar:** Se ponen a prueba los prototipos con usuarios reales para obtener retroalimentación. Esta fase permite validar las soluciones, identificar puntos débiles, aprender de los resultados y realizar ajustes para perfeccionar el producto final.

El autor Brown (2020), expreso la necesidad de la experimentación en el proceso de búsqueda de la solución optimizada en la metodología Design Thinking, hace que se convierta en un proceso iterativo e incremental y es aquí donde aparece la factibilidad de una complementación con la metodología SCRUM (ver figura 38) para la gestión de este proyecto de transformación digital de Conacado como un Biosistema Agroalimentario de cacao, que ha utilizado el ERP Dynamics 365 para la digitalización de sus procesos de gestión. Design Thinking y SCRUM trabajan juntas para resolver problemas complejos de manera innovadora y ágil, como lo expresa la siguiente tabla:

Tabla 9. *Cuadro comparativo entre las metodologías Design Thinking y SCRUM.*

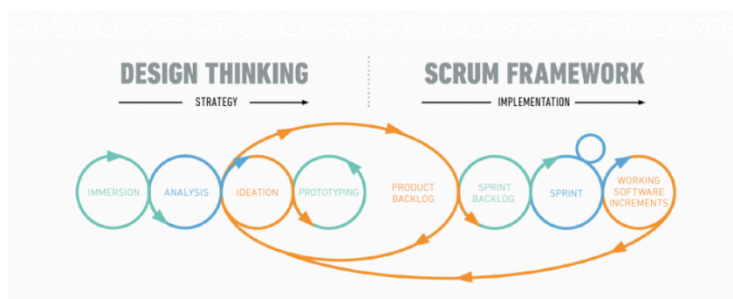
Características	Design Thinking	SCRUM
Objetivo	Entender profundamente las necesidades del usuario y generar soluciones innovadoras y factibles.	Gestionar el desarrollo de productos complejos, permitiendo la entrega incremental y adaptativa.
Enfoque	Centrado en el ser humano, la creatividad y la experimentación.	Estructura, roles definidos (Product Owner, Scrum Master, Equipo de Desarrollo) y un proceso iterativo para la ejecución del trabajo.
Proceso	Generalmente sigue una secuencia de cinco etapas cíclicas: empatizar, definir, idear, prototipar y evaluar.	Se organiza en iteraciones cortas llamadas "sprints" (generalmente de 2 a 4 semanas), que incluyen planificación, ejecución, revisión y retrospectivas para mejorar continuamente.
Resultado	Un entendimiento claro del problema y soluciones probadas y validadas en forma de prototipos.	Entregables funcionales al final de cada sprint y un proceso de trabajo mejorado continuamente.

Fuente: Elaboración propia a partir de la revisión de la literatura.

Finalmente, esta complementación viene dada en que se proporciona una secuencia de uso, donde un proyecto puede comenzar con Design Thinking para definir una solución basada en la necesidad del usuario, y luego SCRUM toma el relevo para desarrollar esa solución de manera iterativa. En la integración, Design Thinking puede informar la creación de los "elementos del backlog" (historias de usuario) que luego se gestionan dentro de los sprints de SCRUM y para lograr mayor flexibilidad, la combinación permite primero innovar y resolver el "qué" y el "por qué", y luego ejecutar el "cómo", asegurando que el producto final no solo sea innovador sino también eficiente en su construcción y entrega de los productos y servicios digitales a obtener, un ejemplo

particular es para el caso del grupo Conacado sería la propuesta ante la baja productividad histórica de la producción de cacao, realizar a través de Design Thinking para la modificación de la matriz de bus de Kimball en el proceso de transformación digital por la incorporación de una Biofábrica conectada al ciclo ciberfísico de gestión agrícola de Conacado y los módulos para la gestión inteligente de la cadena de valor que se desarrollaran siguiendo la metodología SCRUM.

Figura 38. *Design Thinking y SCRUM metodologías complementarias*



Fuente: scrum.org

2.2.8. Conclusiones del Estado del Arte y Brecha en la Literatura.

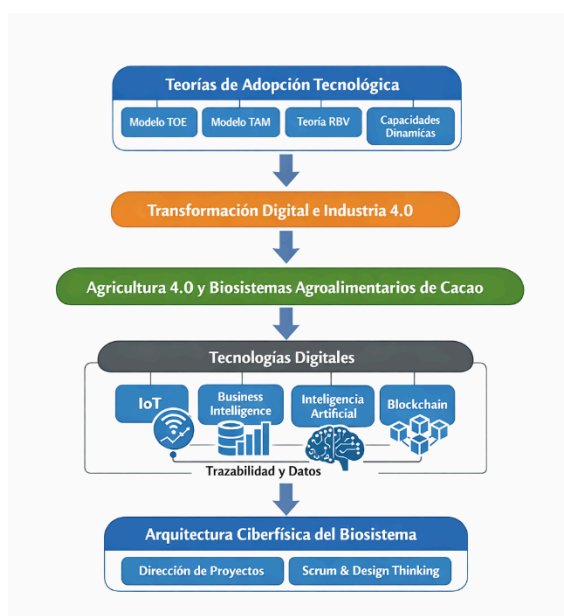
El análisis del estado del arte realizado en esta investigación evidencia una limitada integración conceptual en la literatura científica respecto al estudio de los sistemas agroalimentarios del cacao. En la mayoría de los casos, las investigaciones tienden a abordar de manera separada los procesos agrícolas asociados a la producción primaria del cacao, los procesos industriales de transformación en chocolate y los mecanismos de comercialización internacional.

Otro aspecto esencial está relacionado con la gestión a nivel cuaternario de la economía de los Biosistemas Agroalimentario del cacao y el chocolate o sea la gestión del conocimiento de forma integral de estos tipos de entidades agroproductivas utilizando lo más avanzado de la gestión del conocimiento, la inteligencia artificial y las tecnologías de la 4ta revolución industrial, son aplicaciones muy disruptiva aun para economías desarrolladas, ya que las ofertas de preparación para los ingenieros agrónomos como científicos de los datos es escasa y la capacitación de estos tipos de empresas para operar en condiciones de economía del conocimiento todavía es muy limitada. A pesar de ello,

en otros rubros industriales ha avanzado mucho más la aplicación de la gestión de organizaciones inteligentes, lo que permitió a este trabajo nutrirse de varias metodologías y técnicas para avanzar en la frontera del conocimiento de la industria agroalimentaria del cacao y el chocolate.

La figura 39 presenta el mapa conceptual que sustenta esta investigación. En ella se integran las teorías de adopción tecnológica, los procesos de transformación digital y los avances de la Agricultura 4.0, los cuales convergen en el desarrollo de un modelo ciberfísico de biosistema agroalimentario de cacao. Asimismo, se incorpora el enfoque de dirección de proyectos y metodologías ágiles como mecanismo para la implementación del modelo propuesto.

Figura 39. *Figura del modelo conceptual de la investigación.*



Fuente: Diseño de la investigación.

En el próximo acápite aparecerán los términos y definiciones más relevantes de los elementos que conforman la estructura sistémica del marco teórico expresado en el anterior mapa conceptual.

2.3. Marco Conceptual.

En esta investigación los componentes, dimensiones o categorías analíticas más importantes están determinados por las variables fundamentales y su correspondiente correlación, entre las que se encuentran: *Plataforma de Agricultura 4.0 y la Gestión Inteligente de CONACADO como Biosistema Agroalimentario de Cacao* respectivamente.

2.3.1. Las Plataformas de Agricultura 4.0.

El concepto de agricultura 4.0 ha emergido como una evolución de la agricultura de precisión (AP) a través de la difusión del Internet de las cosas (IoT), la analítica de datos, y el machine learning, que han sido aplicados en toda la cadena de valor del sector agropecuario (Tovar-Quiroz, 2023). Adicionalmente, los retos que enfrenta esta agricultura hoy en día van mucho más allá de las aplicaciones tecnológicas, es por esta razón que el dar cumplimiento a los ODS al 2030, exigirá que se utilicen aplicaciones de Ciencia, Tecnología e Innovación (CTI), primordiales para que el sector primario se convierta en impulsor del desarrollo económico y sostenible.

Las *plataformas de agricultura 4.0*, en el caso particular de esta investigación, no son más que un conjunto de tecnologías digitales (IoT, Big Data, IA, sensores, drones, blockchain, sistemas de BI) aplicadas a la producción, trazabilidad y gestión del cacao, su proceso de transformación en chocolate y la comercialización, las cuales podremos describir, después de una exhaustiva revisión bibliográfica, a través de la tabla siguiente:

Tabla 10. *Tecnologías que integran las plataformas de Agricultura 4.0*

Tecnologías de Agricultura 4.0	Descripción	Referencias
Internet de las cosas(IoT)	El Internet de las Cosas (IoT) en la agricultura se refiere a la conexión de sensores, drones y maquinaria para recopilar y analizar datos en tiempo real sobre el cultivo, el suelo y el clima, permitiendo la automatización de procesos como el riego y la fertilización. Esto ayuda a optimizar el uso de recursos, reducir costos, mejorar la eficiencia, <u>aumentar la productividad y tomar decisiones más informadas.</u>	(Laverde Mena & Laverde Mena, 2021) (Boruah et al., 2024)
Analítica de datos y big data	La analítica de datos es el proceso de examinar datos para extraer información valiosa, mientras que el big data se refiere a los conjuntos de datos grandes, complejos y de rápido crecimiento que requieren	(IBM, 2025) (Google Cloud, 2025)

	herramientas y técnicas avanzadas para su análisis. Ambas están relacionadas: la analítica de big data aplica métodos analíticos a estos grandes volúmenes de información para descubrir patrones ocultos, predecir tendencias y anovar decisiones estratégicas	
Inteligencia artificial (IA) y aprendizaje de Máquina (ML)	Ofrecen algoritmos formales para la precisión de la predicción y la Evaluación del rendimiento, así como la clasificación de patrones que pueden resolver problemas de conocimiento	(Dekera & Ifeanyi Eke, 2022) (Tovar-Quiroz, 2023)
Computación en la nube y sistema ciberfísico (CPS)	Los sistemas ciberfísicos (CPS) integran computación, redes y procesos físicos, mientras que la computación en la nube ofrece servicios de procesamiento y almacenamiento de datos a través de Internet. La nube proporciona la infraestructura para que los CPS almacenen y analicen grandes cantidades de datos, permitiendo que los sistemas físicos sean más inteligentes y se controlen de forma remota y automatizada. Por ejemplo, la nube puede analizar datos de sensores de un CPS para tomar decisiones y enviar órdenes a otros dispositivos	(Azizur Rahman et al., 2022) (Melía Seguí & Pere Tuset Peiró, 2025) (ScienceDirect, 2020)
Procesamiento de imágenes hiperespectrales	El procesamiento de imágenes hiperespectrales es un conjunto de técnicas para pre procesar, calibrar y analizar datos de imágenes que capturan información a lo largo de un amplio rango de longitudes de onda electromagnéticas. El objetivo es corregir el ruido y los defectos, y extraer información útil, como la identificación de materiales y la detección de problemas ocultos, mediante el análisis de las firmas espectrales únicas de cada píxel	(ScienceDirect, 2025)
Sistemas de información geográfica (GIS) y análisis	Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son herramientas informáticas para recopilar, gestionar y analizar datos espaciales mediante la integración de datos de ubicación con información descriptiva, visualizando la información a través de mapas para identificar patrones y tendencias. El análisis SIG se utiliza para la toma de decisiones en diversos campos como la planificación de ciudades, gestión de emergencias, conservación ambiental y análisis de infraestructura	(SCIELO, 2006) (IBM, 2025) (Radicelli García et al., 2019)
Robótica y automatización	Se refieren al uso de tecnologías avanzadas como la inteligencia artificial, drones, tractores autónomos y robots para aumentar la eficiencia la precisión y la sostenibilidad del sector agrícola	(Santos Valle & Kienzle, 2021) (Giudice Baca & Zapata Tito , 2022)
Drones y vehículos aéreos no tripulados	Son herramientas clave en la Agricultura 4.0, ya que permiten monitorear cultivos de forma precisa y eficiente, recopilar datos con sensores avanzados, y realizar tareas como fumigación o fertilización de manera automatizada. Su uso facilita la toma de decisiones basada en datos para mejorar el rendimiento, optimizar el uso de recursos como agua y fertilizantes, y detectar problemas como plagas o deficiencias nutricionales a tiempo.	(Ríos-Hernández , 2021) (Jeongeun et al., 2019) (del Cerro et al., 2021)
Tecnologías de comunicación	Vías a través de las cuales se pueden intercambiar datos. En particular, 5G Proporciona banda ancha mejorada y comunicación masiva tipo máquina	(Tovar-Quiroz, 2023)
Cadena de bloques (blockchain)	La cadena de bloques (blockchain) en la Agricultura 4.0 permite mejorar la transparencia, la trazabilidad y la seguridad de la cadena de suministro alimentaria al registrar datos de forma inmutable. Esto se logra mediante el uso de registros seguros y descentralizados, que permiten rastrear productos desde la granja hasta el consumidor final, autenticar su origen, prevenir fraudes y optimizar recursos para una producción más eficiente y sostenible.	(Hossein Ronaghi, 2021) (Marzougui et al., 2025) (Sendros et al., 2022)
Realidad aumentada y realidad virtual	En la Agricultura 4.0, la realidad virtual (RV) y la realidad aumentada (RA) se utilizan para optimizar la gestión de cultivos, la formación de personal y la toma de decisiones. La RV crea entornos inmersivos para simular escenarios y entrenar operarios en situaciones de riesgo. La RA	(Tovar-Quiroz, 2023) (Agrotech, 2025) (ResearchGate, 2011)

	superpone datos digitales, como el estado del suelo o la salud de las plantas, sobre la vista del mundo real, permitiendo a los agricultores visualizar información crucial de manera inmediata.	(Chatterjee et al., 2025)
Biofabricas conectadas	Las biofábricas conectadas en la Agricultura 4.0 integran la producción biológica de insumos agrícolas con tecnologías digitales como sensores y el Internet de las Cosas (IoT) para optimizar su uso en campo. Esta conexión permite monitorear las necesidades de los cultivos en tiempo real y aplicar los bioinsumos (como biofermentados y bioles) de manera más precisa, mejorando la calidad del suelo y los cultivos, y reduciendo la dependencia de agroquímicos para una agricultura más sostenible.	(Infante-Jiménez et al., 2025) (Goulet et al., Las biofábricas, nuevos modelos de producción y acceso, 2024)

Fuente: Elaboración propia a partir de (Tovar-Quiroz, 2023).

2.3.2. La Gestión Inteligente de CONACADO como un Biosistema Agroalimentario de Cacao.

La optimización de un biosistema agroalimentario de cacao y chocolate dominicano, implica tratar de optimizar todos y cada uno de los procesos individuales que componen la cadena agroproductiva y al mismo tiempo tratar de optimizar cada estado del biosistema de forma sistémica, pues el resultado final desde el punto de vista económico, social y de gestión será exitoso, si y solo si, se logra altos rendimientos no solo en la parte productiva, sino también en los procesos logísticos, comerciales y organizacionales al unísono, buscando una adaptación integral de la organización a su contexto global y a su desempeño tanto interno como externo, con independencia del grado de incertidumbre a la que este expuesto su régimen evolutivo.

Por tanto, podemos decir que *la gestión inteligente de un biosistema agroalimentario de cacao* no es más que un modelo de gestión empresarial y productiva que integra actores de la cadena de valor (productores, cooperativas, exportadores, consumidores) mediante decisiones basadas en datos y sostenibilidad. Donde el análisis dimensional de esta variable permite analizar los elementos como: la productividad agrícola, la eficiencia en gestión empresarial, la calidad del cacao o los subproductos de chocolate, la sostenibilidad socioambiental, la trazabilidad y la transparencia y la toma de decisiones basada en datos, las cuales pueden apreciarse en la tabla que mostramos a continuación:

Tabla 11. Sistema de gestión inteligente de un biosistema agroalimentario de cacao.

Dominios de aplicación	Descripción	Referencias
------------------------	-------------	-------------

La productividad agrícola del cacao	La productividad del cacao en República Dominicana es baja, con un promedio de aproximadamente medio quintal por tarea (0.6 qq/ta), aunque un 5% de los productores supera ese umbral. El país es líder mundial en cacao orgánico y de alta calidad, pero la producción se ve afectada por retos climáticos, manejo deficiente del cultivo y enfermedades.	(IICA, 2017) (MEPyD, 2024) (Diario Libre, 2025)
Eficiencia en gestión empresarial	La eficiencia en la gestión empresarial es la capacidad de una compañía para lograr el máximo rendimiento utilizando la menor cantidad de recursos (tiempo, dinero, mano de obra, etc.). Se trata de optimizar los procesos, minimizar el desperdicio y reducir costos para aumentar la rentabilidad. Esto se puede lograr a través de la automatización de tareas, el seguimiento de métricas clave (kpi) y el establecimiento de flujos de trabajo claros.	(Ramírez-Betancourt et al., 2023) (IEP, 2025)
Calidad del cacao y el chocolate	La calidad del cacao y el chocolate se determina por sus características físicas y sensoriales, como el porcentaje de cacao, el color, el aroma, el sabor y la ausencia de defectos. Un mayor porcentaje de cacao en el chocolate (generalmente $\geq 70\%$) o más suele indicar mayor calidad por su sabor más intenso y complejo. En cuanto al grano de cacao, la calidad se evalúa por factores como el tamaño, la ausencia de impurezas, y su aroma y color profundos.	(Alianza de Bioversity International y CIAT, 2023) (Fanning et al., 2023) (González Muñoz et al., 2012) (Homem de Abreu Loureiro et al., 2017)
Sostenibilidad socioambiental	La sostenibilidad socioambiental del cacao implica prácticas agrícolas y comunitarias que protegen el medio ambiente y mejoran la calidad de vida de los productores. Esto incluye la implementación de sistemas agroforestales para evitar la deforestación y mejorar la biodiversidad, el uso de prácticas orgánicas y de compostaje, y la inversión en proyectos que apoyan el bienestar y desarrollo de las comunidades cacaoteras, asegurando así la producción a largo plazo.	(FAO, 2025) (Santana da Silva Ferreira et al., 2025) (The FOOD TECH, 2024) (Cirad, 2022) (FEED the FUTURE, 2025)
Trazabilidad y Transparencia	La trazabilidad y transparencia del cacao se refieren a la capacidad de rastrear el cacao desde la plantación hasta el producto final, informando sobre su origen y proceso para garantizar la calidad, la sostenibilidad y las prácticas éticas en toda la cadena de suministro. Esto implica documentar detalles como la geolocalización de las fincas, los métodos de cultivo, el procesamiento post-cosecha (fermentación, secado) y el transporte, permitiendo a los consumidores y empresas confiar en el origen y en que el producto se obtiene de manera responsable.	(Gómez Gómez et al., 2025) (RDdenMexico, 2025) (MICM, 2025) (cadenacacaoca, 2025)
Toma de decisiones basada en datos	La toma de decisiones basada en datos es un enfoque que utiliza datos, métricas y análisis en lugar de la intuición o la experiencia personal para fundamentar las decisiones empresariales y estratégicas. Este método implica recopilar, analizar e interpretar datos para identificar patrones, predecir tendencias y tomar decisiones más	(Tableau, 2025) (IBM, 2024) (Asana, 2025) (PG, 2024)

	seguras, eficientes y alineadas con los objetivos organizacionales.	
--	---	--

Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente a las variables que explican el problema a tratar en esta investigación, de conjunto a sus dimensiones de análisis, existe una serie de factores que durante el proceso de transformación de granjas a empresas inteligentes deben ser analizados por los actores fundamentales a la hora de adoptar una u otra tecnología, dado que estos pueden influir o intervenir durante la implementación, lo que hace necesario prestar atención a los efectos de inclusión y exclusión de las tecnologías innovadoras de agricultura 4.0, de manera responsable, anticipándose a los impactos potenciales a través de procesos reflexivos y receptivos, y no seguir siendo espectadores pasivos en esta revolución agrícola Klerkx Rose (2020) como fue citado en (Tovar-Quiroz, 2023) , Esto aspectos pueden ser de tipo:

- **Infraestructura tecnológica:** La infraestructura tecnológica para la producción agrícola incluye tecnologías como los drones, el GPS, los sensores, el análisis de imágenes satelitales y el software de gestión. Estas herramientas permiten optimizar el uso de recursos como agua y fertilizantes, monitorear la salud de los cultivos, automatizar tareas y mejorar la precisión en la toma de decisiones para aumentar la eficiencia y la productividad (Tovar-Quiroz, 2023), (Ríos-Rojas et al., 2024), (Kojo Edeme y otros, 2020), (Santos Valle & Kienzle, 2021).
- **Capacitación y nivel de adopción digital de productores:** La capacitación es fundamental para el nivel de adopción digital de los productores, porque les proporciona las habilidades tecnológicas para usar nuevas herramientas, integrar la tecnología en sus flujos de trabajo y comprender los beneficios de la digitalización. Un programa de capacitación efectivo no solo cubre el uso de software, sino que también ofrece apoyo continuo y demuestra cómo las tecnologías pueden mejorar la eficiencia, la productividad y la toma de decisiones, haciendo que la transición sea más exitosa y reduciendo la resistencia (Lan Nguyen et al., 2025).
- **Políticas públicas de apoyo:** Las políticas públicas de apoyo al productor agrícola incluyen financiamiento a través de préstamos o subsidios, acceso a

servicios básicos como riego y maquinaria, inversión en infraestructura rural como caminos, y programas de asistencia técnica, investigación y desarrollo para mejorar la productividad y la sostenibilidad. Estas políticas también pueden enfocarse en asegurar la sanidad de los alimentos, fomentar mercados (nacionales e internacionales) y promover la mecanización y la formalización de la tierra (MEPyD, 2025); (MARD, 2024).

- **Condiciones climáticas:** Las condiciones climáticas son cruciales para el cultivo de cacao, que requiere temperaturas constantes y cálidas, alta humedad y lluvias abundantes y regulares. Las temperaturas ideales están entre (23° C y 25° C) en promedio anual, mientras que las temperaturas extremas, tanto altas (>35° C) como bajas (<23° C), reducen la calidad y cantidad de la cosecha. Un exceso de lluvia o sequías prolongadas pueden afectar la floración y fructificación, y el cambio climático favorece la proliferación de plagas y enfermedades como la monilia y la podredumbre negra, que son especialmente dañinas en condiciones de humedad alta o exceso de lluvia (Asante et al., 2025); (Roblanda, 2024) .
- **Mercado internacional del cacao:** El mercado internacional del cacao influye en el desarrollo de proyectos agrícolas al generar oportunidades económicas debido a la alta demanda y buenos precios, especialmente para el cacao orgánico y de comercio justo. Sin embargo, también presenta desafíos como la volatilidad de precios, la creciente presión por la sostenibilidad y la necesidad de inversión en calidad y procesamiento para acceder a mercados de mayor valor (Diario Libre, 2025); (Codespa, 2024); (Ureta Mera et al., 2025).

Estos factores pueden medir el impacto entre las variables de esta investigación, la tabla 12 expresa las dimensiones de análisis de estos factores y los posibles indicadores que pueden describir exhaustivamente la manera o la medida en que lo hacen.

Tabla 12. *Factores intervinientes entre las variables objeto de estudio.*

Variable Interviniente	Dimensión	Indicadores
Infraestructura tecnológica	Conectividad digital Energía eléctrica Equipamiento tecnológico	- % de zonas rurales con acceso a internet estable - Horas promedio de disponibilidad de electricidad en fincas - N° de dispositivos IoT/drones disponibles
Capacitación y adopción digital de productores	Nivel educativo Capacitación TIC Cultura de innovación	- % de productores con alfabetización digital básica - N° de capacitaciones recibidas por año - Grado de aceptación al uso de plataformas digitales

Políticas públicas y apoyo institucional	Regulación Incentivos financieros Programas estatales	- Existencia de normativas sobre trazabilidad digital - N° de proyectos estatales de Agricultura 4.0 - Acceso a financiamiento público/privado
Factores ambientales y climáticos	Variabilidad climática Plagas y enfermedades Condiciones edafológicas	- Precipitación anual (mm) - Temperatura media (°C) - Incidencia o no de monilia y escoba de bruja - Índices de fertilidad del suelo presencia de metales pesados
Mercado internacional del cacao	Precio internacional Demanda global Certificaciones	- Promedio del precio internacional del cacao (USD/tonelada) - % de cacao certificado exportado - N° de contratos internacionales firmados
Aspectos socioeconómicos locales	Nivel de ingresos Inclusión social Capacidad de inversión	- Ingreso promedio mensual de productores - Participación de mujeres y jóvenes en la cadena de valor - % de reinversión en tecnología agrícola
Aspectos organizacionales internos en CONACADO	Coordinación cooperativa Gestión administrativa Cultura organizacional	- N° de reuniones de coordinación entre cooperativas - Nivel de digitalización de procesos internos - Grado de disposición hacia la innovación

Fuente: Elaboración propia.

2.4. Marco Contextual.

La organización objeto de estudio en esta investigación es el grupo agroindustrial CONACADO, una empresa dominicana dedicada a la producción agrícola del cacao, la transformación industrial de subproductos y chocolate y a la comercialización, fundamentalmente de origen orgánico, bajo estrictas normas de certificaciones internacionales, la cual vamos a contextualizar de la siguiente manera:

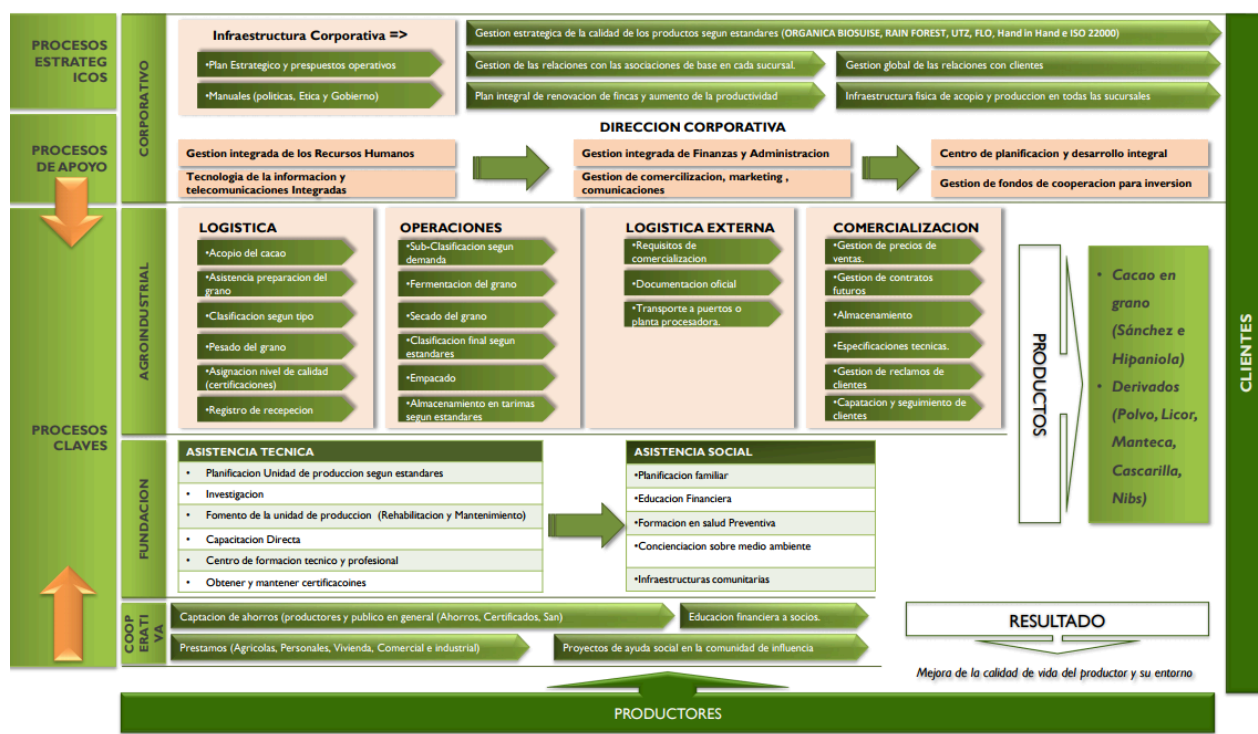
2.4.1. Historia y estructura de CONACADO.

CONACADO (Confederación Nacional de Cacaocultores Dominicanos) se formó en 1988 a partir de la alianza entre pequeños y medianos productores de cacao con apoyo de la Agencia de Cooperación Alemana (GTZ) para mejorar la calidad y exportación del cacao dominicano. Su origen se remonta a 1985, cuando surgieron los primeros indicios de organización de productores. La organización, que ha crecido hasta convertirse en la mayor exportadora de cacao orgánico del mundo, se enfoca en educar y organizar a sus miembros, mejorar la infraestructura y asegurar el acceso a mercados internacionales exigentes, además de realizar proyectos sociales en sus comunidades (Conacado, 2025); (Caribbean Export, 2023).

La estructura fundamental de la organización, viene dada en su plan estratégico, donde la organización posee toda la base documental atada a una metodología enfocada a la gestión por procesos, optimización de recursos, reducción de riesgos del negocio y aprovechamiento de las oportunidades, cambio cultural y apropiamiento del compromiso

y modo de trabajo dentro de todo el personal que componen los eslabones de la cadena agro productiva y agroindustrial de CONACADO; así como también la vinculación al cambio tecnológico aplicativo, seguimiento, monitoreo y control de los objetivos, indicadores de gestión, KPIs del negocio y objetivos SMART de cada proceso que compone el sistema operativo, comercial, administrativo, financiero y legal (ZUIISO, 2022)(ver Figura 40).

Figura 40. Mapa de procesos de CONACADO.



Fuente: plan estratégico institucional hasta el 2030 de CONACADO.

De esta manera la empresa CONACADO queda estructuralmente constituida por tres (3) Unidades de Negocio, las cuales son las siguientes:

- ONG
- Agroindustrial, y,
- Cooperativa.

Y cuya base documental para la proyección estratégica, para la gestión por procesos y mejora continua de toda la organización se crearon los siguientes productos documentales:

- 1 Misión
- 1 Visión
- 8 Objetivos Estratégicos
- 28 Objetivos de Segundo Nivel
- 44 Riesgos
- 22 Oportunidades
- 12 Procesos
- 45 Subprocesos
- 1 Interacción de procesos de todo el Grupo CONACADO
- 1 Plan Estratégico del Grupo CONACADO
- 8 Planes Operativos Anuales (POAs) Indicadores de Primer Nivel
- 8 Planes Operativos (POAs) Indicadores de Segundo Nivel
- 10 Descripciones de las funciones de los órganos de Gobernanza
- 120 Descripciones a detalle de los puestos de trabajo dentro de la Organización; y,
- 3 Organigramas funcionales (1 para cada Unidad de Negocio)
- 1 Equipo de Auditores Internos formados (20 personas)
- 3 Cursos desarrollados de Gestión por Procesos
- 1 Taller de Identificación de Riesgos y Oportunidades

Todos esos productos están diseñados con la finalidad de generar valor institucional, dejando en cada una de estas 3 Unidades de Negocio definidos **procesos estratégicos**, **procesos de apoyo** y **procesos operacionales** que son propios del giro de cada Unidad de Negocio. Sin embargo, hay procesos que son comunes, homónimos y cumplen las mismas actividades en las 3 Unidades de Negocio, por lo cual fueron unificados. Estos procesos son:

- Proceso Estratégico: Proceso Planificación, Control y Seguimiento.

- Proceso Estratégico: Subproceso Bureau de Transición
- Proceso de Apoyo: Proceso Administrativo Financiero, Subprocesos: Gestión Humana, TICs, Contabilidad, y Administración de Bienes y Servicios.
- Proceso de Apoyo: Asesoría legal.

Quedando el sistema como expresa la tabla siguiente:

Tabla 13. *Procesos y procedimientos de CONACADO.*

Tipo de Proceso	No. de Procesos y Subprocesos por Unidad de Negocio			
	ONG	Agroindustrial	Cooperativa	Total
Procesos Estratégicos	1	2	1	4
Subprocesos Estratégicos	3	7	3	13
Subproceso Estratégico Unificado: Bureau de Transición	1			1
Proceso Estratégico Unificado: Planificación, Control y Seguimiento	1			1
Subprocesos Estratégicos Unificados: Subproceso Planificación y Presupuesto Subproceso Elaboración y Seguimiento a Proyectos Subproceso Auditoría Interna y Externa Subproceso Seguimiento y medición de indicadores Subproceso Revisión por la Alta Dirección Subproceso Cumplimiento, Seguridad, Salud, Ambiente Subproceso Comunicación Subproceso Gestión Documental y sistematización	7			7
Procesos de Apoyo : Administrativo Financieros y Legal	2			2
Subprocesos de Apoyo Subproceso Gestión Humana Subproceso TICs Subproceso Contabilidad Subproceso Administración de Bienes y Servicios	4			4
Subprocesos de Apoyo	1	1	1	3
Procesos Operacionales	1	3	1	5
Subprocesos Operacionales	3	10	4	17
TOTAL	24	38	25	

Fuente: plan estratégico institucional hasta el 2030 de CONACADO.

2.4.2. Importancia del cacao en la economía y cultura dominicana.

La CONFEDERACIÓN NACIONAL DE CACAOCULTORES DOMINICANO, INC. (CONACADO.Inc), con una relevante presencia en la producción de CACAO de la

República Dominicana, donde tal como señala (IICA, 2023) El Cacao (*Theobroma cacao L.*) es un cultivo importante, que mantiene la República Dominicana como uno de los países líderes en la exportación de productos orgánicos en el mundo. Donde la producción de este rubro se puso de manifiesto cuando las exportaciones de ese producto alcanzaron los US\$ 261 millones en 2015 y actualmente el país es líder mundial de cacao orgánico, con un 60% del volumen de exportación mundial.

Adicionando a esto, que en la última década las exportaciones de cacao han crecido en el país en un 322% y para lo que está planificado una tendencia a la alza en este comportamiento de las exportaciones. También las autoridades del Ministerio de Agricultura y el subsector privado de producción y agro-exportación del cacao tienen como meta duplicar los actuales niveles de exportaciones en la próxima década, de modo que éstas alcancen un valor equivalente a los US\$500 millones anuales. Algo que no requerirá necesariamente ampliar las zonas de siembra, pero sí renovar las plantaciones existentes y gestionar la captación de nuevos mercados en el exterior.

En cuanto al destino de las exportaciones, se estima que hacia Estados Unidos va la mayor cantidad, un tercio de las ventas externas, seguida de Holanda, hacia donde llega alrededor del 18%, Bélgica recibe el 14% y le siguen México, España y otras naciones.

En materia de extensión hay en el país alrededor de 2,4 millones de tareas (150,000 hectáreas) sembradas de cacao a cargo de alrededor de 40,000 productores, con 36,236 fincas registradas, de las cuales el 16.5 % se dedican a la producción de cacao orgánico.

Dentro de las asociaciones y empresas dedicadas a la producción y comercialización del cacao orgánico en el país, las principales son: Confederación Nacional de Cacaocultores Dominicanos (CONACADO), con un 49.8% de la producción; Nazario Rizek, con 15.8%; Comercial Roig con 13.2%.

La calidad del cacao que se produce en el país, es de las mejores a nivel internacional; destacándose que el 40 % del cacao de producción nacional puede ser vendido como “fino”, de acuerdo al comité especializado de la Organización Internacional del Cacao,

con la potencialidad de llegar a 70 %. Donde la República Dominicana fue incluida en el selecto grupo de 15 países del mundo reconocidos como productores de cacao gourmet.

2.4.3. Problemáticas y desafíos en la producción de cacao.

Existen varios problemas actuales que constituyen aspectos relevantes para la transición agroecológica de cada una de las fincas de productores de CONACADO y la Transformación digital de todo su proceso de gestión de forma integral, entre los que se encuentran los siguientes:

1. El Grupo CONACADO tiene 3 Unidades de Negocio, mismas que en muchas ocasiones no interactúan de forma correcta bajo un enfoque de procesos y mejora continua. Debido a la inexistencia de un sistema integrador y regulador de la gestión entre los subsistemas de gestión que fueron creados en momentos históricos diferentes.
2. La rentabilidad agrícolas de todas su fincas no son homogéneas lo que visualiza que la transferencia tecnológica a los pequeños y medianos productores, así como el monitoreo y seguimiento de la producción no es estandarizada por parte del personal técnico de CONACADO.
3. La planta agroindustrial de CONACADO presenta dificultades en la recepción y evaluación de las materias debido a la falta de coordinación con los procesos poscosecha de fermentación y secado que lo anteceden, debido a la falta de automatización industrial de los procesos.
4. No todas las fincas de los casi 10,000 productores del gremio posee un manejo orgánico o agroecológico de sus producciones dado que no existe un sistema centralizado de suministro de los Bioinsumos (Biofabricas) para garantizar el tipo de manejo, ni tampoco el control de la rentabilidad basada en los insumos de las producciones teniendo en cuenta los parámetros medioambientales y eco sistémicos de las fincas de los productores.
5. Y por último no hay un seguimiento automatizado de la cadena de valor de las producciones lo que provoca que se produzcan errores logísticos, pérdidas materiales y una gran variabilidad en los parámetros de calidad, inocuidad y el control organoléptico de la producción.

2.4.4. Diagnóstico de la cadena de valor del cacao en la empresa.

La cadena de valor de CONACADO abarca desde la producción en fincas, donde los agricultores entregan cacao fresco, hasta su transformación y exportación. Incluye la

gestión post-cosecha (fermentación, secado, clasificación y empaque), así como una planta de transformación que produce derivados de cacao como manteca, licor y polvo, para luego ser comercializados o utilizados en productos finales como chocolates y bebidas (Caribbean Export, 2023). Donde las principales etapas de la cadena de valor son:

- **Producción en fincas:** Más de 9,000 productores entregan cacao fresco en baba a CONACADO.
- **Manejo post-cosecha:** Se realiza la fermentación y el secado del cacao para asegurar su calidad.
- **Clasificación y empaque:** El grano se clasifica por tamaño y se empaqueta adecuadamente para su exportación o procesamiento posterior.
- **Transformación:** CONACADO cuenta con una planta de transformación para elaborar ingredientes como: Manteca de cacao, Licor de cacao, Polvo de cacao (natural o alcalino)
- **Comercialización:** Los productos transformados y el cacao en grano son comercializados. El 97% del cacao de la organización se exporta en grano, mientras que el 3% se exporta como derivados, de acuerdo con estadísticas de CONACADO.

La cadena de valor aún posee grandes desafíos, dado que al no presentar un nivel de automatización adecuado en la producción en fincas y los sistemas poscosecha, la dependencia de mano de obra eleva considerablemente los costos de producción. Otro aspecto de consideración importante es el control de la calidad, debido a que el seguimiento de los parámetros organolépticos del grano de forma automatizada en los procesos de fermentación y secado aún es incipientes, esto sumado a la no existencia de métodos espectrales o de otro tipo para la determinación de la composición de los suelos productivos, puede arrojar en ocasiones un producto fuera de los parámetros exigidos por el mercado internacional para su comercialización y por ultimo esta la falta de soluciones tecnológicas para la trazabilidad y transparencia de la producción en la cadena de valor, provocándose en ocasiones perdidas económicas por no existir un

control exhaustivo del flujo productivo, ni de las fincas cuyas producciones llegan a los procesos subsiguientes fuera de los indicadores preestablecidos.

2.4.5. Infraestructura tecnológica y capacidades digitales actuales.

Las características de la infraestructura tecnológica que soporta la gestión y procesamiento digital de todos los procesos y subprocesos institucionales se pueden observar en la figura 40, para la cual se pueden realizar las siguientes observaciones:

En forma muy puntual el hecho que la infraestructura de servidores CONACADO esta anidada dentro de la infraestructura actual de CONACADO Agroindustrial S. A., quien es la empresa propietaria del hardware donde están alojados los servicios, así como la titular de los servicios de internet y telefonía en la oficina principal, donde residen físicamente estos servicios. Así mismo, también es propietaria del uso de las licencias de los sistemas operativos y base de datos que se utilizan para soportar los servicios que ofrece, por lo que la migración de servidores locales a la nube CONACADO puede ofrecer muchas ventajas, teniendo que considerar algunos factores antes de realizar la transición total. A continuación, se describen algunas de las consideraciones clave:

1. **Costos:** Es importante evaluar los costos totales de propiedad, incluyendo los costos de hardware, licencias de software, servicios de soporte y mantenimiento, y los costos de energía eléctrica, enfriamiento y espacio físico. Si se considera una migración a la nube, se deben tomar en cuenta los costos de migración, los costos de suscripción mensual y los costos adicionales de ancho de banda.
2. **Escalabilidad:** La nube proporciona una mayor flexibilidad en términos de escalabilidad, lo que permitiría a CONACADO ajustar sus recursos informáticos de forma dinámica en función de las demandas de la COOPERATIVA. Si CONACADO prevé una expansión en su actividad, la nube puede ser una buena opción.
3. **Disponibilidad:** La nube puede proporcionar una mayor disponibilidad que los servidores locales. Los proveedores de nube deben disponer de medidas de protección para prevenir y mitigar interrupciones del servicio. Sin embargo, es importante tener en cuenta que cualquier servicio en la nube puede sufrir fallas en algún momento.

4. **Seguridad:** La nube puede ofrecer una mayor seguridad debido a que los proveedores de nube suelen contar con más recursos para invertir en medidas de seguridad. Aunque también es importante tener en cuenta que se deben tomar medidas para asegurar el acceso a los datos en la nube y protegerlos de posibles ataques cibernéticos, así como respaldarlos contra alguna pérdida de información.
5. **Integración:** Se debe evaluar cómo se integrarán las aplicaciones y sistemas existentes con la nube, y si será necesario adaptar o cambiarlos para poder utilizarlos en la nube, configuración de acceso remoto, VPN, 2FA, entre otros.
6. **Control:** En la nube, CONACADO es posible que pierda parte del control de sus sistemas, lo que podría ser un problema si se tiene una gran dependencia de un solo proveedor de nube.
7. **Personal:** CONACADO requeriría capacitar a su personal en infraestructura en la nube

2.5. Marco Legal y Normativo.

El marco legal y normativo de este trabajo de investigación constituye el conjunto de leyes, reglamentos, normas técnicas, políticas públicas y estándares internacionales que orientan el desarrollo, gestión y aplicación de la Agricultura 4.0 en la República Dominicana. Este apartado identifica las disposiciones jurídicas que sustentan el diseño e implementación de una plataforma digital agroindustrial inteligente para la gestión integral de la cadena de valor del cacao, en coherencia con las políticas nacionales de innovación, sostenibilidad y transformación digital.

2.5.1. Fundamentación jurídica nacional.

En este ámbito tenemos los siguientes elementos:

- **Constitución de la República Dominicana (2015):** Establece en su Artículo 15 el derecho al agua, en el Artículo 16 el deber de proteger el medio ambiente, y en el Artículo 50 la libertad de empresa, subordinada al bien común. Estos

principios sustentan legalmente la innovación tecnológica aplicada al desarrollo sostenible agroindustrial y el uso responsable de los recursos naturales (Presidencia de la República Dominicana, 2015).

- **Ley 64-00 de Medio Ambiente y Recursos Naturales:** Regula la gestión ambiental y promueve el uso sostenible de los recursos naturales. Su Artículo 8 fomenta la integración de la ciencia y la tecnología en la gestión ambiental, base del monitoreo digital del biosistema cacaotero (Congreso Nacional, 2000).
- **Ley 1-12 Estrategia Nacional de Desarrollo 2030:** Plantea en su Eje 4 la creación de una economía sostenible, innovadora y territorialmente equilibrada. Promueve el uso de TIC y sistemas inteligentes en la producción agropecuaria, alineando el proyecto con la meta nacional de transformación digital agroindustrial (MEPyD, 2016).
- **Ley 392-07 de Competitividad e Innovación Industrial:** Fomenta el desarrollo tecnológico, la innovación y el uso de plataformas digitales en los procesos industriales, incluyendo los agroalimentarios (DGII, 2025). En este trabajo de investigación se apoya en su espíritu de promover la transformación tecnológica del sector productivo.
- **Ley 33-18 de Ciencia, Tecnología e Innovación:** Crea el Sistema Nacional de Innovación, Ciencia y Tecnología (SNCTI), coordinado por el Ministerio de Educación Superior, Ciencia y Tecnología (MESCYT) y el Ministerio de Industria, Comercio y Mipymes (MICM) y promueve la investigación científica aplicada. El proyecto de Agricultura 4.0 se enmarca en este sistema al integrar investigación aplicada, ciencia de datos e innovación agrícola digital (Consultoría jurídica, 2025).
- **Decreto 338-23 de Innovación y Transformación Digital del Estado:** Fusiona los gabinetes de Innovación y Transformación Digital en un único Gabinete de Innovación y Desarrollo Digital. Aplica al diseño de la plataforma digital de CONACADO como ente agroindustrial conectado al ecosistema nacional de datos e innovación (Agenda Digital, 2023), (Presidencia, 2023).
- **Ley 20-00 y 65-00:** Protegen los derechos de propiedad intelectual e industrial de software, algoritmos y plataformas digitales (Congreso Nacional, 2025), (Egeda, 2025).
- **Ley 155-17 contra el Lavado de Activos:** Apoya la transparencia y trazabilidad digital en operaciones financieras del cacao exportable (Congreso Nacional, 2025)

2.5.2. Normas y estándares internacionales aplicables

Este proyecto se enmarca también en un conjunto de normas técnicas internacionales que garantizan la interoperabilidad, calidad y sostenibilidad de las plataformas de Agricultura 4.0, así como un conjunto de regulaciones que establecen la forma y métodos empleados en los procesos productivos y de gestión dentro del biosistema.

- ISO/IEC 62264 – Integración de sistemas de manufactura y control.

- ISO/IEC 30141:2018 – Internet of Things Reference Architecture.
- ISO 14001:2015 – Gestión ambiental.
- ISO 22000:2018 – Seguridad alimentaria.
- ISO 9001:2015 – Sistema de gestión de la calidad.
- IEC 62890:2016 – Gestión del ciclo de vida para sistemas y componentes en Industria 4.0.
- ISO 59000:- Conjunto de estándares internacionales para la economía circular que proveen un marco para que las organizaciones implementen prácticas circulares.
- RAMI 4.0 – Modelo de Arquitectura de referencia para la Industria 4.0.
- FAO Digital Agriculture Framework (2021).
- ITU Y.4900 Series – Indicadores de sostenibilidad para comunidades inteligentes.
- Reglamento (UE) 2018/848 del parlamento europeo y del consejo sobre producción ecológica y etiquetado de los productos ecológicos.
- Las normas del Programa Orgánico Nacional (NOP), que se establece en el Código de Regulaciones Federales (CFR) 7, Parte 205 del gobierno de los EE. UU., administrado por el Departamento de Agricultura (USDA) que establecen requisitos específicos para la producción, manejo, etiquetado y comercialización de productos orgánicos, incluyendo la prohibición de pesticidas sintéticos, fertilizantes y OGM.
- ISO 34101:2019- Norma para la producción de Cacao sostenible y trazable.
- Marco europeo de Agricultura Inteligente (2020).Dentro del programa Horizonte 2020.

2.5.3. Políticas nacionales y regionales

El proyecto se alinea con diversas políticas públicas que impulsan la transformación digital y la sostenibilidad agrícola en la República Dominicana, tales como:

- **Plan Nacional de Transformación Digital** (INDOTEL, 2023–2026), tiene como objetivo reducir la brecha digital mediante la mejora de la conectividad y el desarrollo de habilidades tecnológicas en la población (INDOTEL, 2024).
- **Estrategia Dominicana de Cacao 2030** (Consejo Nacional del Cacao, 2021), el cual consiste en un plan del Consejo Nacional del Cacao (CNC) para impulsar la producción y exportación del cacao en la República Dominicana de manera competitiva y sostenible (Rikolto, 2022), (Codespa, 2024).
- **Agenda Digital 2030** (MESCYT–INDOTEL, 2021), cual tiene como finalidad procurar que la República Dominicana al 2030 sea una nación que exhiba una elevada conectividad, asequible y accesible, una población dotada de habilidades y

competencias que le permitan hacer un uso productivo de la tecnología; una economía digital competitiva y sofisticada, y un Estado interconectado, transparente y cercano a la ciudadanía, donde impere la cultura del emprendimiento e innovación en un ambiente ciberseguro (AgendaDigital 2030, 2021) .

- **Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 9, 12 y 15)** (PNUD, 2025).

2.5.4. Normas éticas, ambientales y de datos

La investigación respeta los principios éticos y de protección de datos personales conforme a las leyes nacionales y códigos de ética de investigación científica.

- **Ley 172-13 sobre Protección de Datos Personales**, que tiene como objetivo la protección integral de los datos personales en archivos, registros públicos y bancos de datos, buscando garantizar que no se vulnere el derecho al honor y la intimidad, regula el funcionamiento de las Sociedades de Información Crediticia y establece los derechos de los titulares, como el acceso, rectificación, cancelación y el uso de la acción de habeas data (Superintendencia de banco, 2013).
- **Ley 225-20 sobre Manejo Integral de Residuos Sólidos**, establece un marco jurídico para la gestión de residuos, buscando su prevención, reducción, reutilización y reciclaje para proteger el medio ambiente y la salud pública. Esta ley regula los sistemas de recolección y disposición final, y establece responsabilidades para quienes generan los residuos, quienes también deben cumplir con normativas para su manejo (DGII, 2025).
- **Código de Ética de la Investigación Científica** (MESCYT, 2020), que establece en su reglamento las normas para la integridad y transparencia en la investigación, incluyendo requisitos para los investigadores como la declaración de conflictos de interés, la honestidad en la presentación de resultados y la responsabilidad en el manejo de datos (MESCYT, 2024).

El marco legal y normativo dominicano y global ofrece un soporte jurídico sólido al diseño e implementación de la plataforma digital de Agricultura 4.0. Garantiza la viabilidad legal, la alineación con las políticas nacionales y el cumplimiento de los estándares internacionales de calidad, seguridad y sostenibilidad.

A partir de la revisión crítica de la literatura, se concluye que el principal aporte de la sistematización teórica referencial al estudio del problema de investigación, radica en la integración de las teorías de adopción tecnológica en las organizaciones (TOE, TAM, RBV y capacidades dinámicas), las cuales fundamentan los procesos de

transformación digital y la evolución hacia la Agricultura 4.0 en biosistemas agroalimentarios de cacao. Este marco teórico se articula con el uso de tecnologías digitales habilitadoras, como el IoT, inteligencia artificial, analítica de datos y blockchain, que soportan la trazabilidad y la gestión de la información, permitiendo la configuración de una arquitectura ciberfísica del biosistema.

Finalmente, se integra bajo un enfoque de dirección de proyectos para la transformación digital de los biosistemas agroalimentarios, con la aplicación de metodologías ágiles, como Scrum y Design Thinking, para el diseño e implementación del modelo propuesto. Desde esta integración emergen los fundamentos metodológicos de la investigación, sustentados en la medición de variables clave y el análisis de sus interrelaciones, cuyos resultados permiten validar la coherencia entre el marco teórico adoptado y los hallazgos empíricos del estudio, como se demostrará en el capítulo siguiente.

Capítulo 3. Fundamentos metodológicos y resultados de investigación.

En el capítulo anterior se estableció el estado del arte y los fundamentos teóricos de esta investigación, donde se plasmaron de forma explícita las teorías y conceptos fundamentales que se abordarán más adelante en la propuesta que dará respuesta a la problemática anteriormente planteada, en un contexto espacio-temporal, jurídico y económico-social en el que se describe la dinámica del objeto de estudio.

Dentro de este capítulo se desarrolló la operacionalización de los constructos o variables fundamentales que definen esta dinámica y se tratara de dar explicación de forma descriptiva y correlacionar a la relación del objeto definido por sus variables y la interacción con el contexto anteriormente configurado, basado en una investigación aplicada con un enfoque mixto (cualitativo y cuantitativo) , bajo un diseño no experimental, explorativo secuencial, de campo y de investigación-acción tecnológica, donde se realiza un diseño tecnológico colaborativo como prototipo de una plataforma de Agricultura 4.0, cuya adopción, al ser aceptada por todos los actores del sistema, permitirá dar una respuesta efectiva a la problemática planteada y al mismo tiempo, con su implementación iterativa e incremental, se podrá lograr la optimización de toda la cadena de valor agroproductiva del biosistema.

3.1. Cuadro de Operacionalización de las variables.

En este apartado se trabajó la operacionalización de las variables, la cual consiste en un conjunto de técnicas y métodos que permiten medir las variables en esta investigación, a través de un proceso de separación y análisis de cada variable en los componentes que permiten su medición (Morán y Alvarado, 2010), como fue citado en (Arias Gonzáles, 2021).

El cuadro de operacionalización de las variables específico de esta investigación presenta las variables independientes, dependientes e intervinientes, con sus correspondientes dimensiones y los indicadores utilizados, que nos guiarán y aportarán un carácter práctico metodológico para el desarrollo del proceso investigativo, como muestra la tabla 13.

Tabla 13. Cuadro de Operacionalización de las Variables de la Investigación.

Operacionalización de Variables						
Tema: Plataforma de Agricultura 4.0 para la gestión inteligente de la Empresa CONACADO como un Biosistema Agroalimentario de CACAO en la República Dominicana en el periodo 2023-2025.						
Pregunta de investigación	Objetivo general	Objetivos específicos	Hipótesis	Variables estudiadas	Dimensiones	Indicadores
¿Cómo apoyar la gestión inteligente de la Empresa CONACADO como un biosistema agroalimentario de cacao en la República Dominicana, que contribuya potencialmente a mejorar la productividad, sostenibilidad socioambiental, eficiencia administrativa y competitividad internacional en el periodo 2023-2025?	Diseñar una plataforma de Agricultura 4.0 para la gestión inteligente de la Empresa CONACADO como un biosistema agroalimentario de cacao en la República Dominicana, que contribuya potencialmente a mejorar la productividad, sostenibilidad socioambiental, eficiencia administrativa y competitividad internacional en el periodo 2023-2025.	Determinar los fundamentos teóricos referenciales sobre los modelos explicativos relacionados con la Agricultura 4.0, los biosistemas agroalimentarios y la gestión inteligente de la cadena de valor del cacao.	El diseño de una plataforma de Agricultura 4.0 para la gestión inteligente de la Empresa CONACADO como biosistema agroalimentario de cacao, estructurada bajo un enfoque de integración tecnológica, organizacional y ambiental, y validada técnica, social y funcionalmente, contribuirá de manera significativa y potencial a fortalecer las capacidades de toma de decisiones basadas en datos, mejorar la productividad agrícola, optimizar la eficiencia administrativa, promover la sostenibilidad socioambiental y consolidar la competitividad internacional durante el periodo 2023–2025.	Variable(s) Independiente(s): Plataforma Agricultura 4.0	- Arquitectura tecnológica.	- Número de sensores instalados en fincas. - Tecnologías IoT y sensores. - Elementos Ciberfísicos (CPS) y capas del BI. - Biofábrica conectada -Módulos de la plataforma.
		- Big Data & Analítica avanzada.			- Cantidad de datos recolectados y procesados. - Ingeniería de características.	
		- interoperabilidad.			- Percepción de utilidad. - Viabilidad técnica, social y funcional.	
		- Inteligencia Artificial y Machine Learning			- Implementación de herramientas de IA.	
		- Trazabilidad Blockchain			- Existencia de módulo blockchain para trazabilidad	
		- Sistemas de soporte empresarial (BI)			- Integración de la plataforma BI con sistemas de gestión empresarial	
		Variable(s) dependiente(s):		- Producción de Cacao vendida a Conacado.	- Análisis estadístico longitudinal de la producción (2015-2025).	

		Agricultura 4.0, integrando IoT, Big Data, Inteligencia Artificial, biofábricas conectadas, automatización de procesos, blockchain e inteligencia de negocios.		Gestión Inteligente de CONACADO como Biosistema Agroalimentario de Cacao.	- Reducción de costos de operación	- Encuesta a los productores, técnicos y dirigentes.			
		- Porcentaje de cacao con certificaciones internacionales			- Revisión del patrón de productores de Conacado.				
		- Cumplimiento de estándares ambientales			- Encuestas de percepción				
		- Nivel de digitalización de procesos			- Encuesta a los actores del proceso y partes interesadas.				
		- Grado de satisfacción de productores/socios			- Encuestas de percepción				
		Variable(s) Interviniente(s): Factores que pueden afectar la implementación y éxito de la plataforma.		- Infraestructura tecnológica nacional	- Cobertura de internet en zonas rurales				
				- Capacitación y nivel de adopción digital de productores	- Porcentaje de productores capacitados en TIC				
				- Políticas públicas de apoyo	- Políticas de fomento a la Agricultura 4.0				
				- Condiciones climáticas	- Variabilidad climática (lluvia, temperatura)				
				- Mercado internacional del cacao	- Fluctuación del precio internacional del cacao				
					Evaluar el impacto potencial del diseño de la plataforma en términos de productividad agrícola, eficiencia administrativa, sostenibilidad socioambiental y competitividad internacional, a partir de escenarios simulados y percepción de los actores				

Variable independiente: Plataforma de Agricultura 4.0.

Variable dependiente: Gestión Inteligente de CONACADO como Biosistema Agroalimentario de Cacao.

Variable interviniente: Factores que pueden afectar la implementación y el éxito de la plataforma.

3.2. Diseño metodológico.

El diseño metodológico de este proceso de investigación resulto ser bastante amplio, debido a lo novedoso que resulta la descripción de los biosistemas agroalimentarios de cacao, concebido desde una perspectiva de una organización inteligente, o sea que utiliza la gestión del conocimiento institucional para optimizar toda su cadena de valor agroproductiva. Lo que permite entender cómo un sistema analítico moderno se convierte en un ecosistema de inteligencia ciberfísica capaz de aprender y adaptarse.

3.2.1. Definición del enfoque, diseño y tipo de investigación de la tesis.

Conforme a Hernández Sampieri et al. (2014), la idea que ha propulsado esta investigación proviene de una realidad intersubjetivas, ya que la óptica desde la cual fue abordada, fue tanto desde el análisis del comportamiento objetivo de los biosistemas agroalimentario de cacao, como de la percepción de los actores (gerentes, técnicos, productores) involucrados en este, e inclusive, de la medición cualitativa de la adopción por parte de ellos de los métodos de producción inteligente a través de una plataforma de Agricultura 4.0.

Como se expresó al inicio del capítulo, este trabajo presenta una investigación con un enfoque mixto (cuantitativo y cualitativo), orientada al diseño, modelado y validación de una plataforma de Agricultura 4.0 para un biosistema agroalimentario de cacao. Para ello, se empleó un estudio de tipo exploratorio–secuencial con una naturaleza de investigación–acción tecnológica (IAT), de tipo no experimental, descriptivo–correlacional y aplicado, orientado a la adopción y transformación digital del sistema agroindustrial del cacao en CONACADO.

El **enfoque metodológico** es mixto porque utiliza los siguientes métodos:

- **Cualitativo:** Debido a la realización de entrevistas semiestructuradas con gerentes y técnicos, y análisis documental de políticas agrícolas y reportes de sostenibilidad.

- **Cuantitativo:** Porque se realizaron encuestas a productores y se recolectaron datos productivos, administrativos y ambientales de CONACADO en el periodo (2015 –2025), con análisis estadístico descriptivo e inferencial.

La investigación tiene un objetivo transformador, que busca diseñar una plataforma digital de Agricultura 4.0, que promueva la adopción tecnológica, eficiencia y sostenibilidad del sistema agroindustrial del cacao. Lo que implica realizar o dar cumplimiento a las etapas siguientes:

- Comprender las percepciones y capacidades actuales de los actores (productores, técnicos, directivos).
- Analizar condiciones reales de adopción (infraestructura, cultura digital, formación).
- Proponer colaborativamente un prototipo (Mockup) de plataforma de Agricultura 4.0, como una herramienta tecnológica, que lleve el sistema de gestión hasta un nivel agroregenerativo.

Por tanto, el eje no es la experimentación científica tradicional, sino la transformación social y tecnológica guiada por evidencia, lo que provoca que **el diseño mejor adoptado** sea el de tipo mixto (CUAL → CUAN), exploratorio–secuencial con enfoque de investigación–acción tecnológica (IAT).

La tipología general del **estudio es aplicada**, debido a que busca resolver un problema real mediante una solución tecnológica (plataforma 4.0), contribuyendo al fortalecimiento de la agroindustria del cacao dominicano. De forma complementaria, la naturaleza **Exploratoria-descriptiva** de este trabajo, viene dada por el análisis que realiza a las condiciones actuales de gestión agrícola, digitalización y productividad, lo que va a permite establecer una línea base del sistema actual de CONACADO y adicionalmente la investigación se puede enmarcar dentro del tipo **no experimental y correlacionar**, porque no manipulas las variables durante el estudio y adicionalmente analiza relaciones entre diferentes variables: digitalización, productividad, sostenibilidad y eficiencia, tratando de evidenciar el impacto de la Agricultura 4.0.

3.2.2. Definición de métodos, técnicas e instrumentos para la obtención de datos.

Como sostienen Creswell (2013a); Niglas (2010); Unrau; Grinnell y Williams (2005), como fue citado en (Hernández Sampieri et al., 2014) , la complejidad, como naturaleza intrínseca de los sistemas de gestión para los Biosistemas Agroalimentarios de Cacao 4.0, lleva a la necesidad de utilizar los métodos mixtos, por ser una organización que está constituida por dos realidades, una objetiva y la otra subjetiva. La objetiva está constituida por una infraestructura tangible, agroindustrial, productiva, tecnológica, con un personal gerencial, técnico y productor, mientras que la subjetiva está dada, a través de un desarrollo histórico-cultural de los múltiples actores que están involucrados en todo y cada uno de los diferentes estratos del biosistema, los cuales tienen sus percepciones muy particulares de recibir o de enfrentar la transformación digital.

En este estudio, se aplicaron varios tipos de métodos, entre los que se encuentran: los científicos, los empíricos, los estadísticos y los tecnológicos e ingeniería para tratar de dar cumplimiento a los objetivos trazados, desarrollados de la manera siguiente:

1. Dentro de los principales métodos científicos están:

- El **método analítico-sintético**, que se utilizó para estructurar el modelo del Biosistema Agroalimentario del Cacao, descomponiendo el sistema en partes (producción, poscosecha, agroindustria, biofábricas, comercialización, trazabilidad) y posteriormente integrando los resultados para analizar la eficiencia funcional y estructural de la cadena agroproductiva.
- El **método inductivo-deductivo** para la validación del modelo conceptual de la plataforma, como parte de observaciones empíricas (fincas y datos QGIS) para formular teorías, y luego validar hipótesis.
- El **método comparativo** para determinar diferencias en productividad, costos y sostenibilidad, contrastando prácticas convencionales vs. Agricultura 4.0. O entre dos predios productivos bajo condiciones climatológicas o de manejo diferentes.

- El **método sistémico**, como base para el diseño de la arquitectura RAMI 4.0 aplicada a CONACADO, el cual considera la empresa como un sistema ciberfísico integrado.
- Y el **Método histórico-lógico**, que fundamenta el marco teórico y contextual, analizando la evolución del cacao, políticas agrícolas y digitalización en la República Dominicana.

2. Dentro de los empíricos se encuentran:

- El **método de la observación directa y participativa**, que permitió registrar prácticas agrícolas y niveles de adopción tecnológica, a través de la observación de las fincas y procesos agroindustriales y productivos.
- Las **entrevistas semiestructuradas** a dirigentes y técnicos, a través de la cual se pudo obtener datos para profundizar en la visión institucional y la gestión digital.
- Las **encuestas estructuradas** a los productores miembros de CONACADO, para recoger los datos sobre adopción tecnológica, productividad, capacitación y sostenibilidad.
- La **revisión documental y bibliográfica**, que permitió el análisis de leyes, informes, políticas, artículos y proyectos internacionales para fundamentar las teorías y normativas del diseño y la plataforma 4.0.
- Los **estudios de casos** de otras empresas u organizaciones, que permiten contextualizar resultados y la replicabilidad para la aplicación práctica en CONACADO.
- El **Modelado computacional/simulación**, permite analizar espacialmente datos agrícolas históricos (2015–2025), a través del uso de herramientas como QGIS y PyQGIS utilizando algoritmos de ML como Random Forest y XGBoost para clasificar o estimar variables climáticas.

3. Dentro de los métodos estadísticos tenemos:

- Los de estadística descriptiva (media, moda, varianza), para la caracterización de la muestra de productores y fincas.
- El **análisis correlacional** (Pearson, Spearman), para evaluar relaciones entre adopción digital y productividad.

- Los **modelos predictivos** (machine learning básico), utilizados con datos **PyQGIS** para prever rendimientos futuros.
- 4. Y Los métodos tecnológicos y de ingeniería.**
- La **Ingeniería de características** (Feature Engineering), para transformar datos agrícolas en variables analíticas (pH, humedad, NDVI, productividad, NWSI), utilizando herramientas como Python, R, Excel, QGIS y la plataforma N8N.
 - Los de **Analítica aumentada** (Augmented Analytics), para automatizar descubrimientos de patrones y anomalías, haciendo uso de Power BI, QGIS, módulos IA y la plataforma N8N.
 - La **Metodología CRISP-DM** para estructurar el proceso de minería de datos agrícolas, con la integración de las metodologías de Ralph Kimball y Design Thinking.
 - La **Arquitectura RAMI 4.0**, la cual constituye el Modelo estructural para digitalización de la cadena de valor, el cual sirvió de base para el diseño del Biosistema Agroalimentario de Cacao 4.0.

Resumiendo las principales técnicas e instrumentos de recolección de datos de este trabajo de investigación (ver anexos 14, 15, 16 y 17), podemos apreciar la tabla siguiente a excepción del modelo computacional en PyQGIS debido a la extensión del código escrito para este fin:

Tabla 14. *Técnicas e instrumentos utilizados en la investigación.*

Técnica	Instrumento	Tipo de dato	Propósito
Entrevista semiestructurada	Guía de entrevista a directivos	Cualitativo	Conocer percepciones institucionales sobre la transformación digital y las capacidades organizacionales.
Entrevista semiestructurada	Guía de entrevista a técnicos de Conacado	Cualitativo	Identificar barreras y necesidades técnicas en la implementación de tecnologías 4.0.
Encuesta estructurada	Cuestionario aplicado a productores	Cuantitativo	Analizar nivel de adopción tecnológica, percepción y disposición al cambio digital.
Modelado computacional	herramientas como QGIS, PyQGIS, Rstudio, las plataformas (Copernicus y	Cuantitativo	Analizar espacialmente datos agrícolas y ambientales históricos (2015–2025).

	GEE) y los algoritmos ML (Random Forest y XGBoost)		
Encuestas de validación del prototipo.	Cuestionario aplicado a los actores	Cuantitativo	Evaluar pertinencia, utilidad percibida, y factibilidad del diseño.

Fuente: Elaboración propia a partir del diseño de la investigación.

Las etapas o fases de la investigación y la aplicación de los instrumentos fueron las siguientes:

1. Fase 1. Exploratoria (Cualitativa):

- o Revisión bibliográfica y normativa.
- o Diseño y validación de los instrumentos por un panel de expertos en innovación agroindustrial y tecnologías digitales.
- o Prueba piloto con 10 productores y 3 técnicos para evaluar la comprensión y consistencia de los ítems.
- o Las **entrevistas** a directivos y técnicos se realizaron de forma virtual vía Google Meet, grabadas con consentimiento previo.
- o Los datos cualitativos se transcribieron y analizaron mediante **codificación temática** utilizando Excel o Atlas.ti.
- o Análisis del entorno tecnológico y capacidades internas.
- o Identificación de brechas digitales.

2. Fase 2. Descriptiva–Cuantitativa:

- o Las **encuestas** a productores se aplicarán en campo mediante formularios digitales de Google Forms, con apoyo de los técnicos locales.
- o Se tomaron fincas georreferenciadas en un mapa QGIS y se levantaron variables edafoclimáticas con las plataformas (Copernicus y GEE) y variables productivas con ayuda de los especialistas de la dirección de economía y planificación de Conacado.
- o Los datos cuantitativos se procesaron con **R o Excel**, aplicando análisis descriptivo (frecuencias, medias, varianzas) y correlacional (coeficiente de Pearson y estadístico F).
- o Se analizaron las relaciones econométricas entre diferentes variables utilizando **RStudio** para demostrar la importancia de los sistemas agroregenerativos.

3. Fase 3. Proyectiva (Diseño del prototipo):

- o Talleres participativos y grupos focales de diseño con Design Thinking.
- o Definición de módulos funcionales y flujo de información.
- o Diseño de arquitectura funcional y visual (Mockups).

4. Fase 4. Validación técnica y social (IAT):

- o Aplicación de encuesta de validación técnica y social (Google Forms).
- o Simulación de uso con escenarios del prototipo.
- o Análisis de fiabilidad (alfa de Cronbach) y consistencia.
- o Pruebas t para medir la significación estadística de la aceptación en cada dimensión estudiada.

- o Pruebas de correlación interdimensional utilizando el R^2 como el grado de correlación entre la adopción tecnológica y el potencial impacto en las dimensiones sociales y organizativas de CONACADO.

5. Fase 5. Conclusión y proyección:

- o Análisis mixto integrador (triangulación de resultados).
- o Ajustes finales de arquitectura y módulos.
- o Revisión de indicadores de sostenibilidad digital.
- o Evaluación participativa del proceso.
- o Redacción de conclusiones y recomendaciones.
- o Elaboración del informe final de tesis.
- o Difusión académica y técnica.

Por lo que el anterior desglose de actividades, se ejecutó mediante el siguiente cronograma de trabajo de un año (noviembre 2024 – noviembre 2025):

Tabla 15. *Cronograma para el desarrollo de la investigación.*

Actividad	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12
Revisión bibliográfica y normativa.	X	X										
Diseño y validación de los instrumentos.		X										
Prueba piloto.		X										
Las entrevistas a directivos y técnicos.			X									
Análisis mediante codificación temática utilizando Atlas.ti.			X									
Análisis del entorno tecnológico y capacidades internas.			X	X								
Identificación de brechas digitales.				X								
Aplicación de las encuestas a productores					X							
Levantamiento de fincas georreferenciadas en un mapa QGis y se levantaron variables edafoclimáticas					X	X						
Procesamiento de datos con R o Excel para análisis descriptivo y correlacional (coeficiente de Pearson o Spearman).						X						
Análisis de relaciones econométricas entre diferentes variables.						X						
Talleres participativos y grupos focales de diseño con Design Thinking.						X	X					
Definición de módulos funcionales y flujo de información de la Plataforma 4.0.							X					
Diseño de arquitectura funcional y visual (Mockups).							X	X	X			
Aplicación de encuesta de validación técnica y Social.									X			
Simulación de uso con escenarios del prototipo.									X			
Análisis de fiabilidad (Alfa de Cronbach) y consistencia.									X	X		
Análisis mixto integrador (triangulación de resultados).										X		
Ajustes finales de arquitectura y módulos.										X		
Revisión de indicadores de sostenibilidad digital.										X		
Evaluación participativa del proceso.										X	X	
Redacción de conclusiones y recomendaciones.											X	
Elaboración del informe final de tesis.											X	
Difusión académica y técnica.											X	X

Fuente: Elaboración propia.

La validez y confiabilidad de los procedimientos se lograron de la siguiente forma:

- **Validez de contenido:** revisada por expertos académicos y técnicos de CONACADO para asegurar que las preguntas reflejan los constructos teóricos.
- **Validez de criterio:** contrastada con indicadores de adopción tecnológica y productividad.
- **Confiabilidad:** se determinará mediante el **coeficiente Alfa de Cronbach**, buscando valores ≥ 0.80 para la consistencia interna de la encuesta.

Donde se tomaron las siguientes consideraciones éticas:

- Se respetará la **confidencialidad y anonimato** de los participantes.
- Todos los participantes firmarán un **consentimiento informado** previo a la recolección de datos.
- Se garantizará el uso ético de la información exclusivamente con fines académicos y de desarrollo tecnológico sostenible.

3.2.3. Determinación de la muestra y su criterio de selección.

Las unidades de análisis de la **población** están compuestas por cuatro grupos de interés:

1. **Los directivos y coordinadores institucionales de CONACADO**, vinculados a la planificación y gestión de los proyectos de desarrollo tecnológico.
2. **Los técnicos de campo**, responsables de la asistencia técnica, monitoreo y control de calidad del cacao orgánico.
3. **Los productores de cacao afiliados a las cooperativas regionales de CONACADO** en las principales zonas productoras (Yamasa, Hato Mayor, Bonao, San Cristóbal, Cotuí, Castillo y Nagua).
4. Y la **estructura organizacional de Conacado** vinculada a la cadena agroproductiva.

Mientras que las unidades de muestreo de esta investigación son los grupos que aparecen en la tabla siguiente:

Tabla 16. *Unidades de muestreo de la investigación.*

Grupo	Tamaño estimado de población	Tamaño de muestra	Método de selección
Directivos	09	09	Censo completo (por representatividad institucional)
Técnicos de campo	32	18	Muestreo intencional (según experiencia de las zonas productivas)
Productores	5,874	150	Muestreo aleatorio simple estratificado proporcional (por tipo de finca)
Total	5,917	177	

Fuente: Elaboración propia utilizando patrón de Conacado.

En la tabla anterior se puede apreciar cómo se ha subdividido la población de cada grupo de muestreo, utilizando el patrón de la empresa Conacado para trabajadores y productores activos del año (2023-2025), adicionalmente aparecen los correspondientes métodos de selección de las muestras para cada grupo muestral, donde para los directivos se tomó un censo completo, dado que el tamaño de la población era muy pequeño y de mucha representatividad institucional, para el grupo de técnicos se realizó un muestreo intencional teniendo en cuenta los principales técnicos por cada zona productiva y para los productores se realizó un muestreo aleatorio simple estratificado por tamaños de las fincas (Muy Pequeña (<2 ha), Pequeña (2–5 ha), Mediana (5–9 ha), Grande (9-20 ha), Muy Grande (>20 ha)). Utilizando la ecuación para poblaciones finitas, con un 95% de confiabilidad ($Z = 1.96$) y un 8% de error, se utilizó este nivel de error, debido a que con un 5% de error el tamaño de la muestra ($n = 361$) para este caso resultaba demasiado costoso el muestreo (ver ecuación 1), con ($N = 5,874$ y $p=q= 0.5$).

$$n = \frac{N \cdot Z_{\alpha}^2 \cdot p \cdot q}{e^2(N-1) + Z_{\alpha}^2 \cdot p \cdot q} \quad (10)$$

Con una distribución estratificada como aparece en la tabla a continuación:

Tabla 17. *Distribución muestral de la población de productores de forma estratificada.*

Clases Fincas	Tamaño estimado de población	(%)	Tamaño de muestra
Muy Pequeña (<2 ha)	2,612	44.5	67
Pequeña (2–5 ha)	2,527	43.0	65
Mediana (5–9 ha)	503	8.6	13
Grande (9-20 ha)	196	3.3	5
Muy Grande (>20 ha)	36	0.6	1
Total	5,874	100	150

Fuente: Elaboración propia utilizando patrón de Conacado.

Para el caso específico de la aplicación del instrumento de validación del prototipo, se utilizó una muestra intencional de 35 actores de forma mixta, donde se realizó un workshop participativo que terminó en la aplicación digital del instrumento a una distribución del universo, como muestra la tabla siguiente:

Tabla 18. *Muestreo intencional para grupo de validación de prototipo.*

Grupo	Tamaño estimado de población	Tamaño de muestra
Directivos	9	5
Técnicos	32	10
Productores	5,874	20
Total	5,917	35

Fuente: Elaboración propia utilizando patrón de Conacado.

3.3. Trabajo de campo (o Presentación de evidencias, si corresponde).

Del cronograma establecido para el desarrollo de la investigación (ver tabla 15), el cual fue elaborado a partir de las cinco fases planificadas para dar cumplimiento a los objetivos, se pudo elaborar un calendario para el trabajo de campo, como muestra la tabla siguiente:

Actividades	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Reunión con las autoridades de Conacado para dar inicio al proyecto.						
Recorrido por las instalaciones de la empresa Conacado para la observación activa de su funcionamiento y Analizar el estado actual de la digitalización y prácticas de Agricultura 4.0 en CONACADO.						
Aplicación de la prueba piloto del estudio de los instrumentos.						

Entrevista Aplicada a los directivos para medir percepción sobre Agricultura 4.0 en la empresa.						
Entrevista aplicada a los técnicos medir percepción sobre Agricultura 4.0. en su trabajo.						
Encuesta a Productores para recopilar información sobre prácticas agrícolas, nivel de adopción tecnológica, percepción sobre la digitalización y disposición para participar en la plataforma de Agricultura 4.0.						
Recolección de datos de producción y variables climáticas en las instalaciones de Conacado para correlacionar variables.						
Realización de un workshop para demostrar pertinencia de la Agricultura 4.0. y el prototipo						
Aplicación de la encuesta de Validación Técnica y Social del Prototipo de Plataforma de Agricultura 4.0						
Socialización de los resultados de la investigación con el consejo ampliado de Conacado.						

El trabajo de campo se ejecutó a partir de las acciones que aparecen en el cronograma de trabajo anterior, donde el despliegue de dicho plan puede observarse en el anexo 10 del trabajo. En este se pudo observar que los principales recursos necesarios fueron las guías para realizar las entrevistas a dirigentes y técnicos y las encuestas desarrolladas para los productores y el subconjunto mixto de actores que validaron el prototipo presentado.

Dentro de las evidencias fundamentales de este proceso, se encuentran:

- La reunión de inicio del proyecto en las instalaciones de Conacado Agroindustrial (ver anexo).
- La visita a la sala de control de las operaciones de Conacado Agroindustrial (ver anexo).
- El workshop con el grupo de actores mixto de Conacado para validación de la propuesta (ver anexo).
- La visita al centro de Beneficiados de Nagua (ver anexo).

3.4. Aplicación de los instrumentos.

De conformidad con Fakis et al.(2006) como se citó en (Hernández Sampieri et al., 2014) , en la actualidad la aplicación de los métodos mixtos permiten que el investigador pueda hacer compatibles los análisis cuantitativo y cualitativo, a través de herramientas (en nuestro caso, PowerBI, R, Excel y Atlas.ti), donde los datos recolectados por los instrumentos pueden ser codificados como números y también analizados como texto o

ser transformados de cuantitativos a cualitativos y viceversa. Esto permite una mayor profundidad en el análisis al momento de la triangulación de los resultados.

En este trabajo investigativo el primer procedimiento para disminuir el nivel de incertidumbre en la aplicación de los instrumentos de investigación fue la de aplicar el piloto a una muestra reducida de actores, lo cual después de obtener un resultado satisfactorio, se procedió a la aplicación los instrumentos de lugar con su correspondiente subconjunto muestral, donde siempre la preocupación fundamental, estuvo a la hora de aplicar los instrumentos al grupo de productores, porque el espacio muestral correspondiente a ese grupo muestral era muy superior a los otros y por ende la probabilidad de que surgieran algún tipo de impedimento en el desarrollo del proceso era mayor.

Los primeros instrumentos aplicados fueron las entrevistas a directivos y técnicos, las cuales se procesaron sin ninguna dificultad, por la vía de google Meets y apoyándonos también en formularios de google, después de analizadas las entrevistas se procedió a la aplicación de las encuestas a los productores, las cuales también transcurrieron sin problemas debido a la ayuda prestada por la dirección de proyectos de Conacado que permitió auxiliarse de los técnicos locales para la respuesta de los productores. Y finalmente, después de procesadas y analizadas las encuestas al subconjunto de productores se realizó el estudio de triangulación de los resultados, lo que permitió que la convocatoria al workshop para la exposición de la propuesta de la plataforma fuese de una aceptación masiva, resultado este que pudo también apreciarse en la encuesta de validación para la adopción tecnológica y social de la transformación digital en Conacado.

A todos los instrumentos aplicados en la investigación se les realizaron sus pruebas de validez y confiabilidad a través de la revisión por expertos académicos y técnicos de CONACADO, con criterios de contrastación con indicadores de adopción tecnológica y de productividad y de confiabilidad, utilizando alfa de Cronbach.

3.5. Procesamiento de la información.

Un elemento clave en el éxito de la aplicación de los instrumentos diseñado, fue el involucramiento y sensibilización de los principales directivos de Conacado antes de comenzar el trabajo de campo y la ejecución de la recolección de los datos por los diferentes instrumentos, eso generó una dinámica institucional motivado por las expectativas generalizadas de ver, o mejor dicho, de entender una solución agroregenerativa aplicada a un biosistema agroalimentario de cacao en la República Dominicana.

Como diseño explorativo secuencial, descriptivo, correlacional, no experimental y longitudinal con enfoque de Investigación acción tecnológica basada en evidencia se utilizaron, como expresamos anteriormente cinco instrumentos fundamentales (ver Tabla 15), los dos primeros instrumentos fueron las dos guías para entrevistas semiestructuradas, basadas en formularios de google para directivos y técnicos, la primera para explorar la visión estratégica, retos organizacionales y expectativas institucionales sobre la implementación de la plataforma de Agricultura 4.0 en la gestión del cacao, mientras que el segunda fue para identificar percepciones, conocimientos y barreras técnicas sobre la aplicación de tecnologías digitales (IoT, drones, biofábricas, blockchain) en la producción y trazabilidad del cacao, en ambos casos se realizaron primeramente reuniones virtuales en el mismo día, para la explicación de los propósitos y posteriormente se procedió a aplicar una entrevista mediante formularios de google, con la finalidad de recoger una base de datos CSV, que pudiera ser procesada después en Excel o Atlas.ti, mediante el método de codificación cuantitativa (Ramírez Aprendizajes, 2024), siguiendo los siguientes procedimientos:

1. Recolección de los datos (en un Excel a partir de la entrevista).
2. La codificación abierta (la separación y cuantificación de las respuestas).
3. La codificación axial (la agrupación de las respuestas por ejes temáticos).
4. La codificación selectiva (la representación de los ejes temáticos en categorías descriptivas).

5. Y la escritura de la teoría (la descripción del análisis estadístico de las categorías respecto del fenómeno o la variable).

En el caso de la aplicación de los cuestionarios, estos se aplicaron en dos momentos muy diferentes de la investigación, pues el primero fue aplicado a los productores, después de procesar los resultados de las entrevistas realizadas a directivos y técnicos con la finalidad de recopilar información sobre prácticas agrícolas, nivel de adopción tecnológica, percepción sobre la digitalización y disposición para participar en la plataforma de Agricultura 4.0.

Posteriormente a la aplicación de la encuesta a productores se procedió a realizar un modelado computacional de una muestra intencional de 8 productores en dos zonas geográfica diferentes, para con las coordenadas de su fincas georreferenciadas, aportadas por el grupo técnico de Conacado y la obtención por parte del departamento de economía, el volumen de producción (Kg) entregados/vendido por ellos a Conacado desde el año 2015 al 2025 y recoger en ese mismo tiempo variables climáticas por el método de teledetección satelital, como el estrés hídrico y la deforestación promedio anual, para cada uno de esos años, con la finalidad de analizar espacialmente datos agrícolas y ambientales históricos (2015–2025).

El segundo cuestionario se realizó después discutir con grupos focales los resultados de la modelación computacional y de procesar toda la información obtenida en los tres instrumentos anteriores(Directivos, técnicos y productores), aplicándolo a una muestra intencional de un grupo mixto de actores, con la finalidad de recoger un estado descriptivo del momento en que se encontraba la empresa Conacado frente a un proceso de transformación digital de su sistema productivo y de la visión a futuro de como percibían los grupos de dominios el paso del sistema actual, con una estructura de gestión convencional, con muchos problemas de trazabilidad y de control en tiempo real de la productividad general del sistema a un sistema futuro donde pudieran optimizarse todos los procesos que componen la cadena de valor (Fincas, poscosecha, viveros, industria de chocolate) con el paradigma de una agricultura inteligente y las adecuaciones a un ciclo ciberfísico que incorpora la precisión y el concepto de Biofabricas conectadas. Todo ello a través de la evaluación que estos harían a un

prototipo (Mockup) de la plataforma que se le presentaría para dar solución a las problemáticas de baja productividad, a los cambios climáticos y los problemas de trazabilidad que ellos mismos expresaron en los instrumentos anteriores.

Los cuestionarios aplicados también se diseñaron para guardar los datos en un formulario de Google, a los que, una vez importados al software estadístico R, con el IDE RStudio, se les pudieron aplicar las pruebas de alfa de Cronbach y otros estadísticos descriptivos, la obtención de gráficos y de otros tipos (ver anexos).

3.6. Análisis de los resultados de los datos obtenidos.

Como sostiene Hernández Sampieri et al. (2014) , gracias al desarrollo de los métodos mixtos, que han desarrollado la posibilidad de hacer compatibles los programas de análisis cuantitativo y cualitativo, las metodologías para el análisis de los resultados que se utilizó fueron el de la teoría fundamentada para las entrevistas y sus correspondientes variables cualitativas o categóricas, logrando por el método de codificación cuantitativa un análisis descriptivo con tablas y gráficos (Ramírez Aprendizajes, 2024) y para las encuestas se aplicaron análisis descriptivos directos.

3.6.1. Análisis de los resultados de la entrevista aplicada a los directivos de Conacado.

En el caso de la entrevista semiestructurada aplicada a los nueve (9) directivos, se diseñaron ocho (8) preguntas abiertas para analizar cuatro dimensiones importantes del estudio, las cuales eran: la gestión estratégica, los sistemas de información y trazabilidad, la capacidad institucional para enfrentar la transformación digital y la percepción de la sostenibilidad y proyección de una plataforma de Agricultura 4.0 en Conacado.

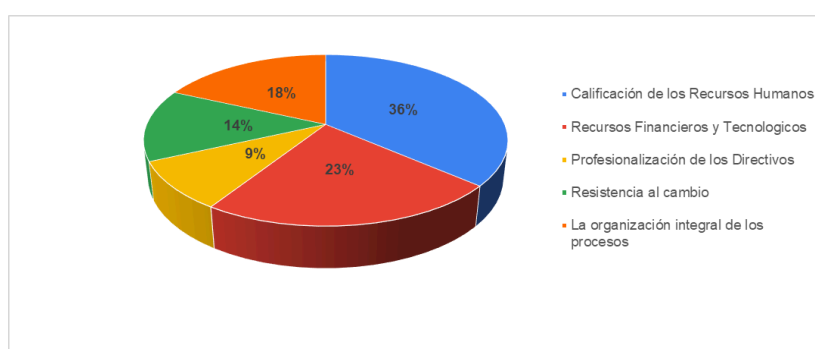
Para la primera pregunta, en la dimensión **gestión estratégica**, cuando se analizaron los principales desafíos del grupo empresarial CONACADO para enfrentar la transformación digital en la gestión agroindustrial, se obtuvo el resultado siguiente:

Tabla 19. *Desafíos del grupo empresarial CONACADO para enfrentar la transformación digital.*

Categorías	Frecuencia	Fr (%)
Calificación de los Recursos Humanos	8	36.4
Recursos Financieros y Tecnológicos	5	22.7
Profesionalización de los Directivos	2	9.1
Resistencia al cambio	3	13.6
La organización integral de los procesos	4	18.2
Total	22	100.0

Fuente: Elaboración propia a partir de la encuesta realizada a los dirigentes.

Figura 41. *Desafíos del grupo empresarial CONACADO para enfrentar la transformación digital.*



Fuente: Tabla 19.

De las veintidós (22) respuestas obtenidas, se puede observar (Figura 41) que aproximadamente el 59% de los encuestados considera que los desafíos mayores son los recursos humanos (36%) y los recursos financieros y tecnológicos (23%), que la profesionalidad en el campo digital de los directivos ocupa (9%) y la capacidad organizativa a nivel institucional, 18%. También existe una resistencia al cambio del paradigma productivo, con un 14% en la ponderación de los resultados.

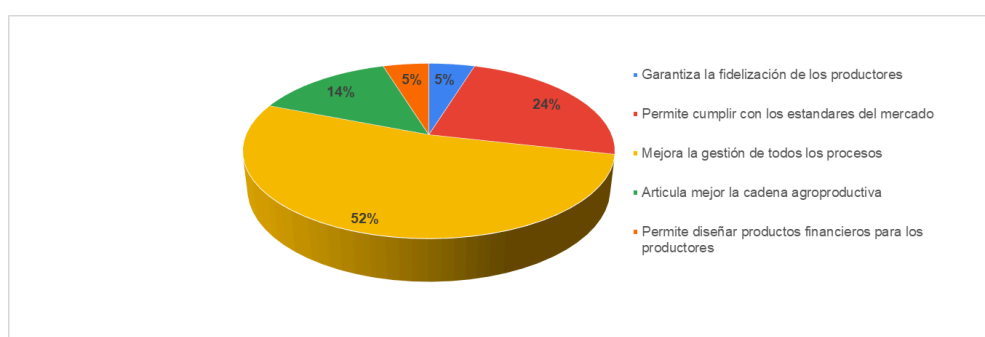
En la misma dimensión de la gestión estratégica institucional, cuando se analizó el papel que juega la innovación tecnológica en la competitividad del cacao dominicano, los encuestados expresaron los siguientes resultados:

Tabla 20. *Papel que juega la innovación tecnológica en la competitividad del cacao dominicano.*

Categorías	Frecuencia	Fr (%)
Garantiza la fidelización de los productores	1	4.8
Permite cumplir con los estándares del mercado	5	23.8
Mejora la gestión de todos los procesos	11	52.4
Articula mejor la cadena agroproductiva	3	14.3
Permite diseñar productos financieros para los productores	1	4.8
Total	21	100.0

Fuente: Elaboración propia a partir de la encuesta realizada a los dirigentes.

Figura 42. *Papel que juega la innovación tecnológica en la competitividad del cacao dominicano.*



Fuente: Tabla 20.

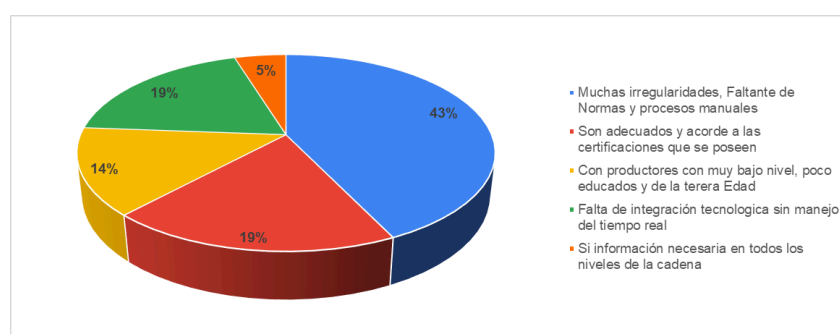
El 52% de los directivos opinan que el proceso de innovación tecnológica mejora la gestión de todos los procesos en la industria, adicionalmente un 24% cree que este paso le permitirá cumplir con los estándares del mercado internacional, mientras que un 14% es de la opinión que se articulara mejor toda la cadena agroproductiva y un 5% son de la opinión que se podrá garantizar la fidelización de los productores y poder diseñar mejores productos financieros para ellos.

En análisis al Sistemas de información y trazabilidad, en el caso específico de ver como los directivos evalúan actualmente los mecanismos de trazabilidad en la cadena de valor del cacao, se obtuvieron los resultados que aparecen a continuación:

Tabla 21. *Evaluación actual de los mecanismos de trazabilidad en la cadena de valor del cacao.*

Categorías	Frecuencia	Fr (%)
Muchas irregularidades, Faltante de Normas y procesos manuales	9	42.9
Son adecuados y acorde a las certificaciones que se poseen	4	19.0
Con productores con muy bajo nivel cultural y de la tercera edad	3	14.3
Falta de integración tecnológica sin manejo del tiempo real	4	19.0
Sin información necesaria en todos los niveles de la cadena	1	4.8
Total	21	100.0

Fuente: Elaboración propia a partir de la encuesta realizada a los dirigentes.

Figura 43. *Evaluación actual de los mecanismos de trazabilidad en la cadena de valor del cacao.*

Fuente: tabla 21.

La Tabla 21 muestra que el sistema de información y trazabilidad del Biosistema cacao posee muchas oportunidades de mejoras, ya que más del 43% de los directivos lo aprecia con muchas irregularidades, faltante de normas y procesos manuales que no garantizan una correcta transparencia en los procesos, así mismo existe un 19% de los directivos manifiesta que hay falta de integración en las tecnologías actuales, lo que no permite un sistema de trazabilidad en tiempo real, a pesar de ello, un 19% de los directivos manifestaron que el sistema de trazabilidad es adecuado para las normativas que posee hoy la organización, mientras que otro 14% de ellos plantearon que existe una masa de productores de la tercera edad que les sería difícil adecuarse a los métodos digitales de la trazabilidad por no poseer conocimientos en sistemas tecnológicos modernos y por ultimo un 5% de ellos plantearon que no tienen conocimiento en la cadena integral de la trazabilidad del sistema.

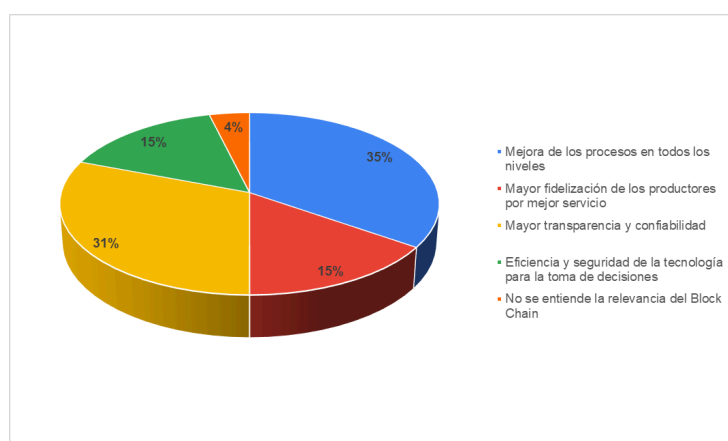
En continuidad con el estudio exploratorio, se pudo apreciar que en cuanto a los beneficios esperados de una plataforma integrada con blockchain y BI, los directivos dieron las siguientes respuestas:

Tabla 22. *Beneficios esperados de una plataforma integrada con blockchain y BI.*

Categorías	Frecuencia	Fr (%)
Mejora de los procesos en todos los niveles	9	34.6
Mayor fidelización de los productores por mejor servicio	4	15.4
Mayor transparencia y confiabilidad	8	30.8
Eficiencia y seguridad de la tecnología para la toma de decisiones	4	15.4
No se entiende la relevancia del Block Chain	1	3.8
Total	26	100.0

Fuente: Elaboración propia a partir de la encuesta realizada a los dirigentes.

Figura 44. *Beneficios esperados de una plataforma integrada con blockchain y BI.*



Fuente: tabla 22.

En la tabla 22 se evidencia que los directivos de Conacado, en un 35%, entienden que una plataforma de Inteligencia del negocio y la tecnología Block Chain mejoraría la gestión de los procesos en todos los niveles, mientras que un 15% opina que se crearía una mayor fidelización de los productores por un mejor servicio, otro 31% expreso que se desarrollaría una mayor transparencia y confiabilidad en las transacciones, de conjunto a un 15%, que considera que aumentaría considerablemente la eficiencia y seguridad de la tecnología para la toma de decisiones y solo un 4% de los directivos manifiesta que no se entiende la relevancia del Block Chain en la cadena de valor de Conacado.

Una vez encontrado algunos hallazgos parciales, descriptivos del estado en que se encuentra la visión estratégica de los directivos de Conacado, de sus desafíos para la transformación digital y de la gestión de la información para la trazabilidad de la cadena de valor del cacao, es importante analizar si la organización cuenta con las capacidades técnicas y humanas suficientes para operar una plataforma 4.0 y el tipo de soporte o capacitación que esta considera necesaria para llevar a cabo en esta importante tarea.

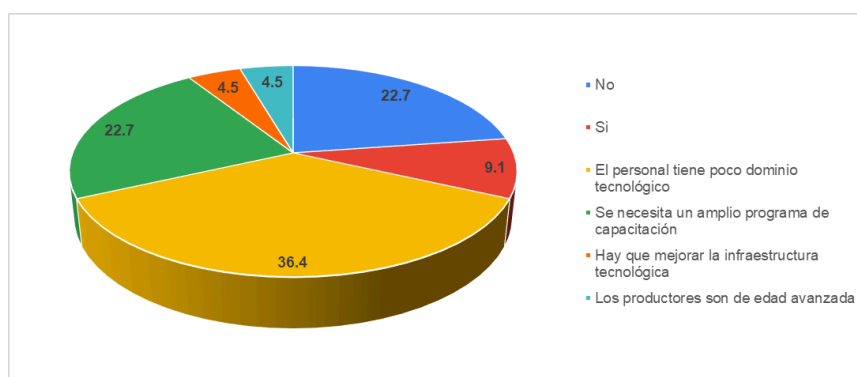
Para este caso específico, los directivos evidenciaron con su respuesta los aspectos siguientes:

Tabla 23. ¿Conacado cuenta con las capacidades técnicas y humanas suficientes para operar una plataforma 4.0?

Categorías	Frecuencia	Fr (%)
No	5	22.7
Si	2	9.1
El personal tiene poco dominio tecnológico	8	36.4
Se necesita un amplio programa de capacitación	5	22.7
Hay que mejorar la infraestructura tecnológica	1	4.5
Los productores son de edad avanzada	1	4.5
Total	22	100.0

Fuente: Elaboración propia a partir de la encuesta realizada a los dirigentes.

Figura 45. Conacado cuenta con las capacidades técnicas y humanas suficientes para operar una plataforma 4.0.



Fuente: Tabla 23.

Para el grupo líder de Conacado el 22.7% considera que la organización aún no está preparada para operar una plataforma de Agricultura 4.0, mientras que un 9.1% si cree

que la institución puede asumir el reto, hay un 36.4% de los dirigentes que cree que el personal en general tiene poco dominio tecnológico, mientras un 22.7% que manifestó la necesidad a priori de un amplio programa de capacitación para enfrentar el reto, otro 4.5% sostiene la necesidad de un mejoramiento de la infraestructura tecnológica y adicionalmente un 4.5% sostiene que la edad avanzada de los productores es un aspecto a considerar ante este cambio de paradigma en la gestión agroindustrial del cacao.

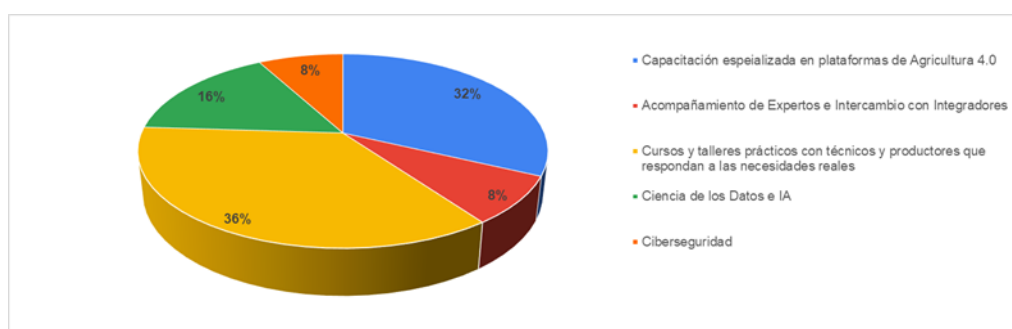
Para el análisis del tipo de soporte o capacitación que la institución considera necesaria para poder enfrentar el desafío de la transformación digital, al momento de ser encuestada la alta gerencia de la organización, los resultados fueron los que aparecen a continuación:

Tabla 24. *Tipo de soporte o capacitación que la institución considera necesaria.*

Categorías	Frecuencia	Fr (%)
Capacitación especializada en plataformas de Agricultura 4.0	8	32.0
Acompañamiento de expertos e intercambio con Integradores	2	8.0
Cursos y talleres prácticos con técnicos y productores que respondan a las necesidades reales	9	36.0
Ciencia de los Datos e IA	4	16.0
Ciberseguridad	2	8.0
Total	25	100.0

Fuente: Elaboración propia a partir de la encuesta realizada a los dirigentes.

Figura 46. *Tipo de soporte o capacitación que la institución considera necesaria.*



Fuente: Tabla 24.

En análisis de esta dimensión muestra un paso institucional muy importante hacia la transformación digital de la organización, donde define las acciones de capacitación prioritarias antes de poder dar el gran salto, entre los cuales se encontraban las

siguientes: un 32% de los directivos consideran que se debe tener una capacitación especializada en plataformas de Agricultura 4.0, otro 8% cree que se debe tener acompañamiento de expertos e intercambio con Integradores, mientras que un 36% de ellos manifiestan que deben tener cursos y talleres prácticos con técnicos y productores que respondan a las necesidades reales, adicionalmente un 16% considera que los cursos Ciencia de los Datos e IA son importante y finalmente un 8% incluye a la ciberseguridad como elemento clave en la capacitación y el soporte.

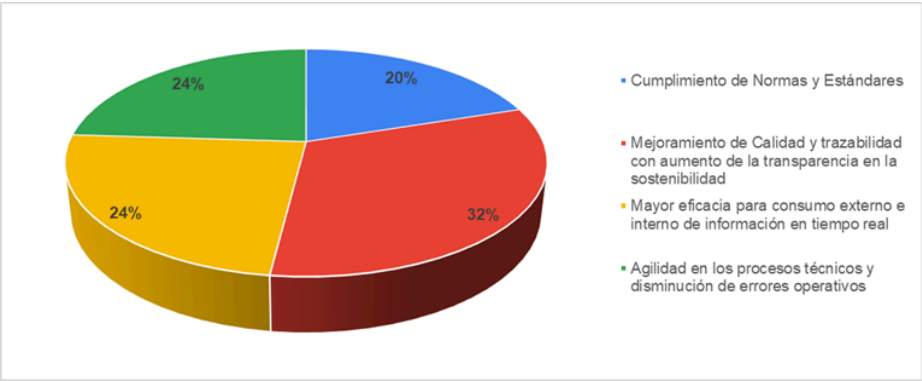
Para cerrar el ciclo exploratorio desde la perspectiva del grupo directivo de Conacado es importante analizar la dimensión de sostenibilidad y su proyección, donde se analizó la contribución que la plataforma puede dar al cumplimiento de estándares de sostenibilidad y certificación internacional, unido aquellos indicadores institucionales que pudieran ser utilizados para medir el éxito en la implementación de una plataforma de Agricultura 4.0 en Conacado.

Tabla 25. Contribución de la plataforma al cumplimiento de estándares y certificación internacional.

Categorías	Frecuencia	Fr (%)
Cumplimiento de Normas y Estándares	8	44.4
Mejoramiento de la calidad y trazabilidad con aumento de la transparencia en la sostenibilidad	5	27.8
Mayor eficacia para consumo externo e interno de la información en tiempo real	2	11.1
Agilidad en los procesos técnicos y disminución de errores operativos	3	16.7
Total	18	100.0

Fuente: Elaboración propia a partir de la encuesta realizada a los dirigentes.

Figura 47. Contribución de la plataforma al cumplimiento de estándares y certificación internacional.



Fuente: tabla 25.

La figura arriba muestra la pertinencia de la plataforma de Agricultura 4.0 en la gestión de los procesos operativos y los resultados estratégicos del grupo agroindustrial, donde el 20% de los dirigentes planteo que con la implementación de la plataforma se podrían dar cumplimiento a las normativas y estándares internacionales y de la gestión del propio biosistema de forma exhaustiva, así mismo un 32% del liderazgo remarco el mejoramiento de la calidad y trazabilidad con un aumento de la transparencia en las transacciones internas y en la sostenibilidad, otro 24 % del grupo, manifestó que el éxito de este proceso traería una mayor eficacia en el consumo externo (clientes internacionales) e internos (productores, gestores y técnicos) de la información en tiempo real y adicionalmente un 24% de los lideres manifestaron que se lograría agilizar los procesos técnicos de la operación y disminuirían los erros en la misma.

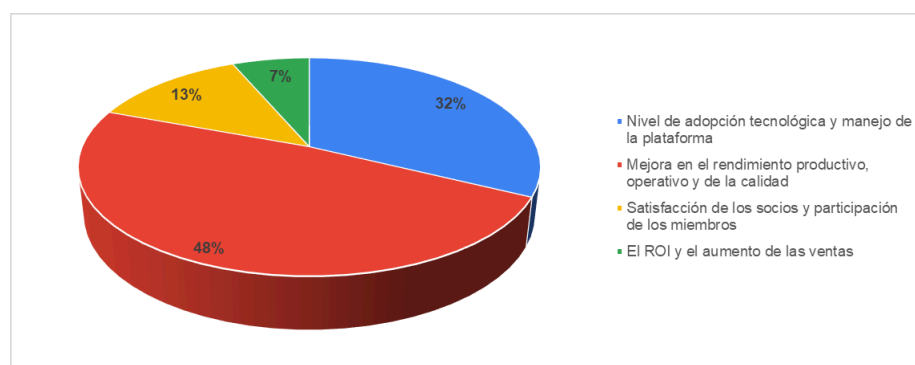
Un detalle de gran ayuda en la implementación futura del proyecto fue conocer los indicadores que pudieran medir el éxito del proceso, para lo cual la siguiente tabla recoge las impresiones que dejaron los miembros del liderazgo institucional:

Tabla 26. *Indicadores que pudieran medir el éxito de implementación de la Plataforma.*

Categorías	Frecuencia	Fr (%)
Nivel de adopción tecnológica y manejo de la plataforma	10	32.3
Mejora en el rendimiento productivo, operativo y de la calidad	15	48.4
Satisfacción de los socios y participación de los miembros	4	12.9
El ROI y el aumento de las ventas	2	6.5
Total	31	100.0

Fuente: Elaboración propia a partir de la encuesta realizada a los dirigentes.

Figura 48. *Indicadores que pudieran medir el éxito de implementación de la Plataforma.*



Fuente: Tabla 26.

Como se puede observar en la tabla 26 y la figura 48, desde la perspectiva de los directivos los principales indicadores para el medir el éxito de la transformación digital en Conacado estarían dado en un 48% por el mejoramiento en el rendimiento productivo, en las operaciones de cada proceso y en el aumento de los índices de calidad en la producción y los servicios ofertados, en un 32% asumieron que estaría en el nivel de adopción de la tecnología y el manejo de la plataforma por parte de todos los actores institucionales y los elementos externos vinculados a la actividad industrial o mercadológica de Conacado, mientras que con un 13% y 7%, se refirieron respectivamente al nivel de satisfacción que este cambio tecnológico produciría en todos los socios del gremio y a los aspectos económicos de la propuesta, entre los que se encontraban el retorno de la inversión y el aumento de las ventas por el aumento de la calidad de los servicios.

3.6.2. Análisis de los resultados de la entrevista aplicada a los técnicos de Conacado.

La fase explorativa de este trabajo también se realizó desde la perspectiva del personal técnico, bajo la misma metodología utilizada para explorar la situación o estado del sistema con los directivos, pero esta vez desde las siguientes categorías de análisis: La experiencia tecnológica de los técnicos, la gestión de información que ellos realizan, la percepción de la Agricultura 4.0, que ellos tienen y el soporte institucional que reciben.

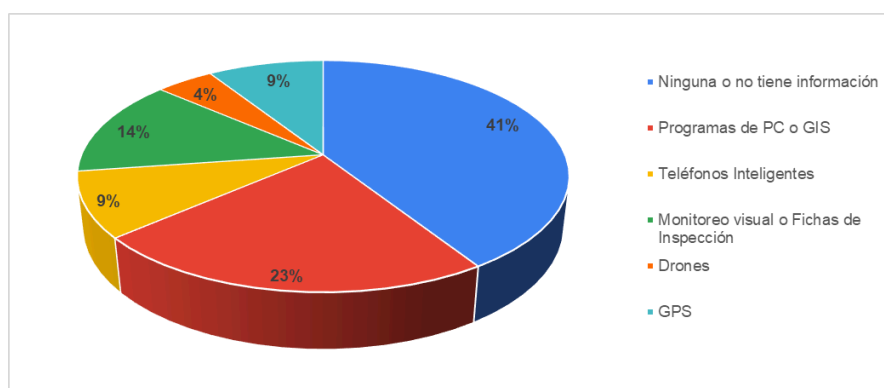
Para análisis se comenzó por la determinación del tipo tecnologías utilizan actualmente en el monitoreo de cultivos y si han recibido capacitación sobre sensores, drones o plataformas digitales, por los que se pudieron obtener los siguientes resultados:

Tabla 27. *Tipo tecnologías utilizan actualmente en el monitoreo de cultivos.*

Categorías	Frecuencia	Fr (%)
Ninguna o no tiene información	9	40.9
Programas de PC o GIS	5	22.7
Teléfonos Inteligentes	2	9.1
Monitoreo visual o Fichas de Inspección	3	13.6
Drones	1	4.5
GPS	2	9.1
Total	22	100.0

Fuente: Elaboración propia a partir de la encuesta realizada a los técnicos.

Figura 49. *Tipo tecnologías utilizan actualmente en el monitoreo de cultivos.*



Fuente: Tabla 27.

La tabla anterior (tabla 27) y su correspondiente gráfico (Figura 49) recogen la información sobre el tipo tecnologías que utilizan actualmente los técnicos de Conacado en el monitoreo de los cultivos, donde 41% de los encuestados manifestaron que no utilizan ninguna y que desconocen de los tipos de tecnologías que se puedan estar utilizando a nivel institucional, un 23% de ellos plantearon que utilizan programas de gestión de la información geográfica (GIS), otro 9% resalto el uso de teléfonos inteligentes para esta labor, mientras que 14% contestó que realizan un monitoreo visual, utilizando fichas de inspección, adicionalmente un 4% de ellos respondió que utiliza drones, para finalmente un 9% aseguro utilizar sistemas de posicionamiento global (GPS), observándose que más del 64% de los técnicos no utiliza tecnologías para el monitoreo del cultivo, la desconocen o realizan el trabajo de forma visual basado en sus fichas de inspección.

Otra variable de atención en esta misma dimensión es la capacitación recibida por el personal técnico sobre sensores, drones o plataformas digitales, donde el personal técnico manifestó lo siguiente:

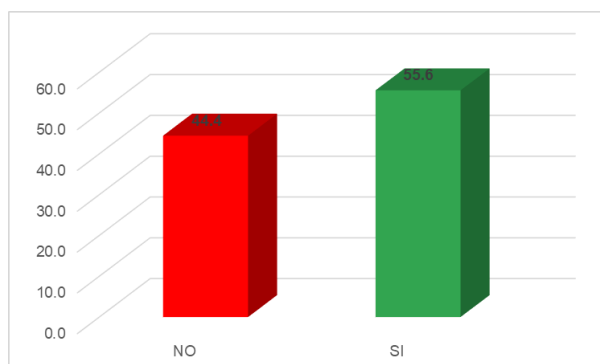
Tabla 28. *Técnicos que han recibido capacitación sobre sensores, drones o plataformas digitales.*

Categorías	Frecuencia	Fr (%)
NO	8	44.4
SI	10	55.6

Total	18	100.0
--------------	-----------	--------------

Fuente: Elaboración propia a partir de la encuesta realizada a los técnicos.

Figura 50. *Técnicos que han recibido capacitación sobre sensores, drones o plataformas digitales.*



Fuente: Tabla 28.

En la gráfica anterior se puede apreciar que el 44.4% de los técnicos no han recibido ningún tipo de capacitación en tecnologías para el monitoreo de cultivos, mientras que un 55.6% si ha recibido algún tipo de capacitación en esas temáticas.

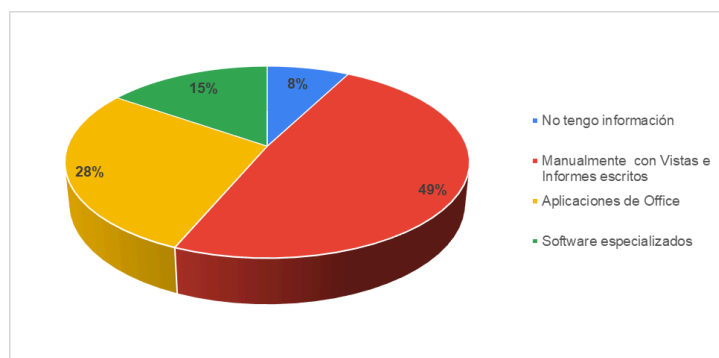
Continuando con el análisis explorativo desde la perspectiva de los técnicos, pero esta vez desde la dimensión de la gestión de información, se examinaron como los técnicos recopilan, procesan y comparten actualmente los datos agronómicos y productivos, adicionalmente se estudiaron las limitaciones enfrentan en el acceso o manejo de datos, donde se obtuvieron los resultados siguientes:

Tabla 29. *Método de recopilar, procesar y compartir los datos agronómicos y productivos en Conacado.*

Categorías	Frecuencia	Fr (%)
No tengo información	3	7.7
Manualmente con Visitas e Informes escritos	19	48.7
Aplicaciones de Office	11	28.2
Software especializados	6	15.4
Total	39	100.0

Fuente: Elaboración propia a partir de la encuesta realizada a los técnicos.

Figura 51. *Método de recopilar, procesar y compartir los datos agronómicos y productivos.*



Fuente: tabla 29.

En este elemento de análisis se puede observar que el 49% de los técnicos de Conacado aún gestionan su información por métodos analógicos y de forma manual, mientras que un 28% lo hace a través aplicaciones de ofimáticas, otro 15% de ellos utiliza software especializado, como QGIS, R, Python, teléfonos inteligentes, entre otros y finalmente solo un 8% de ellos respondieron no tener información clara de cómo se realizan estas actividades.

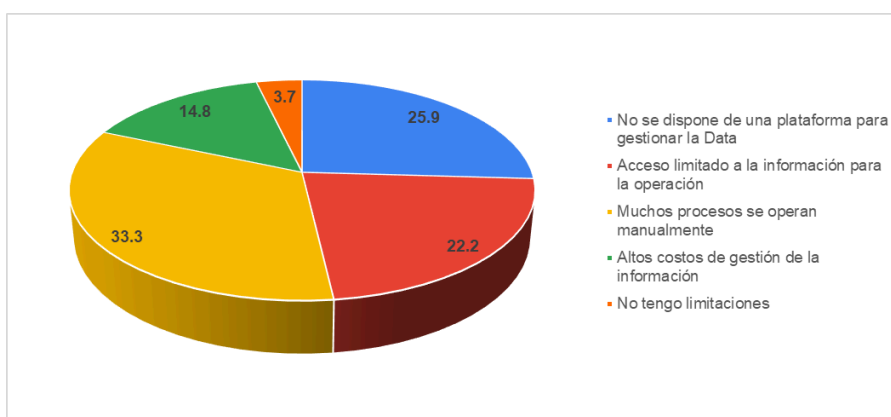
En esta misma dimensión pero analizando las limitaciones enfrentan los técnicos en el acceso o manejo de datos, se encontró:

Tabla 30. *Limitaciones enfrentan los técnicos en el acceso o manejo de datos.*

Categorías	Frecuencia	Fr (%)
No se dispone de una plataforma para gestionar la Data	7	25.9
Acceso limitado a la información para la operación	6	22.2
Muchos procesos se operan manualmente	9	33.3
Altos costos de gestión de la información	4	14.8
No tengo limitaciones	1	3.7
Total	27	100.0

Fuente: Elaboración propia a partir de la encuesta realizada a los técnicos.

Figura 52. Limitaciones enfrentan los técnicos en el acceso o manejo de datos.



Fuente: Tabla 30.

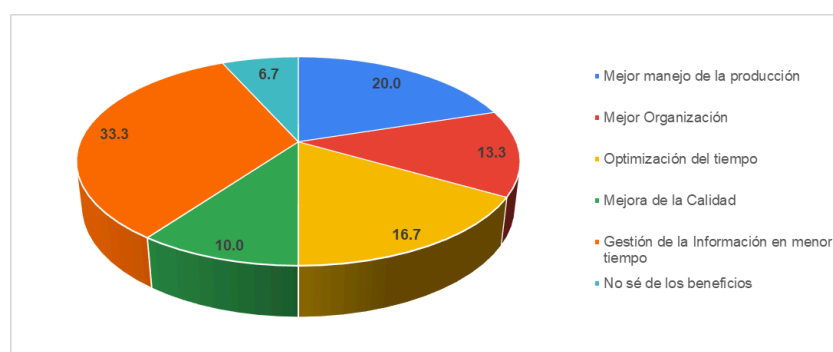
Como se puede apreciar en la figura anterior los técnicos del grupo agroindustrial Conacado presenta varias dificultades para el acceso o el manejo de la información técnica y operativa del negocio, de las cuales un 25.9% manifestó que no disponen de una plataforma o solución tecnológica que los ayude a gestionar la información de los procesos de forma integral, otro 22.2% de los técnicos expresaron que poseen un acceso muy limitado a la información institucional, debido a la desconexión tecnológica y en tiempo real entre los sistemas de gestión, el 33.3% de los especialistas manifestaron que la operación análoga y manual es una limitación para la eficacia de la gestión de los procesos, razón por la cual un 14.8% de ellos expresa un alto costo en la gestión de la información debido al consumo de energía y materiales, mientras que un 3.7% señala no tener limitaciones de ningún tipo en cuanto a la gestión y proceso de la información.

Un apartado muy importante en este estudio es el análisis de la percepción de la Agricultura 4.0, que tienen los técnicos, pues son ellos junto a los productores el primer conjunto de actores en interactuar con este sistema y de esta forma generar las estructuras agregadas que posteriormente utilizara la gerencia para la toma de decisiones, con esta finalidad se analizó los beneficios que ellos creen que aportará la plataforma propuesta a la gestión técnica del cacao y posteriormente los riesgos o dificultades previstos en su implementación, arrojando los siguientes resultados:

Tabla 31. *Beneficios generales que aportará la plataforma 4.0.*

Categorías	Frecuencia	Fr (%)
Mejor manejo de la producción	6	20.0
Mejor Organización	4	13.3
Optimización del tiempo	5	16.7
Mejora de la calidad	3	10.0
Gestión de la información en menor tiempo	10	33.3
No sé de los beneficios	2	6.7
Total	30	100.0

Fuente: Elaboración propia a partir de la encuesta realizada a los técnicos.

Figura 53. *Beneficios generales que aportará la plataforma 4.0.*

Fuente: Tabla 31.

La imagen anterior muestra que el grupo técnico del complejo agroindustrial espera un conjunto de beneficios de la implementación de una plataforma de agricultura 4.0, donde un 20% manifestó que habrá un mejor manejo de la producción en general, otro 13.3% intuye una mejor organización de los procesos, adicionalmente un 16% de ellos cree que se optimizarán todos los procesos, de conjunto a 10% que avizora un aumento en la calidad de los productos y servicios, la ponderación grupal fue a favor de un aumento de las capacidades para gestionar la información en un menor tiempo operativo con un 33.3% y finalmente hay un 6.7% que desconoce de los beneficio que la transformación digital pueda traer.

En la misma dimensión se analizaron los riesgos o dificultades previstos en la implementación de la nueva estructura, lo cual constituye un elemento de trascendental importancia en el momento de despliegue del proyecto para la planificación de estos y el

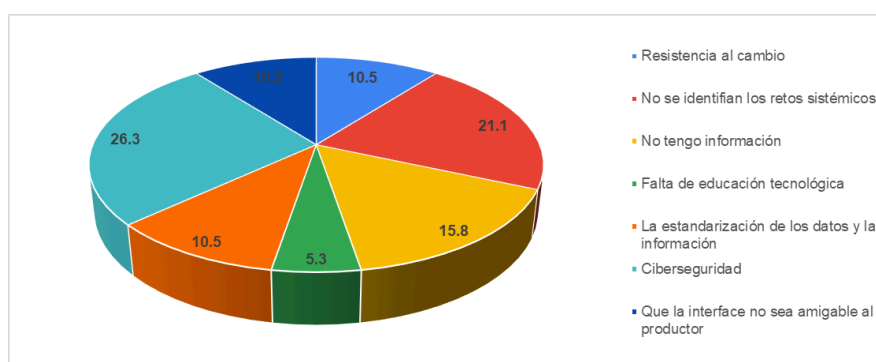
plan de mitigación en aras del éxito del mismo, donde se obtuvo los resultados que aparecen a continuación:

Tabla 32. *Riesgos o dificultades previstos en la implementación de la nueva plataforma.*

Categorías	Frecuencia	Fr (%)
Resistencia al cambio	2	10.5
No se identifican los retos sistémicos	4	21.1
No tengo información	3	15.8
Falta de educación tecnológica	1	5.3
La estandarización de los datos y la información	2	10.5
Ciberseguridad	5	26.3
Que la interfaz no sea amigable al productor	2	10.5
Total	19	100.0

Fuente: Elaboración propia a partir de la encuesta realizada a los técnicos.

Figura 54. *Riesgos previstos en la implementación de la nueva plataforma.*



Fuente: Tabla 32.

Como se puede observar en la Tabla 32 y el gráfico asociado a esta, podemos ver que el equipo técnico ha aseverado los siguientes riesgos para el proceso de implementación de la plataforma: un 10.5% de los especialistas aseguran la posibilidad de una resistencia al cambio tecnológico por parte de algunos actores del proceso, mientras que un 21.1% asegura no haber riesgos sistémicos en el proceso de transformación digital, adicionalmente un 15.8% manifiesta no tener información sobre los posibles riesgos, otro 5.3% cree que la falta de educación tecnológica puede constituir una amenaza para el despliegue y por último la estandarización de los datos(10.5%), los problemas de ciberseguridad(26.3%) y posibilidad de las interfaces de las aplicaciones no sean sencillas y amigables para el productor (10.5%), siendo estas tres últimas

aproximadamente el 47% de los riesgos para la implementación del nuevo paradigma institucional.

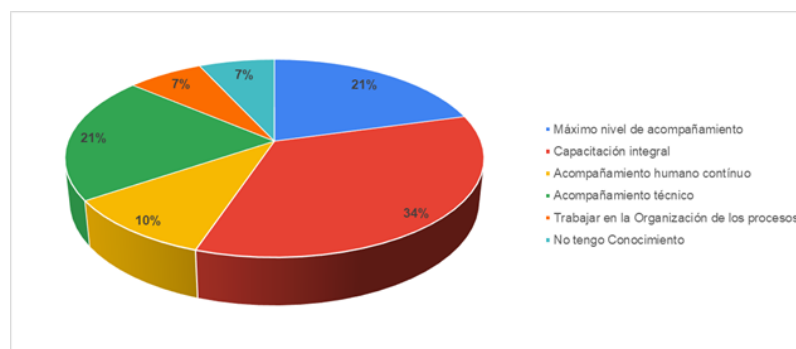
Para cerrar la fase exploratoria desde la perspectiva del personal técnico de la institución, se analizó la dimensión de soporte institucional, dentro de la que se evaluaron el nivel de acompañamiento que ellos consideran necesario por parte de CONACADO o instituciones aliadas y qué tipo de información o capacitación es considerada prioritaria para los técnicos, donde se obtuvieron los resultados siguientes:

Tabla 33. Nivel de acompañamiento que requieren los técnicos de CONACADO.

Categorías	Frecuencia	Fr (%)
Máximo nivel de acompañamiento	6	20.7
Capacitación integral	10	34.5
Acompañamiento humano continuo	3	10.3
Acompañamiento técnico	6	20.7
Trabajar en la organización de los procesos	2	6.9
No tengo conocimiento	2	6.9
Total	29	100.0

Fuente: Elaboración propia a partir de la encuesta realizada a los técnicos.

Figura 55. Nivel de acompañamiento que requieren los técnicos de CONACADO.



Fuente: Tabla 33.

Analizando los resultados de la Tabla 33 podemos observar que los técnicos de Conacado en un 20.7% tienen la necesidad de un máximo nivel de acompañamiento para poder enfrentar los cambios del paradigma productivo, que supone la transformación digital del complejo agroindustrial, otro 34.5% necesita una capacitación integral, con 10.3% está la demanda de acompañamiento humano continuo y con 20.7% el

acompañamiento técnico, mientras que con un 7% se está demandando de un acompañamiento para trabajar en la Organización de los procesos y otros con 7% igual, expresan que no posee conocimiento de las necesidades que tienen desde su desempeño laboral para enfrentar el cambio de paradigma.

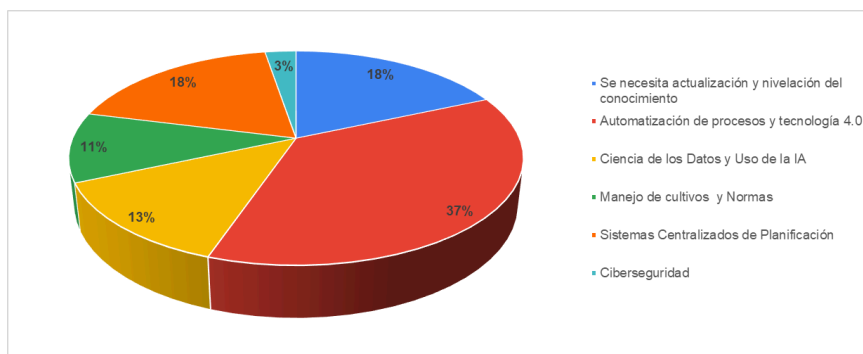
En virtud de la necesidad de capacitación ya expresada en los acompañamientos se pudo constatar en el siguiente análisis que:

Tabla 34. *Tipo de capacitación considerada prioritaria para los técnicos.*

Categorías	Frecuencia	Fr (%)
Se necesita actualización y nivelación del conocimiento	7	18.4
Automatización de procesos y tecnología 4.0	14	36.8
Ciencia de los Datos y Uso de la IA	5	13.2
Manejo de cultivos y Normas	4	10.5
Sistemas Centralizados de Planificación	7	18.4
Ciberseguridad	1	2.6
Total	38	100.0

Fuente: Elaboración propia a partir de la encuesta realizada a los técnicos.

Figura 56. *Tipo de capacitación considerada prioritaria para los técnicos.*



Fuente: tabla 34.

En la tabla anterior(ver tabla 34) se puede apreciar las necesidades más ingentes en materia de capacitación que está demandando el personal técnico de Conacado, donde un 18.4% requiere de una actualización y nivelación del conocimiento, dado que carecen de herramientas básicas como el manejo de office 365, entre otras, en ese mismo contexto el peso fundamental de la demanda recayó sobre la capacitación en sistemas de automatización de procesos y tecnología 4.0, pues son las bases gnoseológicas del

cambio del paradigma al que se enfrenta la institución, seguido a esto están las solicitudes de aprendizajes en el campo de Ciencia de los Datos y Uso de la IA, con 13.2%, mientras que las exigencias por aprender del Manejo de cultivos y Normas es de 11% y la solicitud por las capacitaciones sobre los Sistemas Centralizados de Planificación fue de un 18.4%, para finalmente un 2.6% de la demanda recayó sobre los temas de estudios sobre Ciberseguridad, algo muy importante debido a que prácticamente casi todo el despliegue tecnológico futuro es sobre la computación en la nube y la internet de las cosas (IoT).

En el estudio exploratorio de este trabajo de investigación se pudo apreciar que para poder realizar un despliegue exitoso de un proyecto de transformación digital en Conacado, basado en plataformas de Agricultura 4.0, es mandatorio realizar con anterioridad un conjunto de capacitaciones teóricas y prácticas con todos los actores del sistema agroindustrial, porque es de trascendental importancia el desarrollo de un pensamiento complejo, de carácter sistémico y de actualización tecnológica hasta llegar a los procedimientos de funcionamiento práctico de un régimen productivo en la cuarta revolución industrial en contexto con las dimensiones sociales, económicas, tecnológicas y culturales de la cadena agroproductiva de la entidad dominicana. Este desafío es sin duda la tarea más ardua, desde el punto de vista estratégico, debido a que optimizar la cadena agroproductiva del biosistema implica el entendimiento de los gemelos digitales de todo y cada uno de los elementos ciberfísicos que integran el ciclo de gestión agrícola del biosistema en general y de los métodos de optimización de cada parámetro transferido de un proceso a otro.

Adicionalmente al planeamiento anterior, otro de los aspectos más importante en este estudio es el deterioro observado de algunos de los parámetros de calidad, de ciertos indicadores claves de rendimiento(kpi) y de gestión en la cadena de valor, debido a la ausencia de herramientas eficaces para el monitoreo y la trazabilidad en la producción y la productividad en tiempo real, que se integren de forma sistémicas, y de herramientas digitales que ayuden a tomar decisiones oportunas para marcar el rumbo evolutivo de la organización. Pero como expresó Sargana García (2021) , para que un proceso de transformación digital tenga éxito hay que tener en cuenta las necesidades específicas

desde el punto de vista tecnológico, social y económico de cada uno de los actores del biosistema, sin dejar atrás el contexto ambiental del despliegue del proyecto y es por eso que este estudio exploratorio ha tenido tanta significación en el trabajo.

3.6.3. Análisis de los resultados del cuestionario aplicado a los productores de Conacado.

Al culminar la etapa explorativa-cualitativa, se dio paso a la etapa cuantitativa-descriptiva y correlacionar de este trabajo, con la aplicación de una encuesta a un subconjunto de productores agrícolas afiliados a CONACADO, la cual se desarrolló con la finalidad de recopilar información sobre las prácticas agrícolas que estos realizan, los niveles de adopción tecnológica, la percepción que tienen estos sobre la digitalización y la disposición para participar en un proyecto de despliegue de una plataforma de Agricultura 4.0, se diseñó una combinación metodológica, que permitió la integración de la comprensión profunda de las percepciones, actitudes y capacidades digitales de los actores de la cadena de valor del cacao, con la medición empírica y correlacional de variables asociadas a la adopción tecnológica y transformación digital dentro del contexto de la Agricultura 4.0 en la República Dominicana.

Este enfoque se justifica por la naturaleza del problema, que no busca manipular variables de forma experimental, sino diagnosticar, analizar y promover procesos de cambio tecnológico, organizacional y social en la empresa CONACADO. Por ello, se asume un diseño mixto, explorativo secuencial, no experimental, de carácter descriptivo, correlacional y aplicado, centrado en la observación de fenómenos en su contexto natural (Hernández Sampieri et al., 2014)

Para el desarrollo de esta etapa cuantitativa, el archivo de datos en Excel que guarda los resultados de la encuesta realizada a los productores se convirtió en un fichero con variables categóricas y dicotómicas, las variables categóricas, que estaban medidas en la escala de Likert, se les asignó una correlación numérica, como aparece en la tabla siguiente:

Tabla 35. *Escala numérica para variables categóricas en encuesta a productores.*

Valor cualitativo de la escala	Valor cuantitativo de la escala
Totalmente en desacuerdo	1
En desacuerdo	2
De acuerdo	3
Muy de acuerdo	4
Totalmente de acuerdo	5

Fuente: Elaboración propia a partir del diseño de la encuesta.

Mientras que las variables dicotómicas (Si, No) se midieron en la escala de (0,1) para poder realizar el análisis de la prueba alfa de Cronbach, según Espino-Flores(2025), el Alfa de Cronbach es una medida estadística que evalúa la confiabilidad o consistencia interna de un conjunto de ítems (preguntas) en un instrumento de medición, como un cuestionario. Su conceptualización científica se basa en la idea de que los ítems son consistentes entre sí y miden el mismo constructo subyacente, por lo que sus respuestas deben estar fuertemente correlacionadas y compartir una varianza común. Para un instrumento confiable, la covarianza entre los ítems debe ser alta en relación con la varianza general, a través de la siguiente ecuación:

$$\alpha = \frac{k}{k-1} \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^k \sigma_{y_i}^2}{\sigma_x^2} \right) \quad (11)$$

Con:

k :es el número total de ítems en la escala.

$\sigma_{y_i}^2$: es la varianza de cada ítem individual.

σ_x^2 : es la varianza total de todas las puntuaciones sumadas.

Donde los valores del alfa de Cronbach: Generalmente, un alfa mayor a 0.7 se considera aceptable, mayor a 0.8 es bueno, y mayor a 0.9 es excelente. Sin embargo, valores muy altos (p. ej., mayores a 0.95) podrían indicar que los ítems son redundantes (Espino-Flores, 2025).

En el anexo 5 se puede apreciar la imagen del fichero cargado en el programa estadístico Rstudio para el cálculo del alpha de Cronbach, cuyo resultado aparece con un valor de $\alpha = 0.84$, lo cual expresa que la confiabilidad o consistencia interna del instrumento es muy buena, como muestra la salida siguiente.

```
Reliability analysis
Call: psych::alpha(x = mi_tabla)

raw_alpha std.alpha G6(smc) average_r S/N ase mean sd median_r
0.84      0.84      0.81      0.51 5.2 0.025 2.6 0.56      0.51

95% confidence boundaries
      lower alpha upper
Feldt    0.78  0.84  0.88
Duhachek 0.79  0.84  0.89
```

Para el análisis de los valores de las variables en la encuesta a trabajadores, se trabajó directamente con los valores y gráficos resultantes de la ejecución del cuestionario, donde se obtuvieron los siguientes resultados:

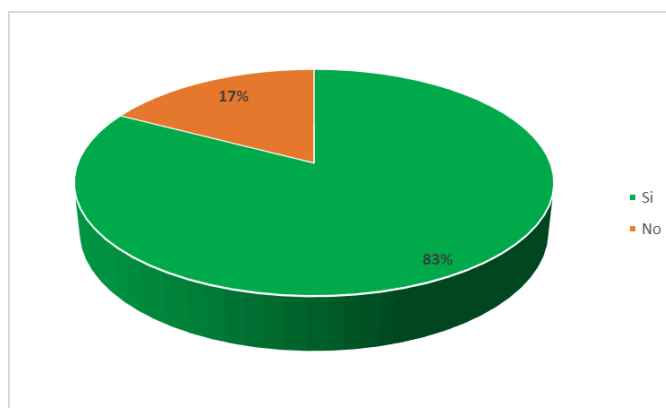
Para la pregunta de si el productor realizaba un sistema de producción orgánica certificada, los resultados fueron los siguientes:

Tabla 36. Cantidad de productores orgánicos certificados en la muestra.

Producción Orgánica Certificada	Cantidad	Fr (%)
Si	86	82.7
No	18	17.3
Total	104	100.0

Fuente: Elaboración propia a partir de la encuesta realizada a productores.

Figura 57. Cantidad de productores orgánicos certificados en la muestra.



Fuente: tabla 36.

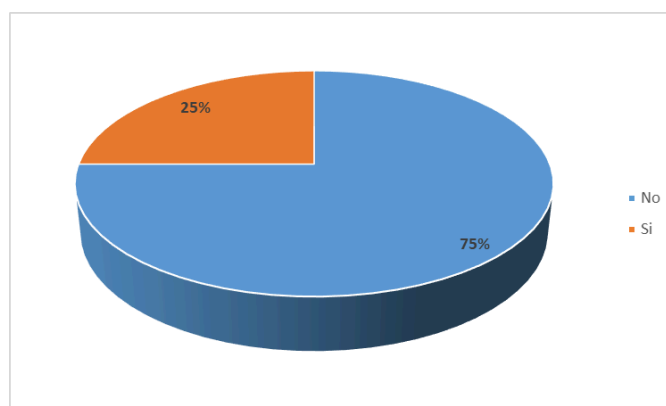
La gran mayoría de los productores de la muestra pertenecen al sistema de producción orgánica con un 83% y solo un 17% pertenece al sistema productivo convencional. Para el caso donde se deseaba saber si el productor utiliza alguna herramienta digital para registrar o controlar su producción, los resultados de las respuestas fueron los siguientes:

Tabla 37. Productores que utilizan herramientas digitales en su producción.

Utiliza alguna herramienta digital para registrar o controlar su producción	Cantidad	Fr (%)
No	78	75.0
Si	26	25.0
Total	104	100.0

Fuente: Elaboración propia a partir de la encuesta realizada a productores.

Figura 58. Productores que utilizan herramientas digitales en su producción.



Fuente: Tabla 37.

En la Tabla 37 y su gráfica correspondiente se puede observar que solo aproximadamente el 25% de los productores utilizan algún tipo de herramienta digital para el registro o control de la producción, lo que implica que cerca del 75% de los productores no cuentan con medios tecnológicos para potenciar el proceso productivo, algo que es importante revertir a través de un cambio infraestructural y funcional desde el puntos de vista tecnológico para poder lograr a nivel general un control de la producción y la de la trazabilidad de esta.

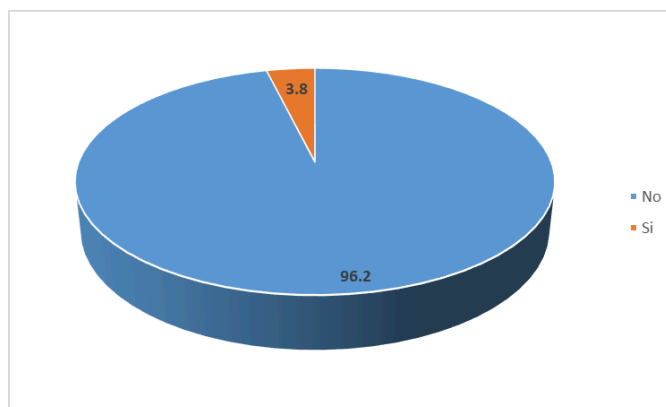
Otra de las variables de gran importancia para este trabajo de investigación es constatar el nivel de conocimiento o adopción que tiene el productor de Conacado en las tecnologías más utilizadas en el control, registro y la operación de la producción, por lo que se obtuvieron los resultados siguientes:

Tabla 38. Uso de las principales tecnologías para el manejo y operación de la producción.

Conoce o ha usado sensores, drones o plataformas digitales en su finca	Cantidad	Fr (%)
No	100	96.2
Si	4	3.8
Total	104	100.0

Fuente: Elaboración propia a partir de la encuesta realizada a productores.

Figura 59. Uso de las principales tecnologías para el manejo y operación de la producción.



Fuente: tabla 38.

Observando los resultados de la tabla anterior y su correspondiente gráfico, podemos constatar que el uso de la tecnología digital, fundamentalmente para el monitoreo, trazabilidad y manejo del cultivo en los campos de productores de cacao afiliados a CONACADO es imperceptible o casi nulo, dado que más del 96% de ellos no utilizan ningún tipo de tecnología, a pesar de ello, existe un 3.8% de ellos que manifiesta haber utilizado en algún momento estos tipos de elementos tecnológicos, sin embargo el uso que de forma individual los productores puedan haber realizado con estas tecnologías sobre sus cultivo, por el hecho de que la organización no cuenta con una plataforma para estos fines, no se pudo integrar a una capa o segmento de analítica avanzada para la toma de decisiones, que coadyuvara a optimizar sus procesos productivos.

Lo anteriormente expuesto, puede dar explicación al porque a pesar de que una gran cantidad de productores son certificados orgánicos y culminan en cada periodo con un ciclo agronómico correcto, la productividad de la explotaciones sigue siendo muy baja, pues no cuentan con la precisión de una agricultura inteligente para sus aplicaciones, de acuerdo con las necesidades edáficas, ni tampoco con herramientas para poder monitorear variables climáticas, como la temperatura, el porcentaje de humedad, el estrés hídrico, etc., o la presencia de aluminio u otros metales nocivos en los suelos productivos.

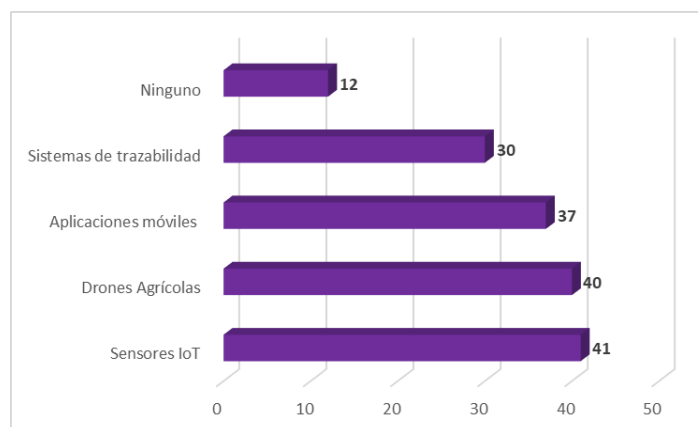
Dándole continuidad al estudio cuantitativo-descriptivo se pudo analizar la primera variable que indica el nivel de percepción que tienen los productores del complejo agroindustrial dominicano sobre la agricultura 4.0 o agricultura inteligente, ya en sus respuestas se puede considerar cuántas o cuáles de estas tecnologías están dispuestos a implementar en su explotación, para lo que se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 39. *¿Qué tipo de tecnología le gustaría incorporar al productor?*

Qué tipo de tecnología le gustaría incorporar	Cantidad	Fr (%)
Sensores IoT	41	39.4
Drones Agrícolas	40	38.5
Aplicaciones móviles	37	35.6
Sistemas de trazabilidad	30	28.8
Ninguno	12	11.5
Total	160	153.8

Fuente: Elaboración propia a partir de la encuesta realizada a productores.

Figura 60. *Tipo de tecnología le gustaría incorporar al productor.*



Fuente: Tabla 39.

La imagen anterior demuestra que la tecnología más popular entre los productores del grupo Conacado son los sensores IoT con un 39.4 %, seguida del uso de los drones agrícolas con 38.5%, seguidamente las aplicaciones móviles con 35.6% y los sistemas de trazabilidad con un 28.8%, para finalmente un 11.5% señaló que no estaría interesada en la implementación de ningún tipo de tecnología en sus predios productivos.

Otra de las variables que pudieron medirse con la finalidad de conocer la percepción de los productores en la aplicación de la agricultura inteligente fue la de saber si la tecnología podía mejorar la productividad de sus fincas, a lo que contestaron lo siguiente:

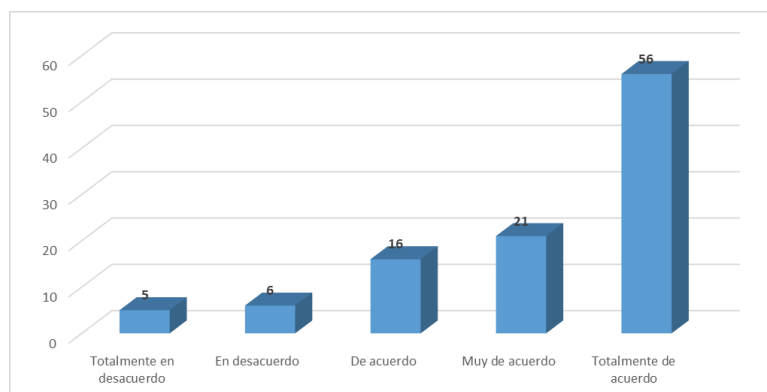
Tabla 40. *Puede la tecnología mejorar la productividad de sus fincas.*

La tecnología puede mejorar la productividad de mi finca.	Escala numérica	Cantidad	Fr (%)	EC
Totalmente en desacuerdo	1	5	4.8	5
En desacuerdo	2	6	5.8	12
De acuerdo	3	16	15.4	48
Muy de acuerdo	4	21	20.2	84
Totalmente de acuerdo	5	56	53.8	280
Total		104	100.0	429.0

Fuente: Elaboración propia a partir de la encuesta realizada a productores.

Donde el valor medio de la variable es: $\bar{X} = 4.1$ y la moda $Mo = 5$

Figura 61. *Puede la tecnología mejorar la productividad de sus fincas.*



Fuente: tabla 40.

De la tabla anterior y su correspondiente gráfica se puede observar que el 53.8% de los productores manifestó que estaba totalmente de acuerdo con que la tecnología podía mejorar el índice de productividad de sus fincas; otro 20.2% de los encuestados estuvo muy de acuerdo y un 15.4% estuvo de acuerdo; solo aproximadamente un 10% de los productores se manifestó en desacuerdo con el planteamiento. El análisis se puede observar también que el valor modal de la variable ($Mo = 5$) cae en la categoría de la variable correspondiente a que los productores están totalmente de acuerdo, mientras que el valor medio ($\bar{X} = 4.1$) es ligeramente inferior se mantiene en un rango muy alto de aceptación, lo que permite concluir que el cambio de paradigma productivo será muy bien acogido entre los productores.

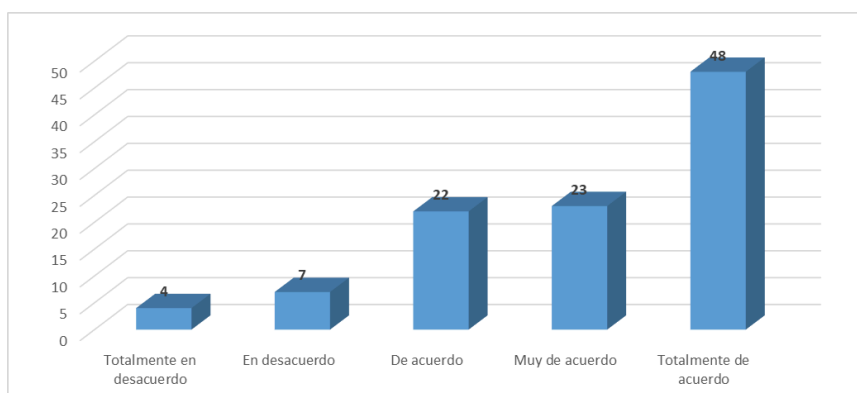
Continuado con el estudio de las variables de estudio para medir el nivel de percepción sobre la digitalización y disposición para participar en la plataforma de Agricultura 4.0, se trabajó la variable de estimación sobre si el uso de sensores y drones ayuda a reducir pérdidas y plagas, a lo que los productores contestaron de la forma que aparece a continuación:

Tabla 41. *El uso de sensores y drones ayuda a reducir pérdidas y plagas.*

El uso de sensores y drones ayuda a reducir pérdidas y plagas.	Escala numérica	Cantidad	Fr (%)	EC
Totalmente en desacuerdo	1	4	3.8	4
En desacuerdo	2	7	6.7	14
De acuerdo	3	22	21.2	66
Muy de acuerdo	4	23	22.1	92
Totalmente de acuerdo	5	48	46.2	240
Total		104	100.0	416.0

Fuente: Elaboración propia a partir de la encuesta realizada a productores.

Donde el valor medio de la variable es: $\bar{X} = 4.0$ y la moda $Mo = 5$

Figura 62. *El uso de sensores y drones ayuda a reducir pérdidas y plagas.*

Fuente: Tabla 41.

En este segmento del análisis se puede corroborar que el valor modal ($Mo = 5$) de la variable continua estando en el rango más alto de valoración, aunque el valor medio ($\bar{X} = 4.0$) se encuentra ligeramente desplazado al rango muy de acuerdo, pero permaneciendo bajo un criterio de una elevada aceptación, este criterio por parte de los productores de que el uso de tecnologías inteligentes puede ayudar a reducir pérdidas y plagas, lo reafirma la teoría, donde Tovar-Quiroz(2023), manifiesta que la agricultura de pequeños productores enfrenta desafíos, debido a las metas de los ODS para 2030 y el nivel de competitividad a nivel mundial que esto ha generado, y para lograrlo se exigirá

que se utilicen aplicaciones de Ciencia, Tecnología e Innovación (CTI), primordiales para que el sector primario se convierta en impulsor del desarrollo económico y sostenible, siendo esta la razón fundamental por la cual más del 89% de los productores se posicionan a favor del cambio de paradigma productivo.

Asimismo, también se analizó la disposición de los productores a aprender y usar una aplicación digital para gestionar sus fincas, donde los valores resultantes de la encuesta arrojaron los resultados siguientes:

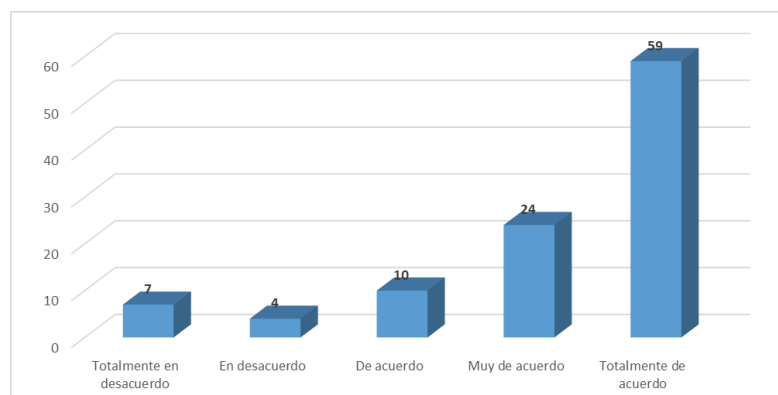
Tabla 42. *Disposición de los productores a aprender y usar una aplicación digital para gestionar sus fincas.*

Estoy dispuesto a aprender y usar una aplicación digital para gestionar mi finca.	Escala numérica	Cantidad	Fr (%)	EC
Totalmente en desacuerdo	1	7	6.7	7
En desacuerdo	2	4	3.8	8
De acuerdo	3	10	9.6	30
Muy de acuerdo	4	24	23.1	96
Totalmente de acuerdo	5	59	56.7	295
Total		104	100.0	436.0

Fuente: Elaboración propia a partir de la encuesta realizada a productores.

Donde el valor medio de la variable es: $\bar{X} = 4.2$ y la moda $Mo = 5$

Figura 63. *Disposición de los productores a aprender y usar una aplicación digital para gestionar sus fincas.*



Fuente: Tabla 42.

En la tabla anterior de conjunto al gráfico asociado y las medidas de tendencia central utilizadas se puede observar que existe una alta disposición de los productores de Conacado para aprender el uso del manejo de sus fincas basado en tecnologías, donde el valor medio de la variable es $\bar{X} = 4.2$ y el valor modal $Mo = 5$, lo que permite concluir que la gran mayoría de los productores ($\approx 90\%$) están de acuerdo en aprender a utilizar tecnología en sus procesos productivos (ver tabla 42).

Otro elemento de análisis muy importante para medir el nivel de disposición que tienen los productores para participar en un proyecto de despliegue de una plataforma de Agricultura 4.0, es la variable que pudiera medir la percepción que estos tienen de si la trazabilidad digital aumentará el valor de su producto (cacao) en el mercado, a lo que respondieron de la siguiente manera:

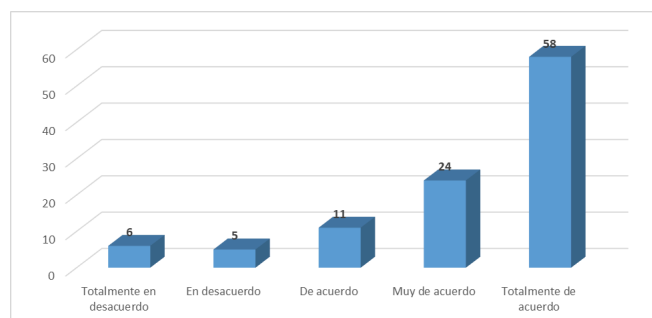
Tabla 43. *La trazabilidad digital aumentará el valor de su producto (cacao) en el mercado.*

La trazabilidad digital aumentará el valor de mi cacao en el mercado.	Escala numérica	Cantidad	Fr (%)	EC
Totalmente en desacuerdo	1	6	5.8	6
En desacuerdo	2	5	4.8	10
De acuerdo	3	11	10.6	33
Muy de acuerdo	4	24	23.1	96
Totalmente de acuerdo	5	58	55.8	290
Total		104	100.0	435.0

Fuente: Elaboración propia a partir de la encuesta realizada a productores.

Donde el valor medio de la variable es: $\bar{X} = 4.2$ y la moda $Mo = 5$

Figura 64. *La trazabilidad digital aumentará el valor de su producto (cacao) en el mercado.*



Fuente: Tabla 43.

El análisis descriptivo de la variable arroja valores de las medidas de tendencia central muy cercanos ($\bar{X} = 4.2$ y $Mo = 5$), algo que también se observa en el hecho de que ($\approx 90\%$) la gran mayoría de los productores están ubicados en el segmento positivo de la variable, con un 58% de ellos totalmente de acuerdo, o sea permanecen de acuerdo en el hecho de que la trazabilidad digital aumentará el valor de su producto en el mercado (ver Tabla 40).

Dándole continuidad al análisis descriptivo de las variables para el análisis de la disposición que tienen los productores para participar en un proyecto de despliegue de una plataforma de Agricultura 4.0, podemos analizar el nivel de confianza que estos tienen en que CONACADO brindará el apoyo necesario para usar la plataforma, lo cual arrojó los siguientes resultados:

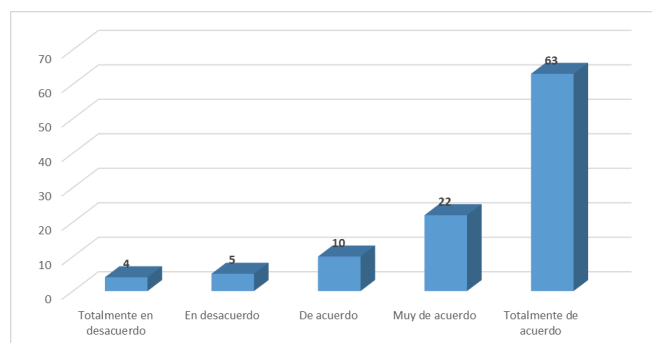
Tabla 44. Nivel de confianza de los productores en el respaldo de Conacado.

Confío en que CONACADO brindará el apoyo necesario para usar la plataforma.	Escala numérica	Cantidad	Fr (%)	EC
Totalmente en desacuerdo	1	4	3.8	4
En desacuerdo	2	5	4.8	10
De acuerdo	3	10	9.6	30
Muy de acuerdo	4	22	21.2	88
Totalmente de acuerdo	5	63	60.6	315
Total		104	100.0	447.0

Fuente: Elaboración propia a partir de la encuesta realizada a productores.

Donde el valor medio de la variable es: $\bar{X} = 4.3$ y la moda $Mo = 5$.

Figura 65. Nivel de confianza de los productores en el respaldo de Conacado.



Fuente: tabla 44.

En el análisis de esta variable se pudo apreciar el papel protagónico que tiene el grupo de liderazgo del grupo Agroindustrial Conacado en la transformación de las dimensiones sociales, económicas y técnicas del sector agroindustrial del cacao dominicano, donde el valor modal ($M_o = 5$, Totalmente de acuerdo) obtuvo el mayor valor de frecuencia (60.6% de productores) que las anteriores variables, también el mayor valor de la media aritmética ($\bar{X} = 4.3$), así mismo de que más del 91% confían en el respaldo de la institución rectora para que los guíen en el proceso de transformación digital del sector.

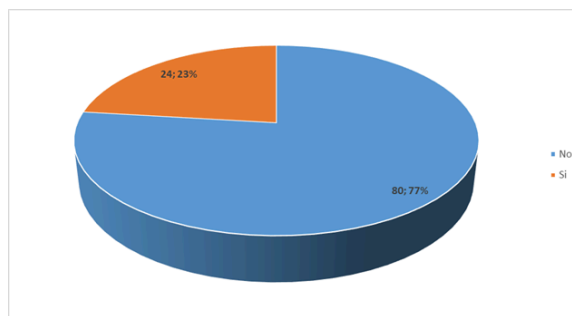
En el avance del análisis descriptivo sobre las prácticas agrícolas de los productores, los niveles de adopción tecnológica, la percepción que tienen estos sobre la digitalización y la disposición para participar en un proyecto de despliegue de una plataforma de Agricultura 4.0, es importante valorar la infraestructura con que cuentan los productores para garantizar un nivel de partida hacia la transformación digital, para ello se aplicaron en el cuestionario dos preguntas, la primera sobre si el productor cuenta con acceso estable a internet en su finca y la segunda, si este dispone de un teléfono inteligente o Tablet, la primera variable de un gran valor a la hora de realizar el diseño de la infraestructura de los servicios comunicación y la capa de intercambio de datos y la segunda para la distribución logística del equipamiento tecnológicos durante el despliegue del proyecto, para estos casos los resultados fueron los siguientes:

Tabla 45. Cantidad de productores que cuentan con internet estable en su finca.

Cuenta con acceso estable a internet en su finca?	Cantidad	Fr (%)
No	80	76.9
Si	24	23.1
Total	104	100.0

Fuente: Elaboración propia a partir de la encuesta realizada a productores.

Figura 66. Cantidad de productores que cuentan con internet estable en su finca.



Fuente: tabla 45.

Tal como se planteó anteriormente y según la bibliografía consultada (Alvarado et al., 2025), (Tovar-Quiroz, 2023), esta variable en muchos países en vías de desarrollo es de trascendental importancia en el diseño, dado que el desarrollo de las soluciones de la 4ta revolución industrial, incluida la Agricultura 4.0, tienen como tecnología central la Internet, y esto es una tarea que aún necesita de mucho apoyo gubernamental para que los biosistemas agroalimentarios puedan desarrollarse y ser más competitivos.

En la tabla 45, podemos apreciar que aproximadamente 77% de los productores no cuentan con un acceso estable del internet en su finca, mientras que un 23% si lo tienen, esto permitirá al grupo de dominio institucional realizar una planificación correcta de los tiempos y los productores que entregaran en línea(y los que no) los datos correspondientes a la dinámica de los mapas digitales de sus fincas y de la trazabilidad de su producción, para que se puedan realizar un análisis integral operativo y tomar decisiones acertadas en el tiempo correcto.

Del análisis anterior se observa la necesidad, que para mitigar el déficit de conectividad a nivel sectorial, se debe crear una red operativa coordinada entre los productores, personal de extensión, el centro de despacho de Operaciones de Conacado y el personal de Ciencias de los datos a nivel institucional para que los Cubos de procesamiento analítico en línea (OLAP) del almacén de datos del Biosistema (DW) sean alimentados de forma coordinada y sincronizada desde la capa de servicios operacionales, como aparece en la figura 25, sobre el diseño de un BI institucional para Conacado para que estos a su vez puedan responder de forma oportuna a todas las demás

capas de procesos del sistema agroindustrial (Finanzas, Economía, CRM, RH, etc.), dentro del ciclo agronómico de cada campaña.

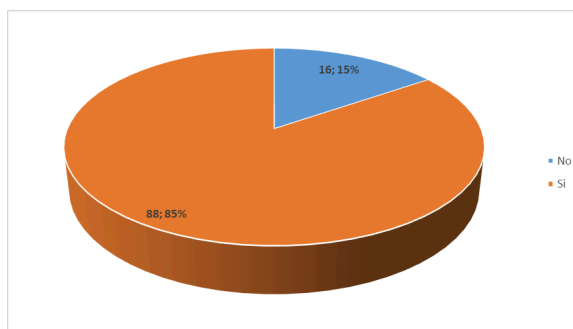
La segunda variable a tener en cuenta, como se había mencionado anteriormente fue la disposición de tecnología inteligente (teléfonos o Tablet) por parte del productor, de la cual obtuvimos las salidas siguientes:

Tabla 46. *Disposición de tecnología inteligente por parte del productor.*

Dispone de teléfono inteligente o Tablet?	Cantidad	Fr (%)
No	16	15.4
Si	88	84.6
Total	104	100.0

Fuente: Elaboración propia a partir de la encuesta realizada a productores.

Figura 67. *Disposición de tecnología inteligente por parte del productor.*



Fuente: Tabla 46.

La grafica anterior muestra un resultado positivo de la variable, donde más del 85% de los productores poseen teléfonos inteligentes o Tablet, algo que le deja la oportunidad al sistema Agroregenerativo, o a la capa de inteligencia artificial de la plataforma de Agricultura 4.0, la posibilidad de poder enviar en tiempo real, recetas de manejo, correcciones a los planes operativos y de trazabilidad, a través de una serie de alarmas y reportes inteligentes, que estarán en sinergia con los demás actores del biosistema.

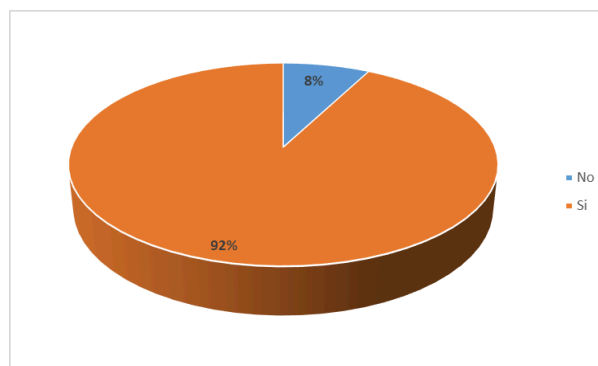
Para la culminación del estudio cuantitativo descriptivo de la encuesta productores se analizó la variable sobre la disposición de los productores a participar en un programa de capacitación digital, donde los resultados aparecen a continuación:

Tabla 47. *Disposición de los productores a participar en un programa de capacitación digital.*

Estaría dispuesto a participar en un programa de capacitación digital?	Cantidad	Fr (%)
No	8	7.7
Si	96	92.3
Total	104	100.0

Fuente: Elaboración propia a partir de la encuesta realizada a productores.

Figura 68. *Disposición de los productores a participar en un programa de capacitación digital.*



Fuente: Tabla 47.

Los resultados de la tabla 47 expresan de una forma muy determinante (92.3% de los productores) la voluntad del sector agroindustrial productivo del cacao afiliado a Conacado de participar y capacitarse en las temáticas fundamentales de la agricultura inteligente, para poder comprender y manejar las tecnologías, así como los datos asociados a esta nascente disciplina en América Latina y en la República Dominicana. El cambio de paradigma, sin duda alguna, llevará un tiempo de trabajo y esfuerzo, de mucho apoyo de las fuerzas gubernamentales y privadas, e incluso de los clientes internacionales que están esperando recibir en un futuro no muy lejano un producto de altísima calidad, trazable y con los parámetros organolépticos de un cacao fino y de aroma, como se caracteriza el producto dominicano (Alianza de Bioversity International y CIAT, 2023).

3.6.4. Análisis de los resultados de la modelación computacional de variables climáticas y productivas de productores de Conacado.

La voluntad expresa de los productores a capacitarse en las nuevas tecnologías, es un elemento necesario pero no suficiente, el gremio debe desarrollar capacidades en la aplicación con éxito de las técnicas de la nueva disciplina en la resolución y optimización de los problemas reales que presentan los biosistemas agroalimentarios de cacao en el país, ejemplo de ello es Bastide (2013) como se citó en Ebratt (2025), donde plantea que los sistemas agroforestales de cacao tienen un punto de saturación fotosintética de ($\approx 190 \text{ W/m}^2$) lo que equivale a ($\approx 4.56 \frac{\text{Kwh}}{\text{m}^2} / \text{dia}$), por lo que cuando estos están ubicados en zonas donde el nivel de radiación solar excede este umbral fisiológico, se puede producir estrés térmico, cierre estomático y baja productividad.

Debido a este problema se necesitan ajustar los niveles de sombra conforme con la radiación solar, a través de la siembra de árboles de sombra, que no aporten más de un promedio de 40% de sombra del área ($A \leq 40\%$ el rendimiento puede llegar hasta un 80%) total del cultivo, condicionalmente también el rendimiento de los cacaotales puede caer drásticamente para un nivel de sombra muy elevado (para $A \geq 60\%$ el rendimiento puede caer al 50%). Por lo que se puede considerar que un SAF de cacao con un (30%-50%) de sombra optimiza el equilibrio entre producción agrícola, adaptación climática, mitigación y conservación de la biodiversidad (Rüegg et al., 2025).

El planteamiento del párrafo anterior sugirió realizar un nuevo análisis a partir de un estudio longitudinal cuantitativo para la obtención de una ecuación econométrica multivariable, aplicada a un grupo de productores afiliados, pertenecientes a dos zonas geográficas diferentes, divididos en productores que tienen un buen manejo del ciclo agronómico y otros con un manejo regular, esto permitió contrastar la influencia que tiene el estrés hídrico promedio por año (HWSI) y la deforestación (Td) con la producción de cacao vendida a Conacado por cada productor, en los últimos diez años (2015-2025), según el tipo de manejo y la zona geográfica en la que está ubicada la explotación (Nagua, Cotuí).

Para esto se utilizaron el software QGIS y su consola de programación en Python, con la finalidad de obtener el conjunto de datos, sobre el estrés hídrico promedio anual y el índice de deforestación (2015–2025). La utilización de QGIS + Python (PyQGIS) y los modelos de Random Forest / XGBoost, integrados por las técnicas de teledetección por satélites (satélites Landsat 8/9 y Sentinel-2), para la obtención de los datos climáticos (NDVI, NDWI) y estrés hídrico (HWSI) y de machine learning (ML) para poder clasificar y predecir las variables antes mencionadas.

En el anexo (ver anexo 13), se puede constatar que una vez obtenido la serie de los datos climáticos, se pudo estimar los valores de estrés hídrico promedio anual para el próximo año 2026, utilizando el modelo XGBoost y con ayuda del sistema de gestión de Conacado, se logró extraer los valores de producción (Kg) que le fueron comprados a cada uno de los productores y a través del software estadístico Rstudio, se pudo realizar el análisis econométrico entre las variables, obteniendo un conjunto de importante de informaciones.

Estas informaciones obtenidas, deben ser de gran importancia para el equipo de ingeniería y extensión, debido a que con estas pueden optimizar el rendimiento general de los cultivos, ya que con una matriz visual de Decisión (Edad $\times$ Problema Ambiental $\times$ Clon), como en la que aparece en la tabla 8, teniendo en cuenta el mapa digital de cada finca de los productores, actualizado con los valores del modelo para las variables edafoclimáticas, obtenidos de los elementos IoT (ver figuras 10 y 11) y el valor promedio de estrés hídrico de la campaña para el año próximo, se puede realizar el plan de manejo y la generación de los bioinsumos necesarios, teniendo en cuenta el programa de certificación orgánica que sigue la producción y su correspondiente ciclo agronómico.

La demostración de lo anteriormente planteado, se puede realizar a partir de la muestra intencional de productores que aparece en la siguiente Tabla 48.

Tabla 48. *Relación de productores para el análisis de estrés hídrico y el nivel de producción vendida a Conacado.*

ID.	Productor	Código	Sucursal	Buenas Prácticas	Polígono	
A	ELR	7-14-033	Cotuí	Si	18.91597	-70.13472
B	AJR	7-17-073	Cotuí	Si	19.11791	-70.1148
C	DC	7-24-019	Cotuí	No	18.95881	-70.12967
D	MAH	7-25-043	Cotuí	No	19.07804	-70.14839
E	ABG	9-10-061	Nagua	Si	19.331662	-69.8977553
F	JAF	9-04-012	Nagua	Si	19.276238	-69.9535348
G	LMJ	9-08-004	Nagua	No	19.3254461	-69.8861955
H	CRM	9-10-696	Nagua	No	19.3254461	-69.948393

Fuente: Elaboración propia a partir Informe técnico de la producción de Conacado.

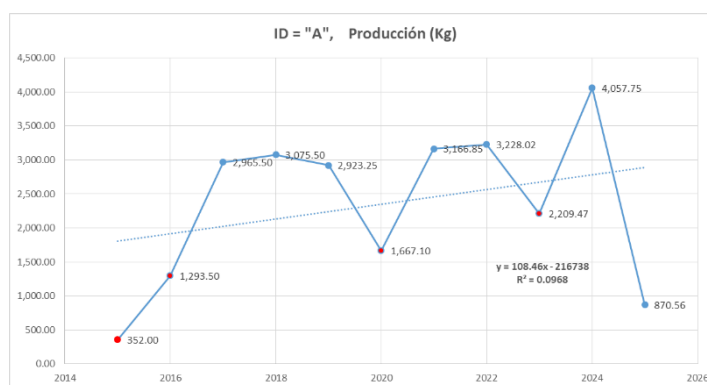
Como ya se expresó anteriormente, en el anexo 19, aparece la información obtenida para cada productor, pero tomando el elemento de la tabla 49 con ID= A y código 7-14-033, se puede ilustrar la metodología utilizada, este productor de buenas prácticas en el área geográfica de Cotuí, con la finca georreferenciada (7-14-033-01), presento un volumen de venta de su producción a Conacado desde el 2015 al 2025, como muestra la tabla siguiente:

Tabla 49. *Valores de Producción e indicadores para el productor A.*

Tiempo (años)	Producción (Kg)	HWSI	Td (%)
2015	352.00	NA	-55.64134225
2016	1,293.50	0.00	-11.77063879
2017	2,965.50	0.060194506	-12.80370405
2018	3,075.50	0.156963879	1.776350711
2019	2,923.25	0.448969167	28.2955112
2020	1,667.10	0.2633996	10.72158601
2021	3,166.85	0.281505941	16.92961683
2022	3,228.02	0.170168453	-4.887515349
2023	2,209.47	0.271124881	3.581148496
2024	4,057.75	0.283884553	23.10994895
2025	870.56	0.157846843	0.689038244
Total/Promedio	25,809.50	0.209405782	0.00

Fuente: Elaboración propia a partir de informes de producción y de los cálculos en PyQGIS.

Figura 69. Valores de Producción e indicadores para el productor A.



Fuente: Elaboración propia a partir de la Tabla 49.

La gráfica en la Figura 69 muestra una tendencia con un incremento positivo de la producción vendida a Conacado en el tiempo, sin embargo existen puntos señalados en rojo, que indican los puntos de más bajo volúmenes de ventas de la producción (kg), siendo el 2015, el año de menor volumen, seguido de los periodos (2019-2020) y el (2023-2024), lo cual podemos observar que coinciden con (Aquino, 2019), (Piera, 2023), que en los últimos 15 años en República Dominicana, los años de mayores sequías han sido (2014-2015), (2018-2019) y el 2023, considerados críticos y severos, con impactos significativos en la agricultura y los recursos hídricos.

En estos periodos se destacó la sequía de 2015 como una de las peores en décadas, seguida por la prolongada escasez de 2019, que muchos consideraron la más acentuada en 50 años, al mismo tiempo también se reportó una sequía estacional (noviembre-abril) crítica en 2023, afectando el suministro de agua, con un déficit de precipitaciones, donde eventos como El Niño han exacerbado estas sequías, prolongando su impacto más allá de la temporada normal, generándose pérdidas económicas en el sector agropecuario y problemas en el suministro de agua potable, riego y ganadería.

Existe una abundante literatura científica que expresa la necesidad del monitoreo de la deforestación, del estrés hídrico y la disponibilidad de agua en zona de cultivos tropicales, utilizando métodos de percepción remota basada en los satélites (Landsat 8/9 y Sentinel-2) para la gestión de los sistema de riego y el manejo sostenible en sistemas agroforestales (Torres-Quezada et al., 2025); (Valencia et al., 2022); (Kalischek et al.,

2023) y (Itohan-Osa Abu et al., 2021). Es de conocimiento, que de acuerdo a Torres-Quezada et al. (2025) y Owusu Anyimah et al. (2021), el estrés hídrico es la condición en la cual la demanda de agua es mayor que la disponibilidad en un ecosistema, cultivo o territorio. En agricultura del cacao, suele medirse como el grado en que un cultivo no recibe el agua necesaria para su óptimo desarrollo, afectando su crecimiento óptimo y fisiológico, debido a sequías o mala gestión (Villalaz-Pérez et al., 2023). El cálculo del índice de estrés hídrico (WSI) se puede establecer a través de la ecuación:

$$WSI = \frac{\text{Demanada de agua}}{\text{Disponibiidad de agua}} \quad (12)$$

Donde la demanda de agua es igual a la Evotranspiración del cultivo (ETc), mientras que la disponibilidad se puede medir a través de la precipitación, escorrentía o percolación.

Bajo la técnica de teledetección, utilizando satélites (satélites Landsat 8/9 y Sentinel-2), el índice de estrés hídrico (Hydrological Water Stress Index) (HWSI) para sistemas agroforestales de cacao se calcula de la siguiente forma:

$$HWSI = 1 - \frac{NDWI}{NDVI} \quad (13)$$

Donde NDVI es el índice de vegetación de diferencia normalizada y NDWI es el por ciento de humedad en los cacaotales (Villalaz-Pérez et al., 2023). Adicionalmente, se puede calcular la pérdida de cobertura forestal (deforestación), generalmente causada por varios tipos de situaciones, entre las que se encuentra la propia agricultura, la tasa anual de deforestación se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$Td = \left(1 - \left(\frac{A_t}{A_0} \right)^{1/t} \right) \times 100 \quad (14)$$

Donde A_0 y A_t son el área inicial y final (ha o m^2) de la densidad forestal en t años, aunque también se puede calcular de forma espectral utilizando series del NDVI (Kalischek et al., 2023).

Para el cálculo de los índices NDVI y NDWI utilizando en el polígono de la finca (7-14-033-1) del productor (7-14-033) con imágenes satelitales (Sentinel-2, Landsat8/9), se incluyeron las bandas específicas para cada satélite, teniendo en cuenta cada una de las ecuaciones, y los valores obtenidos, tomando en cuenta los satélites, como aparecen en los pasos siguientes:

1. Para ello se tomaron las coordenadas del polígono de la finca Coordenadas (7-14-033-1).
2. Se estableció una conexión a los satélites utilizando las plataformas (Copernicus, Google Earth Engine).
3. Se descargaron las imágenes (Copernicus, Google Earth Engine).
4. Se utilizaron las bandas calibradas de reflectancia correspondiente en el espectro visible y en el infrarrojo NIR, RED o SWIR.
5. Se procedió al cálculo utilizando PyQGIS, aplicando los filtros de calibración.
6. Y se Aplicaron la fórmula pixel a pixel en el raster como aparece a continuación:

Para el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), que mide el vigor o actividad fotosintética de la vegetación, se utilizó las bandas de Rojo (RED) → absorción por clorofila y infrarrojo cercano (NIR) → alta reflectancia de hojas sanas, con la ecuación:

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \quad (15)$$

En el cálculo para el satélite Sentinel-2 se utilizó RED = banda 4 (665 nm) y NIR = banda 8 (842 nm) y SWIR = banda 11 (1610 nm), quedando la ecuación (15) de la forma siguiente:

$$NDVI = \frac{B8-B4}{B8+B4} \quad (16)$$

Para el cálculo del NDWI la ecuación queda de la siguiente forma:

$$NDWI = \frac{NIR-SWIR}{NIR+SWIR} \quad (17)$$

Quedando el resultado para las bandas correspondientes

$$NDWI = \frac{B8-B11}{B8+B11} \quad (18)$$

Y como resultado el estrés hídrico de la ecuación (13) puede medirse en las bandas siguientes:

$$HWSI = 1 - \frac{\left(\frac{B8-B11}{B8+B11}\right)}{\left(\frac{B8-B4}{B8+B4}\right)} \quad (19)$$

En la literatura trabajada conforme a Torres-Quezada et al. (2025), para utilizar los satélites Landsat 8/9, las bandas NIR y SWIR cambian a Banda=5 y Banda=6/7 respectivamente. Dando continuidad al trabajo de las ecuaciones (14) y (19), se obtienen los valores que completan la tabla 49 para la finca del productor (7-14-033) analizado y se procede al cálculo de un modelo de regresión lineal multivariable con Rstudio para determinar cuánto explican el estrés hídrico promedio anual y la deforestación la cantidad de producción de cacao vendida por el productor cada año a Conacado, arrojando los resultados de salida siguientes:

```
Call:
lm(formula = Prod ~ HWSI + Td)

Coefficients:
                (Intercept)                HWSI                Td
                2557.46                -1066.25                38.02

> summary(RegreMult)

Call:
lm(formula = Prod ~ HWSI + Td)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-1544.80  -670.15   35.38   847.67  1037.83

Coefficients:
                Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  2557.46    1199.30    2.132  0.0704.
HWSI        -1066.25    7056.44   -0.151  0.8842
Td           38.02     64.52    0.589  0.5742
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 1034 on 7 degrees of freedom
(1 observation deleted due to missingness)
Multiple R-squared:  0.1682, Adjusted R-squared:  -0.06941
```

F-statistic: 0.7079 on 2 and 7 DF, p-value: 0.5248

Spearman's rank correlation rho

```
data: HWSI and Prod
S = 102, p-value = 0.279
alternative hypothesis: true rho is not equal to 0
sample estimates:
rho
0.3818182
```

Tratando de un obtener un modelo de regresión lineal multivariable aplicando Rstudio, del tipo:

$$Prod_t = \beta_0 + \beta_1 HWSI_t + \beta_2 Td_t \quad (20)$$

Se obtuvo

$$Prod_t = -1066.25 HWSI_t + 38.02 Td_t + 2557.46 \quad (21)$$

En la ecuación (21) se puede observar que el coeficiente ($\beta_1 = -1066.25$) que acompaña al estrés hídrico (HWSI) es negativo, lo que pudiera significar que en los periodos de mayor estrés hídrico los valores de producción entregados por los productores es más bajo, debido a la baja en la productividad por efectos climatológicos, como se pudo apreciar en la gráfica 64 y en la literatura consultada (Piera, 2023), pero sin embargo la prueba F, del resultado estadístico ($p = 0.52 > 0.05$) cae en la zona de rechazo de la hipótesis alternativa, dado que al parecer las variables independientes (HWSI y Td) no explican significativamente el comportamiento variacional de forma global de la producción, lo que puede estar explicado por las pequeña cantidad de datos o evidencias (9 valores) que presento el procedimiento de percepción remota para la variable (HWSI) para los 10 años de muestreo (Montemayor, 2018).

Aunque al aplicar el test de hipótesis de Spearman para la correlación la hipótesis alternativa queda como verdadera ($\rho = 0.38 \neq 0$), diciendo que existe una correlación entre el estrés hídrico y la producción entregada, esta situación quedaría resuelta con un seguimiento mensual de los datos durante cada campaña de cultivo de cacao, en el

periodo analizado (2015-2025) para poder recoger más información sobre la variabilidad de las variables. También durante el trabajo de campo con grupos focales con productores, se pudieron recoger evidencias de que no todos los productores venden la producción completa a Conacado y esa variabilidad no queda explicada dentro del modelo, con independencia del comportamiento climático de las zonas en explotación y las prácticas agroecológicas que estos realizan.

Para culminar el estudio cuantitativo longitudinal de las variables, se utilizaron series temporales del índice de estrés hídrico promedio mensual y la tasa de deforestación (HWSI, Td) para el mismo intervalo temporal (2015 – 2025), con la finalidad de estimar el valor del estrés hídrico para los tres primeros meses del año 2026, porque como expresa la literatura consultada, esta variable refleja un comportamiento estacional en República Dominicana en los meses de Noviembre a Marzo, lo que permitirá a los productores planificar su plan de manejo agroecológico y de aplicación de bioinsumos de la finca basado en datos estimados de las variables edafoclimáticas de sus predios productivos, que puedan ser enviados a Biofábrica.

Para esta estimación se utilizó la técnica de ingeniería de características, que, conforme a Murel (2025), consistió en transformar datos sin procesar de los índices promedios mensuales de las variables climáticas (HWSI, Td) del proceso de teledetección, utilizando PyQGIS, y convertirlos en información relevante para el entrenamiento de modelos de aprendizaje automático (ML), como los modelos Random Forest y XGBoost. Este procedimiento permitió crear en el mapa QGIS una capa raster del predio productivo (7-14-033-1) del productor (7-14-033) de Cotuí, para mapear la distribución de las zonas de estrés hídrico y su clasificación, utilizando el modelo de clasificación Random Forest y al mismo tiempo poder determinar por el modelo XGBoost cuáles serían los valores de la variable HWSI para los meses de Enero, Febrero y Marzo del año 2026, de forma tal que se pueda planificar el manejo para la resiliencia climática del cultivo en esas etapas.

Basado en la literatura sobre estrés hídrico en cultivos perennes tropicales como los sistemas agroforestales en cacao (Del Rocio De La A-Salinas et al., 2025); (Moraiti y otros, 2024); (Dev Acharya et al., 2018); (Osorio Zambrano et al., 2021); (Owusu

Anyimah et al., 2021) y (Katimbo y otros, 2022), se obtiene la tabla de clasificación siguiente:

Tabla 50. *Clasificación del estrés hídrico en cultivos tropicales perenes.*

Clases de HWSI	Interpretación en cacao	Condición
0.0 – 0.25	Óptimo	Buena humedad del suelo
0.25 – 0.50	Estrés leve	Inicio de déficit
0.50 – 0.70	Estrés moderado	Puede afectar crecimiento
0.70 – 0.85	Estrés alto	Afecta floración y cuajado
0.85 – 1.0	Estrés severo	Pérdida crítica de producción

Fuente: Elaboración propia a partir de la revisión de la literatura.

Y procesando los datos HWSI promedio mensual (2015 – 2025), utilizando PyQGIS para el modelo XGBoost, se obtuvieron los siguientes resultados:

$$HWSI_{01/2026} = 0.799784$$

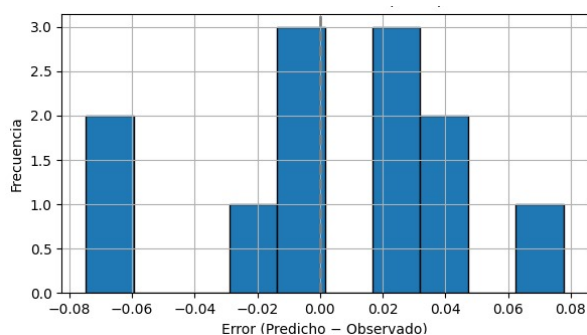
$$HWSI_{02/2026} = 0.799784$$

(22)

$$HWSI_{03/2026} = 0.847907$$

Se puede observar en la gráfica 70, que el algoritmo de entrenamiento para la estimación del HWSI, tuvo un excelente rendimiento, condicionalmente los valores predicho y los observados quedaron muy cercano a la línea de tendencia central, algo que se puede apreciar en la gráfica 71, donde la curva de los valores esperados sigue muy de cerca a la curva de los valores observados, de lo que se puede inferir que el pronóstico de los valores de estrés hídrico para el año 2026 fueron determinados de forma excelente, siempre teniendo en cuenta el error de la medición satelital que genero el conjunto de datos de entrenamiento para realizar la ingeniería de característica, para lo cual se tiene el resultado de la siguiente distribución de los errores durante en el entrenamiento para la estimación, como aparece a continuación:

Figura 72. *Distribución de errores de la estimación de la serie HWSI 2025.*



Fuente: Elaboración propia a partir de los resultado del entrenamiento del modelo XGBoost con PyQGIS.

Como es conocido, en este estudio del padrón de los productores de Conacado, un gran porcentaje de ellos (87.5 %) (Ver tabla 18) poseen fincas muy pequeñas (<2 ha) o pequeña (2–5 ha) y como se sabe el tamaño de cada pixel en la capa raster para un satélite Sentinel-2, es de (10 m – 20 m), esto implica que la cantidad de pixel que tienen los algoritmos (Random Forest y XGBoost) para realizar su análisis es pequeño y por ende la medición puede ser menos exactos que al utilizar un dron con una cámara hiperespectral que sobrevuele las plantaciones, aunque existen aplicaciones actuales de compatibilidad en las mediciones (Naethe et al., 2024); (Li et al., 2024); (Yu et al., 2025) y (S. Saunier & E. De Grandis, 2023), que a partir de una medición satelital se puede determinar el nivel de incertidumbre para a estimación del valor con un dron, pero el desarrollo de este método esta fuera de los alcance de esta investigación.

Lo anteriormente expuesto se puede apreciar en las gráficas satelitales de la finca georreferenciada y su correspondiente capa ráster con la calificación según el algoritmo Random Forest, obtenidas en QGIS y la programación con PyQGIS, como aparece a continuación:

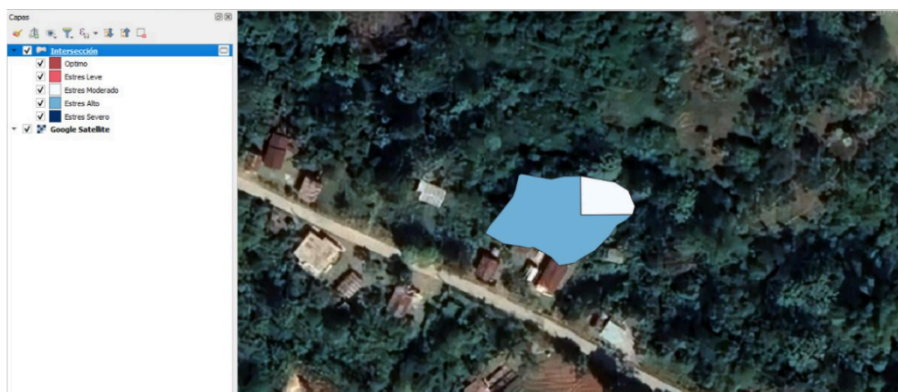
Figura 73. Georreferenciación de la finca (7-14-033-1) en QGIS.



Fuente: Elaboración propia a partir del ploteo de la coordenadas en QGIS.

La imagen en la Figura 73 encierra el polígono de la finca (7-14-033-1), que mide aproximadamente 1.3 ha, lo que implica que para un mapa raster del satélite Sentinel-2, puede tener aproximadamente (32 – 129) píxeles, donde la escala de clasificación que aparece a la izquierda de la Figura 74 muestra que más del 80 por ciento presenta un estrés hídrico alto ($0.70 \leq \text{HWSI} \leq 0.85$), mientras que en la otra parte restante de la finca ($0.50 \leq \text{HWSI} \leq 0.70$) el estrés hídrico es moderado, como muestra la figura siguiente:

Figura 74. *Capa raster de la finca con la distribución espacial del HWSI.*



Fuente: Elaboración propia a partir del ploteo del HWSI utilizando Random Forest y PyQGIS.

Después de analizar cada método empleado desde la georreferenciación de la finca, podemos manifestar que las etapas para la confección de un gemelo digital o un mapa digital completo de cada predio productivo en Conacado, dentro de cada ciclo agronómico del proceso de certificación orgánico de la producción pueden ser las siguientes:

- a) Obtención de los mapas de caracterización de las variables edáficas para la medición de la materia orgánica, la composición química y nutricional del suelo, por medio de sensores IoT en los campos agrícolas a través de redes NeuroDifusa y el método geoestadístico de kriging ordinario (ver figuras 10y11).
- b) La estimación del estrés hídrico y otra variables climáticas (HWSI, NDVI y NDWI) por medio de la teledetección para los periodos fundamentales del cambio climático, ya sea por drones o satélites, utilizando el ML y la ingeniería de características con el algoritmo XGBoost (ver ecuación 22), de conjunto con la clasificación geoespacial de estas variables dentro de la finca, utilizando el algoritmo Random Forest (ver figura 74).
- c) El Control y manejo de la composición etaria y de la eficiencia genética (clones) de las plantaciones (ver figura 35) para renovar o revitalizar las explotaciones de cacao.

Estas etapas o procedimientos constituyen los elementos de gestión de la información necesarios y suficientes, que en conjunto a un óptimo sistema de trazabilidad y calidad (certificación) de la producción, soportaran el régimen productivo de todas las explotaciones durante cada campaña en el biosistema agroalimentario, permitiéndole transitar de un régimen de baja productividad (0.6 qq/ta), que posee hoy, a un nivel óptimo mayor de mayor rendimiento (≈ 2.0 qq/ta), dado que pueden controlarse las variables fundamentales (Climáticas, fertilidad del suelo, control etario y la eficiencia del manejo orgánico o agroecológico de la plantación), para enviar a los productores con antelación las acciones precisas para mantener la producción en un nivel óptimo a pesar de los cambios climáticos y las variaciones que surjan en la explotación.

Esta capa de gestión integrada al sistema general de inteligencia empresarial de Conacado, basado en tecnologías blockchain para el monitoreo de toda la cadena de valor, siguiendo la estructura metodológica del modelo RAMI 4.0 para cada elemento ciberfísico que conforma el ciclo de administración agroindustrial, permitirá que cada explotación de cacao pueda generar una demanda al sistema de planificación de la producción de bioinsumos de una biofábrica, formándose un sistema de gestión de una Bioeconomía del Cacao dominicano.

3.6.5. Análisis de los resultados del cuestionario aplicado a un grupo mixto de stakeholders para la validación técnica, social y funcional de un prototipo de plataforma de agricultura 4.0 para Conacado.

Con el sistema de gestión de la información para la toma de decisiones del Biosistema agroalimentario de cacao descrito anteriormente, se diseñó como un prototipo o MOCKUP de la plataforma AgrosTIC 4.0, que se desarrolló en la fase proyectiva de este trabajo de investigación, a través de talleres participativos y grupos focales, utilizando Design Thinking, para llegar a la definición de los módulos funcionales de la plataforma y los flujos de información, obteniéndose una arquitectura funcional y visual.

Al mockup de la plataforma AgrosTIC 4.0 se le realizaron pruebas de validación técnica, social y funcional con una muestra intencional de stakeholders de CONACADO (35

participantes) y también con el test de alfa de Cronbach, para medir fiabilidad y consistencia del instrumento, arrojándose los resultados siguientes:

1. Para medir la fiabilidad y consistencia con el test de Alfa de Cronbach, se utilizó el software estadístico Rstudio, cuyos resultados medidos en la escala (1 = Muy deficiente | 2 = Deficiente | 3 = Aceptable | 4 = Buena | 5 = Excelente) se muestran a continuación:

```
Reliability analysis
Call: psych::alpha(x = Datos)

raw_alpha std.alpha G6(smc) average_r S/N ase mean sd median_r
0.88      0.88      0.95      0.35 7.6 0.028 4.7 0.35 0.34

95% confidence boundaries
      lower alpha upper
Feldt   0.82  0.88  0.93
Duhachek 0.83  0.88  0.94
```

Como se puede apreciar el coeficiente de Cronbach es ($\alpha = 0.88$), lo que muestra que el valor la confiabilidad y consistencia del instrumento y los resultados son muy buenos para aceptar el instrumento aplicado y reforzar la opinión de los expertos que lo evaluaron.

Para el caso de la validación técnica del prototipo se midieron los resultados de cinco variables fundamentales como aparecen a continuación:

Tabla 51. *Validación de la interfaz del prototipo de AgrosTIC 4.0.*

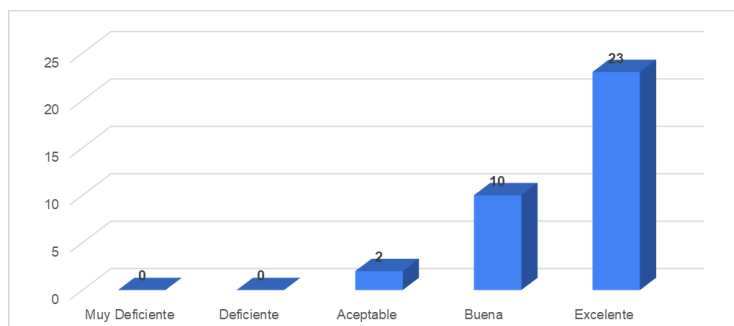
1. La interfaz del prototipo es clara y fácil de entender?	Xi	Fa	Fr (%)	Xi Fa
Muy Deficiente	1	0	0.0	0.0
Deficiente	2	0	0.0	0.0
Aceptable	3	2	5.7	6.0
Buena	4	10	28.6	40.0
Excelente	5	23	65.7	115.0
Total		35	100.0	161.0

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados de la encuesta de validación del Mockup.

El valor medio de esta variable fue (Media = 4.6), lo que significa que la valoración de la interfaz del prototipo es muy buena, ya que más del 65% de los stakeholders lo

declararon excelente y el otro 35% lo declaró entre aceptable y bueno, como lo expresa el gráfico siguiente.

Figura 75. Validación de la interfaz del prototipo de AgrosTIC 4.0.



Fuente: Elaboración propia a partir la tabla 51.

Para el caso de la comprobación de si los módulos de monitoreo, trazabilidad y de gestión productiva son útiles para la gestión del cacao, se obtuvieron los siguientes resultados:

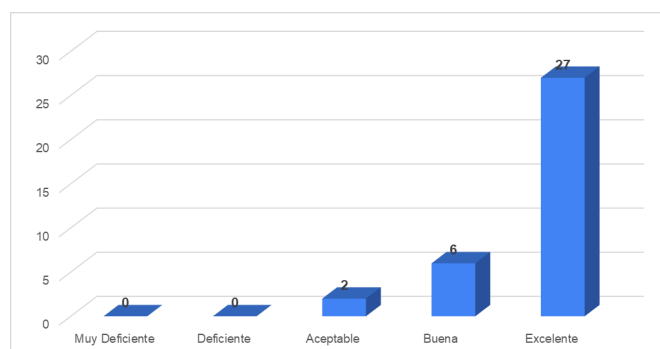
Tabla 52. Los módulos de monitoreo, trazabilidad y de gestión productiva son útiles para la gestión del cacao.

2. Los módulos (monitoreo, trazabilidad, gestión productiva) son útiles para la gestión del cacao.	Xi	Fa	Fr (%)	Xi Fa
Muy Deficiente	1	0	0.0	0.0
Deficiente	2	0	0.0	0.0
Aceptable	3	2	5.7	6.0
Buena	4	6	17.1	24.0
Excelente	5	27	77.1	135.0
Total		35	100.0	165.0

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados de la encuesta de validación del Mockup.

Como se puede ver, el 77.1% de los stakeholders los declararon de excelente y el otro grupo restante de bueno y aceptable, con un valor medio de (Media = 4.71), lo que demuestra un gran nivel de aceptación de las facilidades que ofrece la plataforma AgrosTIC 4.0 para el grupo Conacado, visto en la gráfica siguiente:

Figura 76. *Utilidad de los módulos de monitoreo, trazabilidad y de gestión productiva en la gestión del cacao.*



Fuente: Elaboración propia a partir de la tabla 52.

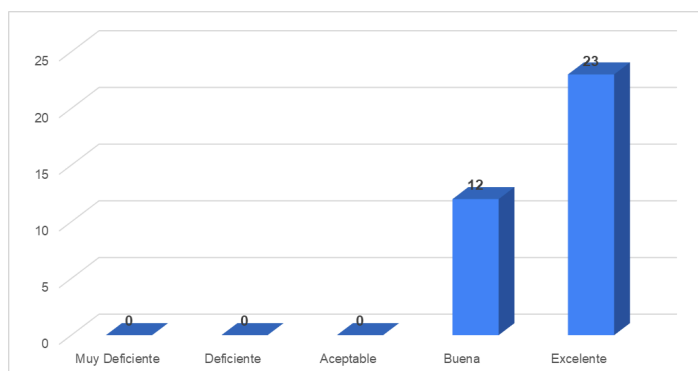
Asimismo, sobre la utilidad de los módulos de la plataforma AgrosTIC 4.0, también se trabajó sobre el análisis de ver si estas facilidades aportan a la toma de decisiones técnicas o de gestión, a lo que los stakeholders respondieron:

Tabla 53. *Cómo la plataforma aportará a la toma de decisiones técnicas o de gestión.*

3. El prototipo facilita la toma de decisiones técnicas o de gestión.	Xi	Fa	Fr (%)	Xi Fa
Muy Deficiente	1	0	0.0	0.0
Deficiente	2	0	0.0	0.0
Aceptable	3	0	0.0	0.0
Buena	4	12	34.3	48.0
Excelente	5	23	65.7	115.0
Total		35	100.0	163.0

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados de la encuesta de validación del prototipo.

El 100% de los especialistas dieron su clasificación de buena y excelente, con un 65% declarándolas de excelente, lo que también arrojó una media aritmética muy alta también (Media=4.66), por lo que se puede inferir que la plataforma constituirá una excelente herramienta de trabajo para la explotación del cacao.

Figura 77. *Cómo la plataforma aportará a la toma de decisiones técnicas o de gestión.*

Fuente: Elaboración propia a partir de la tabla 53.

En la gráfica anterior se aprecia que un 23/35 de los stakeholders manifiestan la excelencia del prototipo de AgrosTIC 4.0, como herramienta para la toma de decisiones.

Adicionalmente a los estudios anteriores se realizaron otros análisis en la dimensión técnica, como fueron ver si las funcionalidades de los dashboards representaban correctamente el proceso productivo y finalmente analizar si la visualización de datos geográficos (QGIS/AlphaEarts) es comprensible y útil, donde el grupo de expertos, para el caso de las funcionalidades de los dashboards del proceso respondieron:

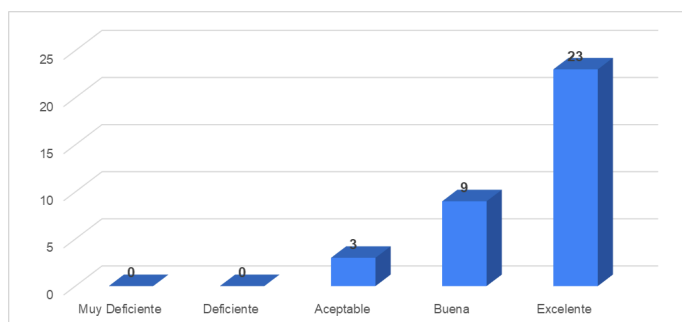
Tabla 54. *Las funcionalidades del Dashboard.*

4. Las funcionalidades del Dashboard representan correctamente el proceso productivo.	Xi	Fa	Fr (%)	Xi Fa
Muy Deficiente	1	0	0.0	0.0
Deficiente	2	0	0.0	0.0
Aceptable	3	3	8.6	9.0
Buena	4	9	25.7	36.0
Excelente	5	23	65.7	115.0
Total		35	100.0	160.0

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados de la encuesta de validación del prototipo.

Con un valor medio por encima de la clasificación de Buena (Media=4.57) y más de un 65% de los especialistas categorizando los dashboards como excelentes, la plataforma se confirma como un medio técnico de gran utilidad, visto también desde el punto de vista gráfico:

Figura 78. Las funcionalidades del Dashboard.



Fuente: Elaboración propia a partir de la tabla 54.

Se puede apreciar en la gráfica anterior que el 100% de las clasificaciones se encuentran en la zona positiva de la variable, con más de un 65% de los especialistas que opinan que el proceso productivo está muy bien representado en los dashboards y esto es muy ventajoso para el desarrollo del trabajo técnico con los productores de Conacado, debido a la forma gráfica e intuitiva que se pueden llevar los indicadores de rendimiento de sus explotaciones.

Para el caso de analizar si la visualización de datos geográficos (QGIS/AlphaEarts) es comprensible y útil, los resultados fueron:

Tabla 55. Utilidad de la visualización de los datos con QGIS.

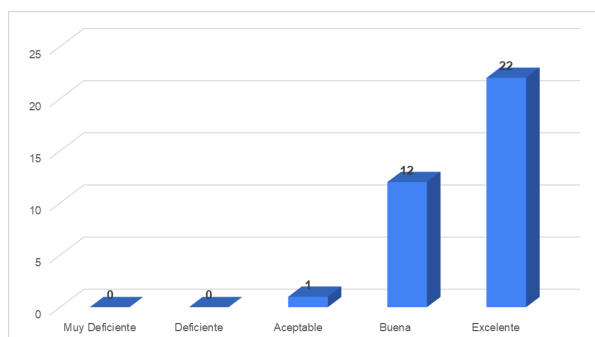
5. La visualización de datos geográficos (QGIS/AlphaEarts) es comprensible y útil.	Xi	Fa	Fr (%)	Xi Fa
Muy Deficiente	1	0	0.0	0.0
Deficiente	2	0	0.0	0.0
Aceptable	3	1	2.9	3.0
Buena	4	12	34.3	48.0
Excelente	5	22	62.9	110.0
Total		35	100.0	161.0

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados de la encuesta de validación del prototipo.

La media aritmética de esta variable (Media=4.60), al igual que las anteriores, muestra valores muy buenos cercanos a la excelencia, lo que significa que las representaciones visuales en los gráficos de QGIS son importantes para el entendimiento técnico de las variables de producción, aunque la clasificación visual basada en colores de una variable

de naturaleza climática o edáfica dentro de un predio productivo requiera tiempo para su entendimiento y aplicación. A pesar de ellos en la gráfica 79 la gran mayoría (22/35) de los stakeholders dieron juicio de ser una excelente metodología, pues ello les orienta las zonas de especial interés o aplicación dentro de la finca.

Figura 79. Utilidad de la visualización de los datos con QGIS.



Fuente: Elaboración propia a partir la tabla 55.

Otro elemento clave para la valoración del Mockup, es la dimensión social y organizacional, pues como establece (Sargana García, 2021) en su trabajo, para que un proyecto de agricultura digital tenga éxitos deben estar representados los intereses de las partes interesadas del proyecto y sus necesidades específicas de desempeño, ambientales y sociales. En cuanto a las principales variables de análisis se encuentra si la plataforma fortalece la cooperación entre productores y técnicos, para lo que se obtuvo:

Tabla 56. Nivel de fortalecimiento de la cooperación entre productores y técnicos al utilizar AgrosTIC 4.0.

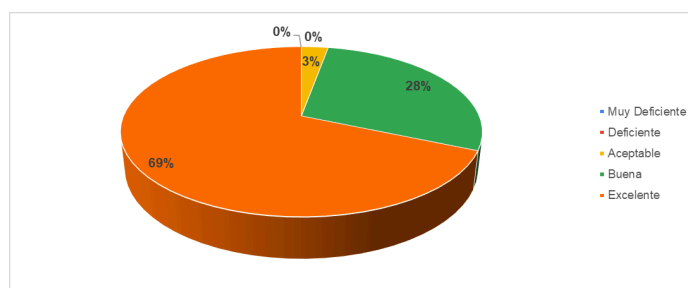
1. La plataforma fortalecería la cooperación entre productores y técnicos.	Xi	Fa	Fr (%)	Xi Fa
Muy Deficiente	1	0	0.0	0.0
Deficiente	2	0	0.0	0.0
Aceptable	3	1	2.9	3.0
Buena	4	10	28.6	40.0
Excelente	5	24	68.6	120.0
Total		35	100.0	163.0

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados de la encuesta de validación social del prototipo.

La tabla anterior (tabla 56) muestra que la plataforma es un importante medio de interacción de todos los actores y un recurso esencial para el despliegue del

extensionismo digital y el monitoreo dinámico de la certificación, trazabilidad y la producción agroecológica en Conacado, dado que el valor medio de la variable obtenida (Media = 4.66) es muy cercano a la calificación de Excelente, por parte de los diferentes actores, donde aproximadamente el 69% eligió esta categoría de clasificación (ver figura 80).

Figura 80. Nivel de fortalecimiento de la cooperación entre productores y técnicos al utilizar AgrosTIC 4.0.



Fuente: Elaboración propia a partir de la tabla 56.

Al igual que el nivel de integración y fortalecimiento entre los actores, otra variable de especial interés en el ámbito social y organizativo es observar si la plataforma puede mejorar la transparencia y trazabilidad del cacao orgánico, obteniéndose los resultados de la siguiente tabla:

Tabla 57. Mejorar la transparencia y trazabilidad del cacao orgánico.

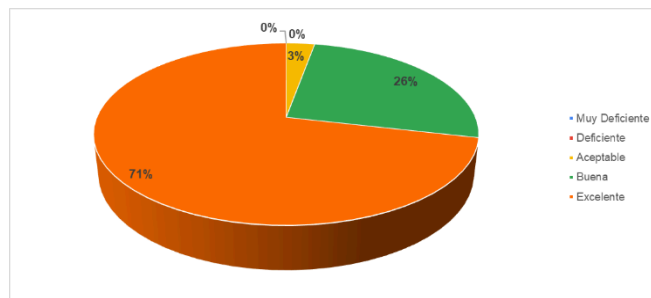
2. Mejoraría la transparencia y trazabilidad del cacao orgánico.	Xi	Fa	Fr (%)	Xi Fa
Muy Deficiente	1	0	0.0	0.0
Deficiente	2	0	0.0	0.0
Aceptable	3	1	2.9	3.0
Buena	4	9	25.7	36.0
Excelente	5	25	71.4	125.0
Total		35	100.0	164.0

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados de la encuesta de validación social del prototipo.

Aproximadamente el 71% de los stakeholders (ver figura 81) creen que la automatización y digitalización que propone la plataforma para la trazabilidad y la

transparencia del cacao pueden ser excelentes, un 100% de ellos la consideran dentro de la aceptación, dándole un valor medio a la variable (Media = 4.69) muy alto.

Figura 81. *Mejorar la transparencia y trazabilidad del Cacao orgánico.*



Fuente: Elaboración propia a partir de la tabla 57.

Otra variable dentro del estudio fue el análisis de si la plataforma AgrosTIC 4.0 facilitaría la capacitación digital y la adopción de tecnologías 4.0 en CONACADO, lo cual recibió la respuesta esperada, como aparece a continuación:

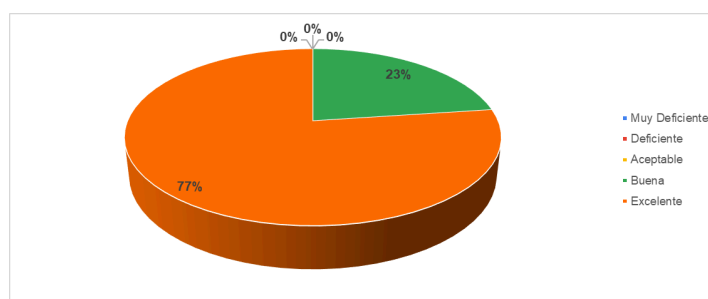
Tabla 58. *Las facilidades que ofrece AgrosTIC 4.0 para la capacitación y adopción digital.*

3. Facilitaría la capacitación digital y la adopción de tecnologías 4.0 en CONACADO.	Xi	Fa	Fr (%)	Xi Fa
Muy Deficiente	1	0	0.0	0.0
Deficiente	2	0	0.0	0.0
Aceptable	3	0	0.0	0.0
Buena	4	8	22.9	32.0
Excelente	5	27	77.1	135.0
Total		35	100.0	167.0

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados de la encuesta de validación social del prototipo.

Donde el 77.1% de los encuestados manifestaron que la plataforma es una excelente opción para trabajar en su desarrollo digital y el cambio de paradigma, el otro 22.9% manifestó que es una buena herramienta para estos fines (ver figura 82).

Figura 82. Las facilidades que ofrece AgrosTIC 4.0 para la capacitación y adopción digital.



Fuente: Elaboración propia a partir la tabla 58.

El alto valor medio en esta variable (Media=4.77) debe estar asociado al hecho de que cada rol fundamental (productores, técnicos, empresarios) tiene la posibilidad de contar con un módulo para su desempeño dentro de la plataforma.

Otros dos importantes resultados en la evaluación del impacto social de la plataforma son el análisis de la contribución de esta a la sostenibilidad social y económica de las comunidades cacaoteras y también cómo la adopción de esta herramienta digital sería aceptada por los miembros de la organización. Para la primera de estas dos variables, el resultado fue el siguiente:

Tabla 59. Contribución de AgrosTIC a la sostenibilidad social y económica de las comunidades.

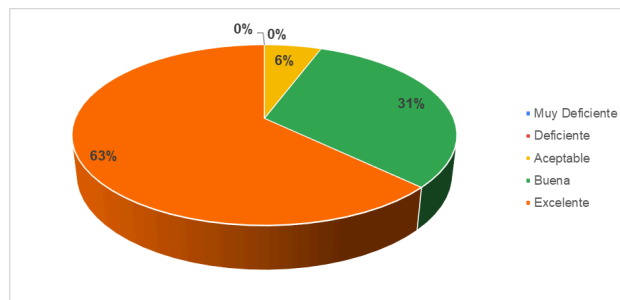
4. Contribuiría a la sostenibilidad social y económica de las comunidades cacaoteras.	Xi	Fa	Fr (%)	Xi Fa
Muy Deficiente	1	0	0.0	0.0
Deficiente	2	0	0.0	0.0
Aceptable	3	2	5.7	6.0
Buena	4	11	31.4	44.0
Excelente	5	22	62.9	110.0
Total		35	100.0	160.0

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados de la encuesta de validación social del prototipo.

Con un valor medio de la variable (Media=4.57) también muy cercano a la más alta calificación ($X_i = 5 = \text{Excelente}$), donde más del 94% de los encuestados opina que la contribución a la sostenibilidad social y económica a las comunidades será buena o excelente (ver figura 83), se demuestra que las partes interesadas pueden apreciar el

objetivo superior detrás de la tecnología de la plataforma de aumentar la productividad y la calidad de las producciones, algo que implícitamente traerá mayor volumen de producción y por ende mayores niveles de ingresos con la misma cantidad de tierra en explotación y mano de obra, lo que es directamente proporcional al aumento de las economías familiares de esos productores y de la empresa en general.

Figura 83. *Contribución de AgrosTIC a la sostenibilidad social y económica de las comunidades.*



Fuente: Elaboración propia a partir de la tabla 59.

Para cerrar el análisis de la dimensión social se analizó una última variable, la cual estudia cómo la adopción de esta herramienta digital sería aceptada por los miembros de la organización, a lo cual el grupo muestral de las partes interesadas respondió:

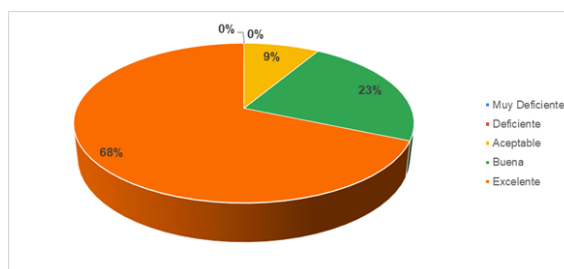
Tabla 60. *Nivel de aceptación de AgrosTIC 4.0 por los miembros de la organización.*

5. La adopción de esta herramienta digital sería aceptada por los miembros de mi organización.	Xi	Fa	Fr (%)	Xi Fa
Muy Deficiente	1	0	0.0	0.0
Deficiente	2	0	0.0	0.0
Aceptable	3	3	8.6	9.0
Buena	4	8	22.9	32.0
Excelente	5	24	68.6	120.0
Total		35	100.0	161.0

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados de la encuesta de validación social del prototipo.

Para esta variable, la medición del valor medio alcanzado fue (Media=4.60) muy cercana también al máximo valor de la escala, donde aproximadamente un 68% consideraron que la aceptación sería total y el resto del 32% distribuyó su clasificación de aceptable a buena de la aceptación (ver figura 84).

Figura 84. Nivel de aceptación de AgrosTIC 4.0 por los miembros de la organización.



Fuente: Elaboración propia a partir la tabla 60.

La aceptación total de la plataforma AgrosTIC 4.0 debe estar asociada al entendimiento de la necesidad superior de toda la organización de mejorar los kpi de los procesos productivos y de la calidad del producto entregado al mercado internacional. Al mismo tiempo de visualización por parte de los stakeholders de que estas tecnologías pueden contribuir a lograrlo (Tovar-Quiroz, 2023).

En la dimensión que comprende el análisis funcional de la plataforma AgrosTIC 4.0 la respuesta de los encuestados se mantuvo el mismo comportamiento tendencial, todas las respuestas con un valor medio por encima de (Media=4.5) en variables como:

- El escenario de monitoreo de humedad y productividad es realista y aplicable.
- El panel de alertas climáticas o de rendimiento aporta valor a la gestión productiva.
- Los resultados simulados reflejan coherentemente la situación de las parcelas.

Esto indica un amplio nivel de aceptación del nuevo paradigma productivo por parte de todos los actores involucrados, algo que refleja la tabla siguiente:

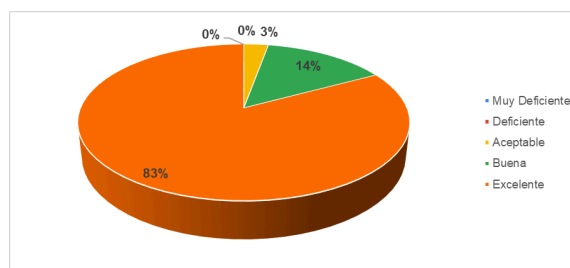
Tabla 61. Disposición al uso de la plataforma AgrosTIC 4.0.

4. Me gustaría utilizar esta plataforma si estuviera disponible en versión operativa.	Xi	Fa	Fr (%)	Xi Fa
Muy Deficiente	1	0	0.0	0.0
Deficiente	2	0	0.0	0.0
Aceptable	3	1	2.9	3.0
Buena	4	5	14.3	20.0
Excelente	5	29	82.9	145.0
Total		35	100.0	168.0

Fuente: Elaboración propia a partir de la encuesta de validación funcional del prototipo.

Donde aproximadamente el 83% (ver Figura 84) de los encuestados manifestó una excelente disposición para a explotación de AgrosTIC 4.0 en la transformación digital del Biosistema Agroalimentario de Conacado, pero aportando algunas sugerencias de mejoras y remarcando algunos obstáculos que el equipo de proyecto debe tener en cuenta durante el proceso de implementación.

Figura 85. Disposición al uso de la plataforma AgrosTIC 4.0.



Fuente: Elaboración propia a partir de la tabla 61.

A pesar de existir un alto nivel de aceptación de la plataforma por parte de los stakeholders, existió un conjunto de señalamientos importantes, dentro de las principales sugerencias de mejoras que se encontraron, así como los posibles obstáculos en el proceso de implementación de la plataforma (AgrosTIC 4.0), estuvieron:

Tabla 62. Sugerencias de mejoras y posibles obstáculos para la implementación de AgrosTIC 4.0.

Sugerencias de mejoras	Posibles obstáculos en el proyecto
Antes de que cualquier despliegue se realice, se realice un profundo e integral programa de Capacitación para todos los actores.	La poca capacitación en Agricultura 4.0 que poseen hoy las partes interesadas en Conacado y el nivel intelectual alcanzado por los productores.
Que la interfaz del productor sea lo más simple e intuitiva posibles y la plataforma AgrosTIC 4.0. y la IA Agrobots deben generar informes, alarmas y reportes periódicos sobre el estado de la dinámica productiva.	La escasa infraestructura de telecomunicación en zonas rurales a nivel nacional.
La aplicación del libro de finca de cada productor pueda correr óptimamente en celulares o teléfonos inteligentes con la incorporación de Whatsapp.	La resistencia al cambio de los actores por la falta de alfabetización tecnológica.
Diagnosticar la infraestructura tecnológica con que cuenta hoy Conacado y verificar que está soporte el módulo de la producción, la trazabilidad y el monitoreo de las operaciones.	Los recursos financieros y técnicos para poder realizar un despliegue tecnológico integral.

Fuente: Elaboración propia a partir de la encuesta de validación funcional del prototipo.

Este último resultado de las variables generadas en la encuesta, donde se aprecia el nivel de aceptación de la plataforma por las partes interesadas, es de mucha importancia para la validación de la hipótesis del trabajo investigación, la cual se desarrollara en el próximo acápite, mientras que las oportunidades de mejoras y los posibles obstáculos, constituyen elementos esenciales para el momento del desarrollo y la implementación de la plataforma, como propuesta de transformación social.

3.6.6. Análisis de los resultados para la validación de la hipótesis de investigación.

Las técnicas e instrumentos utilizados en esta investigación arrojaron un amplio conjunto de informaciones, que han servido para realizar un análisis mixto robusto, utilizando técnicas y métodos cuantitativos y cualitativos, los cuales han permitido ilustrar la hipótesis de investigación desde diferentes dimensiones, por lo se puede decir que la integración del análisis longitudinal de producción cacaotera, la medición de indicadores de estrés hídrico, la deforestación y la modelación espacio-temporal predictiva, junto con procesos participativos de diseño (entrevistas a técnicos y dirigentes, encuestas a productores) y la validación técnica, social y funcional de un prototipo (mockup) de plataforma de Agricultura 4.0, constituyen una base empírica y sociotécnica suficiente para sustentar la viabilidad y aceptación de una plataforma digital orientada a la resiliencia climática, la mejora de la trazabilidad de las operaciones y la gestión inteligente del biosistema agroalimentario de cacao de CONACADO.

La argumentación del párrafo anterior permite que la hipótesis general de este trabajo pueda ser declarada como compleja y multidimensional, y debido a ello la prueba de contrastación de dicha hipótesis, no puede basarse en un simple análisis estadístico, sino en la integración a través de la triangulación metodológica. Esto es debido a que combina las evidencias cuantitativa longitudinal, espacio-temporal, perceptuales a través de encuestas y entrevistas a los actores de Conacado y evidencias de diseño y validación de un prototipo (Mockup), por lo que la investigación demuestra mediante estas evidencias, que el diseño de una plataforma de Agricultura 4.0 para CONACADO es técnica, funcional y socialmente viable, y soportado por el análisis para las hipótesis específicas que respaldan la hipótesis general de la manera siguiente:

Hipótesis general

El diseño de una plataforma de Agricultura 4.0 para la gestión inteligente de la Empresa CONACADO como biosistema agroalimentario de cacao, estructurada bajo un enfoque de integración tecnológica, organizacional y ambiental, y validada técnica, social y funcionalmente, contribuirá de manera significativa y potencial a fortalecer las capacidades de toma de decisiones basadas en datos, mejorar la productividad agrícola, optimizar la eficiencia administrativa, promover la sostenibilidad socioambiental y consolidar la competitividad internacional durante el periodo 2023–2025.

Donde las hipótesis específicas que la soportaron fueron:

Hipótesis específicas H1:

Hipótesis Específica H1

H_0

Existe una relación significativa entre los niveles de estrés hídrico, la deforestación y la producción de cacao entregada por productores seleccionados de CONACADO durante el periodo 2015–2025.

No existe una relación significativa entre los niveles de estrés hídrico, la deforestación y la producción de cacao entregada por productores seleccionados de CONACADO durante el periodo 2015–2025.

H_1

Existe una relación significativa entre los niveles de estrés hídrico, la deforestación y la producción de cacao entregada por productores seleccionados de CONACADO durante el periodo 2015–2025.

Prueba

Regresión lineal multivariable

Para la prueba de contrastación de esta hipótesis (H_1) se obtuvo la ecuación de regresión (21), donde se aprecia una relación lineal entre las variables del estrés hídrico y la tasa de deforestación con relación a la cantidad de producción (

$Prod_t = -1066.25 HWSI_t + 38.02 Td_t + 2557.46$), pero en algunos casos,

con un nivel bajo en la significancia de la correlación (R^2 ajustado = -0.069, $R^2 = 0.16$ y $p = 0.52 > 0.05$), debido a que la cantidad de datos obtenidos, como valores promedio anuales para el estrés hídrico no fueron los suficientes (< 10 observaciones) para determinar con exactitud la naturaleza de la correlación o Debido a que algunos productores no vendían toda su producción a Conacado y por lo tanto esta última variable no puede quedar totalmente explicada por el manejo o las variables climáticas.

Hipótesis específicas H2:

Hipótesis Específica H2

H_0

Existe una relación significativa de tipo inversa entre los niveles de estrés hídrico y la producción de cacao entregada por productores seleccionados de CONACADO durante el periodo 2015–2025.

No existe una relación significativa de tipo inversa entre los niveles de estrés hídrico y la producción de cacao entregada por productores seleccionados de CONACADO durante el periodo 2015–2025.

H_1

Existe una relación significativa de tipo inversa entre los niveles de estrés hídrico y la producción de cacao entregada por productores seleccionados de CONACADO durante el periodo 2015–2025.

Prueba

Correlación de Pearson / Spearman

Para el caso de determinar si hay un nivel de correlación entre el estrés hídrico y el valor de la producción entregada por los productores a Conacado, se realizó la prueba de

Spearman, determinándose que si existe una fuerza de correlación media ($\rho = 0.38 \neq 0$) (numiqo, 2025), entre el estrés hídrico y la producción entregada a Conacado por parte de los productores, vista desde la ecuación (21) de la regresión multivariable, donde el coeficiente de correlación es negativo ($\beta_1 = -1066.25$), aceptándose la hipótesis alternativa.

Hipótesis específicas H3:

Hipótesis Específica H3	Los modelos de regresión multivariable y aprendizaje automático (Random Forest y XGBoost), aplicados sobre datos espacio-temporales, permiten explicar y predecir el comportamiento del estrés hídrico en parcelas cacaoteras seleccionadas.
H_0	Los modelos de regresión multivariable y aprendizaje automático (Random Forest y XGBoost), aplicados sobre datos espacio-temporales, no permiten explicar y predecir el comportamiento del estrés hídrico en parcelas cacaoteras seleccionadas.
H_1	Los modelos de regresión multivariable y aprendizaje automático (Random Forest y XGBoost), aplicados sobre datos espacio-temporales, permiten explicar y predecir el comportamiento del estrés hídrico en parcelas cacaoteras seleccionadas.
Prueba	Predicción

Para el caso de la hipótesis específica (H3), podemos observar que los modelos Random Forest y XGBoost, que son modelos de ML para clasificación y predicción de muy alta eficiencia, los cuales fueron entrenados con bases de datos de los promedios de las variables mensuales obtenidas por teledetección por el satélite Sentinel2 desde la plataforma Copernicus (NDVI, NDMI, HWSI y Td) para el intervalo de tiempo (2015 – 2025), se puede observar en las salidas graficas de la aplicación PyQGIS (ver anexo A.13), utilizando la biblioteca PANDA, donde se puede apreciar que la relación entre los valores esperados y los observados por el modelo son muy cercanos(ver figuras 69 y 70), donde la distribución normal de los errores tienen frecuencia más altas en valores muy cercanos a cero (ver figura 71) , lo que permite ver la eficacia de los modelos de regresión para estimar los valores futuros del estrés hídrico (HWSI) de los primeros meses del año próximo (ver las salidas de la ecuación 22) y la clasificación espacio temporal de la variable en una finca para un día determinado (ver figura 69), lo que permite tomar el resultado de la hipótesis alternativa(H_1) de esta hipótesis específicas(H_3).

Análisis para el contraste de las Hipótesis específicas H4 y H5:

Con el propósito de evaluar la fiabilidad del cuestionario aplicado a los 35 actores vinculados a la Empresa CONACADO, se procedió a estimar la consistencia interna mediante el coeficiente alpha de Cronbach para las dimensiones del instrumento: Evaluación Técnica del Prototipo, Evaluación Social y Organizacional y la Evaluación de Escenarios Simulados y Uso (ver anexo 18).

El instrumento estuvo conformado por 14 ítems distribuidos de la siguiente manera:

- Evaluación Técnica: 5 ítems
- Evaluación Social y Organizacional: 5 ítems
- Evaluación de Escenarios Simulados y Uso: 4 ítems

Donde se pudo apreciar que el $\alpha = 0.88$, demostrando que, debido a criterios metodológicos aceptados en investigación social ($\alpha \geq 0.70$), los valores obtenidos evidencian una adecuada consistencia interna del instrumento, lo que permite afirmar que los ítems presentan coherencia estructural y miden de manera homogénea los constructos definidos.

Para el análisis inferencial se construyeron variables compuestas mediante el promedio aritmético de los ítems de cada dimensión, obteniéndose tres variables continuas en una escala de 1 a 5 (ver ecuaciones 23, 24 y 25).

$$VT = \frac{\sum_{i=1}^5 ET_i}{5} \quad (23)$$

$$VSO = \frac{\sum_{i=1}^5 ESyO_i}{5} \quad (24)$$

$$VEES = \frac{\sum_{i=1}^4 EES_i}{4} \quad (25)$$

Donde:

- VT = X= Evaluación Técnica

- VSO =Y= Evaluación Social y Organizacional
- VEES =Z= Evaluación de Escenarios Simulados

Teniendo en cuenta que el valor teórico neutral de la escala es ($X=3$), se puede desarrollar pruebas de contrastes para determinar si la percepción de los actores superaba significativamente el valor neutral de la escala, por lo que se formuló la hipótesis (H4) para cada dimensión.

Para las pruebas de contraste de las hipótesis específicas (H4), primeramente se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk para cada variable compuesta, con la finalidad de determinar la normalidad de las distribuciones de los valores medios, obteniéndose los valores siguientes:

```
print(resultado1)

Shapiro-Wilk normality test

data: muestraVT
W = 0.9119, p-value = 0.4791

> print(resultado2)

Shapiro-Wilk normality test

data: muestraVSO
W = 0.96907, p-value = 0.8693

> print(resultado3)

Shapiro-Wilk normality test

data: muestraVEES
W = 0.8533, p-value = 0.237
```

Se observó que los valores **p** obtenidos para las tres variables dimensionales son superiores al nivel de significancia ($p > 0.05$), por lo que los datos siguen una distribución normal (Sánchez-Solis et al., 2024) y puede aplicarse la prueba t a cada variable en muestras pequeñas, donde, aplicando Rstudio, se obtuvieron los resultados siguientes:

```
> print(tresultadoVT)
```

One Sample t-test

data: **muestraVT**
 $t = 64.656$, $df = 4$, **p-value = 3.428e-07**
 alternative hypothesis: true mean is not equal to 3
 95 percent confidence interval:

```
> print(tresultadoVSO)
```

One Sample t-test

data: **muestraVSO**
 $t = 47.198$, $df = 4$, **p-value = 1.205e-06**
 alternative hypothesis: true mean is not equal to 3
 95 percent confidence interval:

```
> print(tresultadoVEES)
```

One Sample t-test

data: **muestraVEES**
 $t = 40.967$, $df = 3$, **p-value = 3.201e-05**
 alternative hypothesis: true mean is not equal to 3
 95 percent confidence interval:

4.558091 4.697909
sample estimates:
mean of x 4.628

4.560468 4.755532
sample estimates:
mean of x 4.658

4.595607 4.864393
sample estimates:
mean of x 4.73

Como se puede observar de la salida de maquina anterior, en todos los casos el valor de **p** para las pruebas de hipótesis, utilizando la prueba t para una sola muestra es mucho menor ($p < 0.001$), por lo que se rechaza la hipótesis nula, aceptando la hipótesis alternativa para cada dimensión estudiada, lo que evidencia una aceptación técnica, social y funcional estadísticamente significativa del prototipo, cuyos resultados quedan integrados en la tabla 63, de la forma siguiente:

Tabla 63. Resultado de la prueba t a la validación técnica, social y funcional del Mockup AgrosTIC 4.0.

Dimensión o Variable de contraste	Valor de estadístico t	Valor p de la prueba	Resultado
VT (Evaluación Técnica)	t = 64.656	p = 3.428e-07	Aceptar H ₁
VSO (Evaluación Social y Organizacional)	t = 47.198	p = 1.205e-06	Aceptar H ₁
VEES(Evaluación de Escenarios Simulados)	t = 40.967	p = 3.201e-05	Aceptar H ₁

Fuente: Resultados de la prueba de t a la encuesta de actores

Quedando la prueba de hipótesis en forma explícita de la manera siguiente:

Hipótesis específicas H4:

H₀: $\mu \leq 3$

H₁: $\mu > 3$

Hipótesis Específica H4	Los actores de la cadena de valor del cacao (productores, técnicos y directivos) presentan una alta valoración técnica, social y funcional del prototipo conceptual de la plataforma de Agricultura 4.0.
H ₀	Los actores de la cadena de valor del cacao (productores, técnicos y directivos) no presentan una alta aceptación técnica, social y funcional del prototipo conceptual de la plataforma de Agricultura 4.0.
H ₁	Los actores de la cadena de valor del cacao (productores, técnicos y directivos) presentan una alta aceptación técnica, social y funcional del prototipo conceptual de la plataforma de Agricultura 4.0.
Prueba	Se aplicó la Prueba t para una muestra si la distribución es normal, teniendo en cuenta que el nivel de significancia adoptado fue $\alpha = 0.05$, con resultados de H₁ aceptada.

Para el análisis de la hipótesis (H5), se realizó un estudio de correlación dimensional entre las variables de la aceptación técnica del prototipo (VT) y la de percepción del impacto potencial que tiene la plataforma en la dimensión social y organizacional (VSO) para la gestión inteligente de CONACADO como un biosistema agroalimentario de cacao.

Donde los resultados evaluados en un modelo lineal en Rstudio fueron los siguientes:

```
> x <- sort(muestraVT)
> y <- sort(muestraVSO)
> datos1 <- data.frame(x,y)
> summary(modelo1)
```

Call:
lm(formula = y ~ x, data = datos1)

Residuals:

1	2	3	4	5
-0.010789	-0.020726	0.039274	-0.010599	0.002839

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-1.503	1.115	-1.348	0.2705
x	1.331	0.241	5.524	0.0117 *

Residual standard error: 0.02713 on 3 degrees of freedom
Multiple **R-squared: 0.9105**, Adjusted **R-squared: 0.8807**
F-statistic: 30.52 on 1 and 3 DF, p-value: 0.01168

Asumiendo que el estadístico de prueba es el coeficiente de correlación R^2 , donde para valores superiores a 0.6 se aceptaría la hipótesis alternativa, como queda planteado en el supuesto siguiente:

Hipótesis específicas H5:

$$H_0: R^2 \leq 0.6$$

$$H_1: R^2 > 0.6$$

Hipótesis Específica H5	La integración conceptual de tecnologías de Agricultura 4.0 en el diseño de la plataforma es percibida como un facilitador para la gestión inteligente de CONACADO como biosistema agroalimentario.
H_0	La integración conceptual de tecnologías de Agricultura 4.0 en el diseño de la plataforma no es percibida como un facilitador para la gestión inteligente de CONACADO como biosistema agroalimentario.
H_1	La integración conceptual de tecnologías de Agricultura 4.0 en el diseño de la plataforma es percibida como un facilitador para la gestión inteligente de CONACADO como biosistema agroalimentario.
Prueba	Análisis de correlación entre las variables dimensionales VT y VSO de AgrosTIC 4.0

Para el caso específico de la hipótesis (H5), podemos decir que el hecho de haber encontrado una correlaciones altas ($R^2 = 0.9105 > 0.6$, con $p < 0.05$), se puede afirmar que se evidencia coherencia estructural en la aceptación integral del diseño, lo que refuerza su viabilidad sistémica, aprobándose la hipótesis H_1 y por consiguiente se puede afirmar que la integración conceptual de tecnologías de Agricultura 4.0 en el diseño de

la plataforma es percibida como un facilitador para la gestión inteligente de CONACADO como biosistema agroalimentario.

Si bien la hipótesis general de la investigación posee carácter multidimensional y prospectivo, su evaluación se realizó mediante un enfoque de triangulación metodológica convergente, integrando:

- Evidencia cuantitativa longitudinal de producción.
- Modelación espacio–temporal de estrés hídrico y deforestación.
- Contraste estadístico inferencial de dimensiones perceptuales.
- Validación cualitativa mediante entrevistas y retroalimentación abierta.

La convergencia de resultados estadísticamente significativos en las dimensiones evaluadas, junto con la coherencia de los modelos productivos y ambientales, permite concluir que el diseño de la plataforma contribuye de manera potencial y fundamentada al fortalecimiento de la gestión inteligente de CONACADO como biosistema agroalimentario, donde formalmente podemos plantear la siguiente prueba de la hipótesis general.

Hipótesis General	El diseño de una plataforma de Agricultura 4.0 para la gestión inteligente de la Empresa CONACADO como biosistema agroalimentario de cacao, estructurada bajo un enfoque de integración tecnológica, organizacional y ambiental, y validada técnica, social y funcionalmente, contribuirá de manera significativa y potencial a fortalecer las capacidades de toma de decisiones basadas en datos, mejorar la productividad agrícola, optimizar la eficiencia administrativa, promover la sostenibilidad socioambiental y consolidar la competitividad internacional durante el periodo 2023–2025.
H_0	El diseño de la plataforma no se asocia significativamente con mejoras potenciales en los indicadores organizacionales.
H_1	El diseño de la plataforma se asocia significativamente con mejoras potenciales en los indicadores organizacionales.
Prueba	El contraste se realizó mediante un esquema de evidencias múltiples y convergentes, que determinó la aceptación de H_1 , bajo la integración de resultados estadísticamente significativos en las dimensiones evaluadas.

En el epígrafe que vendrá a continuación se integrarán los resultados obtenidos para suministrar una idea coherente del problema en todas sus dimensiones, utilizando la triangulación metodológica que dará respuesta a la hipótesis compleja y multidimensional de este trabajo.

3.7. Redacción de resultados y discusión.

A partir del análisis de la información generada por cada instrumento aplicado en el acápite anterior (ver tabla 14), se pudieron obtener de forma general los elementos que permitieron desarrollar una visión holística y multidimensional de cómo abordar el diseño de una plataforma de Agricultura 4.0 para la gestión inteligente del biosistema agroalimentario CONACADO.

La transformación digital del biosistema tiene como propósito el poder contribuir potencialmente a mejorar la toma de decisiones, la productividad, la sostenibilidad socioambiental, la eficiencia administrativa y la competitividad internacional durante el periodo 2023–2025.

Para lograr dar respuesta a dicha problemática se ejecutó un estudio con enfoque mixto, donde la parte cualitativa se realizó mediante entrevistas semiestructuradas a dos grupos de actores fundamentales del proceso (dirigentes y técnicos). Los directivos de Conacado ($n = 9$) durante el proceso manifestaron que los principales desafíos a la hora de la implementación de un proyecto de transformación digital a través de una plataforma de Agricultura 4.0 a nivel organizacional serían la baja calificación tecnológica de los recursos humanos en general, lo cual pudiera traer una resistencia al cambio del paradigma productivo por parte de algunos actores y también la capacidad de los recursos financieros y tecnológicos con los que podía contar hoy la organización para la ejecución del proceso transformativo.

A pesar de los obstáculos mencionados anteriormente, los dirigentes reconocen que esta innovación tecnológica traerá una mejor gestión de los procesos en general, articulando más eficientemente la cadena de valor productiva y el cumplimiento de los estándares de calidad y las certificaciones, porque los mismos evaluaron la trazabilidad en la cadena con muchas irregularidades y falta de transparencia, debido a la falta de un soporte tecnológico que la garantice, basado en normativas estandarizadas. Por esta razón este grupo de actores cree que la implementación de tecnología de apoyo a la toma de decisiones como los sistemas de Inteligencia de negocios (BI) y el de la regulación por

cadenas de bloques (Block Chain) repercutirá positivamente en la gestión de los procesos y con ello también la eficiencia y seguridad.

Sin embargo la gerencia de Conacado es del criterio que la organización aún no está preparada, o no cuenta con los recursos humanos y tecnológicos para enfrentar una transformación digital radical en este momento, dado que primeramente todos los actores deben recibir una capacitación especializada en Agricultura 4.0 y se deben hacer cursos y talleres prácticos para los productores y técnicos, de forma tal que el nivel de adopción de la tecnología a nivel institucional y las mejoras en el rendimiento productivo sirvan de indicadores de éxito en la implementación del nuevo sistema productivo.

En ese mismo orden el grupo de técnicos ($n = 20$) expreso que la mayoría de ellos ($> 54\%$) no utiliza actualmente ninguna tecnología para el monitoreo del cultivo o de la producción, ya que se realizan de forma visual, utilizando fichas inspección llenadas manualmente, mientras que el grupo restante indico que realizan este trabajo utilizando computadoras personales, teléfonos inteligentes o sistemas GPS, lo que indica que no existe en la institución un conocimiento o tecnología para realizar profesionalmente esta labor, esto viene acompañado del hecho de que una gran parte del equipo técnico (45%) no ha recibido ninguna capacitación sobre estas tecnologías, mientras que otra parte (55%) manifestó haber recibido algún tipo de entrenamiento en sensores, drones o plataformas digitales.

Lo anteriormente expuesto se corrobora al analizar la forma en que este importante equipo de stakeholders gestionan los datos agronómicos y productivos, donde una gran mayoría (67%) lo realiza de forma análoga y el resto lo hace a través de aplicaciones de office y solo un 15% de ellos utiliza software especializado, pero sin soporte de ninguna plataforma digital que integre el flujo general de la informaciones de esta naturaleza y muy lejos de que la toma decisiones técnicas estén soportadas por algún tipo de inteligencia artificial. Sin embargo, al igual que el equipo de dirección, ellos son de la opinión de que la transformación digital traería una mejor organización de los procesos y la optimización del tiempo a nivel institucional, lo que conllevaría a la mejora de la

calidad y un escalamiento positivo en la gestión de la información para la toma de decisiones técnicas acertadas.

Paralelamente a los criterios anteriores, y nuevamente en similitud con el grupo directivo, el equipo técnico manifestó que el proceso de implementación de una plataforma de Agricultura 4.0 en la organización presentara algunos riesgos y dificultades entre los que se refirieron a los problemas de Ciberseguridad, debido a que el núcleo central de la gestión organizacional estará soportado sobre una plataforma digital, pero que también la falta de educación tecnológica en las diferentes partes interesadas pudiera provocar una inercia al cambio de paradigma, donde se pudieran generar riesgos como que la interface de las aplicaciones para productores no fuera lo suficientemente amigable para la operación. Y en permanente concordancia con el grupo gerencial manifestaron la necesidad de un acompañamiento y sistema de capacitación profundos antes y durante el proceso de implementación.

En el desarrollo de la parte cuantitativa de la investigación se realizó una encuesta a una muestra de productores ($n = 104/150$), un estudio longitudinal fundamentado en el análisis de la producción en seis fincas de productores ($n = 6$), correlacionado con indicadores de estrés hídrico y la deforestación, y una encuesta intencional ($n = 35$) para la validación técnica, social y funcional de un prototipo conceptual (mockup) a dirigentes, técnicos y productores.

En la encuesta a los productores se pudo evidenciar, que la gran mayoría de los productores están certificados como orgánicos ($> 83\%$), donde tres tercios de la muestra ($> 75\%$) nunca ha utilizado herramientas digitales para registrar o controlar la producción, también casi en su totalidad (96%) desconocen del uso o nunca han utilizado algún tipo de sensor, tecnologías de drones o plataformas digitales en su finca y conjuntamente una gran parte de ellos ($> 80\%$) no cuentan con acceso estable de internet en sus explotaciones. A pesar de esto, la mayor parte del grupo ($> 93\%$) manifestó una gran voluntad para implementar tecnologías (drones, sensores, app digitales, sistemas de trazabilidad) en su trabajo productivo, lo que se evidencia en que la gran mayoría ($\approx 90\%$) cree que el uso de la tecnología puede mejorar la productividad de sus predio productivos, aparte de ayudar a disminuir perdidas y plagas (96%) y en la trazabilidad

digital de su producción, que ayudara amentar el valor de su producto en el mercado internacional.

El planteamiento del párrafo anterior constituye un reto para la alta gerencia y el grupo técnico y de extensión de Conacado, dado que los productores de forma mayoritaria también (> 96%), manifestaron la voluntad de aprender y usar una aplicación digital para el manejo de sus fincas y confían que la organización brindara todo el apoyo para que esto se haga posible.

Los resultados obtenidos de forma exploratoria y los basados en la encuesta a productores demuestran perfecta coincidencia con el trabajo de (Sargana García, 2021) y otras literaturas científicas, donde se expresa la importancia de que los métodos de diseño de productos y servicios digitales en la agricultura 4.0, para poder tener éxitos deben proporcionar soluciones suficientemente adaptadas a las necesidades de los agricultores para que al desarrollarlos puedan superar las barreras y condicionantes de los ámbitos tecnológicos (TIC) y el del sector agroalimentario y esto debe lograrse bajo un enfoque participativo, para poder mejorar y resolver los problemas concretos que afrontan los agentes que operan en el sector agroalimentario.

En el estudio longitudinal de la producción (2015 – 2025), que se desarrolló antes de presentar un prototipo de diseño de la plataforma de agricultura 4.0 a los principales actores del proceso agroindustrial, basado en las necesidades tecnológicas y agroalimentarias expresadas anteriormente, se utilizaron técnicas de estadísticas (Rstudio/Excel), econométricas, de teledetección satelital(Sentinel2/Lansat8/9), de sistemas de información geográficos (QGIS/GEE) y de la aplicación del aprendizaje de automático (ML-PyQGIS) para lograr a través de la ingeniería de características de datos climáticos de estrés hídrico y deforestación de los predio productivos, una serie de resultados de analítica aumentada, donde se pudieran realizar caracterización espacio temporales de las zonas de estrés hídrico dentro de cada finca(Random Forest) o de la estimación a futuro de dichas variables climáticas (XGBoost) con la finalidad de planificar el manejo agroecológico de mitigación ante estos fenómenos que deterioran la productividad.

En esta modelación se obtuvo que en la mayoría de los productores, la producción que entregaban/vendían a Conacado tenía una tendencia linealmente creciente en los últimos diez años, al mismo tiempo que las series de datos temporales de esta producción reflejaban una monotonía decreciente en periodos señalados de máximo estrés hídrico por periodos de sequías estacionales que se producen en el país, y con las técnicas antes mencionada se pudieron obtener los mapas de estrés hídrico de cada finca y la estimación de los valores para los primeros tres meses del año 2026.

Esta metodología de trabajo sirvió para ilustrar en los diferentes grupos focales como construir dashboard de los indicadores fundamentales para la toma de decisión en el proceso, que posteriormente se utilizarían para explicar las funcionalidades gráficas de los diferentes módulos del prototipo diseñado y como estos se pudieran automatizar para que la inteligencia artificial (IA) periódicamente enviaran reportes de estados o actualizaran los tableros de información gráficos dentro de las aplicaciones.

La aplicación de tecnologías expuestas en el párrafo anterior, están respaldadas en su totalidad con las fuentes teóricas, donde Tovar-Quiroz (2023) manifiesta, que el concepto de agricultura 4.0 es una evolución de la agricultura de precisión (AP), difundiendo elementos como: El Internet de las cosas (IoT), la analítica de datos, y el machine learning (IA), entre otras, que han sido aplicados en toda la cadena de valor del sector agropecuario. Sin embargo, esta presenta la necesidad de dar respuesta a los desafíos que enfrenta la agricultura hoy de cara al 2030 (ODS 2030), lo que exigirá que se utilicen aplicaciones de Ciencia, Tecnología e Innovación (CTI), primordiales para que el sector primario se convierta en impulsor del desarrollo económico y sostenible, abriéndose de esta manera un espectro de oportunidades para continuar revisando innovaciones que sean específicas para cada sector agropecuario, los tipos de biosistemas agroalimentarios, las regiones y sus comunidades rurales.

En el cierre de la etapa cuantitativa del trabajo se realizó una encuesta a un grupo mixto ($n = 35$) de stakeholders, con el objetivo de evaluar el nivel de aceptación, pertinencia y viabilidad técnica y social de un prototipo (MOCKUP) de diseño de la Plataforma de Agricultura 4.0 para la gestión inteligente del Biosistema CONACADO, considerando escenarios simulados de uso, donde los resultados permitieron validar las

funcionalidades y percepciones de los actores de la cadena de valor respecto al diseño propuesto.

En este contexto se obtuvieron resultados muy favorable respecto a la aceptación del diseño, pues este fue realizado a partir de las necesidades tecnológicas y del sector agroalimentario del Cacao, que manifestaron en las entrevistas, encuestas y las intervenciones durante los grupos focales realizados. Para cada dimensión (Técnica, Social y Organizativa-Funcional), la media general por dimensiones siempre estuvo por encima del valor ($\text{Media} \geq 4.5$), en una escala máxima de ($X = 5$), donde el valor 4 significa “Muy Bueno” y 5 = “Excelente”, con porciento de participación en estos dos niveles superior al ($\geq 80\%$).

Este resultado coincide plenamente con el momento socio político y económico que vive el país, donde en Castillo Cobas L. M. et al. (2025), manifiesta que la estrategia más importante que tiene la República Dominicana en estos momentos, está relacionada con el aumento de la productividad de los sectores productivos a mediano y largo plazo (Plan Meta 2036), la cual está impulsada por el actual presidente el Sr. Luis Abinader Corona, persiguiendo alcanzar al año 2036 que la nación logre convertirse en un país plenamente desarrollado. Y para ellos hay un conjunto de reformas de segunda generación que deben lograrse, como: el fortalecimiento institucional, la especialización del capital humano, la adopción de tecnología e innovación, la profundidad financiera, la diversificación sectorial, la resiliencia climática y la sostenibilidad medioambiental, y la inclusión.

Todo lo anterior es viable y viene a soportar o dar respuestas al sector y a la organización de Conacado, la cual en su planificación estratégica (2025-2030), que Como sostiene (Conacado, 2025) pretende implementar un modelo de negocio basado en una gestión por procesos y estrategia de mejora continua, donde se pretende monitorear , auditar y controlar los cumplimientos hasta corregir las desviaciones que permitirán a CONACADO el cumplimiento su visión al año 2030, atada al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 2030).

Esta visión estratégica hace de la plataforma AgrosTIC 4.0 para CONACADO una herramienta indispensable para el logro de sus objetivos y de su visión a mediano y largo plazo, la cual se desarrollara como propuesta transformadora en el próximo capítulo.

La estrategia para lograr desarrollar esta propuesta transformadora debe apoyarse en la alta disposición de los principales actores del biosistema (productores, técnicos y dirigentes) para explotar esta nueva visión productiva, siempre y cuando se le garantice el nivel de capacitación y acompañamiento en el proceso de desarrollo e implementación, dado que ellos han puesto como indicadores fundamentales para medir el éxito de dicha estrategia el nivel de adopción tecnológica alcanzado y el aumento de la productividad alcanzada en el biosistema general.

El último indicador mencionado en el párrafo anterior, constituye el desafío fundamental de esta investigación, condicionalmente si se logra multiplicar la producción para la misma cantidad de área productiva, implica que se multiplicara con ello el nivel económico y social de las familias que lo componen, teniendo en cuenta que el nivel de adopción tecnológica en agricultura 4.0 implica que las tecnologías involucradas deben venir a soportar la toma de decisiones técnicas para resolver los principales problemas que originan la baja productividad en el sector del cacao en la República Dominicana (Orozco Aguilar & López Sampson, Colección de esquinas técnicas para la mejora productiva del cacao., 2016), manteniendo el modo de producción agroecológico y de certificación orgánico que se ha logrado.

En síntesis, la integración de los resultados obtenidos a través de los métodos cualitativos, cuantitativos y de modelación analítica permitió validar de manera consistente el enfoque de investigación adoptado, evidenciando la pertinencia del diseño mixto secuencial aplicado. Desde la perspectiva cualitativa, tanto los directivos como el equipo técnico coincidieron en identificar limitaciones estructurales en términos de capacidades tecnológicas, formación especializada y disponibilidad de recursos, así como riesgos asociados a la adopción de tecnologías digitales, particularmente en relación con la resistencia al cambio y la ciberseguridad. No obstante, ambos grupos reconocieron de manera convergente el alto potencial de la Agricultura 4.0 para

optimizar la gestión de los procesos, mejorar la trazabilidad y fortalecer la toma de decisiones.

Estos hallazgos se ven corroborados por los resultados cuantitativos obtenidos en las encuestas a productores, donde se evidencia una baja adopción tecnológica actual, expresada en el limitado uso de herramientas digitales, sensores y plataformas especializadas, en contraste con una alta disposición hacia la incorporación de estas tecnologías. Esta relación revela una brecha crítica entre capacidades existentes y potencial de adopción, la cual constituye un elemento central para el diseño de la propuesta.

De manera complementaria, los resultados derivados del análisis longitudinal y la modelación mediante técnicas de analítica avanzada e inteligencia artificial permitieron demostrar empíricamente la influencia de variables agroclimáticas, como el estrés hídrico, sobre la productividad del cacao, validando la necesidad de incorporar herramientas de monitoreo, predicción y apoyo a la toma de decisiones dentro de la plataforma propuesta. Estos resultados no solo refuerzan los hallazgos perceptuales de los actores, sino que aportan evidencia objetiva sobre los factores que afectan el rendimiento productivo.

La triangulación de estos tres niveles de análisis: perceptual (actores), empírico (datos productivos) y tecnológico (modelación predictiva), evidencia una alta coherencia interna en los resultados, permitiendo identificar de forma robusta los requerimientos funcionales, técnicos y organizacionales que debe cumplir una plataforma de Agricultura 4.0 en el contexto de CONACADO. Asimismo, valida la hipótesis de que la integración de tecnologías digitales, bajo un enfoque sistémico y participativo, puede contribuir significativamente a mejorar la productividad, la sostenibilidad socioambiental, la eficiencia administrativa y la competitividad del biosistema agroalimentario del cacao.

En consecuencia, los resultados obtenidos no solo confirman la viabilidad técnica, social y funcional del modelo propuesto, sino que también sustentan su relevancia como herramienta estratégica para la transformación digital del sector cacaotero dominicano, constituyéndose en un aporte significativo tanto desde el punto de vista científico como

aplicado. Estos resultados constituyen la base empírica para el diseño de la plataforma propuesta, desarrollada en el capítulo siguiente.

Capítulo IV: PROPUESTA DE TRANSFORMACIÓN

En los capítulos anteriores de este trabajo se pudo constatar que la República Dominicana se encuentra en un proceso de transformación social y económica de gran magnitud con vista al 2036, tratando de enfrentar los retos y desafíos del siglo XXI desde un conjunto de estrategias que le permita un posicionamiento global entre las economías desarrolladas, (CNC, 2025).

Para el caso específico del sector agroalimentario y las comunidades rurales, donde (MEPyD, 2024) como fue citado en Castillo Cobas L. M. et al. (2025), señalo que se registró un crecimiento promedio anual del 4.0% entre 2016 y 2023, aportando un significativo 5.6% al PIB nacional, lo que se traduce en un impacto social y económico, convirtiendo al sector en un eje estratégico para la seguridad y la soberanía alimentarias del país y un generador de empleo e inversión en las comunidades rurales, consolidándose como un elemento clave para el desarrollo rural.

Pero a pesar de esto, como ya se ha mencionado en este trabajo, aún permanecen desafíos importantes, desde el punto de vista sociopolítico, económico y ambiental, caracterizado por: La fuga del talento joven en busca de mejores oportunidades para su desarrollo, la dependencia de la mano de obra extranjera de conjunto a la baja productividad, el alza de los precios de los insumos de producción, la pérdida de los suelos productivos, el impacto del cambio climático y un relevo generacional que no está garantizado (Acento, 2025) ; (Listin Diario, 2023) ;(MEPyD, 2024).

Es por esta razón, que la búsqueda de soluciones científico-tecnológicas que ayuden a dar respuesta a dichos problemas constituye una prioridad estratégica para todas las organizaciones involucradas y aquí es donde toma valor la propuesta transformadora de este trabajo, la cual recibe el título de “Desarrollo de la plataforma AgrosTIC 4.0 para la gestión inteligente de CONACADO como un biosistema agroalimentario de cacao en la República Dominicana”.

En síntesis, los resultados obtenidos evidencian que la implementación de una plataforma de Agricultura 4.0 en el biosistema agroalimentario de CONACADO resulta

técnicamente viable y socialmente aceptada por los principales actores del sistema. No obstante, su éxito dependerá fundamentalmente del fortalecimiento de las capacidades tecnológicas del capital humano, del desarrollo de infraestructuras digitales adecuadas y de la implementación de estrategias institucionales orientadas a facilitar los procesos de adopción tecnológica en el sector productor.

Adicionalmente, en esta investigación se ha descrito cómo AgrosTIC 4.0 puede convertirse en una herramienta estratégica para el sector, la agroindustria de Conacado y sus comunidades rurales, a la que se le dará la fundamentación y la estructuración de los procesos de su desarrollo e implementación, además de determinar los mecanismos para evaluar el nivel de éxito a nivel institucional, en los acápites restantes de este apartado.

4.1. Fundamentación de la propuesta de transformación.

El procesamiento estadístico de los resultados obtenidos en la investigación, conjuntamente con las observaciones de campo y la revisión de la literatura científica, permitió identificar que, si bien la República Dominicana mantiene un liderazgo relevante en la exportación de cacao orgánico y fino de aroma, sustentado en prácticas agroecológicas, persisten limitaciones estructurales asociadas a la baja incorporación de tecnologías digitales en los procesos productivos, de gestión y de trazabilidad (Alianza de Bioversity International y CIAT, 2023).

Desde el punto de vista teórico, los enfoques ecosistémicos de la producción agroecológica destacan el rol central del productor en la gestión del sistema (Altieri, 1999) ; sin embargo, la literatura contemporánea sobre Agricultura 4.0 y transformación digital evidencia la necesidad de complementar estos enfoques con infraestructuras tecnológicas que permitan la captura, integración y análisis de datos en tiempo real, mediante arquitecturas ciberfísicas y sistemas inteligentes. En este sentido, las plataformas digitales emergen como soluciones integradoras que permiten articular múltiples tecnologías (IoT, inteligencia artificial, analítica de datos y blockchain) en un mismo entorno operativo.

En correspondencia con estos fundamentos, los resultados empíricos obtenidos en la fase de diagnóstico evidencian una fragmentación significativa en la gestión de la información, limitada adopción tecnológica por parte de los actores del biosistema y ausencia de sistemas integrados que soporten la toma de decisiones (Rodríguez Díaz & Berenguel Soria, 2004). Esta situación confirma que el problema no puede ser abordado únicamente mediante modelos conceptuales o metodologías aisladas, sino que requiere de una solución tecnológica capaz de integrar procesos, actores y datos en toda la cadena de valor.

En este contexto, la selección de una plataforma de Agricultura 4.0 como tipo de propuesta se justifica por su capacidad para funcionar como un sistema integrador, escalable e interoperable, que permite transformar los procesos agroindustriales existentes en un entorno digitalizado basado en sistemas ciberfísicos. A diferencia de otras alternativas, la plataforma posibilita la gestión unificada de la información, la automatización de procesos, la trazabilidad transparente de las operaciones y la implementación de modelos predictivos y prescriptivos basados en inteligencia artificial.

Asimismo, la incorporación del concepto de biofábrica conectada como componente ciberfísico dentro de la plataforma amplía el alcance teórico y aplicado de la propuesta, al integrar la producción de bioinsumos con los sistemas de monitoreo, certificación y gestión productiva, fortaleciendo el enfoque agroecológico bajo un paradigma digital.

En consecuencia, la plataforma AgrosTIC 4.0 se configura como una solución tecnológica coherente con los fundamentos teóricos analizados y con las evidencias empíricas obtenidas, permitiendo superar la fragmentación actual del sistema y facilitando la transición hacia un modelo de gestión inteligente basado en datos, orientado a mejorar la productividad, la sostenibilidad y la competitividad del biosistema agroalimentario de CONACADO.

4.2. Estructura de la propuesta de transformación.

El desarrollo de la plataforma AgrosTIC 4.0 es un proceso iterativo e incremental que permitirá de forma integral operar a todo el biosistema de CONACADO, donde cada

elemento ciberfísico que conforma la cadena de valor estará bajo una integración dinámica, cuyos objetivos son los siguientes:

4.2.1. **Objetivos de la propuesta.**

Objetivo general.

Incrementar la productividad y la efectividad de los procesos en la producción agroindustrial del cacao en CONACADO, mediante el diseño e implementación progresiva de la plataforma AgrosTIC 4.0, fortaleciendo la trazabilidad, la resiliencia climática y la incorporación de factores tecnológicos en una bioeconomía basada en el conocimiento, orientada a la optimización integral de la cadena de valor del cacao.

Objetivos específicos.

OE1. Diseñar un plan institucional de capacitación teórico-práctica en Agricultura 4.0 orientado al desarrollo de las capacidades técnicas, digitales y organizacionales requeridas por productores, técnicos y dirigentes para la adopción efectiva de AgrosTIC 4.0.

OE2. Especificar la infraestructura tecnológica para la captura, transmisión, almacenamiento y gestión de los datos edafoclimáticos, agronómicos y poscosecha en las fincas del biosistema CONACADO, considerando una arquitectura híbrida basada en servicios en la nube (Microsoft Azure).

OE3. Modelar la implementación de una biofábrica conectada para la producción y distribución inteligente de bioinsumos líquidos y sólidos, integrando tecnología industrial ALane (30 t/h y 25 m³) como parte de un enfoque de bioeconomía digital y circular en la cadena de valor del cacao.

OE4. Definir el modelo modular y evolutivo de la plataforma AgrosTIC 4.0 para su desarrollo incremental mediante la metodología SCRUM, analizando su interoperabilidad e integración funcional con el sistema ERP Microsoft Dynamics 365 utilizado por CONACADO.

OE5. Diseñar la capa de inteligencia de negocios (BI) de la plataforma AgrosTIC 4.0 mediante la matriz bus de Kimball del Data Warehouse institucional, integrando los sistemas ciberfísicos del biosistema con los procesos estratégicos definidos en el Cuadro de Mando Integral y las matrices de indicadores del plan estratégico de CONACADO.

OE6. Definir un sistema de trazabilidad agroindustrial basado en tecnología blockchain, utilizando una arquitectura híbrida de redes públicas y privadas (Hyperledger Fabric y Polygon), que garantice transparencia, confianza y trazabilidad en la cadena de valor del cacao.

Los siguientes objetivos pueden sostener una hipótesis general y un conjunto de específicas alineadas por etapas.

Hipótesis general de la propuesta:

La implementación progresiva de la plataforma AgrosTIC 4.0 incrementa significativamente la productividad, la efectividad operativa, la trazabilidad y la resiliencia climática del biosistema agroindustrial del cacao en CONACADO.

Hipótesis específicas:

H1. La capacitación teórico-práctica en Agricultura 4.0 mejora significativamente las capacidades digitales y la adopción tecnológica de los actores del biosistema.

H2. Una infraestructura edafoclimática y agronómica basada en IoT y nube mejora la calidad, oportunidad y uso de los datos para la toma de decisiones.

H3. La integración de una biofábrica conectada incrementa la eficiencia productiva y reduce la dependencia de insumos externos.

H4. El desarrollo modular de AgrosTIC 4.0 mediante SCRUM mejora la interoperabilidad, escalabilidad y aceptación del sistema.

H5. La integración BI–Kimball–BSC mejora la efectividad del control estratégico y operativo.

H6. Un sistema de trazabilidad blockchain incrementa la transparencia, confianza y valor comercial del cacao.

Estas hipótesis específicas pudieran ser verificables a través de las correlaciones entre las variables que se presentan en cada una de ellas y la validación o medición de los correspondientes indicadores, como aparece en la siguiente tabla.

Tabla 64. Matriz variables en indicadores de la propuesta.

Hipótesis	Variable Independiente	Variable Dependiente	Indicadores clave
H1	Capacitación 4.0	Capacidades digitales	% adopción, índice de competencias
H2	Infraestructura IoT-Cloud	Calidad del dato	Uptime, latencia, completitud
H3	Biofábrica conectada	Eficiencia productiva	Costos, rendimiento, insumos
H4	Plataforma SCRUM	Efectividad del sistema	Iteraciones exitosas, bugs
H5	BI-Kimball-BSC	Control estratégico	KPIs cumplidos
H6	Blockchain	Trazabilidad	% lotes trazables, confianza

Fuente: Elaboración propia a partir del análisis metodológico de la propuesta.

Los indicadores clave de cada hipótesis específica de la propuesta pueden ser verificables en cuanto a su necesidad práctica dentro del diseño en cada etapa de la propuesta, las cuales serán descritas a continuación.

4.2.2. Desarrollo de la plataforma AgrosTIC 4.0.

El proyecto de desarrollo de la plataforma estará constituido por seis fases o etapas fundamentales, las cuales pueden describirse a continuación:

Fase 1: Capacitación teórico-práctica de los actores fundamentales del sistema (dirigentes, técnicos y productores).

Esta etapa del proyecto surge como resultado del diagnóstico explorativo y de la validación técnica, social y funcional del prototipo de diseño de la plataforma, realizados en los procesos anteriores de esta investigación, donde de forma unánime todos los actores señalaron la necesidad de una capacitación previa y un acompañamiento en todas las temáticas referidas a las nuevas funciones y aplicaciones laborales que demandará el entorno productivo y de gestión agroindustrial. Para ello, de conjunto con el equipo de dirección de Conacado, se diseñaron diez diplomados que respondían a las principales

competencias que los diferentes grupos deberían adquirir para el manejo agroecológico del cacao basado en tecnologías **I4.0**, entre los que se encontraban:

1. Diplomado en Agroecología y Sistemas de certificación orgánica del cacao.
2. Diplomado en Ingeniería y operación con drones agrícolas en SAF.
3. Diplomado en instrumentación y control para las mediciones edafoclimáticas en la agricultura.
4. Diplomado en Agromática para los sistemas de riego y poscosecha del cacao.
5. Diplomado en ingeniería biofertilización y bioremediación.
6. Diplomado Ciencias de los Datos para la gestión del conocimiento en la cadena agroindustrial del cacao.
7. Diplomado en tecnologías Block Chain y la Trazabilidad de la cadena de valor del cacao y el chocolate.
8. Diplomado en agricultura 4.0 para invernaderos y viveros.
9. Diplomado en Bioeconomía Circular, Ciencias Ambientales y los Mercados de Carbono.
10. Diplomado en Agrobótica.

Este tipo de capacitación permitirá atraer al productor joven y al técnico extensionista dentro de las zonas rurales para desarrollar fuerzas de trabajo calificadas en los marcos operacionales de la 4.^a revolución industrial y la bioeconomía del cacao dominicano, desarrollando tres tipos de especializaciones, como las que aparecen a continuación:

- a. Especialista en producción agroecológica certificada en la cadena de valor del cacao dominicano.
- b. Especialista en Bioeconomía, Bioingeniería y Agronegocios 4.0 del cacao.
- c. Especialista en Agricultura 4.0 y Extensión agronómica digital 4.0 para sistemas agroforestales de cacao.

Debido a la importancia estratégica para la sostenibilidad institucional como resultado de este proyecto de investigación, se creó el Instituto de Investigación para los Biosistemas Agroalimentarios (IIBA), el cual se convertirá en una institución científica

académica de nivel superior, que formará parte de los procesos de apoyo en materia de docencia, investigación y proyectos de extensión (IIBA, 2025).

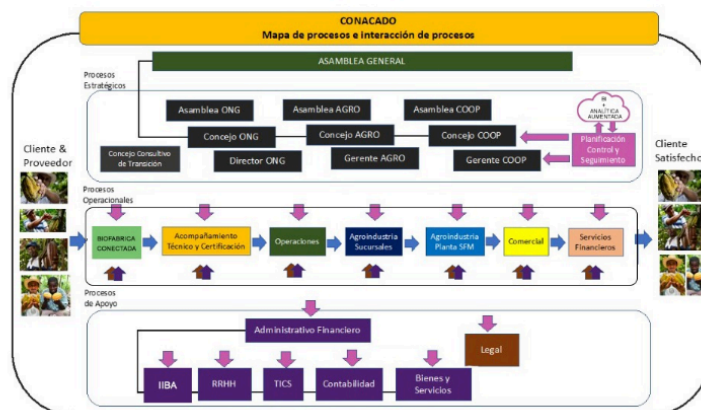
Fase 2: Diseño de la dinámica multidimensional del Biosistema de Conacado.

Esta etapa proyectiva permitirá diseñar la estructura que soportara la dinámica multidimensional de la gestión del conocimiento institucional a partir de su planificación estratégica (Conacado, 2025) , donde se podrá obtener las matrices de los indicadores claves de rendimientos (KPI) de primer y segundo nivel, conjuntamente al cuadro de mando integral (Balance Score Card) de la empresa (ver figura 82), para que utilizando la metodología de Kimball, se puedan crear los diferentes Datamart a partir de las tablas de hechos y sus correspondientes dimensiones que resultaran de la conformación de una Matriz Bus de Kimball (Kimball group, 2025).

Una vez alcanzado este nivel de diseño, se podrá crear las estructuras de procesamiento analítico en línea (OLAP) que alimentaran el almacén de datos de Conacado (Conacado DW 4.0), el cual siguiendo los requerimientos temporales de la dinámica institucional podrán diseñarse los procedimiento ETL para alimentar el cubo multidimensional sobre el cual actuaran los algoritmos de minería de datos, cuyas salidas suministrarán los dashboard gráficos de cada módulo, los reportes de inteligencia institucionales y la analítica avanzada para la prescripción de situaciones complejas dentro del biosistema (IBM, 2021) y (Slusarczyk Antosz, 2024).

El diseño tendrá como punto de partida la modificación del mapa de procesos general de la institución, como aparece en la figura siguiente:

Figura 86. Mapa general de procesos de Conacado modificado.

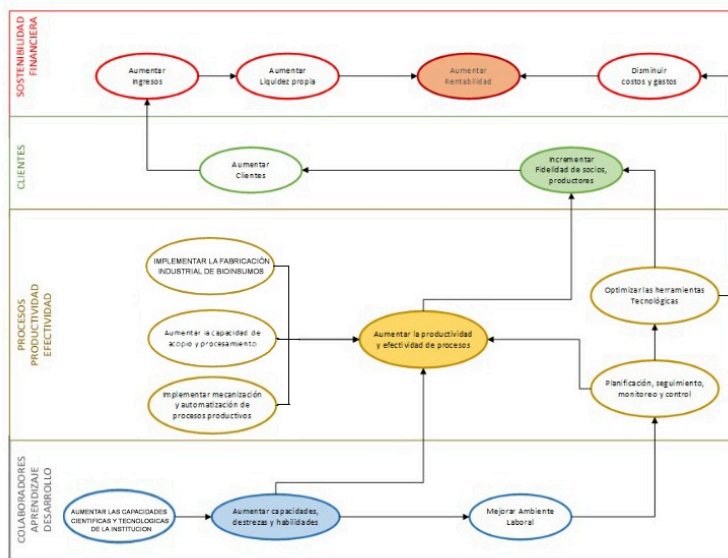


Fuente: Elaboración propia a partir de (Conacado, 2025).

La introducción de los paradigmas de agricultura 4.0 y el de bioeconomía circular del cacao en la república dominicana, modifican el mapa de procesos incorporando a la entrada de los procesos operacionales la Biofabricas conectadas, que suministraran los bioinsumos fundamentales para alcanzar un nivel de productividad óptima dentro del biosistema, al mismo tiempo que suministra informaciones de distribución logística de los bioinsumos de forma optimizada debido a las variables edafoclimáticas y logísticas de cada explotación agrícola de cacao a los productores y grupos de asistencia técnica.

Paralelamente aparecen los procesos de investigación, desarrollo, innovación y extensión científicos tecnológica desde el IIBA como un proceso de apoyo al crecimiento del impacto en la capacidad de innovación el conocimiento organizacional y dentro de los procesos estratégico aparece la inteligencia de negocio y la analítica aumenta basada en la inteligencia artificial para coadyuvar los procesos de toma de decisiones basado en datos, el monitoreo y predicción de las dimensiones de planificación institucional basada en datos prescriptivos. Este cambio en la filosofía operacional de la agroindustria, obliga a rediseñar el cuadro de mando integral (Balance Score Card) de la empresa, como aparece en la figura siguiente:

Figura 87. Cuadro de mando integral de Conacado.



Fuente: Elaboración propia a partir de (Conacado, 2025)

En la figura anterior (Figura 87) podemos observar como el biosistema CONACADO busca el cumplimiento de su visión a través de la aplicación de la metodología de seguimiento y monitoreo empresarial, denominado Cuadro de Mando Integral (Balance Score Card), desde la perspectiva de la sostenibilidad financiera establecida en la metodología, donde la organización se proyecta hacia el mantenimiento y consolidación de la capacidad de operación y aumento de las alternativas de beneficio hacia sus socios productores de cacao, lo cual permitirá fortalecer un conjunto de estrategias para mejorar las condiciones de vida de estos pequeños productores de cacao que se conforman como la base y la razón de ser de la institución y donde el Cuadro de Mando Integral de CONACADO se fundamente en los elementos de la Planificación Estratégica, Objetivos Estratégicos y Caracterización de Procesos y Subprocesos de gobernanza, operación y apoyo en todos los niveles de la organización (Conacado, 2025).

Como resultado de la construcción del Cuadro de Mando Integral, y con la finalidad de establecer los mecanismos para el establecimiento de las estrategias de acción que permitan encaminar a la organización al cumplimiento del Plan Estratégico, se desarrolló la matriz de indicadores de primer nivel (IPN) de CONACADO (ver anexo A.7). Donde

el seguimiento, control y monitoreo del cumplimiento de los objetivos estratégicos a través de sus indicadores (kpi) es responsabilidad directa del proceso de gobernanza de CONACADO, por medio de la Gerencia General, esta herramienta (BSC) permitirá un oportuno y eficiente proceso de evaluación general de la gestión empresarial en función de la medición del desempeño y por consiguiente una efectiva toma de decisiones en todos los niveles de la organización, pero en esta ocasión soportado por los dashboard de la plataforma y las recetas de sugerencias de la IA a los grupos de dominio institucional.

Adicionalmente, como resultado de la caracterización de los procesos y subprocesos de administración y operación de CONACADO, la matriz de Indicadores Secundarios aglutina los indicadores determinados para realizar el seguimiento y control de las operaciones de la organización en todos sus niveles (ver anexo A. 8). Donde la responsabilidad de medición y reporte de los indicadores de segundo nivel, que antes recaía sobre los dueños de los procesos y sus líderes directos, ahora recae sobre los algoritmos de aprendizaje automático (ML) de la plataforma, comunicándose también esta información de forma oportuna al proceso de gobernanza y transfiriéndolo como datos materia prima para la realización de ingeniería de características en los procesos de analítica aumentada para la efectiva toma de decisiones enfocado en la mejora continua.

Toda esta metodología permitirá una estructura multidimensional de la dinámica institucional a través de la siguiente matriz de Kimball para el Biosistema de Conacado, como expresa la tabla siguiente.

Tabla 65. *Matriz Bus de Kimball de Conacado.*

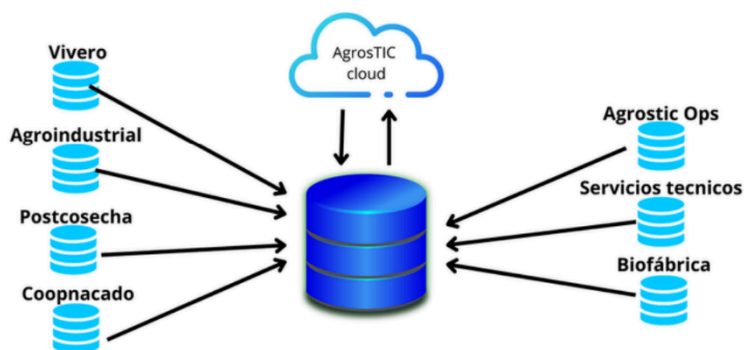
	Dimensiones de análisis
--	-------------------------

	T i e m p o	P r o d u c t o	S e r v i c i o s	C e r t i f i c a c i o n e s	R e g i o n e s	C l o n e s	F i n c a s	P r o d u c t o r e s	S u c u r s a l e s	T r a b a j a d o r e s	C l i e n t e s	P r o v e e d o r e s	V e n t a s	C o m p r a s	C o s t o	G a s t o	F i n a n c i a m i e n t o	L i q u i d e z
Gestión del Conocimiento (BI)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Gobernanza	X				X			X	X	X								
Comercial	X	X	X	X							X	X	X					X
Planificación, Control y Seguimiento	X	X	X	X		X							X	X	X	X	X	X
Científico Técnico	X	X	X		X	X	X	X	X	X				X	X	X		
Asesoría legal	X																	
Administrativo Financiero	X	X	X						X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Biofabricas conectada	X		X		X	X	X	X				X	X	X	X	X	X	X
Acompañamiento técnico y Certificaciones	X	X	X		X	X	X	X										
Operaciones	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X					X	X		
Agroindustrial Sucursales	X	X		X	X	X	X	X	X						X	X		
Agroindustrial Planta	X	X			X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Fuente: Elaboración propia a partir de (Conacado, 2025).

La tabla 66 permitirá construir todas las estructuras de Datamart del almacén de datos de Conacado a partir de los sistemas transaccionales que operan en la institución (MS Dynamics 365), las transacciones de los datos que emanan del estado edafoclimático de cada finca (AgrosTIC Ops.), los datos transaccionales de la propia plataforma desde los cuadernos de finca de los productores y extensionista (AgrosTIC 4.0), el sistema de gestión de la biofábrica conectada y los aportes de inteligencia en la nube de la plataforma (AgrosTIC Cloud), como se aprecia en la figura siguiente:

Figura 88. Estructura dimensional del DataWarehouse de Conacado 4.0.



Fuente: Elaboración propia a partir del diseño DW.

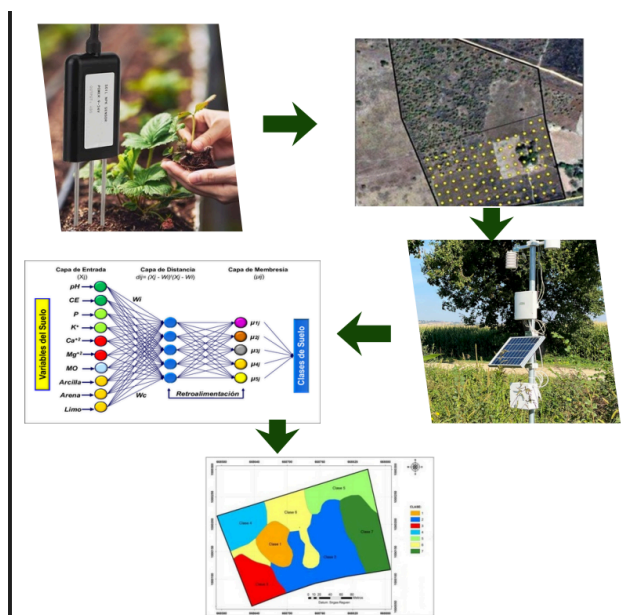
La Figura 87 constituye el desarrollo base de toda la infraestructura tecnológica del sistema operacional de inteligencia de Conacado en la 4ta revolución industrial con un enfoque en la bioeconomía del cacao dominicano con enfoque en una agricultura agroecológica y regenerativa.

Fase 3: Desarrollo de la infraestructura de telecomunicaciones y gestión de los datos edafoclimáticos en fincas de productores.

La infraestructura de telecomunicaciones para la gestión de los datos en las explotaciones de cacao de Conacado estará segmentada en tres capas fundamentales:

1. Los sensores IoT instalados en cada finca para el levantamiento de las variables edafoclimáticas de cada predio productivo, donde se utilizarán estaciones climáticas con topología del fabricante chino NiuBoL, con integración a través de redes LoraWAN (RS-485) y Ethernet inalámbrica para la utilización de controladores centrales para la recogida de los Datos, que podrán entregar periódicamente la información a la Nube AgrosTIC Cloud si poseen conexión a internet en la explotación productiva (NiuBoL, 2025), permitiendo obtener los mapas digitales de cada finca, como se aprecia en la figura siguiente.

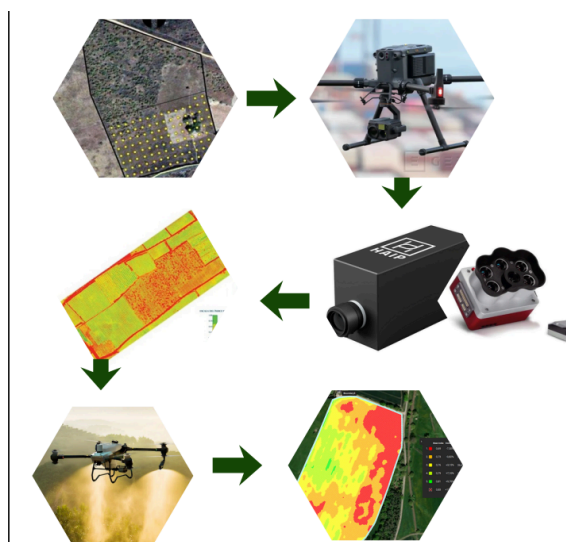
Figura 89. Flujo del procedimiento para la obtención de los gemelos digitales de las fincas de Cacao.



Fuente: Elaboración propia.

2. El uso de drones agrícolas del tipo DJI Agras T-50 (DGI, 2025) y DJI Matrice rtk 350 (MATRICE, 2025) con cámaras hiperespectrales para el monitoreo de las variables edafoclimáticas también, utilizando sensores FS- 65 con rangos espectrales entre 400 nm – 1000 nm o el fabricante RESONON entre 900 – 250 nm (CHNSpec, 2025), que podrán conectarse a la solución en la nube (AgrosTIC Cloud) para el intercambio de datos y procesamiento inteligente de mapas espectrales (ver Figura 88).

Figura 90. *Procedimiento de gestión de la información con drones agrícolas en AgrosTIC 4.0.*



Fuente: Elaboración propia.

- Y por último la capa en la nube de la plataforma, donde se encuentra el servidor de recepción toda la información de los procesos anteriores (AgrosTIC Ops 4.0) y para con el segmento en la nube (AgrosTIC Cloud DW), donde están corriendo todas las algoritmas de minería de datos para la clasificación, predicción y optimización del BI de la actividad productiva y donde se integran y comunican todos los gemelos digitales de cada elemento ciberfísico que compone el ciclo de gestión de Conacado, siguiendo la lógica de procesos que aparecen en la Figura 34, sobre el ciclo agroregenerativo de la información en Conacado.

Fase 4: Implementación de una biofábrica conectada para el desarrollo de una bioeconomía del cacao.

En esta fase instalara una biofábrica conectada, desarrollada por el fabricante chino ALane, la cual abastecerá la demanda de bioinsumos a todas la explotaciones o fincas inteligentes bajo la autonomía del complejo agroindustrial, la posee para su gestión una red de autómatas SIMATIC S7-1200 del fabricante alemán SIEMENS (ver Figura 95), cuyo plan de producción se conformara por la suma total de toda la demanda de bioinsumos de cada una de las fincas de productores afiliados a Conacado (ver anexo 9). Esta planta producirá bioinsumos líquidos y sólidos que ayudaran al proceso de

fertilización, bioestimulación, bioremediación y control de plagas del cultivo, utilizando soluciones biológicas que potencien el desarrollo óptimo de las plantaciones generando una mayor productividad en cada ciclo de producción agrícola.

Fase 5: Desarrollo de la ingeniería de la plataforma AgrosTIC 4.0.

El núcleo central de la plataforma está desarrollado fundamentalmente en un inicio para los tres roles básicos (productor, técnico y ejecutivo) con un conjunto de módulos fundamentales para llevar la plataforma a un nivel de biosistema inteligente completo, dado que se integran los flujos de mejoramiento genético, fenología, y trazabilidad viva de los árboles de cacao desde la germinación hasta la transformación industrial. , entre los que se encuentran en la tabla siguiente:

Tabla 66. Módulos de AgrosTIC 4.0.

Módulos de la plataforma AgrosTIC 4.0	Submódulos relacionados.
Módulo de Gestión Genética y de Viveros. Observaciones: Integra todos los procesos de mejoramiento vegetal, clonación y trazabilidad genética. Datos clave: Código genético, ID de clon, fecha de injerto, estado fenológico, índice de vigor, sanidad, lote de bioinsumo, lote de finca destino.	● Banco genético y de clones: registro genómico, ADN y linaje de variedades criollas, trinitarias e híbridas. ● Gestión de viveros: germinación, sanidad vegetal, injertos, tasa de éxito y bioinsumos aplicados. ● Microclima de vivero (IoT): control automático de temperatura, humedad, fotoperiodo y riego. ● Trazabilidad genética blockchain: cada clon o semilla certificada se asocia a un “pasaporte digital vegetal” (NFT agrícola). ● Evaluación fenotípica y vigor clonal: seguimiento por sensores,

	imágenes multiespectrales y análisis QGIS. ● Optimización productiva: predicción de rendimiento por edad del clon y zona agroecológica.
Módulo de Gestión Fenológica y EDD (Etapa de Desarrollo del Árbol). Observaciones: Conecta viveros → campo → producción → biofábrica. Datos claves: Edad, fase fenológica, NDVI (índice vegetativo), vigor, historial de producción, necesidades nutricionales.	● Mapa fenológico dinámico (IA + GIS): localiza cada lote según la EDD (plántula, juvenil, productivo, senescente). ● Modelo predictivo AlphaEarts: IA que predice estrés hídrico, nutricional o fitosanitario según la edad del árbol. ● Alertas fenológicas: avisos automáticos de podas, fertilización biológica y renovaciones genéticas. ● Rotación regenerativa: integración con el módulo de biofábrica para regenerar suelo y microbioma según la etapa del árbol.
Módulo de Finca Inteligente: Observaciones: Integra campo, sensores IoT, Drones y manejo agroecológico certificado. Utiliza tecnologías de fabricantes NiuBoL, DJI FS-65 y Resonon. Datos clave: asociados al sistema de certificación de Conacado.	● Estrés hídrico y balance hídrico. ● Control climático y meteorológico. ● Salud del suelo y microbioma. ● Monitoreo de carbono y biodiversidad. ● Control biológico automatizado. ● Control automatizado de riego. ● Control automatizado de la Fertilización.

Módulo de Biofábrica: Observaciones: Gestiona la producción, control y aplicación de bioinsumos. Datos clave: establecidos en la ISO 62264 para plataformas de Manufacturas (MES).	● Planificación de la producción de bioinsumos vinculado con los tres módulos anteriores y algoritmos de decisión de la ecuación (1). ● Producción de biofertilizantes, bioestimulantes, biofungicidas y biocompuesto. ● Control IoT de fermentadores y biorreactores (SCADA de ALane). ● Trazabilidad de lotes biológicos y vinculación a clones/fincas. ● Integración con modelos fenológicos (ajuste de fórmulas por EDD).
Módulo de Centro de Despacho y Logística Circular: Observaciones: Integra la logística regenerativa y sostenible. Datos clave: asociados al sistema de certificación de Conacado.	● IoT de transporte (GPS, temperatura, humedad, CO₂). ● Optimización de rutas regenerativas (menos huella de carbono). ● Control de despacho por lote, origen y edad fenológica. ● Integración con trazabilidad blockchain.
Módulo de PosCosecha y Calidad Regenerativa: Observaciones: Control de fermentación, secado y calidad sensorial.	● SCADA del sistema poscosecha: fermentación, secado y recepción del cacao.

Datos clave: asociado al sistema de certificación y calidad de Conacado.	● Trazabilidad de lotes por clon y finca. ● Análisis de calidad sensorial y química. ● Gestión de la relación calidad ↔ genética ↔ condiciones fenológicas.
Módulo de Industria de Chocolate Inteligente. Observaciones: Vincula el proceso industrial con la trazabilidad genética y ecológica. Datos claves: asociado al sistema de Control de la producción de la Agroindustria.	● MES (Manufacturing Execution System) de transformación, extraídos del módulo de producción de la Agroindustria (MS Dynamics 365). ● Control de calidad sensorial por lote clonal. ● Costeo regenerativo por edad del árbol y prácticas sostenibles. ● Blockchain de certificación por productos.
Módulo de Analítica e Inteligencia AlphaEarts/ PyQGIS: Observaciones: Capa de IA, analítica y ciencia de datos regenerativa. Datos claves: asociados al sistema de BI de Conacado, los algoritmos de DM y la ingeniería de características para la analítica aumentada para el análisis prescriptivo.	● Predicción de rendimiento, fertilidad y estrés. ● Modelos de correlación genética–productividad–calidad. ● Monitoreo de carbono y pagos por servicios ecosistémico (PES) automáticos. ● Analítica desempeño ambiental, social y de gobernanza (ESG) y regeneración ecológica. ● Gemelo digital del biosistema.

Módulo de Trazabilidad y Certificación Blockchain: Observaciones: Certifica cada etapa de vida de la planta y del cacao producido. Datos claves: asociado al sistema de gestión corporativo de la calidad en general y sus OLTP.	● Pasaporte genético vegetal (desde clon). ● Registro de finca, biofábrica y despacho. ● Contratos inteligentes para pagos PES y certificaciones. ● Integración con sistemas de carbono y comercio justo.
Módulo del Cuaderno de Finca del productor: Observaciones: es la interfaz digital de trabajo del productor agroecológico. Datos claves: asociado con administración de la finca, el manejo certificado y el ciclo de agronómico.	● Análisis edafoclimático. ● Gestión de finas. ● Personal. ● Inventarios. ● Maquinarias. ● Gestión de campañas. ● Chatbots con IA.
Módulo del Libro de extensión. Observaciones: es la interface digital de trabajo del técnico extensionista agroecológico. Datos claves: asociado con el control del servicio, el manejo certificado y el ciclo de agronómico.	● Gestión de productores. ● Gestión de finas. ● Visitas técnicas. ● Certificación. ● Gestión de campañas. ● Chatbots con IA.
Módulo de Inteligencia del Negocio (BI). Observaciones: integra todo el conocimiento institucional. Datos claves: asociado con el almacén de datos de Conacado.	● Consultas dimensionales. ● Reportes inteligentes. ● Vinculación con analítica. ● Visualizaciones de Datos y Dashboards.

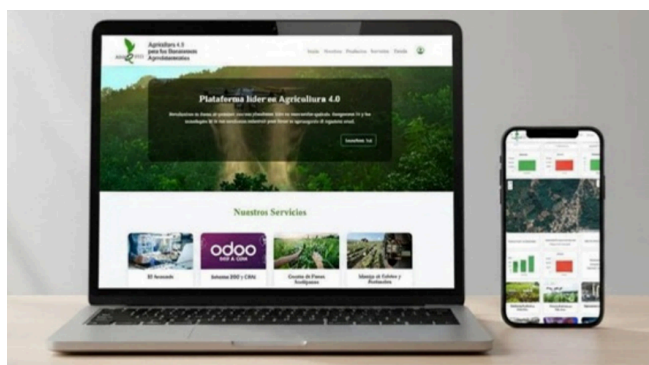
	• Mensajes y alarmas de la inteligencia del sistema.
--	--

Fuente: Diseño del programa backlog de AgrosTIC 4.0.

La metodología utilizada para el desarrollo de la plataforma fue SCRUM, una metodología ágil para el despliegue de proyectos y desarrollo de software, que tiene su propia configuración de roles y funcionalidades dentro del equipo de desarrollo y su unidad de medida temporal, la cual recibe el nombre de SPRINT, la cual se planificó en 12 meses de ejecución divididos en 12 sprints (SCRUM, 2025). Para esto, el investigador principal de este trabajo debe compartir el rol de Product Owner (Dueño del Producto), desde donde definirá la visión del producto, gestionará y ordenará el Product Backlog (lista de tareas priorizada), y maximizará el valor del producto y el trabajo del equipo.

El equipo de desarrollo SCRUM, basado en la propia metodología, generará las interfaces de las aplicaciones que les darán visibilidad de la plataforma a las partes interesadas, desde los diferentes dispositivos como se muestra en la figura siguiente:

Figura 91. Imágenes de los dispositivos que acceden a AgrosTIC 4.0.



Fuente: Elaboración propia a partir del Mockup de la plataforma.

La plataforma web AgrosTIC 4.0 integra múltiples servicios diseñados para cada uno de los actores del proceso productivo (productores, técnicos, gerentes, intermediarios, biofábricas y clientes) centralizando en un solo espacio (AgrosTIC Cloud) toda la

información y operaciones relacionadas con los cultivos, procesos y comercialización (ver Figura 91).

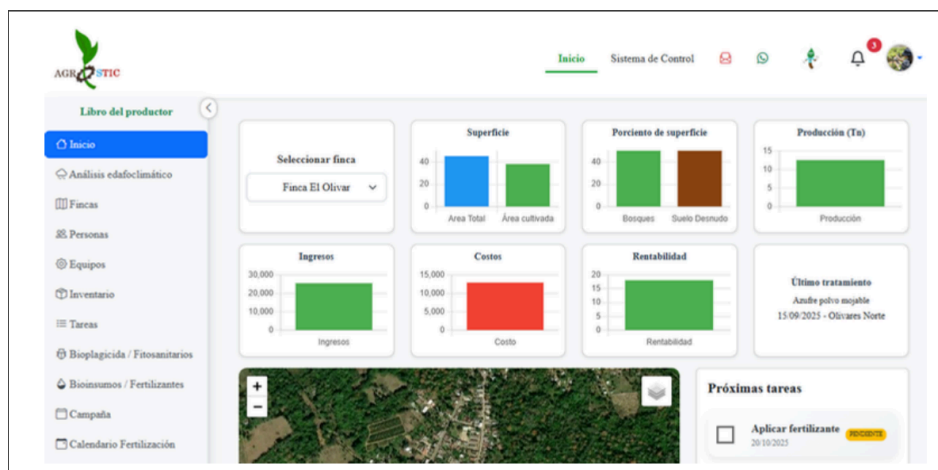
Figura 92. Imagen de AgrosTIC 4.0 para roles fundamentales.



Fuente: Elaboración propia a partir del Mockup de la plataforma.

Los roles de interacción fundamentales con la plataforma (productor, técnico y biofábrica), poseen funciones que se definirán en categorías o subroles, dentro de la ingeniería de software a partir de las *historias de usuarios* y *casos de uso*, encargados de captar los requisitos funcionales del sistema, los cuales aparecen en las interfaces de cada módulo en particular; un ejemplo de ello es el Cuaderno de Finca del productor.

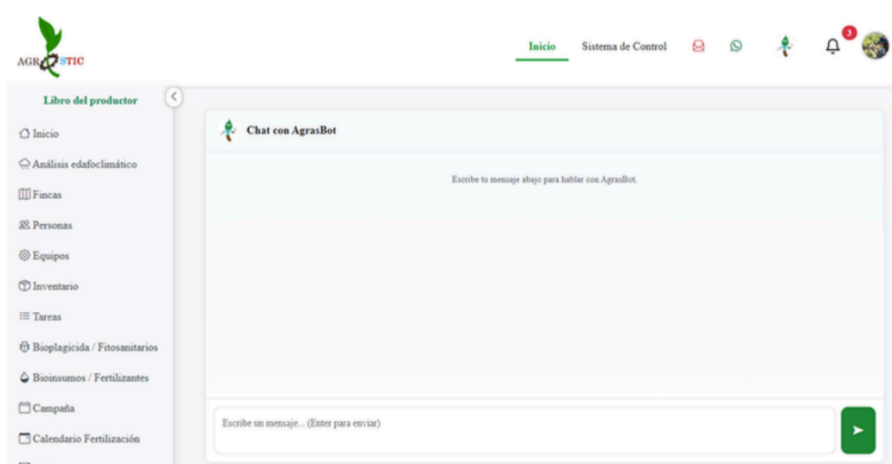
Figura 93. Cuaderno de finca de AgrosTIC 4.0.



Fuente: Elaboración propia a partir del Mockup de la plataforma.

La consola del productor o libro de finca contienen un conjunto de funcionalidades que le permitirán la gestión de su finca, el monitoreo en tiempo real de los parámetros edafoclimáticos, la demanda actual y futura de bioinsumos, la planificación de todo el ciclo productivo y de certificación de su finca. Teniendo también la oportunidad de conversar con la IA de la plataforma (AgrasBot), a través de un prompt para configurar los manejos óptimos de su predio productivo a partir de datos prescriptivos que genera la analítica aumentada de la plataforma (ver Figura 94).

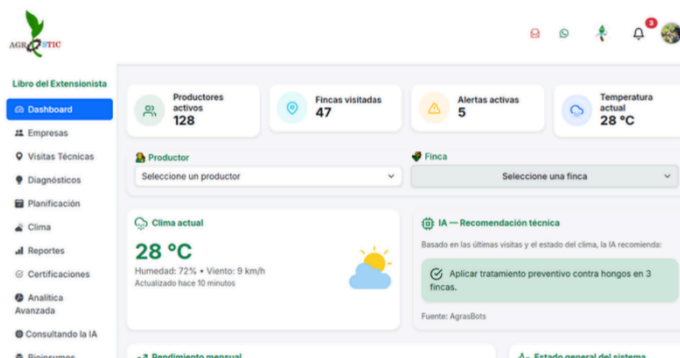
Figura 94. Chatbots Agras de la plataforma.



Fuente: Elaboración propia a partir del Mockup de la plataforma.

Para el caso particular de la consola del técnico extensionista presenta un grupo de funcionalidades que le permitirán la gestión de extensión con cada productor y finca que este bajo su responsabilidad, con la que podrá realizar diagnóstico vía la plataforma utilizando los controladores de fincas, drones o imágenes satelitales, las cuales servirán para pasar información a la capa de inteligencia y así optimizar los planes del manejo y las tareas de certificación, así mismo de gestionar el plan de bioinsumos para cada predio productivo teniendo en cuenta la variabilidad edafoclimática presentada, como se puede apreciar en la siguiente figura.

Figura 95. Consola del técnico extensionista.



Fuente: Elaboración propia a partir del Mockup de la plataforma.

Y finalmente, la plataforma MES de la biofábrica no es más que una aplicación en la nube, que estará conectada a una planta física de elaboración de bioinsumos.

Figura 96. Plataforma MES de la Biofábrica conectada.

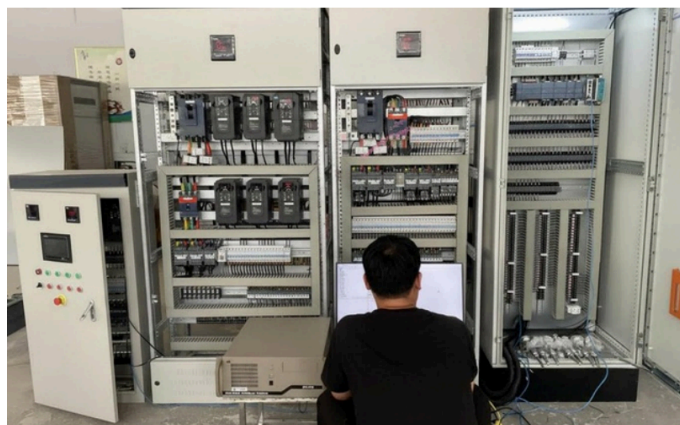


Fuente: Elaboración propia a partir del Mockup de la plataforma.

La plataforma MES de la biofábrica siguiendo el modelo normativo de la 4ta revolución industrial RAMI 4.0, está conectada al sistema de control automático de la planta (ver Figura 96) y al mismo tiempo se comunicara con los gemelos digitales de cada finca, los cuales le transfieren los datos al segmento planificador de la producción de la planta, logrando que el gemelo digital de la biofábrica, el cual responde a la estructura que podemos apreciar en el anexo 9, genere la producción de bioinsumos, convirtiéndose en un problema de toma de decisión a partir de la solución de optimización que aparece en

la ecuación 1, respondiendo a las necesidades de nutricionales, climáticas y de productividad de cada explotación que manifiestan los mapas digitales edafoclimáticos correspondientes.

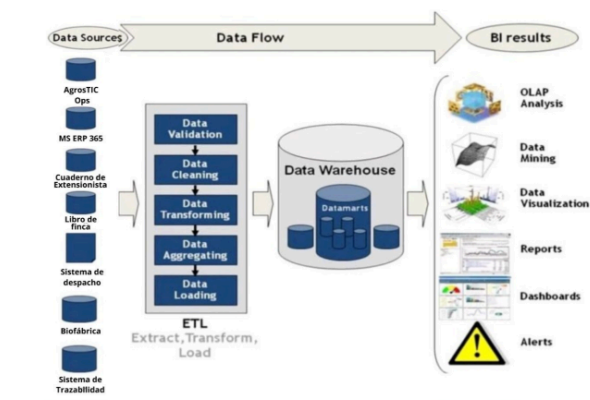
Figura 97. Sistema SCADA de la Biofábrica de insumos del ALane.



Fuente: Elaboración propia a partir del Mockup de la plataforma.

Bajo esta metodología, todas las aplicaciones del biosistema, tanto las de operaciones productivas (viveros, biofábricas, fincas inteligentes, sistemas poscosecha, fabricación industrial), que constituyen sistemas ciberfísicos en el proceso agroindustrial de CONACADO (ver figura 98), así como las aplicaciones de los procesos de gestión del ERP MS Dynamics 365 (Finanzas, RR.HH, Inventario, etc.) se integraran para conformar el sistema de gestión del conocimiento institucional bajo la 4ta revolución industrial que surge de la transformación del cuadro integral de mando de la planificación estratégica de Conacado, podrán optimizar la toma de decisiones buscando un aumento de la productividad y efectividad de los procesos del biosistema y con ello un aumento de la rentabilidad y los ingresos, mejorando el nivel económico en general del entorno social productivo de las zonas rurales que forman parte de este sistema agroindustrial.

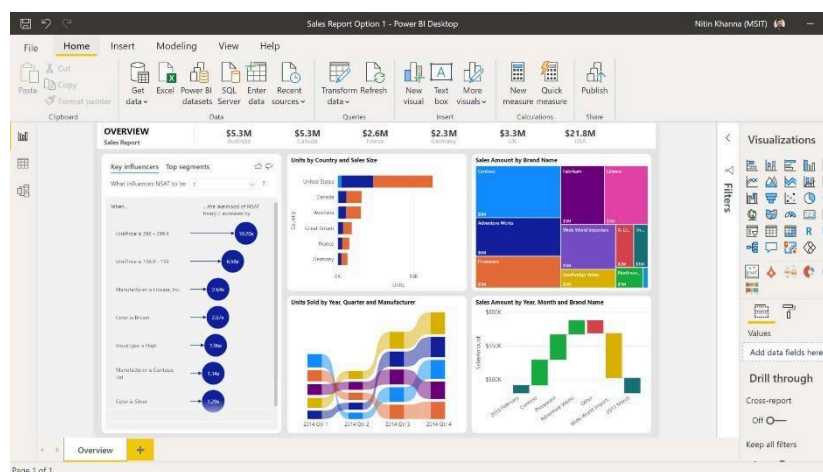
Figura 98. Sistema BI del Biosistema Conacado 4.0.



Fuente: Elaboración propia a partir de los resultado del diseño.

Todas las informaciones de conocimiento institucional, tanto descriptiva, predictiva y prescriptiva podrán ser visualizadas desde la consola del servicio o la aplicación desktop MS Power BI (ver Figura 99) que posee la institución por configurar sus soluciones desde el ERP MS Dynamics 365, la cual constituirá una herramienta de trascendental importancia para el manejo y ejecución de los sistemas de decisión basado en datos que presenta el paradigma de la transformación digital en la 4ta revolución industrial de Conacado.

Figura 99. Herramienta Power BI como soporte a las decisiones para los biosistemas agroalimentarios.

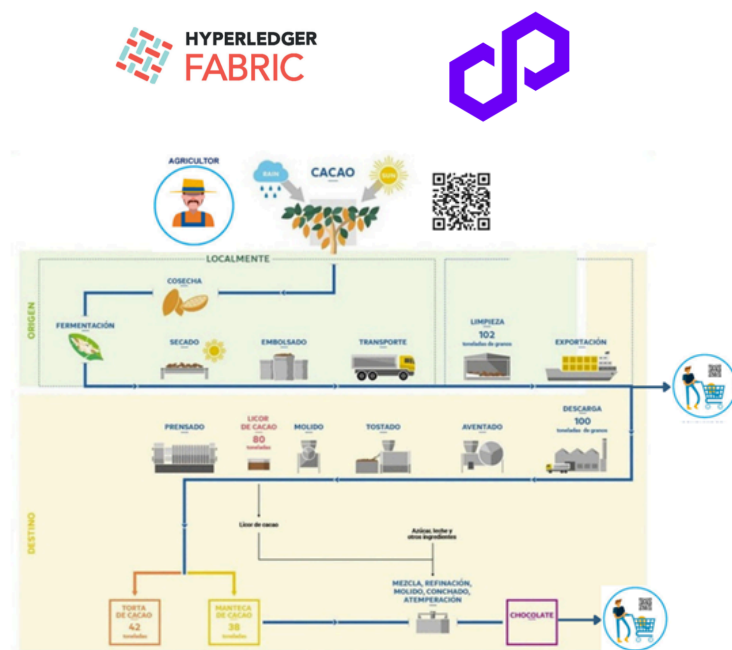


Fuente: (DataScientest, 2025)

Fase 6: Definición de un sistema de trazabilidad agroindustrial basado en tecnología blockchain, utilizando una arquitectura híbrida de redes públicas y privadas (Hyperledger Fabric y Polygon).

Para la instalación de tecnologías para el monitoreo y trazabilidad de cada gemelo digital desde las fincas inteligentes hasta la agroindustria de transformación del cacao en chocolate a través de la plataforma AgrosTIC 4.0, se empleará un modelo híbrido de blockchain que integra una cadena privada (Hyperledger Fabric) destinada a la gestión y protección de datos operativos sensibles y una cadena pública (Polygon), utilizada para la verificación abierta y la auditoría externa (ver Figura 100). Este modelo único permite registrar, validar y auditar todas las acciones del proceso productivo, garantizando transparencia y facilitando el cumplimiento de certificaciones nacionales e internacionales. Asimismo, el blockchain registra la trazabilidad completa de los bioinsumos utilizados, documentando su origen, formulación y aplicación en cada hectárea, lo que fortalece la integridad del proceso y provee evidencia certificable a toda la cadena agroindustrial.

Figura 100. Sistema de trazabilidad del biosistema de Conacado 4.0.



Fuente: Elaboración propia a partir del Mockup de la plataforma.

Adicionalmente, la plataforma implementara *contratos inteligentes* que automatizan decisiones y ajustes teniendo en cuenta los factores críticos obtenidos del sistema de monitoreo, lo que permitirá llegar hasta la tokenización de activos basado en blockchain.

Fase 7: Desarrollo de un piloto en fincas inteligentes para diferentes zonas climáticas de cacao.

Una vez puesto en funcionamiento los sistemas ciberfísicos de la biofábrica conectada y los viveros que respectivamente soportaran la demanda de bioinsumos para la producción de cada finca inteligente y las reposiciones o sustituciones de árboles de cacao y de los clones para mantener el sistema en un estado óptimo productivo (eficiencia genética y etaria), se instalaran las redes de recolección de datos edafoclimáticos y sistemas de monitorización por drones y satélites, acompañado de sistemas de fertilización y riego automatizados dependiendo del tipo de zonas geográficas y sus diferente régimen pluvial (Nagua, Cotuí y Barahona), planificándose el ciclo agronómico según el tipo de manejo agroecológico y certificación que sigue el productor.

La instalación de las redes de recolección de datos edafoclimáticos y la automatización de la fertilización se realizara con un piloto 10 fincas distribuida en las zonas antes mencionadas para monitorear el despeño productivo del piloto teniendo en cuenta las respuestas de la genética de los cultivos a la variabilidad edafoclimática y del manejo.

Fase 8: Procesamiento, evaluación de los resultados y las correlaciones del sistema a través del piloto en las fincas inteligentes de cacao.

Las series de datos históricos generados durante cada campaña productiva por el sistema (en las 10 fincas inteligentes) servirán para alimentar los gemelos digitales de cada finca productiva, pudiendo clasificar su rendimiento y productividad (algoritmos de minería y de predicción) en el nuevo cambio del paradigma productivo. Al mismo tiempo, estas series de datos temporales, monitoreados secuencialmente, constituirán la materia prima para entrenar por ingeniería de característica los modelos de analítica aumentada (Ej. Random Forest y XGBoost) que permitirán a la inteligencia artificial de forma iterativa e

incremental otorgar recetas de manejos para llevar el sistema de un bajo nivel productivo (0.6 qq/ta) a un nivel de un desempeño productivo superior (2 qq/ta).

Para finalizar el proceso (I+D+i) de esta etapa se deberán plantear cuestionamientos al segmento de analítica aumentada del sistema con la finalidad de lograr una etapa de escalabilidad futura, donde el nivel productivo promedio del biosistema sea superior (≥ 2.5 qq/ta) y con un enfoque de sostenibilidad y tecnológico de mayor nivel, coherencia y complejidad, algo podremos apreciar en la matriz de impacto del acápite siguiente.

4.3. Valoración/evaluación/validación de la propuesta de transformación.

La propuesta de transformación de este trabajo de investigación tiene aspectos científico técnicos importantes, que se sustentan en el hecho de que la plataforma AgrosTIC 4.0 parte del diseño de un prototipo ya validado (Mockup AgrosTIC 4.0) desde el punto de vista técnico, social y funcional, con muy buena aceptación por las partes interesadas y stakeholders principales a nivel institucional (ver capítulo III), por lo que implica que el diseño sigue un enfoque socio-técnico real, el cual prioriza la capacitación de los actores antes del despliegue tecnológico, incorporando un piloto con diversidad regional y ambiental el cual permite aprendizaje y ajuste iterativo, ajustado a un plan de desarrollo de ocho etapas, como aparece en el anexo 10 de este trabajo y un cronograma a 36 meses como aparece en el diagrama de Gantt anexo 10 (ver anexo 10).

Otra consideración importante para el despliegue de la propuesta es que en la fase exploratoria y de diagnóstico de la investigación, se recogieron una serie de informaciones suministradas por los actores del sistema, las cuales podían constituir los principales riesgos que pueden impactar el proceso de transformación, para lo cual se elaboró una matriz que debe cubrir riesgos técnicos, sociales, organizacionales, financieros y climáticos, como aparece en la Tabla 67. Donde se utilizó la escala siguiente para el cálculo del nivel del riesgo (P x I):

Probabilidad (P): Baja (1) – Media (2) – Alta (3).

Impacto (I): Bajo (1) – Medio (2) – Alto (3).

Tabla 67. Matriz de riesgo de la propuesta transformadora.

ID	Riesgo	Tipo	P	I	Nivel	Estrategia de mitigación
R1	Resistencia al cambio de productores	Social	3	3	9 (Crítico)	Capacitación temprana, pilotos demostrativos
R2	Baja alfabetización digital	Social	3	2	6 (Alto)	OE1: formación diferenciada por perfiles
R3	Fallas de conectividad rural	Técnico	2	3	6 (Alto)	Arquitectura híbrida edge-cloud
R4	Calidad insuficiente de datos IoT	Técnico	2	3	6 (Alto)	Validación, redundancia de sensores
R5	Sobrecosto en infraestructura	Financiero	2	2	4 (Medio)	Implementación progresiva por fases
R6	No integración con ERP Dynamics 365	Técnico	1	3	3 (Medio)	Pruebas tempranas de interoperabilidad
R7	Riesgos climáticos extremos	Ambiental	3	3	9 (Crítico)	Analítica predictiva y resiliencia climática
R8	Dependencia de proveedores tecnológicos	Estratégico	2	2	4 (Medio)	Uso de estándares abiertos
R9	Escalabilidad limitada	Técnico	1	3	3 (Medio)	SCRUM + arquitectura modular
R10	Pérdida de apoyo institucional	Organizacional	1	3	3 (Medio)	Alineación con Meta 2036

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados de la investigación.

En esta matriz de riesgo se puede observar con claridad la existencia de riesgos críticos (R1 y R7) que no son tecnológicos, sino sociales y climáticos, lo cual justifica plenamente tu enfoque de transformación social.

Con la finalidad de avanzar hacia el cumplimiento de los objetivos con claridad, se definieron los roles y responsabilidades del proyecto en cada etapa de despliegue como aparece en la tabla siguiente:

Tabla 68. Matriz RACI de la propuesta transformadora.

Etapas	DG	DT	TI	EXT	PROD	INV
Etapas 1 – Capacitación	A	R	C	C	R	A
Etapas 2 – BSC y KPIs	A	R	C	C	C	R
Etapas 3 – Infraestructura IoT	C	R	A	R	C	C
Etapas 4 – Biofábrica	A	R	C	R	C	C
Etapas 5 – Plataforma SCRUM	C	C	A	R	I	R
Etapas 6 – Blockchain	C	C	A	R	I	R
Etapas 7 – Piloto	A	R	R	C	R	A
Etapas 8 – Ajustes y análisis	C	C	R	I	C	A

Fuente: Elaboración propia a partir del modelo RACI.

Donde los roles considerados son:

- **DG:** Dirección General CONACADO
- **DT:** Dirección Técnica / Agrícola
- **TI:** Equipo Desarrollo TIC / Ciencia de Datos.
- **EXT:** Proveedores tecnológicos
- **PROD:** Productores
- **INV:** Investigador doctoral

Y las claves utilizadas:

- **R:** Responsables.
- **A:** Aprobadores.
- **C:** Consultados.
- **I:** Informados.

Para la distribución del presupuesto asignado al proyecto se tomaron los valores de la propuesta de esta investigación realizada a la presidencia de la república y al consejo nacional de competitividad en el Plan Meta 2036 (ver anexo 11), la cual fue aprobada y considerada dentro de las 62 acciones estratégicas de la gestión del actual presidente de Luis Abinader Corona (C.N.C, 2025).

Tabla 69. *Presupuesto estimado para el desarrollo del proyecto.*

Etapas	Porcentaje Presupuesto (%)	Monto en RD\$	Monto en USD\$
Etapas 1 – Capacitación	0.22	9,047,003.97	149,685.63
Etapas 2 – BSC + KPIs	0.22	9,000,003.99	148,908.00
Etapas 3 – Infraestructura IoT	71.13	2,901,121,440.00	48,000,000.00
Etapas 4 – Biofábrica	22.23	906,600,450.00	15,000,000.00
Etapas 5 – Plataforma SCRUM	0.74	30,000,014.50	496,360.02
Etapas 6 – Blockchain	0.56	22,800,011.31	377,233.62
Etapas 7–8 – Piloto y ajustes	4.90	200,000,099.08	3,309,066.84
Total	100.00	4,078,569,022.85	67,481,254.11

Fuente: Elaboración propia a partir de la propuesta Meta 2036.

Nota: Tasa 1 USD\$ = 60.44 RD\$

De la Tabla 68 se puede observar que el monto presupuestario del proyecto recae fundamentalmente en aquellas etapas o acciones (etapas 3, 4, 7 y 8), donde es

impactada directamente la productividad y el desarrollo infraestructural del sector. Donde, según Tovar-Quiroz (2023) ; Weaver et al. (2009) y (Orozco Aguilar & López Sampson, Mejora productiva del cacao, 2016), son factores claves para la planificación paulatina del crecimiento de la productividad debido al cambio del paradigma productivo basado en los gemelos digitales de las fincas inteligentes de cacao, con una bioeconomía basada en el conocimiento para atender los aspectos nutricionales del cultivo, las acciones de mitigación de problemas edafoclimáticos y de manejo plagas, basado en insumos biológicos, así como la gestión de la eficiencia genética, la compatibilidad y la edad del cultivo están dadas en la tabla siguiente:

Tabla 70. *Evolución de la productividad esperada en el sector (2026 -2036).*

Periodo (años)	Productividad esperada (qq/ta)
2025	0.60
2026	0.60
2027	0.74
2028	0.88
2029	1.02
2030	1.16
2031	1.30
2032	1.44
2033	1.58
2034	1.72
2035	1.86
2036	2.00

Fuente: Elaboración propia a partir del diseño de la investigación.

La productividad media de la producción del cacao en el sector, realizada de forma inteligente se convierte en una de las principales variables dependientes de este trabajo, donde la agricultura 4.0, como un tipo agricultura de precisión, la distribución de bioinsumos inteligentes, la analítica predictiva y la gestión integrada del biosistema se convierten en factores habilitadores del proceso.

El análisis del párrafo anterior nos permite diseñar una matriz de impacto y realizar un análisis de viabilidad del proyecto a partir de ella, como se expresa en la siguiente tabla:

Tabla 71. *Matriz de Impacto - Productividad - kpi.*

Dimensión	Variable	Indicadores (KPIs)	Línea base	Meta 2034	Meta 2036
Productividad	Rendimiento cacao	qq/tarea	0.6	1.8	≥ 2.0
Productividad	Producción por finca	qq/año	Baja	+150 %	+200 %
Eficiencia	Uso de insumos	% reducción	0 %	40 %	40 %
Calidad	Lotes certificados	%	30 %	75 %	95 %
Trazabilidad	Lotes trazables blockchain	%	0 %	80 %	100 %
Resiliencia climática	Pérdidas por clima	%	Alta	-30 %	-50 %
Gestión	Decisiones basadas en datos	%	<10 %	70 %	90 %
Bioeconomía	Bioinsumos propios	%	0 %	50 %	80 %

Fuente: Elaboración propia a partir del diseño de la investigación.

La Matriz de Impacto-Productividad de la propuesta conecta tecnología, procesos, resultados productivos y un impacto al país, que demuestra impactos medibles en diferentes dimensiones, no solo en implementación tecnológica, por lo que no puede considerarse como un caso aislado, sino como un modelo replicable de política pública agroindustrial. Esto permite realizar un análisis de viabilidad socioeconómica multidimensional del proyecto, como se puede apreciar en la siguiente tabla:

Tabla 72. *Matriz de análisis multidimensional de la viabilidad socioeconómica.*

Dimensión de análisis	Aspectos centrales de la Viabilidad	Resultados esperados.
Económica	-Incremento de productividad → aumento directo de ingresos. -Reducción de costos por bioinsumos y precisión. -Mayor valor por trazabilidad y certificaciones. -Disminución de pérdidas climáticas.	Incremento neto de rentabilidad ≥ 100 % al 2030.
Social	-Capacitación como eje de inclusión. -Reducción de brecha digital rural. -Fortalecimiento del cooperativismo. -Mayor estabilidad económica familiar.	+40 % empleo técnico rural. - Retención de jóvenes en el campo. - Profesionalización del productor.
Ambiental	-Uso de bioinsumos. -Menor huella de carbono. -Agricultura regenerativa. -Monitoreo edafoclimático continuo.	- Producción alineada a estándares ESG. - Mayor resiliencia al cambio climático.
Institucional	-Alineación con BSC y Meta 2036. -Integración con Dynamics 365. -Escalabilidad nacional.	- CONACADO como referente regional en Agricultura 4.0.

Fuente: Elaboración propia a partir del análisis de viabilidad.

En el análisis del contexto sociopolítico en que se realiza la propuesta transformadora de la investigación, donde el Estado dominicano tiene como una de sus estrategias más importantes el Plan Meta 2036, se puede realizar una matriz de contribución como se expresa en la siguiente tabla:

Tabla 73. *Matriz de contribución al plan Meta 2036.*

Eje Meta 2036	Contribución AgrosTIC 4.0	Indicadores
Productividad agropecuaria	Agricultura de precisión	qq/tarea
Transformación digital	Plataforma AgrosTIC 4.0	% procesos digitalizados
Cambio climático	Resiliencia y analítica	Reducción pérdidas
Bioeconomía	Biofábrica conectada	% bioinsumos
Inclusión social	Capacitación rural	% productores capacitados
Exportaciones	Trazabilidad blockchain	% cacao trazable

Fuente: Elaboración propia a partir del plan Meta 2036.

La implementación progresiva de la plataforma AgrosTIC 4.0 permitirá proyectar un incremento sostenido de la productividad del cacao, desde un valor base de 0.6 qq/ta hasta alcanzar 2.0 qq/ta en el horizonte 2036, mediante la integración de capacitación, tecnologías IoT, bioinsumos inteligentes, analítica avanzada e inteligencia artificial, consolidando un biosistema agroindustrial resiliente, trazable y basado en el conocimiento.

La viabilidad de esta propuesta fue validada mediante el criterio de expertos, a partir de un proceso estructurado que integró encuestas y consultas a un grupo intencional de actores clave del biosistema CONACADO (n = 35), compuesto por directivos, técnicos y productores con experiencia en los procesos productivos, organizacionales y de comercialización del cacao. Este procedimiento se fundamentó en la evaluación de tres dimensiones principales: técnica, social-organizativa y funcional, utilizando una escala tipo Likert de cinco niveles.

Los resultados obtenidos evidencian un alto nivel de aceptación y pertinencia de la propuesta, con valores promedio superiores a 4.5/5 en todas las dimensiones evaluadas, y con más del 80% de las valoraciones concentradas en las categorías de “muy bueno” y “excelente”. En el plano técnico, los expertos reconocen la factibilidad de integración de tecnologías como IoT, inteligencia artificial y sistemas de trazabilidad; en la dimensión

social, destacan la disposición de los actores para adoptar la plataforma, condicionada a procesos adecuados de capacitación y acompañamiento; mientras que, en la dimensión organizativa, se valida la coherencia de la propuesta con los procesos institucionales y la estrategia de desarrollo de CONACADO.

De manera complementaria, los resultados de las entrevistas y encuestas aplicadas durante la fase diagnóstica refuerzan estos hallazgos, evidenciando tanto las limitaciones actuales en capacidades tecnológicas como la alta disposición al cambio por parte de los actores del sistema. Esta triangulación de resultados permite afirmar que la plataforma no solo es técnicamente viable, sino también socialmente aceptada y funcionalmente pertinente para el contexto analizado.

4.3.1. Validación de la propuesta mediante criterio de expertos.

En el proceso de validación técnica, social y funcional de la plataforma AgrosTIC 4.0, se aplicó el método de criterio de expertos, como técnica de validación ampliamente utilizada en investigaciones aplicadas y de diseño tecnológico bajo el Método de Validación en la Ciencia del Diseño (DSVM) (Larsen et al., 2025). Este método entra dentro de un enfoque llamado Design Science Research (DSR), que se utiliza en investigación para resolver problemas complejos mediante la creación y evaluación de artefactos innovadores (Mockup AgrosTIC 4.0) (Mitsiou, 2023).

El procedimiento se desarrolló mediante una selección intencional de expertos ($n = 35$), conformada por actores clave del biosistema agroalimentario de CONACADO, incluyendo directivos, técnicos extensionistas y productores líderes. Los criterios de selección consideraron la experiencia en el sector cacaotero, el nivel de participación en los procesos organizacionales y el conocimiento práctico de las dinámicas productivas y tecnológicas.

Para la recolección de la información se diseñó un instrumento tipo encuesta estructurada, basado en una escala de Likert de cinco niveles (1 = Muy deficiente | 2 = Deficiente | 3 = Aceptable | 4 = Buena | 5 = Excelente), el cual fue cualitativamente

validado por tres investigadores expertos (ver anexo 20), cuyo objetivo era evaluar las tres dimensiones fundamentales de la propuesta:

Dimensión técnica: factibilidad de implementación, integración tecnológica, uso de herramientas digitales.

Dimensión social y organizativa: nivel de aceptación, disposición al cambio, percepción de utilidad.

Dimensión funcional: coherencia con los procesos institucionales, aplicabilidad y contribución a la gestión.

El procesamiento de los datos se realizó con diferentes procedimientos estadísticos; con la utilización de la estadística descriptiva se obtuvieron medidas de tendencia central (media) y distribución porcentual de las valoraciones. Los resultados evidenciaron que todas las dimensiones evaluadas alcanzaron valores promedio superiores a 4.5, con más del 80% de las respuestas concentradas en las categorías “Bueno” y “Excelente”, lo que indica un alto nivel de aceptación y pertinencia de la propuesta, como muestra la tabla siguiente:

Tabla 74. Evaluación de la propuesta AgrosTIC 4.0 por criterio de expertos

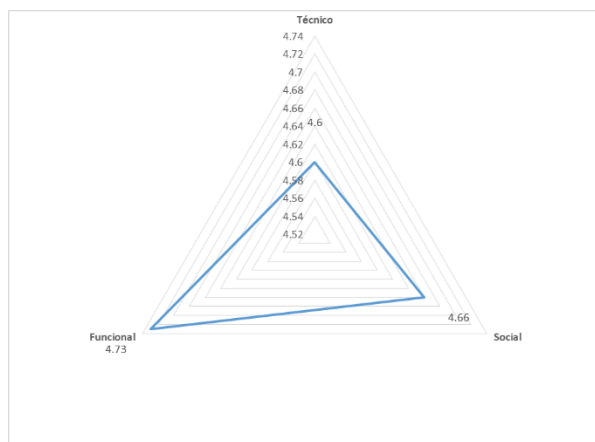
Dimensión evaluada	Indicadores evaluados	Media ($\bar{X}$)	% Bueno (4)	% Excelente (5)	Nivel de aceptación
Técnica	Integración tecnológica, factibilidad de implementación, uso de IA, IoT y trazabilidad	4.63	22%	67%	Alto
Social-Organizativa	Aceptación de los actores, disposición al cambio, utilidad percibida	4.66	26.3%	69.7%	Muy alto
Funcional	Coherencia con procesos, aplicabilidad institucional, apoyo a la gestión	4.73	14.3%	82.9%	Muy Alto
Promedio general		4.67	—	—	Muy alto

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados de la encuesta aplicada a los expertos.

Los resultados de la tabla anterior muestran que la propuesta presenta un alto nivel de aceptación en todas las dimensiones evaluadas, destacándose especialmente las

dimensiones sociales y funcionales, lo que indica una favorable disposición de los actores hacia la adopción de la plataforma y la implementación en su proceso productivo (ver gráfico 101). La consistencia de los valores obtenidos confirma la pertinencia, viabilidad y aplicabilidad del diseño propuesto en el contexto del biosistema agroalimentario de CONACADO.

Figura 101. *Evaluación de la propuesta en las dimensiones técnica, social y organizativa-funcional.*



Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados de la encuesta.

El gráfico de radar (ver figura 101) evidencia una evaluación altamente favorable de la propuesta en las tres dimensiones analizadas. La dimensión social alcanzó una media elevada ($X=4.66$), reflejando una alta disposición de los actores hacia la adopción de la plataforma. Por otra parte, las dimensiones técnicas ($X=4.6$) y funcional ($X=4.73$) muestran igualmente elevados niveles de aceptación, lo que confirma la viabilidad integral de la propuesta dentro del biosistema agroalimentario de CONACADO.

La homogeneidad de las valoraciones obtenidas demuestra coherencia entre los criterios emitidos por los expertos y refuerza la pertinencia del artefacto tecnológico propuesto bajo el enfoque de Design Science Research (DSR).

Con el análisis inferencial se procedió a estimar la consistencia interna mediante el coeficiente Alpha de Cronbach para las dimensiones del instrumento. Donde se pudo apreciar que el $\alpha = 0.88$, demostrando que, debido a criterios metodológicos aceptados en investigación social ($\alpha \geq 0.70$), los valores obtenidos evidencian una adecuada

consistencia interna del instrumento, lo que permite afirmar que los ítems presentan coherencia estructural y miden de manera homogénea los constructos definidos.

Adicionalmente, con el propósito de evaluar la coherencia estructural y la viabilidad sistémica del prototipo AgrosTIC 4.0, se construyeron tres variables compuestas correspondientes a las dimensiones técnica, social-organizativa y funcional (ver anexo 18), obtenidas a partir de los valores medios de los ítems evaluados por los participantes(X, Y, Z). Posteriormente, se realizaron análisis de correlación y modelos de regresión lineal entre dichas dimensiones, obteniéndose relaciones positivas y estadísticamente significativas ($p < 0.001$) en todos los casos evaluados.

Para la correlación, las salidas fueron las siguientes:

Pearson's product-moment correlation	Pearson's product-moment correlation	Pearson's product-moment correlation
data: datos\$X and datos\$Y t = 4.2226, df = 33, p-value = 0.0001781 alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0 95 percent confidence interval: 0.3227151 0.7729548 sample estimates: cor 0.5922671	data: datos\$X and datos\$Z t = 5.9816, df = 33, p-value = 1.018e-06 alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0 95 percent confidence interval: 0.5107699 0.8501581 sample estimates: cor 0.7212507	data: datos\$Y and datos\$Z t = 6.1662, df = 33, p-value = 5.92e-07 alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0 95 percent confidence interval: 0.5269136 0.8561688 sample estimates: cor 0.7316824

Para la regresión lineal, las salidas fueron las siguientes:

Call: lm(formula = datos\$Y ~ datos\$X, data = datos)	Call: lm(formula = datos\$Z ~ datos\$X, data = datos)	Call: lm(formula = datos\$Z ~ datos\$Y, data = datos)
Residuals: Min 1Q Median 3Q Max -1.0563 -0.1738 0.0654 0.1582 0.5726	Residuals: Min 1Q Median 3Q Max -0.82567 -0.08446 0.02296 0.15675 0.55813	Residuals: Min 1Q Median 3Q Max -0.93573 -0.11076 0.01439 0.16433 0.46421
Coefficients: Estimate Std. Error t value Pr(> t) (Intercept) 2.1757 0.5900 3.687 0.000809 *** datos\$X 0.5361 0.1270 4.223 0.000178 *** --- Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1	Coefficients: Estimate Std. Error t value Pr(> t) (Intercept) 1.6322 0.5197 3.141 0.00355 ** datos\$X 0.6690 0.1118 5.982 1.02e-06 *** --- Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1	Coefficients: Estimate Std. Error t value Pr(> t) (Intercept) 1.2371 0.5681 2.178 0.0367 * datos\$Y 0.7497 0.1216 6.166 5.92e-07 *** --- Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
Residual standard error: 0.3113 on 33 degrees of freedom Multiple R-squared: 0.3508, Adjusted R-squared: 0.3311 F-statistic: 17.83 on 1 and 33 DF, p-value: 0.0001781	Residual standard error: 0.2742 on 33 degrees of freedom Multiple R-squared: 0.5202, Adjusted R-squared: 0.5057 F-statistic: 35.78 on 1 and 33 DF, p-value: 1.018e-06	Residual standard error: 0.2698 on 33 degrees of freedom Multiple R-squared: 0.5354, Adjusted R-squared: 0.5213 F-statistic: 38.02 on 1 and 33 DF, p-value: 5.92e-07

Los resultados evidenciaron una correlación moderada positiva entre las dimensiones técnica y social-organizativa ($r = 0.592$), así como correlaciones altas entre las dimensiones técnica y funcional ($r = 0.721$) y entre las dimensiones social-organizativa y la funcional ($r = 0.732$). Estos hallazgos indican que la percepción favorable de los componentes tecnológicos de la plataforma se encuentra estrechamente relacionada con su aceptación social y con la percepción de funcionalidad organizacional del sistema, evidenciando coherencia estructural entre las dimensiones evaluadas. Asimismo, los modelos de regresión lineal desarrollados confirmaron capacidades explicativas estadísticamente significativas entre las variables analizadas, reforzando la viabilidad sistémica del diseño conceptual propuesto bajo un enfoque socio-técnico y de Agricultura 4.0, destacando fundamentalmente los siguientes modelos:

Modelo de las capacidades funcionales de AgrosTIC 4.0 en función de la evaluación técnica de los expertos:

$$Z = 1.6322 + 0.6690X \quad (26)$$

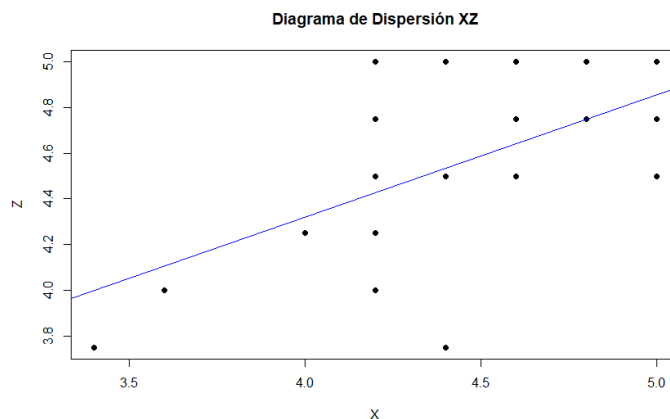
Con los resultados

$$R^2=0.5202$$

$$P = 1.018e-06 < 0.001$$

Lo que significa, que la dimensión técnica explica aproximadamente el 52.0% de la variabilidad de la dimensión funcional, mostrando una relación positiva moderadamente fuerte y estadísticamente significativa. Lo que demuestra que la percepción técnica del sistema por parte de los expertos está altamente asociada con la percepción funcional de la plataforma (ver figura 102).

Figura 102. *Modelo capacidades funcionales de AgrosTIC 4.0 en función de la evaluación técnica.*



Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados de la encuesta a expertos.

Modelo de las capacidades funcionales de AgrosTIC 4.0 en función de la aceptación social de los expertos:

$$Z = 1.2371 + 0.7497Y \quad (27)$$

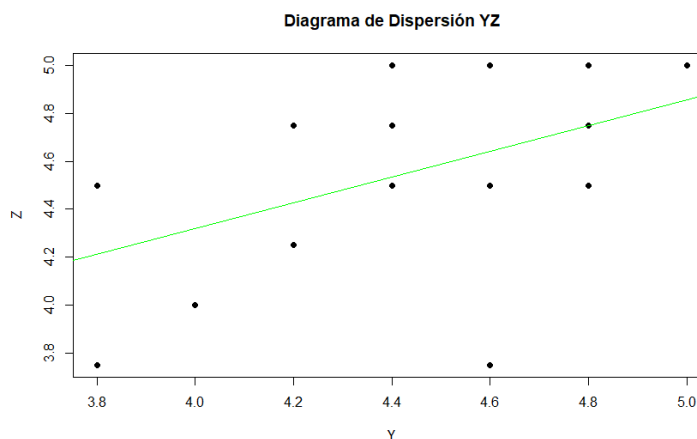
Con los resultados

$$R^2 = 0.5354$$

$$P = 5.92e-07 < 0.001$$

Lo que significa que la dimensión social explica aproximadamente el 53,5% de la variabilidad observada en la dimensión funcional, evidenciando una asociación positiva significativa entre la aceptación social-organizativa y la percepción funcional del sistema. Lo que demuestra que la aceptación social de la plataforma está directamente vinculada con la percepción de funcionalidad real de esta sobre el biosistema agroalimentario. (ver figura 103).

Figura 103. *Modelo capacidades funcionales de AgrosTIC 4.0 en función de la aceptación social.*



Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados de la encuesta a expertos.

Los resultados permiten inferir coherencia estructural entre las dimensiones evaluadas y refuerzan la viabilidad sociotécnica de la propuesta, en correspondencia con los principios de la Agricultura 4.0 y del enfoque Design Science Research (DSR).

Estos hallazgos, triangulados con los resultados de las entrevistas y encuestas aplicadas en la fase diagnóstica, permiten validar la propuesta desde una perspectiva integral, confirmando su viabilidad técnica, aceptación social y coherencia organizacional.

En consecuencia, se concluye que la plataforma AgrosTIC 4.0 actuará como catalizador de una transformación socio-técnica, capaz de triplicar la productividad del cacao dominicano, fortalecer la resiliencia climática y posicionar a CONACADO como actor estratégico de la bioeconomía basada en el conocimiento. Estos resultados se consolidan en el siguiente acápite, donde se presentan las conclusiones generales de la investigación en correspondencia con los objetivos planteados.

CONCLUSIONES

La presente investigación doctoral tuvo como propósito diseñar una plataforma de Agricultura 4.0 para la gestión inteligente de la Empresa CONACADO como un biosistema agroalimentario de cacao en la República Dominicana, orientada a contribuir potencialmente al mejoramiento de la productividad, la sostenibilidad socioambiental, la eficiencia administrativa y la competitividad internacional durante el período 2023–2025.

Para ello se desarrolló un enfoque metodológico mixto secuencial y longitudinal, que integró técnicas cualitativas y cuantitativas, análisis estadísticos y predictivos, teledetección satelital, aprendizaje automático y procesos participativos de validación sociotécnica. La investigación permitió articular evidencias provenientes del diagnóstico organizacional, la modelación agroambiental, el diseño tecnológico y la percepción de los actores de la cadena de valor del cacao, posibilitando una comprensión integral del problema investigado y la formulación de una propuesta de transformación digital contextualizada.

Los resultados obtenidos permitieron cumplir de manera satisfactoria los objetivos planteados y responder al problema científico formulado, evidenciando que la plataforma AgrosTIC 4.0 constituye una alternativa viable para la transición de CONACADO hacia un modelo de gestión inteligente basado en datos y en tecnologías de Agricultura 4.0.

Conclusiones por objetivos específicos.

Respecto al Objetivo Específico 1: Determinar los fundamentos teóricos referenciales de los modelos explicativos relacionados con la Agricultura 4.0, los biosistemas agroalimentarios y la gestión inteligente de la cadena de valor del cacao.

La sistematización teórica referencial permitió identificar los principales fundamentos científicos vinculados con la Agricultura 4.0, la transformación digital, los sistemas ciberfísicos, la bioeconomía basada en el conocimiento y la gestión inteligente de

biosistemas agroalimentarios. El análisis crítico de la literatura evidenció que las investigaciones existentes abordan de manera fragmentada las dimensiones tecnológicas, productivas y organizacionales de los sistemas agroalimentarios, particularmente en contextos tropicales y cooperativos.

A partir de esta revisión se logró construir un marco conceptual integrador que permitió concebir a CONACADO como un biosistema agroalimentario digital, donde convergen procesos productivos, ambientales, administrativos y comerciales articulados mediante tecnologías de Agricultura 4.0. Asimismo, se establecieron los fundamentos teóricos que sustentaron la arquitectura conceptual de la plataforma AgrosTIC 4.0 y la utilización de enfoques metodológicos orientados al diseño y validación de artefactos tecnológicos.

El cumplimiento total de este objetivo aportó las bases epistemológicas y conceptuales necesarias para la comprensión integral del problema investigado y la formulación de la propuesta transformadora.

Respecto al Objetivo Específico 2: Diagnosticar el estado de la infraestructura tecnológica, capacidades digitales, procesos administrativos y trazabilidad de CONACADO, integrando los factores tecnológicos, ambientales, socioeconómicos, organizacionales y de mercado que condicionan la adopción de Agricultura 4.0.

El diagnóstico desarrollado mediante encuestas, entrevistas y observación de campo permitió identificar limitaciones significativas en la infraestructura tecnológica, la conectividad digital, la integración de información y los sistemas de trazabilidad utilizados por CONACADO. Los resultados evidenciaron una baja madurez digital en gran parte de los productores y técnicos, predominando procesos manuales y registros fragmentados en la gestión productiva y administrativa.

De igual manera, se comprobó que factores como el estrés hídrico, la deforestación, las capacidades técnicas, el acceso a tecnologías digitales, los incentivos organizacionales y las exigencias de los mercados internacionales constituyen variables condicionantes para la adopción de Agricultura 4.0 en el sector cacaotero dominicano.

No obstante, también se identificó una elevada disposición de los actores hacia la incorporación de tecnologías digitales, lo cual representa una condición favorable para impulsar procesos de transformación digital dentro del biosistema agroalimentario estudiado.

Los resultados obtenidos, con el logro de este objetivo, permitieron caracterizar el estado actual del problema en su contexto real y establecer los requerimientos funcionales, organizacionales y tecnológicos necesarios para el diseño de la plataforma propuesta.

Respecto al Objetivo Específico 3: Especificar la arquitectura conceptual y tecnológica de una plataforma de Agricultura 4.0, integrando IoT, Big Data, Inteligencia Artificial, biofábricas conectadas, automatización de procesos, blockchain e inteligencia de negocios.

La investigación permitió diseñar la arquitectura conceptual y tecnológica de la plataforma AgrosTIC 4.0 bajo un enfoque modular, escalable e interoperable, integrando tecnologías asociadas a la Agricultura 4.0 como IoT, Big Data, Inteligencia Artificial, blockchain, automatización de procesos, inteligencia de negocios y biofábricas conectadas.

La propuesta tecnológica fue estructurada como un ecosistema digital orientado a la gestión inteligente del biosistema agroalimentario del cacao, posibilitando la integración de datos productivos, ambientales, administrativos y comerciales en tiempo casi real.

La arquitectura diseñada permitió demostrar la factibilidad conceptual de integrar sistemas ciberfísicos para la trazabilidad, el monitoreo ambiental, la analítica predictiva y la toma de decisiones basada en datos, contribuyendo potencialmente al fortalecimiento de la resiliencia climática, la productividad y la eficiencia organizacional.

El cumplimiento de este objetivo constituyó el principal aporte tecnológico de la investigación y permitió materializar conceptualmente la propuesta transformadora derivada del estudio.

Respecto al Objetivo Específico 4: Modelar un sistema de gestión inteligente que articule los procesos productivos, administrativos y comerciales de CONACADO como un biosistema agroalimentario sostenible.

El modelado del sistema de gestión inteligente permitió conceptualizar a CONACADO como un biosistema agroalimentario articulado mediante flujos integrados de información y procesos de toma de decisiones soportados por indicadores clave de desempeño y herramientas analíticas.

A partir de un enfoque sistémico se integraron componentes productivos, administrativos, ambientales y comerciales dentro de un modelo de gestión basado en datos, utilizando cuadros de mando integrales (BSC), indicadores KPI y principios de interoperabilidad digital.

Los resultados obtenidos evidenciaron que la articulación de procesos mediante tecnologías de Agricultura 4.0 favorece la transición desde modelos de gestión reactivos hacia esquemas predictivos y proactivos, fortaleciendo la capacidad institucional para enfrentar desafíos asociados a productividad, sostenibilidad y competitividad.

El cumplimiento de este objetivo permitió establecer las bases organizacionales y funcionales para la implementación futura de la plataforma AgrosTIC 4.0 en el contexto operativo de CONACADO.

Respecto al Objetivo Específico 5: Validar la viabilidad técnica, social y funcional de un prototipo conceptual (mockup) de la plataforma mediante encuestas y entrevistas a los actores de CONACADO.

La validación sociotécnica del prototipo conceptual (mockup) de la plataforma AgrosTIC 4.0 evidenció altos niveles de aceptación técnica, social y funcional por parte de productores, técnicos y directivos de CONACADO.

La evaluación desarrollada mediante encuestas y entrevistas mostró valoraciones medias superiores a 4.5 en todas las dimensiones analizadas, reflejando una percepción favorable respecto a la utilidad, pertinencia y facilidad de uso del diseño propuesto.

Asimismo, la confiabilidad interna del instrumento aplicado fue verificada mediante el coeficiente alfa de Cronbach, obteniéndose un valor de: $\alpha = 0.8815$, lo cual evidenció una alta consistencia interna de las valoraciones emitidas por los actores participantes.

De igual forma, la aplicación de pruebas estadísticas permitió comprobar que la aceptación del prototipo presentó diferencias estadísticamente significativas respecto al criterio neutro de evaluación, validando la viabilidad funcional y sociotécnica de la propuesta.

Los resultados obtenidos al alcanzar el cumplimiento de este objetivo, demostraron la pertinencia contextual de la plataforma AgrosTIC 4.0 y su alineación con las necesidades reales de los actores de la cadena de valor del cacao.

Respecto al Objetivo Específico 6: Evaluar el impacto potencial del diseño de la plataforma en términos de productividad, sostenibilidad socioambiental, eficiencia administrativa y competitividad internacional, a partir de escenarios simulados y percepción de los actores.

La evaluación del impacto potencial de la plataforma AgrosTIC 4.0 permitió determinar que su implementación podría contribuir significativamente al fortalecimiento de la productividad agrícola, la sostenibilidad socioambiental, la eficiencia administrativa y la competitividad internacional de CONACADO.

Los análisis longitudinales, la modelación predictiva y los escenarios simulados permitieron evidenciar relaciones entre variables ambientales y productivas, particularmente entre el estrés hídrico y la producción cacaotera, demostrando la utilidad de integrar herramientas de monitoreo, analítica predictiva e inteligencia artificial para apoyar la toma de decisiones agroproductivas.

Asimismo, la alta correlación encontrada entre las dimensiones de aceptación técnica y percepción del impacto organizacional y social del sistema evidenció coherencia estructural en la valoración integral de la propuesta, reforzando su viabilidad sistémica como herramienta de transformación digital.

Aunque el impacto real de la plataforma solo podrá verificarse plenamente durante futuras etapas de implementación operativa, los resultados obtenidos permiten concluir que la propuesta posee un elevado potencial estratégico para contribuir a la modernización sostenible del sector cacaotero dominicano, permitiendo a su vez el logro total del objetivo propuesto.

Conclusión general de la investigación

La integración y triangulación de los resultados cualitativos, cuantitativos, ambientales, tecnológicos y perceptuales obtenidos durante la investigación permitió concluir que el diseño de la plataforma AgrosTIC 4.0 constituye una alternativa técnicamente viable, funcionalmente pertinente y socialmente aceptada para la gestión inteligente de CONACADO como biosistema agroalimentario de cacao.

La investigación demostró que la incorporación integrada de tecnologías de Agricultura 4.0, sistemas ciberfísicos, inteligencia artificial, analítica de datos, blockchain y monitoreo ambiental puede fortalecer potencialmente la toma de decisiones basada en datos, mejorar la articulación de los procesos organizacionales y contribuir a incrementar la productividad, la sostenibilidad y la competitividad internacional de la organización.

En consecuencia, se concluye que la hipótesis general de la investigación fue aceptada, debido a que las evidencias obtenidas confirmaron que el diseño de una plataforma de Agricultura 4.0, estructurada bajo un enfoque de integración tecnológica, organizacional y ambiental, constituye una herramienta estratégica para impulsar la transformación digital sostenible de CONACADO.

Finalmente, los resultados alcanzados aportan contribuciones teóricas, metodológicas y aplicadas para el estudio de la Agricultura 4.0 en contextos agroalimentarios tropicales y

cooperativos, ofreciendo bases conceptuales y tecnológicas que pueden ser adaptadas y replicadas en otros sistemas agroindustriales similares.

RECOMENDACIONES

Las recomendaciones derivadas de esta investigación doctoral se orientan a fortalecer la continuidad científica, metodológica y práctica del proceso de transformación digital del biosistema agroalimentario de CONACADO, tomando como referencia los resultados obtenidos, el cumplimiento de los objetivos planteados y las limitaciones identificadas durante el estudio.

Las mismas se estructuran en recomendaciones metodológicas, académicas y prácticas, coherentes con el enfoque mixto, sistémico y socio-técnico que sustentó la investigación, y dirigidas a favorecer la evolución futura de la plataforma AgrosTIC 4.0 hacia escenarios de implementación operativa y escalamiento institucional.

Recomendaciones metodológicas

- Se recomienda que futuras investigaciones relacionadas con Agricultura 4.0 en sistemas agroalimentarios cooperativos amplíen los diseños longitudinales incorporando series temporales de mayor resolución espacial y temporal, con el propósito de fortalecer la robustez estadística de los modelos predictivos y mejorar la identificación de relaciones causales entre variables ambientales y productivas.
- Se sugiere complementar los análisis basados en teledetección satelital mediante la integración de sensores IoT y estaciones climáticas en campo, permitiendo validar y calibrar con mayor precisión los modelos de estrés hídrico, productividad y monitoreo ambiental utilizados en plataformas digitales agroindustriales.
- Se recomienda profundizar en la incorporación de técnicas avanzadas de aprendizaje automático y aprendizaje profundo, así como en métodos de inteligencia artificial explicable (XAI), con el fin de mejorar la capacidad predictiva de los modelos y facilitar la interpretación de resultados para la toma de decisiones estratégicas y operativas.

- Se sugiere mantener enfoques de triangulación metodológica que integren evidencia cuantitativa, cualitativa, ambiental y perceptual, especialmente en investigaciones relacionadas con sistemas socio-técnicos complejos, donde la validación integral de propuestas tecnológicas requiere considerar dimensiones técnicas, organizacionales y humanas.
- Se recomienda que futuras investigaciones incorporen fases piloto de implementación real de plataformas digitales, permitiendo evaluar empíricamente indicadores de adopción tecnológica, productividad, sostenibilidad y eficiencia organizacional en escenarios operativos concretos.

Recomendaciones académicas

- Se recomienda fortalecer el estudio de la Agricultura 4.0 desde enfoques interdisciplinarios que integren ciencias agrarias, ingeniería, analítica de datos, inteligencia artificial, economía y ciencias sociales, favoreciendo una comprensión sistémica de los procesos de transformación digital agroindustrial.
- Se sugiere promover investigaciones orientadas a validar y adaptar el enfoque de biosistema agroalimentario digital en otros cultivos estratégicos y organizaciones cooperativas de América Latina, contribuyendo a ampliar la validez externa y la aplicabilidad regional del modelo conceptual desarrollado y, en el caso de República Dominicana, en cultivos como el aguacate, cítricos y frutales, que poseen un alto impacto socioeconómico y político.
- Se recomienda profundizar en estudios relacionados con el impacto organizacional y socioeconómico de las plataformas digitales en cooperativas agroindustriales, particularmente en aspectos asociados a gobernanza, transparencia, distribución del valor, resiliencia climática y sostenibilidad territorial.
- Se sugiere fomentar la publicación de los resultados derivados de esta investigación en revistas científicas indexadas y espacios académicos internacionales, así como la generación de productos científicos complementarios, incluyendo dataset, modelos conceptuales y arquitecturas de referencia para Agricultura 4.0.

- Se recomienda a las instituciones de educación superior y centros de investigación fortalecer líneas académicas relacionadas con Agricultura 5.0, sistemas ciberfísicos, computación cuántica aplicada, bioeconomía digital e inteligencia artificial para biosistemas complejos, favoreciendo la formación de capital humano especializado en tecnologías emergentes para el sector agroalimentario.

Recomendaciones prácticas

- Se recomienda que CONACADO implemente la plataforma AgrosTIC 4.0 de manera progresiva, iniciando mediante proyectos piloto en fincas representativas de diferentes zonas agroecológicas, con el propósito de validar operativamente los módulos tecnológicos antes de un despliegue institucional a gran escala.
- Se sugiere desarrollar programas permanentes de capacitación y alfabetización digital dirigidos a productores, técnicos y directivos, como condición esencial para garantizar la apropiación tecnológica, la sostenibilidad del proceso de transformación digital y el fortalecimiento de las capacidades institucionales.
- Se recomienda fortalecer la infraestructura tecnológica y la conectividad digital en las zonas productivas, priorizando el acceso a internet rural, dispositivos móviles y herramientas de captura de datos que permitan la operación efectiva de sistemas de Agricultura 4.0.
- Se sugiere establecer políticas institucionales de gobernanza y gestión de datos, incorporando protocolos relacionados con calidad, interoperabilidad, seguridad y trazabilidad de la información productiva, ambiental y comercial generada dentro del biosistema agroalimentario.
- Se recomienda articular la implementación de la plataforma con las estrategias de sostenibilidad, certificación internacional y resiliencia climática de CONACADO, aprovechando las capacidades de monitoreo ambiental, analítica predictiva y trazabilidad digital para fortalecer el posicionamiento competitivo del cacao dominicano en mercados especializados.
- Se sugiere utilizar los resultados de esta investigación como base para la formulación de políticas públicas y programas nacionales orientados a la

modernización digital del sector agropecuario dominicano, particularmente en cadenas de valor estratégicas vinculadas a la bioeconomía y la sostenibilidad.

Consideración final

En conjunto, estas recomendaciones buscan favorecer la continuidad científica y operativa del trabajo desarrollado, promoviendo la evolución de la plataforma AgrosTIC 4.0 desde un diseño conceptual validado hacia escenarios de implementación real y escalamiento institucional. Asimismo, pretenden contribuir al fortalecimiento de la Agricultura 4.0 como eje estratégico para la transformación sostenible del sector cacaotero dominicano y para la consolidación de modelos agroalimentarios basados en conocimiento, innovación y resiliencia.

BIBLIOGRAFÍA

Referencias bibliográficas

Academiarruraldigital. (2025). *Gemelos digitales para el campo: Optimiza tus instalaciones agrícolas*. Obtenido de <https://academiarruraldigital.es/gemelos-digitales-campo/>

Acento. (abril de 2025). Obtenido de <https://acento.com.do/economia/cerebros-en-fuga-la-hemorragia-que-desangra-a-la-republica-dominicana-9490206.html>

ADOEXPO.(2025).Obtenido de [https://adoexpo.org/es/leyes-reglamentos-guias/cacao-cadena-de-valor/#:~:text=Ambas%20naciones%20enfrentan%20barreras%20a,Forastero%20y%20CCN%2D51\).](https://adoexpo.org/es/leyes-reglamentos-guias/cacao-cadena-de-valor/#:~:text=Ambas%20naciones%20enfrentan%20barreras%20a,Forastero%20y%20CCN%2D51).)

Adolphs, P. (2015). *RAMI 4.0: An architectural Model for Industrie 4.0*. 2015: Platforms industrie 4.0.

AgendaDigital 2030. (2021). *Agenda Digital 2030*. Recuperado el 25 de agosto de 2022, de https://agendadigital.gob.do/wp-content/themes/agenda-digital/_documentos/Agenda%20Digital%202030.pdf

Alianza de Bioersity International y CIAT. (septiembre de 2023). *Cacao de Excelencia. 2023. Guía para la Evaluación de la Calidad y el Sabor del Cacao. Compilado por el programa Cacao de Excelencia de Alianza de Bioersity International y CIAT*. Obtenido de <https://www.cacaoofexcellence.org/fileadmin/Websites/CocoaOfExcellence/docs/27Sept/Guia-Calidad%20y%20Sabor%20del%20Cacao-27Sept2023%20actualizada.pdf>

- Altieri, M. (1999). *AGROECOLOGÍA Bases científicas para una agricultura sostenible*. Montevideo: Nordan–Comunidad.
- Alvarado, J., Carrera Maridueña, D. M., & López Goyez, J. P. (2025). *Tecnologías al servicio del Agro: Impacto de un sistema web para la gestión del mantenimiento en cultivos de cacao*. Retrieved from https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus/article/view/5162?articlesBySimilarityPage=400&utm_source=chatgpt.com
- Alzate, P., & Giraldo, D. (2023). Tendencias de investigación del blockchain en la cadena de suministro: transparencia, trazabilidad y seguridad. *Universidad y Empresa*.
- Amat Rodrigo, J. (octubre de 2025). *Random Forest con Python*. Obtenido de https://cienciadedatos.net/documentos/py08_random_forest_python
- Aquino, M. (10 de marzo de 2019). *Sequías de 1997, 2015 y la actual, las más extremas en el país*. Obtenido de <https://www.diariolibre.com/actualidad/ciudad/sequias-de-1997-2015-y-la-actual-las-mas-extremas-en-el-pais-JJ12282469>
- Asana. (03 de julio de 2025). *Guía paso a paso sobre la toma de decisiones basadas en los datos*. Obtenido de <https://asana.com/es/resources/data-driven-decision-making>
- Asante, P. A., Rahn, E., P.R. Anten, N., A. Zuidema, P., Morales, A., & M.A. Rozendaal, D. (2025). Climate change impacts on cocoa production in the major producing countries of West and Central Africa by mid-century. 362. doi:10.1016/j.agrformet.2025.110393
- Asohofrucol. (2024). *Guía para la Implementación de Biofábricas*. Obtenido de <https://www.asohofrucol.com.co/img/pdflibros/10048libro.pdf>
- Azizur Rahman, M., Shihab Shakur, M., Sharjil Ahamed, M., Shazid Hasan, Adnan Rashid, A., Ariful Islam, M.,... Ahmed, A. (2022). A Cloud-Based

Cyber-Physical System with Industry 4.0: Remote and Digitized Additive Manufacturing. *MDPI*, 3(3), 400-425. doi:10.3390

Baker, J. (2011). The Technology–Organization–Environment Framework. doi:10.1007/978-1-4419-6108-2_12

Bayá, G., Canale, E., Nesmachnow, S., & Robledo, F. (2022). Production Optimization in a Grain Facility through Mixed-Integer Linear Programming. *MDPI*, 12(16). doi:10.3390/app12168212

Beier, G., Ullrich, A., Niehoff, S., Reißig, M., & Habich, M. (2020, June 20). Industry 4.0: How it is defined from a sociotechnical perspective and how much sustainability it includes – A literature review. *Journal of Cleaner Production*, 259(120856). doi:10.1016/j.jclepro.2020.120856

Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (Enero de 2019). *Asesoría Técnica Parlamentaria*. Recuperado en noviembre de 2021, de https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/26823/2/Efecto_de_los_plaguicidas_en_la_Salud.pdf

Binder, C. (2023). *Introduction to the RAMI 4.0 Toolbox*. Obtenido de https://dsse.at/rami/downloads/Introduction_V2.1.pdf?utm_source=chatgpt.com

Brown, T. (2020). *Diseñar el cambio*. Ediciones Urano, S.A.U.

Buenaño Vera, D., Oviedo, B., Chiriboga Casanova, W., & Zambrano-Vega, C. (Enero de 2024). *Modelo computacional con Deep Learning para identificar enfermedades en mazorcas de cacao*. Obtenido de https://arxiv.org/abs/2401.01247?utm_source=chatgpt.com

BUHLER. (2025). Obtenido de <https://www.buhlergroup.com/global/es/services/digital-services/domireco-4-0---automating-chocolate-production.html#:~:text=Cómo%20DoMiReCo%204.3%20puede%20transformar,y%20ahorros%20en%20costes%20operativos>.

C.N.C. (Agosto de 2025). *Logros e Iniciativas Meta 2036*. Obtenido de <https://cnc.gob.do/wp-content/uploads/2025/08/Logros-e-Iniciativas-Meta-07-08-25-B.pdf>

Caldwell, N. (julio de 2025). Obtenido de https://insights.made-in-china.com/es/What-Is-a-Digital-Product-Passport-and-Why-Does-It-Matter-in-a-Circular-Economy_oalAsqpVHmlX.html#:~:text=La%20informaci%C3%B3n%20contenida%20en%20un,compra%20m%C3%A1s%20responsables%20y%20conscientes.

Cantos Sánchez, E. A., Inga Campoverde, J. A., Macías Hernández, D. J., & Martínez Carriel, T. F. (2022). Los sistemas de información geográfica aplicados a la agricultura de precisión. *PENTACIENCIAS, IV*(3), 62-76. doi:2806-579

Caribbean Export. (septiembre de 2023). Obtenido de <https://carib-export.com/es/es/blog/conacado-una-historia-de-exito-cooperativo-en-la-produccion-de-cacao/>

Caribbean Export. (febrero de 2023). *CONACADO speaks about their participation in the Haiti-DR BINAT Cocoa/Chocolate Value Chain*. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=a7qPRuEBO94>

Castilla Villanueva, J. Y., Pérez Pérez, E. V., & Rosario Sifuentes, H. M. (2019). *Tecnología blockchain aplicada a la cadena de suministro de exportación del cacao*. Retrieved from <https://repositorio.up.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/d8845d93-cb07-48f6-bdc6-8b5766134427/content>

Castillo Cobas, L. M., López Cabrera, C. E., & Valverde de Castillo, D. M. (09 de septiembre de 2025). *La Computación Cuántica en la Nube y la Bioingeniería Agrícola 4.0 como constructos teóricos y metodológicos de la Agricultura inteligente sobre una Bioeconomía del Cacao Orgánico Dominicano para el 2030*. Obtenido de

https://www.academia.edu/143823496/La_Computaci%C3%B3n_Cu%C3%A1ntica_en_la_Nube_y_la_Bioingenier%C3%ADa_Agr%C3%ADcola_4_0

Castillo Cobas, L. M., López Cabrera, C. E., Morales Valverde de Castillo, D., & Chacón Iznaga, A. (06 de julio de 2025). *Retos y desafíos para el desarrollo de competencias en investigación sobre los biosistemas agroalimentarios de la República Dominicana*. Obtenido de https://www.academia.edu/130399430/Retos_y_desaf%C3%ADos_para_el_desarrollo_de_competencias_en_Investigaci%C3%B3n_sobre_los_Biosistemas_Agroalimentarios_de_la_Rep%C3%BAblica_Dominicana

CEDAF. (marzo de 2007). Obtenido de <https://intranet.cedaf.org.do/digital/resultadosinvestigacioncacao2007.pdf>

CEPAL. (3 de mayo de 2021). Obtenido de <https://www.cepal.org/es/proyectos/agro-40#:~:text=Pa%C3%ADses:del%20Fondo%20de%20Asistencia%20T%C3%A9cnica>.

CEPAL. (1 de septiembre de 2021). *Agro 4.0*. Obtenido de <https://www.cepal.org/es/proyectos/agro-40-0>

Chatterjee, D., Sadhu, S., Mondal, D., & Kalindi, D. (2025). Use of Virtual Reality Simulation Practices for Farmers' Training. *IJ2*, 74 - 84.
doi:10.29321/MAJ.10.701159

Chen, Y., Guerschman, J. P., Cheng, Z., & Guo, L. (2019). Remote sensing for vegetation monitoring in carbon capture storage regions: A review. *Applied Energy*, 240, 312-326. doi:10.1016

Chlouveraki, E., Katsenios, N., Efthimiadou, A., Lazarou, E., Kounani, K., Papakonstantinou, E., . . . Kasimati, A. (Marzo de 2025). *Estimación de las propiedades del suelo mediante imágenes hiperespectrales y aprendizaje automático*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772375525000243>

- Choo, C. (2002). *Information Management for the Intelligent Organization*. Asis&t. doi:2001039406
- CNC. (junio de 2025). Obtenido de <https://cnc.gob.do/wp-content/uploads/2025/07/Presentacion-Tecnica-META-RD-2036.pdf>
- Codespa. (30 de abril de 2024). *Revolucionando la producción de cacao en República Dominicana*. Obtenido de <https://www.codespa.org/blog/2024/04/30/revolucionando-la-produccion-de-cacao-en-republica-dominicana/>
- Conacado. (Octubre de 2025). Obtenido de <https://conacado.com.do/quienes-somos/#:~:text=Historia,los%20mercados%20internacionales%20m%C3%A1s%20exigentes.>
- Conacado. (2025). *Plan Estratégico de Conacado 2025-2027*. Zuiso.
- Conesa Caralt, J., & Curto Díaz, J. (2011). *Introducción a la Business Intelligence*. Obtenido de https://cursos.yura.website/wp-content/uploads/2020/03/Introduccion_al_Business_Intelligence.pdf
- Da Costa Pimenta, C. C., Zarzuelo Prieto, D., Balán García, A., Goicochea Calderón, J. A., & Beltrán Sánchez, S. (2025). Industria 4.0: Impacto de la Digitalización y la Automatización en la Transformación Social e Industrial. *Revista Inclusiones*, 216-243.
- Da Silva Neiro, S. M., Victor de Faria, É., & Viana Murata, V. (2022). MILP Continuous-Time Production Scheduling Approaches for the Phosphate Fertilizer Industry. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 61(11). doi:10.1021/acs.iecr.1c04829
- Dekera, K., & Ifeanyi Eke, C. (2022). *Smart farming prediction models for precision agriculture: a comprehensive survey*. Obtenido de

https://www.researchgate.net/publication/365258270_Smart_farming_prediction_models_for_precision_agriculture_a_comprehensive_survey

Del Cerro, J., Cruz Ulloa, C., Barrientos, A., & de León Rivas, J. (2021). Unmanned Aerial Vehicles in Agriculture: A Survey. *MDPI*, 11(2), 203. doi:10.3390/agronomy11020203

Del Rocío De La A-Salinas, L., Monserrate-Rodríguez, J. P., Medina-Robayo, A. I., & Tobar-Cuesta, B. A. (2025). Uso de índices de vegetación para la detección del estrés hídrico en cultivos: una revisión sistemática de estudios basados en teledetección. *Polo del Conocimiento*, 10(8), 791-813. doi:10.23857/pc.v10i8.10183

Dev Acharya, T., Subedi, A., & Ha Lee, D. (2018). Evaluation of Water Indices for Surface Water Extraction in a Landsat 8 Scene of Nepal. *Sensor*, 18(8), 2580. doi:10.3390/s18082580

Diario Libre. (febrero de 2025). *Las exportaciones de cacao generaron US\$218.6 millones en 2024*. Obtenido de <https://www.diariolibre.com/economia/agro/2025/02/03/las-exportaciones-de-cacao-generaron-us2186-millones-en-2024/2987913>

Ebratt, D. J. (2025). ¿Cómo se organizan los SAF en Colombia. Colombia.

El Hajji, M., Es-saady, Y., Ait Addi, M., & Antari, J. (2024). Optimization of agrifood supply chains using Hyperledger Fabric blockchain technology. 227(1). doi:10.1016/j.compag.2024.109503

Espino-Flores, G. A. (2025). *Alfa de Cronbach con RStudio*. Obtenido de https://rpubs.com/Gessure/alfa_Cronbach

Espinosa Zúñiga, J. J. (2020). Aplicación de metodología CRISP-DM para segmentación geográfica de una base de datos pública. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 21(1), 1-13. doi:10.22201/fi.25940732e.2020.21n1.008

- Fanning, E., T. Eyres, G., David Frew, R., & Kebede, B. (2023). Linking cocoa quality attributes to its origin using geographical indications. *Food Control*, 151. doi:10.1016/j.foodcont.2023.109825
- FAO. (2023). *Bioinsumos oportunidades de inversión en América Latina*. Obtenido de <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/6f0feb21-441d-4662-ae45-03085a951d90/content>
- FAO. (2024). Obtenido de <https://www.fao.org/family-farming/detail/es/c/1697394/#:~:text=El%20Curso%20%22Cacao%20Clim%C3%A1ticamente%20Inteligente,productos%20provenientes%20de%20estos%20sistemas.>
- Fernández Donoso, M. (2020). *Estudio y desarrollo de modelo de eficiencia hídrica de riego basado en agricultura 4.0*. Obtenido de <https://repositorio.unab.cl/items/27b1a799-b80f-4d91-a861-672959bebf9f>
- Fong Reynoso, C. (1998). *La Teoría de Recursos y Capacidades: Un Enfoque Contemporáneo en la Gestión Empresarial*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/267040211_La_Teoria_de_Recursos_y_Capacidades_Un_Enfoque_Contemporaneo_en_la_Gestion_Empresarial
- Forero-Castañeda, A. D., & Sánchez-García, A. J. (2021). INTRODUCCIÓN A LA INTELIGENCIA DE NEGOCIOS BASADA EN LA METODOLOGÍA KIMBALL. *Revista Tecnol.Investig. Academia TIA*, 5-17.
- Giudice Baca , V., & Zapata Tito , R. (2022). Robotización en la industria y la agricultura. *Iberoamerican Business Journal*, 6(1), 28 - 46. doi:10.22451/5817
- Gobierno de España. (abril de 2023). *Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia*. Obtenido de <https://planderecuperacion.gob.es/noticias/que-es-inteligencia-artificial-ia-prtr>
- Gómez Gómez, J. E., Parra Urueta, C. A., & Guzmán Pineda, J. J. (2025). Sistema de trazabilidad de cacao soportado en Internet de las cosas. *RCTA*, 1(45), 204–215.

- González Muñoz, Y., Pérez Sira, E., & Palomino Camargo, C. (2012). *Factores que inciden en la calidad sensorial del chocolate*. Retrieved from https://cadenacacaoca.info/CDOC-Deployment/documentos/Factores_que_inciden_en_la_calidad_sensorial_del_chocolate.pdf
- Gonzalez, A., & Amarillo, M. (2016). *ResearchGate*. Obtenido de Drones Aplicados a la Agricultura de Precisión: https://www.researchgate.net/publication/315988656_Drones_Aplicados_a_la_Agricultura_de_Precision
- Goulet, F., Guerrero Poveda, D., & Odjo, S. (2024). Las biofábricas, nuevos modelos de producción y acceso a los insumos agrícolas en América Latina. *Perspective*(64), 1-4. doi:10.19182/perspective/37600
- Guerrero Guerrero, F. R. (2019). Cultivo de Cacao (*Theobroma cacao* linnaeus) como Rubro para la Sustentabilidad de los Suelos. *Revista Scientific*, 78-89.
- Hamed , N. (2026). Obtenido de <https://open.ncl.ac.uk/theory-library/dynamic-capabilities-theory.pdf>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. d. (2014). *Metodología de la Investigación Sexta Edición*. McGRAW-HILL.
- Homem de Abreu Loureiro, G., Reis de Araújo, Q., René Valle, R., George Andrade Sodré, & Moreira de Souza, S. M. (2017, Diciembre). *Influence of agro-environmental factors on the quality of cacao (Theobroma cacao L.) clone PH-16 in the cacao región of Bahia, Brazil*. Retrieved from https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-90282017000300579
- Hosseini Ronaghi, M. (2021). A blockchain maturity model in the agricultural supply chain. *Information Processing in Agriculture*, 8(3), 398-408. doi:10.1016/j.inpa.2020.10.004

- IAF. (10 de octubre de 2025). *Blockchain en la agricultura: transparencia y eficiencia en la cadena de suministro*. Obtenido de <https://academiaruraldigital.es/blockchain-agricultura-trazabilidad/>
- IDIAF. (2022). Obtenido de <https://sodiaf.org.do/cfcs2024/posters/PRN18%20Colmar%20Serra.pdf>
- IICA. (abril de 2017). Obtenido de <https://iica.int/es/press/noticias/el-cacao-un-cultivo-clave-que-mantiene-la-republica-dominicana-como-uno-de-los/#:~:text=En%20el%20pa%C3%ADs%20de%20promedio,ese%20%C3%ADmite%20promedio%20de%20producci%C3%B3n.>
- IICA. (2020). *El cacao, un cultivo clave que mantiene a la República Dominicana como uno de los países líderes en la exportación de productos orgánicos en el mundo*. Obtenido de <https://www.iica.int/es/prensa/noticias/el-cacao-un-cultivo-clave-que-mantiene-la-republica-dominicana-como-uno-de-los>
- INDOTEL. (2024). Obtenido de https://indotel.gob.do/wp-content/uploads/2024/11/res._131_2024_consuta_publica_pb2025_2026_1.1.pdf
- Infante-Jiménez, Z. T., Ortega-Gómez, P., & Ortiz-Paniagua, C. (2025, Octubre). *Las Biofábricas como estrategia para impulsar el Desarrollo Agrícola Sostenible*. Retrieved from <https://riico.net/index.php/riico/article/view/2369/2169>
- Itohan-Osa Abu, Szantoi, Z., Brink, A., Robuchon, M., & Thiel, M. (2021). Detecting cocoa plantations in Côte d'Ivoire and Ghana and their implications on protected areas. *Ecological Indicators*.
- Janhagen, V. (2019). *Design thinking has muerto. Larga vida al design thinking*. Idean y Capgemini Invent.

Jeongeun , K., Seungwon , K., Chanyoung , J., & Hyoungh , I. S. (2019). Unmanned Aerial Vehicles in Agriculture: A Review of the Perspective of Platform, Control, and Applications. *ResearchGate*, 1(1), 99. doi:10.1109/ACCESS.2019.2932119

Kakaoplattform. (2024). Obtenido de

<https://www.kakaoplattform.ch/about-cocoa/cocoa-facts-and-figures#:~:text=Producido%20en%20el%20sur%2C%20consumido,cacao%20se%20procesa%20en%20Europa>.

Kalischek, N., Lang, N., Renier, C., Caye Daudt, R., Addoah, T., Thompson, W., . . . Wegner, J. D. (2023). Cocoa plantations are associated with deforestation in Côte d'Ivoire and Ghana. *Natura Food*, pages 384–393.

Kang, B., & Tripathi, B. (2025). *Technical paper 1: Soil classification and characterization*. Obtenido de

[https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/b447cf68-d3f5-4733-940c-f33591e0588a/content/x5546e04.htm#:~:text=Hay%20seis%20niveles%20en%20la,%20\(USDA%2C%201978\)](https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/b447cf68-d3f5-4733-940c-f33591e0588a/content/x5546e04.htm#:~:text=Hay%20seis%20niveles%20en%20la,%20(USDA%2C%201978)).

Katharina Kraft, S., & Kellner, F. (2022). Can Blockchain Be a Basis to Ensure Transparency in an Agricultural Supply Chain? *MDPI*, 14(13), 8044. doi:10.3390/su14138044

Katimbo , A., Rudnick, D., DeJonge , K., Him Lo , T., Qiao, X., E. Franz , T., . . . Duan, J. (2022). Crop water stress index computation approaches and their sensitivity to soil water dynamics. *Agricultural Water Management*, 266. doi:10.1016/j.agwat.2022.107575

Kimball Group. (10 de octubre de 2025). *Kimball DW/BI Lifecycle Methodology*.

Obtenido de

<https://www.kimballgroup.com/data-warehouse-business-intelligence-resources/kimball-techniques/dw-bi-lifecycle-method/>

Kimball group. (2025). Star-schema-olap-cube/.

doi:<https://www.kimballgroup.com/data-warehouse-business-intelligence-resources/kimball-techniques/dimensional-modeling-techniques/star-schema-olap-cube/>

Kimball Group. (octubre de 2025). *The Matrix*. Obtenido de

<https://www.kimballgroup.com/1999/12/the-matrix/#:~:text=Comunicarse%20con%20el%20jefe,la%20alta%20direcci%C3%B3n%2C%20donde%20corresponde.>

Kojo Edeme, R., C. Nkalu, N., C Idenyi, J., & O. Arazu, W. (2020). Infrastructural Development, Sustainable Agricultural Output, and Employment in ECOWAS Countries. *Sustainable Futures*, 2. doi:10.1016/j.sftr.2020.100010

Kumari J., P. (2025). *Modern Data Mining + DW + Business Intelligence Services: Big Data, Gen AI, and Real-Time Analytics for Enhanced Business Intelligence Decision Making*. Obtenido de <https://www.linkedin.com/pulse/modern-data-mining-dw-business-intelligence-services-big-jha-i0dhc/>

L Lenin, K., M, S., Md Tabassum, N., & T A. (2024). Monitoring of Soil Nutrients Using Soil NPK Sensor and Arduino. *ResearchGate*, 239-246.

Lamia , Y., & Aissa , L. (2016). Comparative study of data warehouses modeling approaches: Inmon, Kimball, and Data Vault. *Conference: 2016 International Conference on System Reliability and Science (ICSRS)*. París, Francia: IEEE.

Lan Nguyen, D., Van Cao, H., Thi Duong, V. T., & Thi Nguyen, N. A. (2025). Digital Technology Adoption and its impact on household Efficiency: case study of drones in rural Vietnam. *Smart Agricultural Technology*, 11. doi:10.1016/j.atech.2025.100980

Lapiedra Alcamí, R., Forés Julián, B., Puig Denia, A., & Martínez Cháfer, L. (2021). *Introducción a la gestión de sistemas de información en las empresas*. Retrieved from

<https://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/194661/Sapientia178.pdf?sequence=4>

- Larsen, K., Lukyanenko, R., Mueller, R., Storey, V., Parsons, J., VanderMeer, D., & Hovorka, D. (2025). *VALIDITY IN DESIGN SCIENCE*. Obtenido de <https://arxiv.org/pdf/2503.09466>
- Laverde Mena, J. A., & Laverde Mena, C. G. (2021). Internet de las cosas aplicado en la agricultura ecuatoriana: una propuesta para sistemas de riego. *SCIELO*.
- Li, J., Ge, Y., Puntel, L., Heeren, D., Bai, G., Balboa, G., . . . Shi, Y. (2024). Integrating UAV hyperspectral data and radiative transfer model simulation to quantitatively estimate maize leaf and canopy nitrogen content. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 129. doi:10.1016/j.jag.2024.103817
- Marzougui, F., ELLEUCH, M., & KHERALLAH, M. (2025). Blockchain and IoT in Smart Agriculture: Analysis, Opportunities, Challenges, and Future Research Directions. *ResearchGate*, 19(3), 104-119. doi:10.2478/ias-2024-0008
- Massahiro Shimaoka, A., Cordeiro Ferreira, R., & Goldman, A. (2024, Octubre). *The Evolution of CRISP-DM for Data Science: Methods, Processes, and Frameworks*. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/384999724_The_Evolution_of_CRISP-DM_for_Data_Science_Methods_Processes_and_Frameworks
- Matloob Ellahi, R., C. Wood, L., & Ei-Din A. Bekhit, A. (2024). Blockchain-Driven Food Supply Chains: A Systematic Review for Unexplored Opportunities. *MDPI*, 8944.
- Melía Seguí, J., & Pere Tuset Peiró. (2025). *Desarrollo de Sistemas Ciberfísicos*. doi: <https://openaccess.uoc.edu/server/api/core/bitstreams/b654ca45-91d7-41cd-88ab-c3dd0e07793c/content>

- Mell, P., & Grance, T. (25 de octubre de 2011). *Cloud Computing Definition*. Obtenido de <https://www.nist.gov/news-events/news/2011/10/final-version-nist-cloud-computing-definition-published>
- Microsoft. (2025). *Automatización de la inteligencia artificial para empresas modernas*. Obtenido de <https://www.microsoft.com/es-es/microsoft-copilot/copilot-101/ai-automation>
- Mitsiou, E. (2023). Obtenido de <https://blog.uxtweak.com/design-validation-guide/>
- Montemayor, E. (11 de Octubre de 2018). Obtenido de https://www.google.com/search?q=El+valor+de+F+en+la+regresion+lineal+multivariable&sca_esv=abeb4f522ce11e62&sxsrf=AE3TifNZPOtYOON-plen6V55eJLwM5keCA%3A1765823925678&ei=tVVAaaaZKZOHP84P-sTusAQ&ved=2ahUKEwjmx83ensCRAxWTw8kDHXqiG0YQ4dUDegQIBRAN&uact=5&oq=El+
- Montiel Rosales, A., Montalvo Romero, N., Purroy Vásquez, R., & Fernández Lambert, G. (2021). Industria 4.0 como herramienta en la agricultura de precisión—monitoreo y control de producción agrícola: Una síntesis de la literatura. *XIV*, 232-250. doi:10.47212/tendencias2021vol.xiv.16
- Moraiti, N., Mullissa, A., Rahn, E., Sassen, M., & Reiche, J. (2024). Critical Assessment of Cocoa Classification with Limited Reference Data: A Study in Côte d'Ivoire and Ghana Using Sentinel-2 and Random Forest Model. *MDPI*, 16(3), 598. doi:10.3390/rs16030598
- Moreano Guerra, C. B., Escobar Erazo, T. E., Mena Freire, V. G., & Herrera Moreno, L. F. (2023). Tecnología Blockchain y su Implementación en los Sistemas Contables:Efectos en la Eficiencia y Transparencia. *Ciencia Latina Internacional*, 7(4). doi:10.37811
- Murel, J. (2025). Obtenido de <https://www.ibm.com/think/topics/feature-engineering>

- Murel, J. (septiembre de 2025). *What is feature engineering?* Obtenido de <https://www.ibm.com/think/topics/feature-engineering>
- N. P. Ndjuluwa, L., Adebisi, J. A., & Dayoub, M. (2023). Internet of Things for Crop Farming: A Review of Technologies and Applications. *MDPI, 11*(4), 367-381. doi:10.3390/commodities2040021
- Naethe, P., De Sanctis, A., Burkart, A., K. Entcheva Campbell, P., Colombo, R., Di Mauro, B., . . . El-Madany, T. (2024). Towards a standardized, ground-based network of hyperspectral measurements: Combining time series from autonomous field spectrometers with Sentinel-2. *Remote Sensing of Environment, 303*. doi:10.1016/j.rse.2024.114013
- Nicholls, C., & Altieri, M. (2000). *AGROECOLOGÍA Teoría y práctica para una agricultura sustentable*. PNUMA. doi:968-7913-04-X
- numiqo. (2025). Obtenido de <https://numiqo.es/tutorial/spearman-correlation>
- Odum, E., & Barrett, G. (2006). *Fundamentos de Ecología*. Georgia, USA: Thomson. Retrieved from <https://es.scribd.com/document/459871992/odum-y-barret-2006-fundamentos-de-ecologia-1>
- Olaya, V. (2025). Obtenido de <https://volaya.github.io/libro-sig/#:~:text=Un%20libro%20libre%20de%20V%C3%ADctor,puedes%20contactar%20con%20el%20autor.>
- ONU. (2022). *Efectos de los plaguicidas y los fertilizantes sobre el medio ambiente y la salud y formas de reducirlos*. Recuperado el 25 de agosto de 2022, de https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/34463/JSUNEPPE_Sp.pdf
- Orozco, I., & Jacobs, O. (2016). *LA NUEVA ERA DE LOS NEGOCIOS: COMPUTACIÓN EN LA NUBE*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/784/78457627005.pdf>

- Osorio Zambrano, M. A., Castillo, D. A., Rodríguez Pérez, L., & Terán, W. (2021). Cacao (*Theobroma cacao* L.) Response to Water Stress: Physiological Characterization and Antioxidant Gene Expression Profiling in Commercial Clones. *Frontiers in Plant Science*, 12. doi:10.3389/fpls.2021.700855
- Owusu Anyimah, F., Matthew Osei Jnr, E., & Nyamekye, C. (2021). Detection of Stress Areas in Cocoa Farms Using GIS and Remote Sensing: A Case Study of Offinso Municipal & Offinso North District, Ghana. *Environmental Challenges*, 4(1). doi:10.1016/j.envc.2021.100087
- Payán Rodríguez , E. A. (Junio de 2023). *Análisis de sistemas en un entorno IoT enfocado a la agricultura* . Obtenido de chrome-extension://efaidnbmninnibpcapjpcgclefindmkaj/https://openaccess.uoc.edu/server/api/core/bitstreams/5942ab0a-6557-4dc3-b345-78e2f5a29244/content
- Peñalver-Higuera, M. J., Rodríguez-Alegre, L. R., López-Padilla, R. D., & Isea-Argüelles, J. J. (2025). Ingeniería de prompts en la industria 4.0: Optimización y automatización inteligente de procesos industriales. *SCIELO*, 7(12). doi:10.35381
- Pérez Fernández, H. (10 de Junio de 2024). Obtenido de <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/71704/TFG-E-2015.pdf?sequence=1#:~:text=2.,a%20trav%C3%A9s%20de%20una%20red.>
- Piera, N. (2023). *Impacto de la sequía de 2023: ¿A qué nos enfrentamos?* Obtenido de https://www.youtube.com/watch?v=hbO7uIoc_9Q&t=3s
- Pilar Escott-Mota, M. D. (2020). Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/354614600_LA_CAPACITACION_40_Y_SU_IMPACTO_ECONOMICO_FINANCIERO_EN_EL_ENTORNO_EMPRESARIAL/figures?lo=1

Plattform Industrie 4.0. (2025). Obtenido de

https://www.plattform-i40.de/IP/Redaktion/EN/Downloads/Publikation/vws-in-detail-presentation.pdf?__blob=publicationFile&v=12&utm_source=chatgpt.com

PNUD. (octubre de 2025). Obtenido de

<https://www.undp.org/es/sustainable-development-goals>

Ponce Sánchez, J. I., & Carrillo González, G. (2020). *Transición de América Latina hacia la bioeconomía. Una comparación con países de la OCDE, la Unión Europea y los BRICS*. Obtenido de

[https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-3380202000200045#:~:text=Resumen.%20La%20bioeconom%C3%ADa%20basada%20en%20conocimiento%20\(BBC\),formas%20novedosas%20y%20eficientes%20en%20el%20uso](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-3380202000200045#:~:text=Resumen.%20La%20bioeconom%C3%ADa%20basada%20en%20conocimiento%20(BBC),formas%20novedosas%20y%20eficientes%20en%20el%20uso)

Quintero Rizzuto, L. (2015). *Productos básicos agrícolas y desarrollo: producción y comercialización de cacao en Venezuela*. Obtenido de

http://www.saber.ula.ve/bitstream/handle/123456789/41852/td_liliana_q.pdf?sequence=1&isAllowed=y

R. Valera, Á., C. Pineda, M., & A. Vilorio, J. (2018). Cartografía digital de clases de suelo con lógica difusa en áreas de montaña. *Revista Geográfica Venezolana*, 60(1), 106-119.

Radicelli García, C., Pomboza Floril, M., Villacrés Cevallos, P., & Boderó Poveda, E. (2019). Sistemas de información geográfica y su aplicación en las ciencias sociales: una revisión bibliográfica. *revista de ciencias sociales y humanidades*(8), 24-35.

Ram, B. G., Oduor, P., Cannayen, I., Howatt, K., & Xin Sun. (2024). A systematic review of hyperspectral imaging in precision agriculture: Analysis of its current state and prospects. *Computers and Electronics in Agriculture*.

- Ramírez Aprendizajes. (2024). *Codificación de entrevistas con Atlas Ti*. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=RLbqAJgvCto>
- RDdenMexico. (2025). *CACAO DOMINICANO "Fino de aroma"*. Obtenido de <https://mex.mirex.gob.do/wp-content/uploads/2024/09/RDdenMexico-Perfil-Cacao-Dominicano-comprimido.pdf>
- ResearchGate. (2011). Augmented Reality in Agriculture. doi:10.1109/WiMOB.2011.6085361
- Rijswijk, K., Klerkx, L., Bacco, M., Bartolini, F., Bulten, E., Debruyne, L., ... Brunori, G. (2021). Digital transformation of agriculture and rural areas: A socio-cyber-physical system framework to support responsabilisation. *Sciencedirect*, 79-90.
- Rikolto. (2022). Obtenido de <https://latinoamerica.rikolto.org/historias/republica-dominicana-y-centroamerica-adoptan-una-nueva-estrategia-para-el-cacao-sostenible#:~:text=el%20cambio%20clim%C3%A1tico,-%C2%ABDentro%20de%20los%20%20puntos%20de%20la%20estrategia%2C%20las%20organizaci>
- Ríos-Hernández, R. (2021). Uso de los Drones o Vehículos Aéreos no Tripulados en la Agricultura de Precisión. *Revista Ingeniería Agrícola*, 11(4).
- Ríos-Rojas, L., Cano Benítez, M., Castillo Sánchez, L., & Mauricio Fernando Martínez. (2024). *Agricultura 4.0: cuándo, cuánto y cómo regar*. agrosavia.
- Roblanda, J. (2024). Impacto del cambio climático sobre el cultivo del cacao (*Theobroma cacao* L.) en la República Dominicana. *Revista Iberoamericana Ambiente & Sustentabilidad*, 7. doi:10.46380/rias.v7.e390
- Rodríguez Díaz, F., & Berenguel Soria, M. (2004). *Control y robótica en agricultura*. Almería: Universidad de Almería.

- Rodriguez, A. G., O. Mondaini, A., & A. Hitschfeld, M. (2017). Bioeconomía en América Latina y el Caribe: Contexto global y regional y perspectivas. *Desarrollo productivo*.
- Rüegg, J., Saj, S., Schneidewind, U., Milz, J., Schneider, M., & Armengot, L. (2025). Competitive yields in organic and agroforestry cacao cropping systems: results from 15 years of a long-term systems comparison trial in Bolivia. *Agronomy for Sustainable Development*, 45-76.
- S. Saunier, & E. De Grandis. (2023). Obtenido de https://earth.esa.int/documents/20142/4300037/28-QA4EO_CalVal_WS4_Saunier.pdf?utm_source=chatgpt.com
- Salazar, G. (10 de julio de 2024). *Taller en Mapeo Digital de Suelos: fortaleciendo capacidades para el diagnóstico y toma de decisiones basadas en datos*. Obtenido de <https://climaloca.org/es/taller-en-mapeo-digital-de-suelos-fortaleciendo-capacidades-para-el-diagnostico-y-toma-de-decisiones-basadas-en-datos/>
- Sánchez-Solis, Y., Raqui-Ramirez, C., Huaroc-Ponce, E., & Huaroc-Ponce, N. (2024). Importancia de Conocer la Normalidad de los Datos Utilizados en los Trabajos de Investigación por Tesistas. *Revista Tecnológica-Educativa Docentes 2.0*, 17(2). doi:10.37843/rted.v17i2.554
- Santana da Silva Ferreira, F., Trica Fedato, É., de Oliveira Neco, M., & Fernanda Salvador Alves . (2025). Sustainability-Oriented Innovation in the Cocoa Industry: A Case Study in Brazil. *Preprints.org*. doi:10.20944/preprints202502.1219.v1
- Santos Valle, S., & Kienzle, J. (2021). *Agricultura 4.0: Robótica agrícola y equipos automatizados para la producción agrícola sostenible*. FAO.
- Sargana García, J. (2021). Obtenido de https://oa.upm.es/69251/1/JUAN_MARIA_SAGARNA_GARCIA.pdf

- Sayed, E. (2024). *Mastering Random Forest: A Comprehensive Guide with Detailed Math and Code*. Obtenido de <https://medium.com/@sayedebad.777/mastering-random-forest-a-comprehensive-guide-with-detailed-math-and-code-60aebffb2b7f>
- SCIELO. (2006). Juan Peña Llopis. *Sistemas de Información Geográfica aplicados a la gestión del territorio*. Obtenido de https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34022006000200007
- ScienceDirect. (2020). *Cyber Physical Systems*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/cyber-physical-systems>
- ScienceDirect. (2023). Microbes for the remediation of heavy metal–contaminated soil. *Developments in Applied Microbiology and Biotechnology*, 297-316.
- ScienceDirect. (2025). Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/hyperspectral-image-processing>
- SCRUM. (diciembre de 2025). Obtenido de <https://www.scrum.org/>
- Sendros, A., Drosatos, G., S. Efraimidis, P., & C. Tsirliganis, N. (2022). Blockchain Applications in Agriculture: A Scoping Review. *MDPI*, 12(16), 8061. doi:10.3390/app12168061
- Sharma, A., Kosasih, E., Zhang, J., Brintrup, A. M., & Calinescu, A. (2022). Digital Twins: State of the art theory and practice, challenges, and open research questions. *Journal of Industrial Information Integration*.
- Sharma, G. (2024). *Complete Guide to Feature Engineering: Zero to Hero*. Obtenido de <https://www.analyticsvidhya.com/blog/2021/09/complete-guide-to-feature-engineering-zero-to-hero/>

- Slusarczyk Antosz, M. (2024). *Inteligencia de Negocio Power BI*. Obtenido de http://cimogsys.esPOCH.edu.ec/direccion-publicaciones/public/docs/books/2024-04-30-163812-Inteligencia_de_negocios.pdf
- Sucden. (2023). *S&D Sucden*. Obtenido de <https://www.sucden.com/es/products-and-services/cocoa/process-flowchart/>
- Superintendencia de bancos. (2013). Obtenido de <https://www.sb.gob.do/regulacion/leyes/ley-no-172-13-proteccion-de-los-datos/>
- Tableau. (2025). *Toma de decisiones basadas en los datos: cómo tener éxito en la era digital*. Obtenido de <https://www.tableau.com/es-es/learn/articles/data-driven-decision-making>
- Tableau. (2025). Obtenido de <https://www.tableau.com/analytics/what-is-augmented-analytics>
- Taghizadeh-Mehrjardi, R., Minasny, B., Toomanian, N., Zeraatpisheh, M., Amirian-Chakan, A., & Triantafilis, J. (2019). Digital Mapping of Soil Classes Using an Ensemble of Models in Isfahan Region, Iran. *MDPI*. doi:10.3390/soilsystems3020037
- Tamayo, M., & Moreno, F. J. (2006). Comparing the MOLAP the ROLAP storage models. *Ingeniería e Investigación*, 135-142.
- Tang, A., Tutu Tchao, E., Selasi Agbemenu, A., Keelson, E., Selorm Klogo, G., & John Kponyo, J. (2024). Assessing blockchain and IoT technologies for agricultural food supply chains in Africa: A feasibility analysis. *PMC*, 10(15). doi:10.1016/j.heliyon.2024.e34584
- The FOOD TECH. (2024). *Promoviendo la sostenibilidad del cacao: el camino hacia un futuro mejor*. Obtenido de <https://thefoodtech.com/soluciones-y-tecnologia-alimentaria/promoviendo-la-sostenibilidad-del-cacao-el-camino-hacia-un-futuro-mejor/>

- Torres, K., & Lamenta, P. (Noviembre de 2015). *Negotium*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/782/78246590001.pdf>
- Torres-Quezada, E., Fuentes-Peñailillo, F., Gutter, K., Rondón, F., Mancebo Marmolejos, J., Maurer, W., & Bisono, A. (2025). Remote Sensing and Soil Moisture Sensors for Irrigation Management in Avocado Orchards: A Practical Approach for Water Stress Assessment in Remote Agricultural Areas. *MDPI*, 708.
- Tovar-Quiroz, A. D. (2023). Agricultura 4.0: uso de tecnologías de precisión y aplicación para pequeños productores. *Informador Técnico*, 87(2), 195-211 .
- Tovar-Soto, J. P., Solórzano Suárez, J. D., Badillo Rodríguez, A., & Rodríguez Cainaba, G. O. (2019, Noviembre). *Researchgate.net*. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/337983588_Internet_de_las_cosas_aplicado_a_la_agricultura_estado_actual
- Tyagi, A. (2025). *What is the XGBoost Algorithm?* Obtenido de https://www-analyticsvidhya-com.translate.goog/blog/2018/09/an-end-to-end-guide-to-understand-the-math-behind-xgboost/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=tc
- Universidad Autónoma de Querétaro. (2025). Obtenido de <https://ingenieria.uaq.mx/index.php/oferta-educativa/doctorados/doctorado-en-ingenieria-en-biosistemas>
- Ureta Mera, E. G., Cedeño Rivera, J. A., Rendón García, J. X., Loor Barcia, J. C., & García Cedeño, J. S. (2025). Impacto de la Cadena de Valor del Cacao en el Desarrollo Sostenible a través de las Exportaciones, Cantón Valencia, Año 2024. *Estudios Y Perspectivas Revista Científica Y Académica*, 5(3), 3441–3467. doi:10.61384/r.c.a.v5i3.1413
- Valencia, J., Rossing Frankenberger, J., Aric Cherkauer, K., Javier M. Martín-López, Monserrate, F., & da Silva, M. (2022). Water sufficiency for cacao production in

the Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM) region, Colombia. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 44. doi:10.1016/j.ejrh.2022.101255

- Valera, Á. R., & Orta Fernández, M. (2018). Aplicación de técnicas geoestadísticas y redes neuronales artificiales en la delimitación de clases de fertilidad de suelos. doi:10.13144/RG.2.4.26528.02560
- Villalaz-Pérez, J. A., Villarreal-Núñez, J. E., Santo-Pineda, A., Gutiérrez-Lezcano, A., & Agustín Merino. (2023, Agosto 13). *EFFECTO DEL ÍNDICE DE ESTRÉS HÍDRICO*. Retrieved from [http://www.revistacienciaagropecuaria.ac.pa/index.php/ciencia-agropecuaria/article/view/628/542#:~:text=El%20estr%C3%A9s%20h%C3%ADdrico%20afecta%20a,et%20al.%2C%202019\).](http://www.revistacienciaagropecuaria.ac.pa/index.php/ciencia-agropecuaria/article/view/628/542#:~:text=El%20estr%C3%A9s%20h%C3%ADdrico%20afecta%20a,et%20al.%2C%202019).)
- Weaver , B., Pérez , G., & Ismael, F. (2009). *Manual de técnicas para la producción orgánica del cacao*. Retrieved from https://indepth.lwr.org/sites/default/files/2018-09/MANUAL_DE_CACAO_ORGANICO.pdf
- WEF. (03 de 2012). *Riesgos Globales 2011*. Recuperado el 25 de agosto de 2022, de https://avancehaciaelfuturo.files.wordpress.com/2012/03/wef_globalrisks_executivesummary_2011_es.pdf
- WEF. (2024). Obtenido de https://www3.weforum.org/docs/WEF_The_Global_Risks_Report_2024.pdf
- Wieme, J., Mollazade, K., Malounas, I., Zude-Sasse, M., Zhao, M., Gowen, A. A., . . . Van Beek, J. (2022). Application of hyperspectral imaging systems and artificial intelligence for quality assessment of fruit, vegetables and mushrooms: A review. *Biosystems Engineering*, 222, 156-176. doi:10.1016
- Witten, I. H., & Frank, E. (2005). *Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques, Second Edition*. Morgan Kaufmann.

Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., & Bogaardt a, M.-J. (2017, mayo). *Sciencedirect*. Retrieved from

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308521X16303754>

wordpress. (2025). *El Modelo Estrella*. Obtenido de

<https://cubos.wordpress.com/2007/08/01/el-modelo-estrella/>

World Economic Forum. (07 de 2018). *World Economic Forum*. Obtenido de

http://www3.weforum.org/docs/WEF_Future_of_Jobs_2018.pdf

WPF. (20 de 03 de 2011). *Riesgos Globales*. Obtenido de

https://avancehaciaelfuturo.files.wordpress.com/2012/03/wef_globalrisks_executivesummary_2011_es.pdf

XGBoost Tutorials. (2025). *Introduction to Boosted Trees*. Obtenido de

https://xgboost-readthedocs-io.translate.goog/en/stable/tutorials/model.html?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=tc

Yong Varela, L., Rivas Tovar, L., & Chaparro, J. (2010). Modelo de aceptación tecnológica (TAM): un estudio de la influencia de la cultura nacional y del perfil del usuario en el uso de las TIC. *SCIELO*, 20(36). Obtenido de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-0512010000100014#:~:text=Seg%C3%BAAn%20Davis%20\(1989\)%2C%20el,\(Perceived%20Ease%20of%20Use\).](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-0512010000100014#:~:text=Seg%C3%BAAn%20Davis%20(1989)%2C%20el,(Perceived%20Ease%20of%20Use).)

Yu, C., Gao, X., Zhao, H., Feng, X., Cheng, J., Hu, B., & Wang, S. (2025). A Dynamic Gaussian Modified Spectral Band Adjustment Factors Method for Radiometric Cross-Calibration of HJ-2A/HSI with ZY1-02D/AHSI. *MDPI*, 17(24), 3988. doi:10.3390/rs17243988

Fuentes de consulta o bibliografía general

Agenda Digital. (2023). Obtenido de

<https://agendadigital.gob.do/wp-content/uploads/2023/08/Decreto-338-33-Gabinete-de-Innovacion-y-Desarrollo-Digital-1.pdf>

Agrotech. (2025). *¿Cómo se utiliza la realidad virtual en agricultura?* Obtenido de

<https://agrotechcampus.com/blog/realidad-virtual-en-agricultura/>

AlphaEarth. (2025). Obtenido de

<https://deepmind.google/discover/blog/alphaevolve-a-gemini-powered-coding-agent-for-designing-advanced-algorithms/>

Amazon. (2025). *Sensor de suelo, alta precisión, nutrientes del suelo, detector de fertilizantes inteligente, sensor NPK, sensor.* Obtenido de

<https://www.amazon.com/-/es/precisi%C3%B3n-Nutrientes-Detector-fertilizante-s-inteligente/dp/B0CKSD99YY>

- Arias Gonzáles, J. L. (2021). Guía para elaborar la operacionalización de variables. *Espacio I+D: Innovación más Desarrollo*, 10(28).
doi:10.31644/IMASD.28.2021.a02
- Barragán Martínez, L. A., & Zaldivar Almarales, D. A. (2023). Automatización de procesos en la industria 4.0. *Revista de Investigación Formativa: Innovación y Aplicaciones Técnico-Tecnológicas*, 5(1). doi:10.34070
- Berrios Gómez, S., & Rivera Herrera, H. J. (2022). Sistema IoT basado en esp32 para el control y monitoreo de cultivos en invernadero con enfoque de agricultura 4.0. Obtenido de <https://revistas.upt.edu.pe/ojs/index.php/ingenieria/article/view/624/620>
- Boruah, S., Pathak, M., Sarmah, K., & Kumar Sahoo, B. (2024). Internet of Things (IOT) in precision agriculture. *Researchgate*, III(6), 21-31.
doi:10.58532/V3BCAG6P1CH3
- Cadenacacaoca. (2025). Obtenido de https://cadenacacaoca.info/CDOC-Deployment/documentos/Manual_Trazabilidad_Cacao.pdf
- CHNSpec. (2025). Obtenido de <https://www.chnspec.net/es/spanish/Family-Airborne-hyperspectral-camera.html>
- CHNSpec. (Diciembre de 2025). Cámara hiperespectral de radar UAV serie FS-65. Obtenido de <https://www.chnspec.net/es/Spanish/UAV-hyperspectral-Lidar-measurement-FS-65.html>
- Cirad. (2022). *Hacia el cultivo sostenible del cacao (2022-2032)*. Obtenido de <https://www.cirad.fr/es/content/download/11205/file/SyntFDRcacaoES.pdf>
- Congreso Nacional. (octubre de 2025). Obtenido de <https://www.sb.gob.do/media/4fod21i0/ley155-17-contralavado-de-activos-financiamiento-del-terrorismo.pdf>

Congreso Nacional. (2000). Obtenido de

<https://mem.gob.do/wp-content/uploads/2019/01/Ley-No.-64-00-que-crea-la-Secretaria-de-Estado-de-Medio-Ambiente-y-Recursos-Naturales.pdf>

Congreso Nacional. (octubre de 2025). Obtenido de

https://www.aduanas.gob.do/media/3lyfpbi5/20-00_sobre_propiedad_industrial.pdf

Consultoría jurídica. (octubre de 2025). Obtenido de

<https://www.consultoria.gov.do/Consulta/Home/FileManagement?documentId=3389110&managementType=1>

CSr Laboratorio. (2025). Obtenido de

<https://csrlaboratorio.es/suelos/horizontes-estructura-clasificacion/#:~:text=Los%20Doce%20%C3%93rdenes%20del%20Suelo,%C3%B3xidos%20de%20hierro%20y%20aluminio.>

DataScientest. (2025). Obtenido de <https://datascientest.com/es/power-bi-es>

DGI. (diciembre de 2025). Obtenido de <https://ag.dji.com/t50>

DGII. (octubre de 2025). Obtenido de

<https://dgii.gov.do/legislacion/leyesTributarias/Documents/Leyes%20de%20Incentivos%20y%20Fomentos/392-07.pdf>

DGII. (2025). Obtenido de

<https://dgii.gov.do/legislacion/leyestributarias/documents/leyes%20de%20instituciones%20y%20fondos%20de%20terceros/225-20.pdf>

Diario Libre. (30 de julio de 2024). Obtenido de

<https://www.diariolibre.com/economia/agro/2024/07/30/limber-cruz-sobre-la-union-europea-el-mercado-pone-las-reglas/2802148>

Diario Libre. (junio de 2025). Obtenido de

<https://www.diariolibre.com/economia/agro/2025/06/24/cacao-dominicano-se-cotiza-como-oro-agricola-en-el-extranjero/3161347>

Egeda. (2025). Obtenido de

<https://www.egeda.do/documentos/Ley%20No.65-00%20sobre%20Derecho%20de%20Autor.pdf>

FEED the FUTURE. (2025). *El Cacao Sostenible Adaptado al Clima en Centroamérica y el Caribe*. Obtenido de

https://bvearmb.do/bitstream/handle/123456789/3762/Cacao_adaptado_al_clima_en_Centroamerica_y_el_Caribe-practicas.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Food Retail, El Diario de la Alimentación. (09 de julio de 2021). *Agricultura regenerativa: ¿Es lo mismo que la agricultura ecológica?* Recuperado el 2021, de

https://www.foodretail.es/blogs/maria_jose_herrero/Agricultura-regenerativa-mismo-agricultura-ecologica_7_1563813606.html

Gartner, L. (18 de mayo de 2015). *Gartner*. Recuperado el 2022, de

<https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2015-05-18-what-is-industry-4-and-what-should-cios-do-about-it#:~:text=So%20what%20is%20it%2C%20and,need%20to%20do%20about%20it%3F&text=The%20underlying%20concept%20of%20Industrie,and%20internal%20function>

Google Cloud. (Octubre de 2025). Obtenido de

<https://cloud.google.com/learn/what-is-big-data?hl=es>

Google Cloud. (27 de Agosto de 2025). *cloud.google.com*. Obtenido de

<https://cloud.google.com/learn/what-is-cloud-computing?hl=es-419>

IBM. (17 de agosto de 2021). *Conceptos básicos de ayuda de CRISP-DM*. Obtenido de

<https://www.ibm.com/docs/es/spss-modeler/saas?topic=dm-crisp-help-overview>

IBM. (23 de julio de 2024). *¿En qué consiste la toma de decisiones basada en datos?*

Obtenido de

<https://www.ibm.com/es-es/think/topics/data-driven-decision-making>

IBM. (2025). Obtenido de <https://www.ibm.com/es-es/topics/blockchain>

IBM. (octubre de 2025). *¿Qué es el análisis de big data?* Obtenido de

<https://www.ibm.com/es-es/think/topics/big-data-analytics#:~:text=El%20an%C3%A1lisis%20de%20big%20data%20tiene%20como%20objetivo%20extraer%20informaci%C3%B3n,oportunidades%20e%20impulsar%20la%20innovaci%C3%B3n.>

IBM. (2025). *¿Qué es la automatización inteligente?* Obtenido de

<https://www.ibm.com/es-es/think/topics/intelligent-automation>

IBM. (2025). *¿Qué es un SIG (sistema de información geográfica)?* Obtenido de

<https://www.ibm.com/mx-es/think/topics/geographic-information-system>

IEP. (06 de Octubre de 2025). *Así puedes optimizar la eficiencia empresarial.* Obtenido

de <https://iep.edu.es/optimizar-la-eficiencia-empresarial/>

IIBA. (20 de diciembre de 2025). *Instituto de Investigación para los Biosistemas*

Agroalimentarios. Obtenido de <https://iiba.edu.do/>

LAROSE, D. T. (2005). *DISCOVERING KNOWLEDGE IN DATA: An Introduction to*

Data Mining. John Wiley & Sons.

Listin Diario. (Agosto de 2023). Obtenido de

https://listindiario.com/la-republica/20230820/fuga-cerebros-dia-mas-jovenes-dominicanos-buscan-oportunidades-fuera_769097.html#:~:text=En%20Rep%C3%BAblica%20Dominicana%20el%20%C3%ADndice,los%20economistas%20de%20la%20Fundaci%C3%B3n

- MARD. (2024). Obtenido de <https://agricultura.gob.do/noticia/politicas-agropecuarias-de-apoyo-del-gobierno-permiten-rd-tenga-abundancia-de-alimentos/>
- MATRICE. (diciembre de 2025). Obtenido de <https://enterprise.dji.com/matrice-350-rtk>
- MEPyD. (2016). Obtenido de https://mepyd.gob.do/wp-content/uploads/drive/UAAES/END/Informes%20Anuales%20END/end_2030.pdf
- MEPyD. (2024). Obtenido de <https://mepyd.gob.do/destacan-aumento-de-44-3-de-las-exportaciones-agropecuarias-en-2024-en-relacion-con-2023/>
- MEPyD. (2024). Obtenido de <https://mepyd.gob.do/ministerio-de-economia-destaca-aumento-de-12-5-en-precio-promedio-del-cacao-en-noviembre-de-2024-por-demanda-robusta-en-mercados-internacionales/#:~:text=En%20noviembre%2C%20los%20precios%20del%20cacao%20se,Santo%20Domingo%2C%20Rep%C3>
- MEPyD. (2025). Obtenido de <https://mepyd.gob.do/ministerio-de-economia-registra-38-iniciativas-de-apoyo-a-la-produccion-agropecuaria-nacional/>
- MESCYT. (2024). Obtenido de <https://mescyt.gob.do/wp-content/uploads/2024/07/Reglamento-General-del-Fondo-Nacional-de-Innovacion-y-Desarrollo-Cientifico-Tecnologico-FONDOCYT.pdf>
- MICM. (2025). Obtenido de <https://micm.gob.do/micm-lidera-preparacion-del-sector-cacao-para-cumplir-nueva-normativa-europea-sobre-deforestacion/>
- MICM. (2025). *MICM lidera la preparación del sector del cacao para cumplir la nueva normativa europea sobre deforestación.* Obtenido de

<https://micm.gob.do/micm-lidera-preparacion-del-sector-cacao-para-cumplir-nueva-normativa-europea-sobre-deforestacion/>

NiuBoL. (20 de Diciembre de 2025). *Monitoring Solutions for Industry, Agriculture & Water Systems*. Obtenido de <https://www.niubol.com/>

Niuboltech. (2025). Obtenido de <https://www.niuboltech.com/Technical-Support/Compact-Weather-Station-Installation-and-Maintenance-Guide.html>

ONU. (Julio de 2024). Obtenido de <https://news.un.org/es/story/2024/07/1531126#:~:text=La%20poblaci%C3%B3n%20mundial%20llegar%C3%A1%20a%20un%20m%C3%A1ximo%20de%201.0300%20millones%20en%20este%20siglo,-%C2%A9%20Unsplash/Shashank&text=La%20poblaci%C3%B3n%20mundial%20alcanz%C3%B3%20casi,segu>

Orozco Aguilar, L., & López Sampson, A. (diciembre de 2016). *Mejora productiva del cacao*. Obtenido de <https://sicacao.info/wp-content/uploads/2019/08/Esquinas-t%C3%A9cnicas-de-cacao.pdf>

Orozco-Aguilar, L. (2015). *¿Cuánto produce una planta de cacao durante su vida?* Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/281210310_Cuanto_produce_una_planta_de_cacao_durante_su_vida

PG. (Agosto de 2024). Obtenido de <https://www.projectguru.in/role-of-power-bi-in-data-driven-decision-making-in-modern-businesses/>

Presidencia . (27 de Julio de 2023). *Presidente Luis Abinader firma primer decreto de manera digital*. Obtenido de <https://presidencia.gob.do/noticias/presidente-luis-abinader-firma-primer-decreto-de-manera-digital>

Presidencia de la República Dominicana. (julio de 2015). Obtenido de

<https://presidencia.gob.do/sites/default/files/statics/transparencia/base-legal/Constitucion-de-la-Republica-Dominicana-2015-actualizada.pdf>

Presidencia de la República Dominicana. (15 de Septiembre de 2023). *En Cumbre del G77 y China, presidente Abinader habla sobre necesidad de promover cultura innovadora basada en educación y tecnología*. Obtenido de

<https://presidencia.gob.do/noticias/en-cumbre-del-g77-y-china-presidente-abinader-habla-sobre-necesidad-de-promover-cultura#:~:text=%E2%80%9CEstimados%20todos%2C%20nos%20encontramos%20en,%E2%80%9D%2C%20concluy%C3%B3%20el%20presidente%20Abinader.>

ANEXOS

Anexo 1. Cuadro comparativo de bioinsumos para cacao orgánico y su correspondiente Matriz de decisión.

A1. Cuadro comparativo de bioinsumos para cacao orgánico.

Categoría	Bioinsumo	Modo de acción	Forma de aplicación	Compatibilidad normativa
Biofertilizantes	Fijadores de Nitrógeno (<i>Azotobacter</i> , <i>Azospirillum</i> , <i>Rhizobium</i>)	Transforman N ₂ atmosférico en amonio aprovechable por la planta.	Inoculación de semillas, aplicación al suelo en viveros o plantaciones.	✓ Aceptado en EU 848/2018, USDA Organic y ROC.
	Solubilizadores de P y K (<i>Bacillus megaterium</i> , <i>Pseudomonas fluorescens</i>)	Liberan fósforo y potasio bloqueados en el suelo.	Aplicación líquida al suelo o en fertirriego orgánico.	✓ Autorizados en todas las normativas orgánicas.
	Micorrizas (<i>Glomus spp.</i>)	Simbiosis radicular, incrementan absorción de nutrientes y agua.	Inoculación en vivero, tratamientos radiculares en campo.	✓ Aceptadas como insumo biológico.
	Bioles líquidos	Aportan microorganismos benéficos, nutrientes y hormonas vegetales.	Foliar o vía riego (diluidos en agua).	✓ Permitidos si se producen con insumos aprobados.
Bioestimulantes	Extractos de algas	Contienen fitohormonas (auxinas, citoquininas) y minerales.	Pulverización foliar en etapas críticas (floración, cuajado).	✓ Permitidos (si la extracción no es química agresiva).
	Aminoácidos vegetales	Regulan metabolismo y promueven tolerancia al estrés.	Pulverización foliar o fertirriego.	✓ Permitidos en orgánico si son de origen vegetal.
	Quitosano	Activa defensas naturales (resistencia sistémica inducida).	Foliar en etapas de alta presión de enfermedades.	✓ Autorizado como elicitor natural.
Biocontroladores	<i>Trichoderma spp.</i>	Compite y parasita a hongos patógenos.	Aplicación al suelo, en semilleros y alrededor de raíces.	✓ Registrado y permitido en normas internacionales.
	<i>Bacillus subtilis</i>	Produce antibióticos naturales y ocupa nichos de patógenos.	Pulverización foliar, aplicación en el suelo.	✓ Permitido en EU, USDA y ROC.

	<i>Beauveria bassiana</i>	Infecta insectos plaga por contacto y germinación de esporas.	Aplicación foliar o en el suelo contra insectos.	✓ Permitido en control biológico.
	<i>Metarhizium anisopliae</i>	Penetra cutícula de insectos y los coloniza internamente.	Pulverización dirigida al follaje y suelo.	✓ Reconocido como biocontrolador aceptado.
	<i>Bacillus thuringiensis</i> (Bt)	Produce toxinas Cry que afectan solo a larvas de lepidópteros.	Pulverización foliar preventiva o correctiva.	✓ Permitido en todos los esquemas orgánicos.
Bioinoculantes	Consortios microbianos nativos	Mejoran la microbiota local y promueven resiliencia del agroecosistema.	Incorporación al suelo en siembra y mantenimiento.	✓ Aceptados siempre que sean nativos y no modificados genéticamente.
	Microorganismos eficientes (EM)	Mejoran la descomposición y promueven suelos fértiles.	Aplicación en compost, bioles y directamente al suelo.	✓ Permitidos como mezcla microbiana.
Biosustratos y Acondicionadores	Compost y vermicompost	Mejoran la estructura, aportan nutrientes estables y microbiota.	Incorporación directa al suelo, sustrato en viveros.	✓ Permitidos en todas las certificaciones.
	Biochar enriquecido	Retiene agua y nutrientes, captura carbono, mejora suelos degradados.	Incorporación al suelo o mezclado con compost.	✓ Aceptado como enmienda si no contiene contaminantes.
	Hongos descomponedores (ligninolíticos y celulolíticos)	Degradan residuos (cáscara, mucilago) y los convierten en abonos.	Inoculación en pilas de compostaje o sustratos.	✓ Permitidos como agentes de compostaje.
Bionematicidas y Biofungicidas	Extractos vegetales (Neem, higuera, ajo, ají, tabaco)	Contienen metabolitos con acción insecticida, nematicida o antifúngica.	Pulverización foliar o aplicación al suelo.	✓ Aceptados en normativas orgánicas.
	Fermentados microbianos	Liberan metabolitos con efecto antifúngico y nematicida.	Foliar o en el suelo, en aplicaciones periódicas.	✓ Permitidos si no se usan sustratos de origen sintético.

Anexo 2. Matriz de decisión de bioinsumos para cacao orgánico.

Problema en cacao	Objetivo	Bioinsumo recomendado	Efecto principal	Aplicación recomendada
Baja fertilidad del suelo	Mejorar disponibilidad de nutrientes	- Fijadores de N (<i>Azotobacter</i> , <i>Azospirillum</i>) - Solubilizadores de P y K (<i>Bacillus</i> , <i>Pseudomonas</i>) - Bioles líquidos	Aportan N, liberan P y K bloqueados, activan microbiota	Al suelo vía riego o fertirriego orgánico
Suelos degradados / poca materia orgánica	Regenerar estructura y microbiota	- Compost y vermicompost - Biochar enriquecido - Micorrizas (<i>Glomus spp.</i>)	Mejoran estructura del suelo, aumentan retención de agua y nutrientes	Incorporación en campo o viveros
Estrés hídrico o climático	Incrementar tolerancia y resiliencia	- Extractos de algas - Aminoácidos vegetales - Quitosano	Estimulan defensas, mejoran fotosíntesis y resistencia al calor/sequía	Aplicación foliar en fases críticas por aspersión con drones
Hongos del cacao (<i>Phytophthora</i> , <i>Moniliasis</i> , <i>Escoba de bruja</i>)	Prevenir y controlar enfermedades	- <i>Trichoderma spp.</i> - <i>Bacillus subtilis</i> - Quitosano	Antagonismo microbiano, resistencia inducida	Aplicación al suelo y foliar preventiva
Plagas (chinches, orugas, escamas, picudos)	Control biológico de insectos	- <i>Beauveria bassiana</i> - <i>Metarhizium anisopliae</i> - <i>Bacillus thuringiensis</i> - Extractos vegetales (Neem, ajo, ají)	Patógenos de insectos, toxinas selectivas, repelencia	Pulverización foliar o aplicaciones dirigidas
Nematodos en raíces	Reducir daño radicular	- Extractos vegetales (Neem, higuera) - Fermentados microbianos	Nematicidas naturales, fortalecen raíces	Aplicación al suelo alrededor de plantas
Lenta descomposición de residuos de cacao	Reciclar residuos y producir abono	- Hongos descomponedores (<i>Pleurotus</i> , <i>Phanerochaete</i>) - EM (Microorganismos eficientes)	Transforman cáscara y mucílago en compost	Inoculación en pilas de compostaje
Necesidad de regeneración microbiológica	Restablecer equilibrio biológico	- Consorcios microbianos nativos - EM (microorganismos eficientes)	Aumentan biodiversidad microbiana, mejoran sanidad del suelo	Aplicación directa al suelo o en Bioles

Anexo 3. Tipos de modelos de Minería de Datos aplicados un Biosistema Agroalimentario 4.0 de cacao.

Modelos de predicción Objetivo: estimar valores continuos (rendimiento, humedad, evapotranspiración, productividad esperada)		
Algoritmo	Descripción	Aplicación en Cacao 4.0
Regresión lineal múltiple	Relaciona variables independientes con una dependiente.	Predecir rendimiento en kg/finca según edad del árbol, humedad y materia orgánica.
Regresión polinómica	Modela relaciones no lineales.	Curva de productividad por edad (máximo entre 10 y 15 años).
Random Forest Regressor	Ensamble de árboles de decisión, robusto a ruido.	Estimar estrés hídrico con múltiples variables (suelo, clima, altitud).
Gradient Boosting / XGBoost	Modelos de aprendizaje secuencial muy precisos.	Predicción fina del rendimiento y calidad del grano.
Redes Neuronales Artificiales (ANN)	Detectan relaciones complejas y no lineales.	Modelo de predicción de producción considerando clima, edad y suelo.
Modelos de clasificación Objetivo: asignar etiquetas o categorías a los datos (ej. “riesgo alto”, “medio”, “bajo”).		
Algoritmo	Descripción	Aplicación en Cacao 4.0
Árboles de decisión (CART, C4.5)	Reglas “si-entonces” interpretables.	Clasificar fincas según estrés hídrico o deficiencia nutricional.
Random Forest Classifier	Varios árboles votan para mayor precisión.	Clasificación de suelos por nivel de fertilidad.
Support Vector Machines (SVM)	Encuentra fronteras óptimas entre clases.	Identificar zonas críticas de estrés térmico o hídrico.
Naive Bayes	Basado en probabilidad condicional.	Clasificación rápida de lotes con riesgo de contaminación.
K-Nearest Neighbors (KNN)	Clasifica según proximidad de patrones.	Asignar fincas a categorías de rendimiento similar.
C. Modelos de agrupamiento (Clustering) Objetivo: detectar patrones o grupos naturales sin etiquetas previas.		
Algoritmo	Descripción	Aplicación en Cacao 4.0
K-Means	Agrupar por distancia (euclidiana o geográfica).	Segmentar fincas por tipo de suelo y clima.
DBSCAN	Detecta grupos de densidad variable.	Agrupar zonas con condiciones agroecológicas similares.
Self Organizing Maps (SOM)	Mapas neuronales no supervisados.	Clasificar parcelas por similitud multivariable (edad, humedad, pH).
Hierarchical Clustering	Agrupar de forma jerárquica.	Crear tipologías agroclimáticas del cacao.
Modelos de asociación Objetivo: descubrir reglas o correlaciones entre variables.		
Algoritmo	Descripción	Aplicación en Cacao 4.0
Apriori	Busca combinaciones frecuentes de atributos.	Reglas: “Si humedad < 35% y pH < 6.0 → bajo rendimiento.”
FP-Growth	Algoritmo más rápido que Apriori.	Detectar patrones de fertilidad y rendimiento.
Modelos de Reducción de dimensionalidad Objetivo: reducir la complejidad de los datos, manteniendo las variables más informativas.		
Algoritmo	Descripción	Aplicación en Cacao 4.0

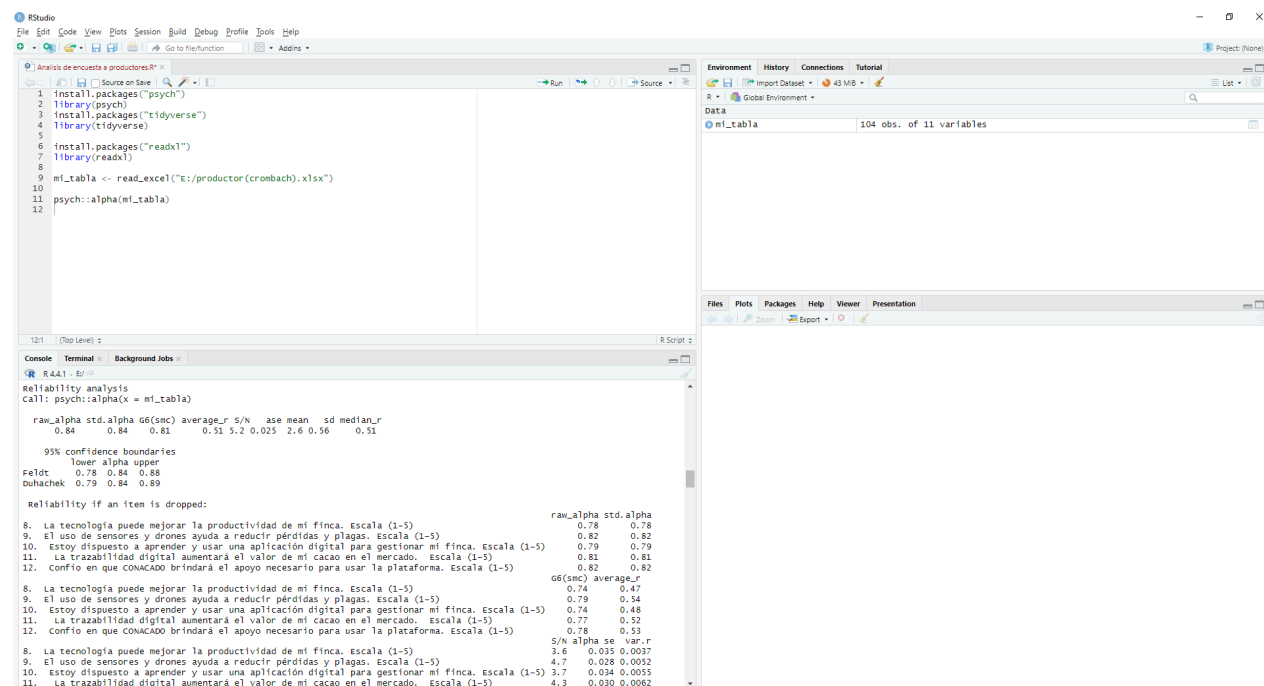
PCA (Análisis de Componentes Principales)	Resume datos en pocas variables clave.	Determinar qué factores explican mayor variación en la productividad.
t-SNE / UMAP	Proyecciones visuales para datos complejos.	Visualizar relaciones entre fincas o clones en 2D o 3D.
Modelos de detección de anomalías Objetivo: encontrar valores atípicos o situaciones anormales.		
Algoritmo	Descripción	Aplicación en Cacao 4.0
Isolation Forest	Detecta valores fuera de patrón.	Identificar sensores defectuosos o fincas con rendimientos inusuales.
Local Outlier Factor (LOF)	Analiza densidades locales.	Detectar puntos con condiciones edáficas extremas.

Anexo 4. Plan de despliegue del trabajo de campo de la investigación.

Actividades	Responsable	Participantes	Recursos
Reunión con las autoridades de Conacado para dar inicio al proyecto.	-Luis M. Castillo Cobas -Isidoro de la Rosa Ogando	- Consejo de Dirección del grupo Conacado.	- Transporte - Anteproyecto del Doctorado
Recorrido por las instalaciones de la empresa Conacado para la observación activa de su funcionamiento y Analizar el estado actual de la digitalización y prácticas de Agricultura 4.0 en CONACADO.	-Luis M. Castillo Cobas	- Trabajadores. - Gerentes - Técnicos industriales - Productores	- Guía para las observaciones.
Aplicación de la prueba piloto del estudio de los instrumentos.	-Luis M. Castillo Cobas - Director de Tesis.	- 3 Dirigentes y 10 técnicos de Conacado	- Guía de entrevista para técnicos y dirigentes. -Google Meet y Google Form.
Entrevista Aplicada a los directivos para medir percepción sobre Agricultura 4.0 en la empresa.	-Luis M. Castillo Cobas	-11 Directivos de Conacado.	- Guía de entrevista para técnicos y dirigentes. -Google Meet y Google Form.
Entrevista aplicada a los técnicos medir percepción sobre Agricultura 4.0. en su trabajo.	-Luis M. Castillo Cobas	-20 técnicos de Conacado.	- Guía de entrevista para técnicos y dirigentes. -Google Meet y Google Form.
Encuesta a Productores para recopilar información sobre prácticas agrícolas, nivel de adopción tecnológica, percepción sobre la digitalización y disposición para participar en la plataforma de Agricultura 4.0.	-Luis M. Castillo Cobas	- 150 productores por estratos, basado en tamaño de las fincas	- Guía de la encuesta para Productores. -Google Form.
Recolección de datos de producción y variables climáticas en las instalaciones de Conacado para correlacionar variables.	-Luis M. Castillo Cobas	- Director de producción. - Directora de Economía	- Registros históricos de producción. - Power BI - Alpha Earts.
Realización de un workshop para demostrar pertinencia de la Agricultura 4.0. y el prototipo	-Luis M. Castillo Cobas	- Grupo Mixto de 35 Stakeholders de Conacado y otras autoridades.	-Salón de Reuniones de Conacado Agroindustrial. - Modelos Obtenidos en PowerBI. - Video presentación del Prototipo (Mockup) AgrosTIC.
Aplicación de la encuesta de Validación Técnica y Social del Prototipo de Plataforma de Agricultura 4.0	-Luis M. Castillo Cobas - Director de Tesis.	- Grupo Mixto de 35 Stakeholders de Conacado.	- Guía de la encuesta para validación técnica y social. -Google Form.
Socialización de los resultados de la investigación con el consejo ampliado de Conacado.	-Luis M. Castillo Cobas -Isidoro de la Rosa Ogando	- Consejo de Dirección de Conacado.	- Presentación de los resultados obtenidos en la investigación. - Plan SCRUM para el desarrollo de la Plataforma.

Anexo 5. Aplicación del test Alpha de Cronbach a cuestionario de productores de Conacado.

Imagen en Rstudio.



Salida de la aplicación:

Reliability analysis

Call: psych::alpha(x = mi_tabla)

raw_alpha	std.alpha	G6(smc)	average_r	S/N	ase	mean	sd	median_r
0.84	0.84	0.81	0.51	5.2	0.025	2.6	0.56	0.51

95% confidence boundaries

lower alpha upper

Feldt 0.78 0.84 0.88

Duhachek 0.79 0.84 0.89

Reliability if an item is dropped:

	raw_alpha	std.alpha
8. La tecnología puede mejorar la productividad de mi finca. Escala (1-5)	0.78	0.78
9. El uso de sensores y drones ayuda a reducir pérdidas y plagas. Escala (1-5)	0.82	0.82
10. Estoy dispuesto a aprender y usar una aplicación digital para gestionar mi finca. Escala (1-5)	0.79	0.79
11. La trazabilidad digital aumentará el valor de mi cacao en el mercado. Escala (1-5)	0.81	0.81
12. Confío en que CONACADO brindará el apoyo necesario para usar la plataforma. Escala (1-5)	0.82	0.82

	G6(smc)	average_r
8. La tecnología puede mejorar la productividad de mi finca. Escala (1-5)	0.74	0.47

9. El uso de sensores y drones ayuda a reducir pérdidas y plagas. Escala (1-5)	0.79	0.54
10. Estoy dispuesto a aprender y usar una aplicación digital para gestionar mi finca. Escala (1-5)	0.74	0.48
11. La trazabilidad digital aumentará el valor de mi cacao en el mercado. Escala (1-5)	0.77	0.52
12. Confío en que CONACADO brindará el apoyo necesario para usar la plataforma. Escala (1-5)	0.78	0.53
S/N alpha se var.r		
8. La tecnología puede mejorar la productividad de mi finca. Escala (1-5)	3.6	0.035 0.0037
9. El uso de sensores y drones ayuda a reducir pérdidas y plagas. Escala (1-5)	4.7	0.028 0.0052
10. Estoy dispuesto a aprender y usar una aplicación digital para gestionar mi finca. Escala (1-5)	3.7	0.034 0.0055
11. La trazabilidad digital aumentará el valor de mi cacao en el mercado. Escala (1-5)	4.3	0.030 0.0062
12. Confío en que CONACADO brindará el apoyo necesario para usar la plataforma. Escala (1-5)	4.6	0.029 0.0064
med.r		
8. La tecnología puede mejorar la productividad de mi finca. Escala (1-5)	0.47	
9. El uso de sensores y drones ayuda a reducir pérdidas y plagas. Escala (1-5)	0.54	
10. Estoy dispuesto a aprender y usar una aplicación digital para gestionar mi finca. Escala (1-5)	0.46	
11. La trazabilidad digital aumentará el valor de mi cacao en el mercado. Escala (1-5)	0.52	
12. Confío en que CONACADO brindará el apoyo necesario para usar la plataforma. Escala (1-5)	0.54	

Anexo 6. Matriz de Indicadores de Primer Nivel de Conacado (2025 -2030).

CUADRO DE MANDO INTEGRAL BALANCE SCORE CARD										
Perspectiva	Objetivo Estratégico	Indicador Kpi	Fórmula	Unidad de Medida	Tendencia	Frecuencia de Medida	ÓPTIMO	TOLERABLE	DEFICIENTE	Responsable de monitoreo
Sostenibilidad Financiera	Aumentar la capacidad financiera de CONACADO (liquidez empresarial), con la finalidad de equilibrar la dependencia de servicios financieros externos para el aseguramiento de la operatividad.	Disminuir la dependencia financiera proveniente de fuentes de financiamiento externo.	[Montos de financiamiento externo/Liquidez Empresarial]*100	%	Decremento	Semestral	10%	18%	25%	Gerente General Gerente Administrativo Financiero Coordinador de gestión empresarial
Clientes	Incrementar la oferta diversificada de productos semielaborados de CONACADO, que se procesan a partir de grano de cacao de calidad, sostenible y trazable, con la finalidad de ampliar el abanico de clientes especializados a nivel nacional e internacional.	Aumentar la cartera de clientes especializados demandantes de productos semielaborados de cacao.	[Volumen de grano de cacao industrializado/Volumen total de cacao procesado]*100	%	Incremento	Anual	15%	10%	5%	Gerente General Gerente Comercial Gerente Planta Gerentes de Sucursales Coordinador de gestión empresarial
Clientes	Incrementar la fidelización de los productores de grano de cacao, a través de la integración de la oferta de servicios técnicos, económico financieros y sociales; que sean atractivos para motivar el encadenamiento	Aumentar la atención dirigida a clientes nuevos, socios, productores y clientes de otra índole, a través de la oferta de servicios	[Clientes atendidos con servicios integrados /Clientes totales]*100	%	Incremento	Trimestral	60%	40%	25%	Gerente General Gerente Técnico Gerentes Sucursales Coordinador de gestión empresarial

	productivo y la continuidad de las actividades agrícolas y de otra índole, con enfoque de relevo generacional e inclusión de género.	integrados: Técnico, económico-financiero y social.								
Procesos, Productividad y Efectividad	Incrementar el acopio progresivo y sostenido de grano de cacao de calidad, sostenible y trazable, producido principalmente por socios productores atendidos mediante los servicios integrales de CONACADO, para llegar a 35 mil toneladas anuales hasta el año 2027, con la finalidad de abastecer los requerimientos del mercado tradicional y emergente.	Aumentar la capacidad de acopio y procesamiento de cacao para abastecer los requerimientos empresariales de operación.	Volumen de grano de cacao procesado	Ton	Incremento	Anual	12 mil	10 mil	7 mil	Gerente General Gerente Técnico Gerentes Sucursales Coordinador de gestión empresarial
Procesos, Productividad y Efectividad	Actualizar el sistema de gestión de seguimiento, control y monitoreo del desempeño de las operaciones de las unidades de negocio de CONACADO, con la finalidad de cumplir oportunamente con los requisitos actuales y futuros establecidos por el mercado mundial en aspectos de sostenibilidad y trazabilidad de cacao; y, además, con los requerimientos de clientes y socios productores.	Disminuir los reclamos por incumplimiento de parámetros de calidad establecidos por los clientes y el mercado mundial.	[Volumen de producto no conforme/ Volumen de producto comercializado]*100	%	Decremento	Semestral	0%	5%	10%	Gerente General Gerente Comercial Gerente Técnico Gerente Planta Gerentes Sucursales Coordinador de gestión empresarial
Procesos, Productividad y Efectividad	Incrementar progresivamente la mecanización y automatización de los procesos productivos, que permitan mejorar eficacia, homogeneidad y calidad del grano de cacao; así como también, la reducción de costos de producción.	Disminuir los costos y gastos operativos y administrativos con enfoque de planificación, seguimiento, control y monitoreo.	[Costos y gastos ejecutados /Costos y gastos planificados]	Índice	Decremento	Trimestral	0,9	1,0	1,1	Gerente General Gerente Administrativo Financiero Gerentes Sucursales Gerente Planta Coordinador de gestión empresarial
Procesos, Productividad y Efectividad	Aumentar la implementación, uso y aprovechamiento de las herramientas tecnológicas digitales y aplicativos virtuales en las operaciones de las unidades de negocio de CONACADO, con la	Aumentar el uso de herramientas tecnológicas que faciliten el diseño aplicación de estrategias integradas de	[Colaboradores que usan herramientas tecnológicas/Total colaboradores]*100	%	Incremento	Semestral	100%	80%	60%	Gerente General Gerente Gestión Humana Coordinador TICs Coordinador

	finalidad de fortalecer los esfuerzos integrados de los equipos de trabajo en todos sus niveles dentro de la organización.	acción de los equipos de trabajo.								de gestión empresarial
Colaboradores, Aprendizaje y Desarrollo	Fortalecer las capacidades técnicas, administrativas y tecnológicas de los colaboradores de CONACADO, con la finalidad de aumentar la efectividad del trabajo bajo mecanismos de incentivos y régimen de consecuencias en función de la medición del desempeño en todos los niveles de la organización.	Aumentar las capacidades, destrezas y habilidades de los colaboradores en función de los requerimientos de puesto de trabajo, complementado con la percepción positiva de ambiente laboral.	Evaluación de desempeño global de los colaboradores	%	Incremento	Semestral	100%	80%	60%	Gerente General Gerente Gestión Humana Coordinador TICs Coordinador de gestión empresarial

Anexo 7. Matriz de Indicadores de Segundo Nivel (ISN) de Conacado.

Matriz de Indicadores Secundarios por procesos de CONACADO						
No.	Proceso	Código	Objetivo Smart	Meta	Período	Indicador
1	Gobernanza	ISN-GOB-01	Disminuir la dependencia financiera proveniente de fuentes de financiamiento externo.	-10%	Año 2025	Montos de financiamiento externo/ Liquidez empresarial
2	Gobernanza	ISN-GOB-02	Aumentar la capacidad de acopio y procesamiento de cacao para abastecer los requerimientos empresariales de operación.	14,70%	Año 2025	Volumen de cacao en grano procesado
3	Gobernanza	ISN-GOB-03	Disminuir los costos y gastos operativos y administrativos con enfoque de planificación, seguimiento, control y monitoreo.	-10%	Año 2025	Costos y gastos ejecutados/ Costos y gastos planificados
4	Acompañamiento Técnico	ISN-ATC-01	Aumentar el volumen de producción de cacao en las fincas.	5%	Año 2025	Volumen de cacao cosechado/ superficie cultivada (tarea)
5	Acompañamiento Técnico	ISN-ATC-02	Aumentar el volumen proyectado anual de cosecha de cacao certificado proveniente de socios productores (y sus hijos) a través de servicios financieros, técnico y comercial integrado.	10%	Año 2025	Volumen proyectado de cosecha de cacao certificado
6	Acompañamiento Técnico	ISN-ATC-03	Disminuir cantidad de fincas no conformes por incumplimiento de certificaciones.	-10%	Año 2025	Fincas no conformes/ Total fincas certificadas
7	Agroindustria Sucursales	ISN-AIS-01	Aumentar el porcentaje de acopio y procesamiento de cacao certificado hispaniola.	10%	Año 2025	Volumen de producción de cacao orgánico hispaniola procesado/ volumen total procesado
8	Agroindustria Sucursales	ISN-AIS-02	Aumentar el porcentaje de acopio y procesamiento de cacao certificado hispaniola.	10%	Año 2025	Volumen total de cacao procesado/ cantidad de mano de obra

9	Agroindustria Sucursales	ISN-AIS-03	Disminuir costos y gastos de producción.	-5%	Año 2025	Presupuesto utilizado/ Volumen de cacao procesado
10	Agroindustria Sucursales	ISN-AIS-04	Disminuir el porcentaje de producto no conforme.	-10%	Año 2025	Volumen producto no conforme/ Volumen total procesado
11	Agroindustria Planta	ISN-AIP-01	Disminuir el volumen de producto no conforme respecto del volumen total de producción de semiprosesados.	-10%	Año 2025	Volumen producto no conforme/ Volumen total producido
12	Agroindustria Planta	ISN-AIP-02	Disminuir los tiempos de producción de semiprosesados.	-5%	Año 2025	Tiempo empleado en producción/ Tiempo planificado de producción
13	Agroindustria Planta	ISN-AIP-03	Disminuir los costos de producción derivados del uso y mantenimiento de equipos y maquinarias.	-10%	Año 2025	Costos de producción ejecutados/ Costos de producción planificados
14	Comercial	ISN-COM-01	Aumentar el volumen de comercialización de productos semiprosesados dirigidos a nichos especializados de mercado.	25%	Año 2025	Volumen de productos semiprosesados comercializados
15	Comercial	ISN-COM-02	Aumentar el volumen de comercialización de cacao en grano hispaniola certificado.	5%	Año 2025	Volumen de cacao en grano hispaniola certificado/ Volumen total comercializado
16	Comercial	ISN-COM-03	Aumentar la satisfacción de los clientes.	10%	Año 2025	Satisfacción de clientes
17	Servicios Financieros (Cooperativa)	ISN-SFC-01	Aumentar la captación y fidelización de socios productores (y sus hijos) a través de servicios financieros, técnicos y comerciales integrados.	10%	Año 2025	Socios productores atendidos con servicios financieros/ Total Socios
18	Servicios Financieros (Cooperativa)	ISN-SFC-02	Aumentar el seguimiento individualizado de los créditos otorgados a los socios productores, en función del riesgo de recuperación.	10%	Año 2025	Socios productores con acceso a créditos monitoreados/ Total Socios productores con acceso a créditos
19	Servicios Financieros (Cooperativa)	ISN-SFC-03	Aumentar la Inversión social, cumpliendo lo establecido en normativa legal y en estatutos de Coopnacado.	10%	Año 2025	Inversión social/ Inversión total
20	Administrativo Financiero	ISN-ADF-01	Disminuir los costos y gastos operativos y administrativos con enfoque de planificación, seguimiento, control y monitoreo.	-10%	Año 2025	Costos y gastos ejecutados/ Costos y gastos planificados
21	Administrativo Financiero	ISN-ADF-02	Disminución de liquidez adquirida a través de servicios financieros de tercera parte.	-10%	Año 2025	Montos de financiamiento externo/ Liquidez empresarial
22	Administrativo Financiero	ISN-ADF-03	Aumentar el uso de servicios financieros (cuentas COOPNACADO) para el manejo del presupuesto destinado para compradores de cacao.	10%	Año 2025	Efectivo para comerciantes manejado en cuentas/ Total efectivo para comerciantes

23	Administrativo Financiero	ISN-ADF-04	Aumentar los ítems constatados y rotulados dentro del inventario de bienes.	25%	Año 2025	Bienes constatados y rotulados/ Inventario de bienes total
24	Gestión Humana	ISN-GEH-01	Aumentar las capacidades de los colaboradores de CONACADO en función de las competencias requeridas.	10%	Año 2025	Evaluación de desempeño individual
25	Gestión Humana	ISN-GEH-02	Aumentar la perspectiva positiva de los colaboradores frente al ambiente laboral de CONACADO.	5%	Año 2025	Evaluación de ambiente laboral
26	Gestión Humana	ISN-GEH-03	Aumentar el uso de las herramientas documentales de operación, administración, comportamiento, etc. por parte del personal de CONACADO.	30%	Año 2025	Personal usando herramientas documentales/ total personal
27	Asesoramiento Legal	ISN-ALE-01	Aumento de bienes predios de CONACADO regularizados legalmente.	5%	Año 2025	Bienes predios regularizados/ Total bienes predios
28	Asesoramiento Legal	ISN-ALE-02	Disminución del tiempo de atención de procesos legales.	-5%	Año 2025	Tiempo promedio de atención a procesos legales

Anexo 8. Diseños estructurales de la biofábrica conectada del fabricante ALane.

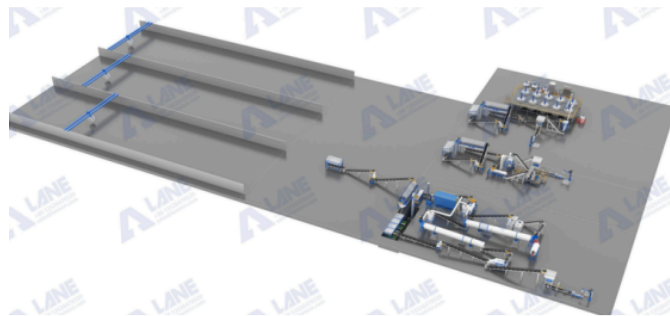
1. Sistema de control automatizado de la producción y su SCADA con tecnología S7 SIEMENS .



2. Pozo de fermentación para 30 toneladas horas de biofertilizantes sólidos.



3. Esquema industrial (3D-CAD) general de la biofabrica según fabricante ALane.



4. Esquema industrial (3D-CAD) del sistema de producción de 25 m³ de biofertilizantes líquidos.



Anexo 9. Plan de desarrollo de la propuesta transformadora por etapas.

Etapas de la propuesta	Objetivo	Actividades	Entregables	Indicadores
ETAPA 1. Capacitación teórico-práctica en Agricultura 4.0	Desarrollar capacidades técnicas, digitales y analíticas para garantizar la adopción efectiva de AgrosTIC 4.0.	Formación en: -Agricultura 4.0 y biosistemas digitales. -IoT agropecuario -Trazabilidad y calidad del cacao. -Uso de datos y toma de decisiones. - Bioeconomía del cacao. -Talleres prácticos en fincas. -Capacitación por perfiles (productor, técnico, dirigente). -Evaluación de competencias digitales.	-Plan de capacitación ejecutado. -Material didáctico (manuales, guías, videos). -Registro de participantes certificados. -Informe de evaluación de competencias.	- % del personal capacitado. - Nivel de apropiación tecnológica. -Índice de competencias digitales. -Satisfacción de los participantes.
ETAPA 2. Diseño multidimensional del biosistema CONACADO.	Alinear AgrosTIC 4.0 con la estrategia organizacional y los objetivos productivos, ambientales y comerciales.	-Definición de visión digital del biosistema. -Diseño del Cuadro de Mando Integral (CMI). - Sostenibilidad - Financiera - Clientes - Productiva - Efectividad de los procesos - Ambiental - Social - Innovación y aprendizaje. -Definición de KPIs: - Primer nivel (estratégicos) - Segundo nivel (operativos) -Modelado del biosistema (productivo-tecnológico-organizacional).	-Documento del diseño del biosistema. -Cuadro de Mando Integral digital - Catálogo de KPIs - Mapa estratégico del biosistema	-% KPIs definidos e implementados. - Nivel de alineación estratégica. - Cobertura de procesos críticos. - Grado de madurez del modelo.
ETAPA 3. Desarrollo de la infraestructura de telecomunicaciones y gestión de datos en fincas	Garantizar conectividad, captura y transmisión confiable de datos productivos y ambientales.	- Diseño de la red de telecomunicaciones rurales. - Instalación de sensores IoT (clima, suelo, humedad). - Implementación de gateways y protocolos (LoRa, NB-IoT). - Diseño de arquitectura de datos (edge + AgrosTIC cloud) - Integración SIG y teledetección.	-Infraestructura IoT operativa. - Red de telecomunicaciones funcional. - Base de datos agrícola centralizada. - Documentación técnica.	-% de fincas conectadas. - Disponibilidad de datos (% uptime) - Latencia de transmisión - Calidad de datos capturados
ETAPA 4. Biofábrica conectada.	Integrar bioeconomía y digitalización basado en la 4ta RI.	-Modelado técnico de biofábrica. - Integración con plataforma.	- Modelo funcional de biofábrica. - Integración digital. - Informe técnico.	- Reducción de costos. - Incremento productividad.



Anexo 11. Sobre proyecto para el plan Meta 2036 de la presidencia.

Ficha de Iniciativa - META 2036

Proponente: Isidoro de la Rosa Ogando

Experto en el Sector del CACAO.

Institución: CONACADO

Nombre de la solución:

Desarrollo de una plataforma de Agricultura 4.0 para la gestión inteligente de la Empresa CONACADO como un Biosistema Agroalimentario de CACAO en la República Dominicana.

Responsable (Institución Pública):

Problema que busca resolver:

- La baja productividad promedio (0.6 qq/ta) de las fincas de cacao en el país.
- La ausencia de una generación de relevo en las actividades productivas de la cadena de valor de cacao.
- El déficit de mano de obra nacional especializada en las actividades de

fermentación y secado, que será sustituida por tecnología de avanzada.

- Exceso de mano de obra de emigrantes ilegales.
- Los altos costos por utilización de mano de obra en los procesos de producción y poscosecha del cacao.
- La incidencia de riesgos en calidad y de homogeneidad del producto en los procesos de producción y poscosecha del cacao.
- Alta presencia de malas prácticas y falta estandarizada de procedimientos técnicos para la nutrición foliar y del suelo de la fincas productivas de cacao sin un diagnóstico adecuado de las necesidades nutricionales.
- Disminuir los tiempos logísticos de la cadena para optimizar la cadena de valor del cacao.
- Eliminar las dificultades de entendimiento entre las normativas orgánicas por parte de los productores, los técnicos extensionistas y las agencias certificadoras.
- Los altos costos operativos del proceso de trazabilidad, monitoreo de los parámetros técnicos en las certificaciones orgánicas.
- Los cuellos de botellas y deterioro de los parámetros de calidad en el segmento industrial de la cadena de valor.

Población o sector objetivo:

Todo el sector cacaotero

Descripción breve de la propuesta:

Desarrollar una plataforma de Agricultura 4.0 para el sector cacacultor en una nube privada que conecte la infraestructura agroindustrial y de gestión existente a siete Centros industriales de Beneficiados (Poscosecha) para la automatización y optimización de los procesos de fermentación y secado de cacao de conjunto a tres plantas de bioinsumos (Biofabricas) de alta tecnología que suplirán los biofertilizantes sólidos y líquidos para la nutrición de los cultivos y suelos del cacao, al mismo tiempo que permitirán combatir el estrés hídrico de las plantaciones, el manejo de la humedad y la poda, permitiendo además la bioremediación y Fito remediación del cultivo para suelos fuera de parámetros en metales pesados o con excesos de aluminio.

La plataforma servirá como centro de control de operaciones de producción

logísticas integradas del ecosistema productivo(Block Chain) y como centro de procesamiento de datos para la toma de decisiones de forma inteligente del negocio(BI) a través de indicadores (KPI), la cual utilizara Minería de Datos e Inteligencia Artificial(IA) alimentada por mapas digitales obtenidos por análisis hiperespectral de drones y satélites, lo que permitirá desarrollar recetas de manejos para productores y extensionistas que les permita dar cumplimiento a las exigencias de las certificaciones del sector por medio de protocolos de Extensionismo digital . Los algoritmos de aprendizaje profundo (IAG) de un Almacén de Datos en la nube (DW) servirán para generar reportes de inteligencia para la optimización de toda la cadena de valor y mapas de productividad estimados, que servirán para alcanzar el umbral futuro de la productividad en el sector (2 qq/ta) para c/u de las finas de cacao.

Con la finalidad de lograr el relevo generacional se implementara un plan para 100 jóvenes agricultores con aproximadamente 80 ta c/u en Sistemas Agroforestales de Cacao bajo el régimen de riego por goteo.

Tipo de iniciativa:

Legal / Normativa
Proyectos de Inversión
Articulación de Actores
Cambio Cultural

Actores clave involucrados (públicos y privados):

-MIARD
-CONACADO
-FEDA
- FIBA
-SUICTAF
- CONFENAGRO
- Asociaciones de productores

Territorio o nivel de aplicación:

Sectorial

Recursos requeridos (Presupuesto):

Tabla de presupuesto total por elementos del proyecto.

Tasa 1 USD= 60.44 RD\$

Descripción de los Elementos	Objetivo Vinculados	Monto en RD\$	Monto en USD\$
Desarrollo de la consultoría y artefactos del proyecto.	1,2,34,5,6,7 y 8	9,000,000.00	148,908.00
Capacitación general del grupo Conacado (Stakeholders y trabajadores).	1	9,047,000.00	149,685.63
Desarrollo y Automatización de siete centros de Beneficiados e integración al BI de la Plataforma	2,3,4,5,6,7 y 8	2,901,120,000.00	48,000,000.00
Desarrollo e implantación de tres plantas de Biofertilizantes.	2,4,5 y 7	906,600,000.00	15,000,000.00
Desarrollo de la Plataforma para la Transformación Digital de Conacado.	1,2,34,5,6,7 y 8	30,000,000.00	496,360.02
Equipamiento IoT e Instrumentación AgroTech 4.0 (Drones, sensores hiperespectrales, Banderillero, etc.)	2,3	22,800,000.00	377,233.62
Renovación de 100 Fincas con sistemas Agroforestales y riegos inteligente distribuidas entre las 8 Regionales para 100jóvenes	1,2,34,5,6,7 y 8	200,000,000.00	3,309,066.84
TOTAL		4,078,567,000.00	67,481,254.11

Escalabilidad del proyecto.

Parámetro de escalamiento: La Productividad media del Sector

Horizonte Temporal: 10 años (2026-2036)

Productividad (2026)=0.6 qq/ta Productividad(2036)=2.0 qq/ta

Variación incremental de la Productividad= 0.14 (qq/ta)/año

Factor de multiplicación de la productividad= 3.33

Precio del mercado: Precio(2025)= 7,800 USD\$/TM, Precio Est.(2036)=4,500 USD\$/TM

Ingresos por Exportación: Ingresos(2025)= 200 MMUSD\$, Ingresos Est.(2036)= 346,2 MMUSD\$

A partir de una inversión inicial cubrir el resto de la inversión con el efecto multiplicador de la productividad

Tiempo (años)	Productividad(qq/ta)	Indicador 2	Indicador 3
2026	0.60	1.2	1.8
2027	0.74	1.2	1.8
2028	0.88	1.2	1.8
2029	1.02	1.2	1.8
2030	1.16	1.2	1.8
2031	1.30	1.2	1.8
2032	1.44	1.2	1.8
2033	1.58	1.2	1.8
2034	1.72	1.2	1.8
2035	1.86	1.2	1.8
2036	2.00	1.2	1.8

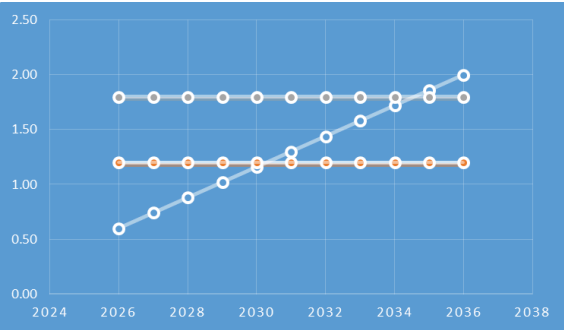


Tabla de Inversiones escaladas por elementos del proyecto.

Tasa 1 USD= 60.44 RD\$

Descripción de los Elementos	(2025) en RD\$	(2025) en USD\$	(2030) en RD\$	(2030) en USD\$	(2034) en RD\$	(2034) en USD\$
Desarrollo de la consultoría y artefactos del proyecto.	9,000,000.00	148,908.00	0	0	0	0
Capacitación general del grupo Conacado (Stakeholders y trabajadores).	9,047,000.00	149,685.63	0	0	0	0
Desarrollo y Automatización de siete centros de Beneficiados e integración al BI de la Plataforma	1,208,800,000.00	20,000,000.00	1,087,920,000.00	18,000,000.00	604,400,000.00	10,000,000.00
Desarrollo e implantación de tres plantas de Biofertilizantes.	302,000,000.00	5,000,000.00	302,200,000.00	5,000,000.00	302,200,000.00	5,000,000.00
Desarrollo de la Plataforma para la Transformación Digital de Conacado.	30,000,000.00	496,360.02	0	0	0	0
Equipamiento IoT e Instrumentación AgroTech 4.0 (Drones, sensores hiperespectrales, Banderillero, etc.)	22,800,000.00	377,233.62	0	0	0	0
Renovación de 100 Fincas con sistemas Agroforestales y riegos inteligente distribuidas entre las 8 Regionales para 100jóvenes	200,000,000.00	3,309,066.84	0	0	0	0
TOTAL	1,781,647,000.00	29,481,254.11	1,390,120,000.00	68,000,000.00	906,600,000.00	60,000,000.00

Indicadores de impacto esperados:

- Aumento de la productividad del cacao por efectos nutricionales y

mitigación medio ambiental.

- Incremento de la producción de cacao.
- Aumento de las exportaciones del rubro.
- Diminución de los rechazos por temas de calidad e inocuidad de la producción en el cacao.
- Aumento del nivel económico en la comunidad agraria del cacao con igual extensión de tierras dedicadas al proceso productivo.
- Disminución de la dependencia de la mano de obra extranjera en el sector.
- Optimización de la cadena de valor del sector.
- Eficiencia en los protocolos de certificación y trazabilidad por introducción de las tecnologías hiperspectrales y control de los elementos agroecológicos y regenerativos del suelo productivo.
- Introducción de la IA en los procesos de extensión y acompañamiento técnico a productores, así como IAG para la generación de mapas de productividad en fincas.
- Introducir el Extensionismo digital para mejorar la trazabilidad y el acompañamiento técnico a productores de cacao.

Condiciones habilitantes:

Marco legal y regulatorio:

Que la presidencia y el CNC permitan o faciliten la implementación de la iniciativa.

Marco institucional:

Consejo Técnico asesor para la ejecución del proyecto y La existencia de instituciones o entidades con la capacidad y recursos para llevar a cabo la acción.

Capacidad técnica y humana:

La disponibilidad de personal capacitado y con los conocimientos necesarios tanto del IIBA, CONACADO y del SUICTAF.

Acceso a financiamiento:

La disponibilidad de recursos económicos para cubrir los costos e inversiones del proyecto.

Participación ciudadana:

La involucración de las partes involucradas y ejecución de la política o proyecto.

Condiciones macroeconómicas y sociales:

Acuerdos tomados por el sector para su ejecución

Argumentos a favor (“Pros”) y en contra de la iniciativa (“Contras”):

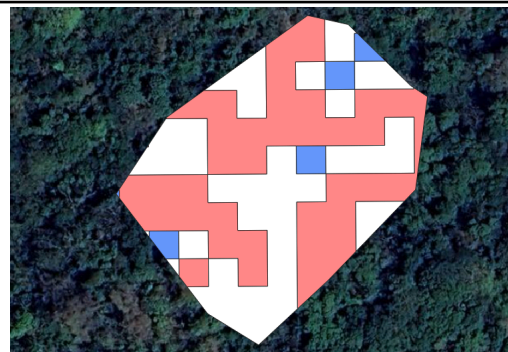
A Favor

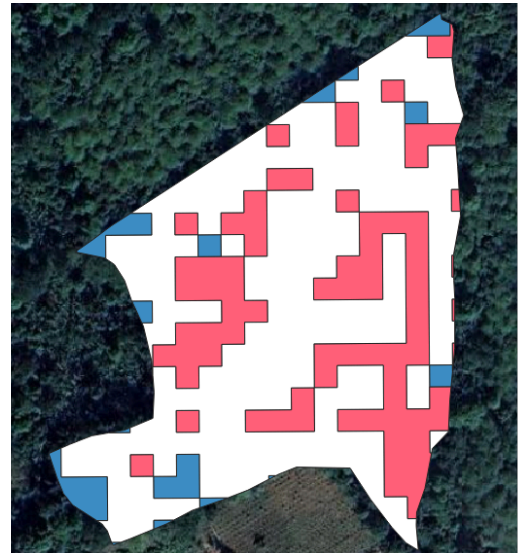
- Disposición de un personal técnico altamente calificado para ellos en las instituciones involucradas.
- Voluntad política.

En contra

- Falta de competencias tecnológicas en el sector para asimilar la propuesta de gestionar el cacao dominicano en el nivel cuaternario de la economía.

Anexo 12. Estimaciones de estrés hídrico y caracterización espacial en fincas.

No.	Nombre	Buena práctica	Ubicación	Desertificación % 2025	Estrés hídrico promedio 2025	Pronóstico mensual del Estrés hídrico 2026	Mapa (20/01/2025)
1	Eugenio Leopoldo Reynoso	Si				Mes 1 - 0.799784 Mes 2 - 0.799784 Mes 3 - 0.847907	
2	Alberto José Rondón	Si	Cotuí-Platanal	1.631159081	0.55450787	Mes 1 - 0.434804 Mes 2 - 0.522019 Mes 3 - 0.520356	
3	Ramón Mosquea García	Si	Cotuí-Hernando Alonzo	3.416221276	0.775909897	Mes 1 - 0.901674 Mes 2 - 0.949201 Mes 3 - 0.940355	

4	Delbe Contreras	No	Cotuí- El Limpio	-9.662027935	0.566648933	Mes 1 - 0.733768 Mes 2 - 0.730168 Mes 3 - 0.737455	
5	Miguel Alfredo Hernandez	No	Cotuí- Cotuí	-0.89224499	0.52440756	Mes 1 - 0.706207 Mes 2 - 0.706207 Mes 3 - 0.706192	

6	Moisés del Orbe	No	Cotuí-Platanal	-3.585713029	0.595851071	Mes 1 - 0.624070 Mes 2 - 0.623919 Mes 3 - 0.621110	
---	-----------------	----	----------------	--------------	-------------	--	---

Anexo 13. Infraestructura tecnológica que soporta el sistema de gestión de Conacado.

LISTA DE EQUIPOS Y SOFTWARE

SOFTWARE

Software Microsoft

Dynamics 365 Finance
 Tipos de licencias
 Dynamics 365 Finance Base
 Dynamics 365 Operations
 Dynamics 365 Team member
 Base Offer
 Exchange Online (plan 2)
 Microsoft 365 Empresa Básico
 Microsoft 365 Empresa Estándar
 Microsoft Power Apps Plan 2 Trial
 Microsoft Power Apps for Developer
 Microsoft Power Automate Free
 Microsoft Teams Exploratory
 Power BI Pro
 Teams Premium (for Departments)

 Servidor Virtual - Proxmox Server - RAM 300GiB
 Central Telefónica 3CX
 SqlServer - Windows Server
 Web Server - Windows Server
 Proxy - Servicios cooperative APServer
 Active Directory Domain Services (AD DS)
 Taylor / Sherlo (Sistema COOPNACADO)
 Active Directory Domain Services (AD DS)Secundario

 Fortinet Router - En todas las sucursales

 Hoting Web Godaddy

 SCP Sistema de control de Producción

HARDWARE – En las sucursales

Cotuí

- Impresoras
- 1 Epson WF-C5790
 - 3 Epson Lx 350
- Computadoras
- 2 Dell OptiPlex 7060, Sistema Operativo Windows 11.
 - 2 Dell OptiPlex 7090, Sistema Operativo Windows 10.
 - 2 Dell OptiPlex 7090, Sistema Operativo Windows 11.

Gaspar Hdez

- Impresoras
- 1 CANOM MFB160DW
 - 1 EPSON LX-350
- Computadoras
- 2 DELL OPTIPLEX 7090 Sistema Operativo Windows 11.

Yamasá

- Impresoras
- 1 Canon Image Class MF455wd
- Computadoras
- 1 DELL OPTIPLEX 7090 Sistema Operativo Windows 10
 - 1 DELL OPTIPLEX 7040 Sistema Operativo Windows 10

Castillo

- Impresoras
- 1 Epson LX-350
 - 1 Epson LX-300
 - Canon Image Class MF425wd
- Computadoras
- 2 DELL OPTIPLEX 7090 Sistema Operativo Windows 10
 - 1 DELL OPTIPLEX 5050 Sistema Operativo Windows 10

Seibo

- Impresoras
- Canon Image CLASS MF445dw
 - 1 Epson LX-350
 - 1 Epson TM-U220D
- Computadoras
- 2 DELL OPTIPLEX 7090 Sistema Operatives Windows 10

Planta san fco Macorix.

- Impresoras
- Ricoh IMC-300
- Canon WF-414dw
- Computadoras
- 10 -DELL Optiplex 7090
- 2 – Laptop Lenovo IdeaPad 3

2 -laptop Dell latitude 5540

SANTO DOMINGO

Impresoras

Ricoh IMC-2010

Computadoras

1-Laptop DELL Latitude 3520 Sistema Operativo Windows 11

1-Laptop DELL Inspiron 3520. Sistema Operativo Windows 11

3 -DELL Optiplex 7070 Sistema Operativo Windows 10

1 -DELL Optiplex 7060 Sistema Operativo Windows 11

1 -DELL Optiplex 7040 Sistema Operativo Windows 11

1 -DELL Optiplex 7000 Sistema Operativo Windows 11

Hato Mayor.

Impresoras

1 -Epson FX-890

1 – Canon F168702

Computadoras Hato Mayor.

1 - Dell OptiPlex 7090, Sistema Operativo Windows 11.

1 – DELL D17S Operativo Windows 11.

Nagua

Impresoras

- 1 -Epson FX-350

- 1 -Epson FX-890

- 1 -Canon MF 414dw

Computadoras

- 2 - Dell OptiPlex 7090, Sistema Operativo Windows 11.

- 1-DELL Optiplex 7060 Sistema Operativo Windows 10

Bonao

Impresoras .

- 1 – Canon MF-6100 series

Computadoras

- 3 - Dell OptiPlex 7090, 1 con Sistema Operativo Windows

11 y 2 con Windows 10

Anexo 14. Guía de entrevista para Directivos de CONACADO.

Esta pequeña entrevista tiene como objetivo explorar la visión estratégica, retos organizacionales y expectativas institucionales sobre la implementación de la plataforma de Agricultura 4.0 en la gestión del cacao.

Gracias, por su colaboración.

Objetivo:

Explorar la visión estratégica, retos organizacionales y expectativas institucionales sobre la implementación de la plataforma de Agricultura 4.0 en la gestión del cacao.

Tipo de instrumento:

Entrevista semiestructurada (preguntas abiertas).

Dimensión	Preguntas orientadoras
Gestión estratégica	1. ¿Cuáles considera que son los principales desafíos de CONACADO para digitalizar su gestión agroindustrial?
	2. ¿Qué papel juega la innovación tecnológica en la competitividad del cacao dominicano?
Sistemas de información y trazabilidad	3. ¿Cómo evalúa actualmente los mecanismos de trazabilidad en la cadena de valor del cacao?
	4. ¿Qué beneficios espera de una plataforma integrada con blockchain y BI?
Capacidad institucional	5. ¿Cree que la organización cuenta con las capacidades técnicas y humanas suficientes para operar una plataforma 4.0?
	6. ¿Qué tipo de soporte o capacitación considera necesaria?
Sostenibilidad y proyección	7. ¿Cómo podría contribuir la plataforma al cumplimiento de estándares de sostenibilidad y certificación internacional?
	8. ¿Qué indicadores institucionales utilizaría para medir el éxito de la implementación?

Anexo 15. Entrevista para Técnicos y Coordinadores de Campo.

Esta pequeña entrevista tiene como propósito identificar percepciones, conocimientos y barreras técnicas sobre la aplicación de tecnologías digitales (IoT, drones, biofábricas, blockchain) en la producción y trazabilidad del cacao.

Gracias, por su colaboración.

Objetivo:

Identificar percepciones, conocimientos y barreras técnicas sobre la aplicación de tecnologías digitales (IoT, drones, biofábricas, blockchain) en la producción y trazabilidad del cacao.

Tipo:

Entrevista semiestructurada.

Dimensión	Preguntas orientadoras
Experiencia tecnológica	1. ¿Qué tecnologías utilizan actualmente en el monitoreo de cultivos? 2. ¿Ha recibido capacitación sobre sensores, drones o plataformas digitales?
Gestión de información	3. ¿Cómo recopilan, procesan y comparten actualmente los datos agronómicos y productivos? 4. ¿Qué limitaciones enfrentan en el acceso o manejo de datos?
Percepción de la Agricultura 4.0	5. ¿Qué beneficios cree que aportará la plataforma propuesta a la gestión técnica del cacao? 6. ¿Qué riesgos o dificultades prevé en su implementación?
Soporte institucional	7. ¿Qué nivel de acompañamiento considera necesario por parte de CONACADO o instituciones aliadas? 8. ¿Qué tipo de información o capacitación considera prioritaria para los técnicos?

Anexo 16. Encuesta para Productores de Cacao Afiliados a CONACADO.

Esta pequeña encuesta tiene como propósito recopilar información sobre prácticas agrícolas, nivel de adopción tecnológica, percepción sobre la digitalización y disposición para participar en la plataforma de Agricultura 4.0.

Gracias, por su colaboración.

Objetivo:

Recopilar información sobre prácticas agrícolas, nivel de adopción tecnológica, percepción sobre la digitalización y disposición para participar en la plataforma de Agricultura 4.0.

Tipo:

Encuesta estructurada (preguntas cerradas con escala tipo Likert y dicotómicas).

Sección A. Datos generales

1. Provincia: _____
2. Años de experiencia en cultivo de cacao: ____
3. Tamaño promedio de la finca (ha): ____
4. ¿Su producción es orgánica certificada? () Sí () No

Sección B. Adopción tecnológicos

5. ¿Utiliza alguna herramienta digital para registrar o controlar su producción?
() Sí () No
6. ¿Conoce o ha usado sensores, drones o plataformas digitales en su finca?
() Sí () No
7. ¿Qué tipo de tecnología le gustaría incorporar?
() Sensores () Aplicaciones móviles () Drones () Sistemas de trazabilidad () Ninguno

Sección C. Percepción sobre Agricultura 4.0

(Usar escala de 1 a 5: 1=Totalmente en desacuerdo, 5=Totalmente de acuerdo)

Ítem	Pregunta	Escala (1–5)
8	La tecnología puede mejorar la productividad de mi finca.	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5
9	El uso de sensores y drones ayuda a reducir pérdidas y plagas.	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5
10	Estoy dispuesto a aprender y usar una aplicación digital para gestionar mi finca.	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5
11	La trazabilidad digital aumentará el valor de mi cacao en el mercado.	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5
12	Confío en que CONACADO brindará el apoyo necesario para usar la plataforma.	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

Sección D. Condiciones y barreras

13. ¿Cuenta con acceso estable a internet en su finca?
() Sí () No
14. ¿Dispone de teléfono inteligente o Tablet?
() Sí () No
15. ¿Estaría dispuesto a participar en un programa de capacitación digital?
() Sí () No

Anexo 17. Encuesta para un grupo Mixto Stakeholders y productores de Cacao Afiliados a CONACADO.

Objetivo:

Evaluar el nivel de aceptación, pertinencia y viabilidad técnica y social del prototipo de diseño de la Plataforma de Agricultura 4.0 para la gestión inteligente del Biosistema de Cacao de CONACADO, considerando escenarios simulados de uso basados en datos históricos (AlphaEarts y QGIS).

Tipo:

Encuesta estructurada (preguntas cerradas con escala tipo Likert y dicotómicas) con una sección de preguntas abiertas.

Encuesta de Validación Técnica y Social del Prototipo de Plataforma de Agricultura 4.0 – CONACADO

La presente encuesta tiene como propósito evaluar el nivel de aceptación, pertinencia y viabilidad técnica y social del prototipo de diseño de la Plataforma de Agricultura 4.0 para la gestión inteligente del Biosistema de Cacao de CONACADO, considerando escenarios simulados de uso basados en datos históricos (AlphaEarts y QGIS). Los resultados permitirán validar las funcionalidades y percepciones de los actores de la cadena de valor respecto al diseño de la plataforma propuesta.

Sección I. Datos Generales del Participante

1. Rol que desempeña en la cadena del cacao: ☐ Productor ☐ Técnico ☐ Directivo ☐ Comercializador ☐ Otro
2. Nivel educativo: ☐ Básico ☐ Medio ☐ Superior ☐ Técnico
3. Años de experiencia en el sector cacaotero: ☐ 0–5 ☐ 6–10 ☐ 11–20 ☐ Más de 20
4. ¿Ha utilizado herramientas digitales (QGIS, AlphaEarts, apps agrícolas, ERP, etc.)? ☐ Sí ☐ No

Sección II. Evaluación Técnica del Prototipo

Escala: 1 = Muy deficiente | 2 = Deficiente | 3 = Aceptable | 4 = Buena | 5 = Excelente

1. La interfaz del prototipo es clara y fácil de entender.
2. Los módulos (monitoreo, trazabilidad, gestión productiva) son útiles para la gestión del cacao.
3. El prototipo facilita la toma de decisiones técnicas o de gestión.
4. Las funcionalidades del dashboard representan correctamente el proceso productivo.
5. La visualización de datos geográficos (QGIS/AlphaEarts) es comprensible y útil.

Sección III. Evaluación Social y Organizacional

1. La plataforma fortalecería la cooperación entre productores y técnicos.
2. Mejoraría la transparencia y trazabilidad del cacao orgánico.
3. Facilitaría la capacitación digital y la adopción de tecnologías 4.0 en CONACADO.
4. Contribuiría a la sostenibilidad social y económica de las comunidades cacaoteras.
5. La adopción de esta herramienta digital sería aceptada por los miembros de mi organización.

Sección IV. Evaluación de Escenarios Simulados de Uso

1. El escenario de monitoreo de humedad y productividad es realista y aplicable.
2. El panel de alertas climáticas o de rendimiento aporta valor a la gestión productiva.
3. Los resultados simulados reflejan coherentemente la situación de las parcelas.
4. Me gustaría utilizar esta plataforma si estuviera disponible en versión operativa.

Sección V. Retroalimentación Abierta

1. ¿Qué mejoras considera necesarias antes de implementar la plataforma?
2. ¿Qué funcionalidades adicionales cree que serían más útiles para los productores?
3. ¿Qué obstáculos podrían dificultar la adopción de esta tecnología en su comunidad?

Criterios de Validación

Dimensión	Indicador	Técnica de análisis	Resultado esperado
Técnica	Claridad, funcionalidad, aplicabilidad	Media aritmética ≥ 4	Prototipo validado técnicamente
Social	Pertinencia, aceptación, percepción de utilidad	Frecuencia de respuestas positivas $\geq 70\%$	Validación social favorable
Integración 4.0	Capacidad percibida de digitalización	Análisis cualitativo	Identificación de áreas de mejora

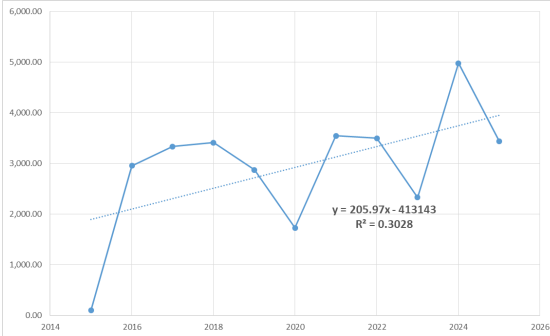
Anexo 18. Resultados de las dimensiones en la encuesta a grupos de productores, técnicos y dirigentes de Conacado.

Anexo 19 Resultados de análisis longitudinal (2015-2025) de la producción anual de una muestra intencional de productores de Conacado.

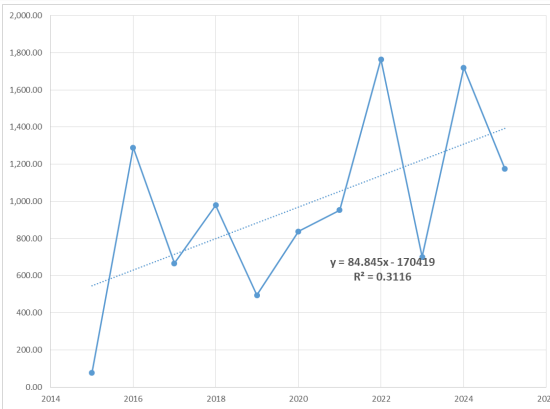
Datos del Productor		Tabla de la producción		Gráfica temporal (2015-2025)
ZONA	Cotuí	TIEMPO (años)	Producción (Kg)	Line graph showing annual production (Kg) from 2015 to 2025 for a producer in Cotuí. The y-axis ranges from 0.00 to 4,500.00. The x-axis shows years from 2014 to 2026. Data points are plotted for 2015 to 2025, with a linear regression line and equation $y = 108.46x - 216738$, $R^2 = 0.0968$.
BUENAS PRACTICAS AGRICOLAS	Si	2015	352.00	
CODIGO	7-14-033	2016	1,293.50	
Coordenada X	18.91597	2017	2,965.50	
Coordenada Y	-70.13472	2018	3,075.50	
ASOCIACION	Niño Jesús	2019	2,923.25	
UBICACIÓN	Dos Palmas	2020	1,667.10	
		2021	3,166.85	
		2022	3,228.02	
		2023	2,209.47	
		2024	4,057.75	
		2025	870.56	
		Total	25,809.50	
ZONA	Cotuí	TIEMPO (años)	Producción (Kg)	Line graph showing annual production (Kg) from 2015 to 2024 for a producer in Santa María Reina. The y-axis ranges from 0.00 to 5,000.00. The x-axis shows years from 2014 to 2026. Data points are plotted for 2015 to 2024, with a linear regression line and equation $y = 163.04x - 326805$, $R^2 = 0.2209$.
BUENAS PRACTICAS AGRICOLAS	Si	2015	0.00	
CODIGO	7-17-073	2016	2230.50	
Coordenada X	19.11791	2017	2978.00	
Coordenada Y	-70.1148	2018	3638.25	
ASOCIACION	Santa María Reina	2019	2092.00	
UBICACIÓN	Platanal	2020	1780.28	
		2021	2826.84	
		2022	3340.91	
		2023	2457.56	
		2024	4435.71	

		2025	2106.94
		Total	27886.99

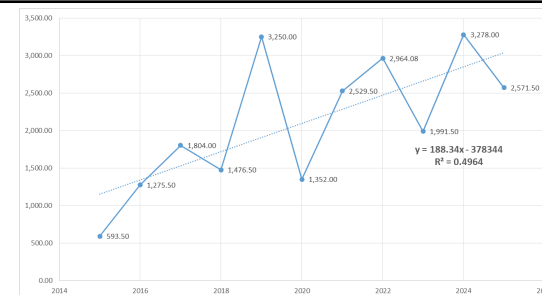
ZONA	Cotuí	TIEMPO (años)	Producción (Kg)
BUENAS PRACTICAS AGRICOLAS	No	2015	96.25
CODIGO	7-24-019	2016	2,955.01
Coordenada X	18.95881	2017	3,333.50
Coordenada Y	-70.12967	2018	3,410.40
ASOCIACION	San Antonio	2019	2,871.00
UBICACIÓN	El Limpio	2020	1,726.05
		2021	3,545.77
		2022	3,500.77
		2023	2,331.12
		2024	4,982.90
		2025	3,435.71
		Total	32,188.48



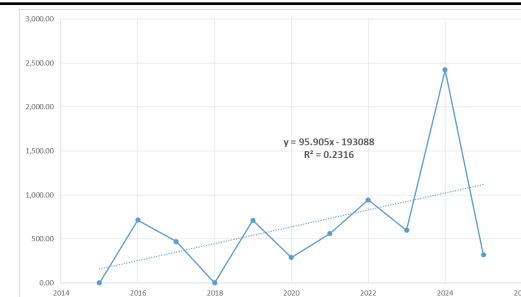
ZONA	Nagua	TIEMPO (años)	Producción (Kg)
BUENAS PRACTICAS AGRICOLAS	Si	2015	78.00
CODIGO	9-10-061	2016	1,289.50
Coordenada X	19.33166203	2017	666.00
Coordenada Y	-69.89775528	2018	979.50
ASOCIACION	Directos	2019	494.50
UBICACIÓN	Los Indios del Factor	2020	838.50
		2021	952.50
		2022	1,764.50
		2023	701.00
		2024	1,719.50
		2025	1,174.00
		Total	10,657.50



ZONA	Nagua	TIEMPO (años)	Producción (Kg)
BUENAS PRACTICAS AGRICOLAS	Si	2015	593.50
CODIGO	9-04-012	2016	1,275.50
Coordenada X	19.27623803	2017	1,804.00
Coordenada Y	-69.9535348	2018	1,476.50
ASOCIACION	19 de Septiembre	2019	3,250.00
UBICACIÓN	Higüeros del Papayo	2020	1,352.00
		2021	2,529.50
		2022	2,964.08
		2023	1,991.50
		2024	3,278.00
		2025	2,571.50
		Total	23,086.08



ZONA	Nagua	TIEMPO (años)	Producción (Kg)
BUENAS PRACTICAS AGRICOLAS	No	2015	0.00
CODIGO	9-08-004	2016	715.00
Coordenada X	19.3254461	2017	471.50
Coordenada Y	-69.8861955	2018	0.00
ASOCIACION	Alcedo Taveras	2019	712.50
UBICACIÓN	Higueritas del Factor	2020	289.00
		2021	559.50
		2022	945.00
		2023	599.50
		2024	2,424.00
		2025	318.50
		Total	7,034.50



Anexo 20. Resultados de la Evaluación cualitativa de los instrumentos aplicado en la investigación por los expertos.



Fecha: 18 de Octubre de 2025

Señor:

Iván Castro Lizazo.

Docente e Investigador

Universidad Agraria de la Habana (UNAH).

República de Cuba.

Asunto: Validación de los instrumentos de la investigación

Distinguido Dr. Iván Castro Lizazo.

Reciba un cordial saludo de paz y bien en Cristo Jesús.

El motivo de la presente es solicitar formalmente su colaboración en la validación de los instrumentos que posteriormente serán aplicados en la investigación doctoral que estoy desarrollando en la Universidad de Innovación de México (UIIX), titulada: *Plataforma de Agricultura 4.0 para la gestión inteligente de la Empresa CONACADO como un Biosistema Agroalimentario de CACAO en la República Dominicana en el periodo 2023-2025.*

El objetivo general de esta investigación es diseñar una plataforma de Agricultura 4.0 para la gestión inteligente de la Empresa CONACADO como un biosistema agroalimentario de cacao en la República Dominicana, que contribuya a mejorar la productividad, sostenibilidad socioambiental, eficiencia administrativa y competitividad internacional en el periodo 2023-2025.

Para tal fin, se aplicarán diversos instrumentos a los siguientes actores del Biosistema: Directivos de CONACADO, Técnicos y Coordinadores de Campo y Productores de Cacao Afiliados a CONACADO. Adjunto a la carta encontrarán los instrumentos para validación en total son tres.

Sin otro particular, y agradeciendo de antemano su valiosa colaboración, quedo atenta a su respuesta.

Atentamente,

Luis Manuel Castillo Cobas

Doctorando e Investigador principal.

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

Validado por: Dr. C. Iván Castro Lizazo
Experiencia docente: Lleva más de 20 años en el Educación Superior en la República de Cuba al frente de áreas del conocimiento en Agroecología y en sentido general vinculado a las Ciencias Agrícolas. Es el presidente de la Cátedra <i>UNESCO</i> Agroecología y Desarrollo Sostenible y coordinador del Doctorado en Agroecología.
Nivel Académico: Doctorado
Fecha: 18-10-2025
Observaciones en general: Los instrumentos que se describen a continuación presenta buena redacción y está en correspondencia con los requerimientos para la investigación a desarrollar, muestra diferentes indicadores capaces de plantear resultados para el tema objeto de estudio, teniendo en cuenta los aspectos cognoscitivos de la indagación de la información a procesar.
FIRMA DE VALIDADOR DEL INSTRUMENTO Dr. C. Iván Castro Lizazo 

Fecha: 11 de Noviembre de 2025

Señor:

Franklin Gómez Burdier.

Director de Proyectos

Grupo Conacado.

República Dominicana.

Asunto: Validación de los instrumentos de la investigación

Distinguido MSc. Franklin Gómez Burdier.

Reciba un cordial saludo de paz y bien en Cristo Jesús.

El motivo de la presente es solicitar formalmente su colaboración en la validación de los instrumentos que posteriormente serán aplicados en la investigación doctoral que estoy desarrollando en la Universidad de Innovación de México (UIIX), titulada: *Plataforma de Agricultura 4.0 para la gestión inteligente de la Empresa CONACADO como un Biosistema Agroalimentario de CACAO en la República Dominicana en el periodo 2023-2025.*

El objetivo general de esta investigación es diseñar una plataforma de Agricultura 4.0 para la gestión inteligente de la Empresa CONACADO como un biosistema agroalimentario de cacao en la República Dominicana, que contribuya a mejorar la productividad, sostenibilidad socioambiental, eficiencia administrativa y competitividad internacional en el periodo 2023-2025.

Para tal fin, se aplicarán diversos instrumentos a los siguientes actores del Biosistema: Directivos de CONACADO, Técnicos y Coordinadores de Campo y Productores de Cacao Afiliados a CONACADO. Adjunto a la carta encontrarán los instrumentos para validación en total son tres.

Sin otro particular, y agradeciendo de antemano su valiosa colaboración, quedo atenta a su respuesta.

Atentamente,



Luis Manuel Castillo Cobas

Doctorando e Investigador principal.

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

Validado por: MSc. Franklin Gómez Burdier
Experiencia docente: más de 18 años en universidades dominicanas enseñado disciplina relacionadas con los Agronegocios y la organización de la gestión de empresas agroindustriales, experto en desarrollo rural y en asesoramiento de comunidades agrícolas en la república dominicana, gestor galardonado a nivel latinoamericano en temas de desarrollo rural. Investigador en transformación digital de empresa Agroindustriales.
Nivel Académico: Magíster en Ciencias de la administración moderna.
Fecha: 12/11/2025
Observaciones en general: Los instrumentos que se describen más abajo presentan una idea lógica y bien redactada y se correlacionan perfectamente con los requerimientos para la investigación a desarrollar, muestra diferentes dimensiones capaces de plantear resultados para el tema objeto de estudio, teniendo en cuenta los aspectos gnoseológicos de la búsqueda y del procesamiento de la información pertinente.
FIRMA DE VALIDADOR DEL INSTRUMENTO
MSc. Franklin Gómez Burdier

Fecha: 18 de Octubre de 2025

Señora:

Nayla Robaina Rodríguez

Docente Investigadora

Universidad de Antioquia en Colombia.

Asunto: Validación de los instrumentos de la investigación

Distinguida Dra. Nayla Robaina Rodríguez.

Reciba un cordial saludo de paz y bien en Cristo Jesús.

El motivo de la presente es solicitar formalmente su colaboración en la validación de los instrumentos que posteriormente serán aplicados en la investigación doctoral que estoy desarrollando en la Universidad de Innovación de México (UIIX), titulada: *Plataforma de Agricultura 4.0 para la gestión inteligente de la Empresa CONACADO como un Biosistema Agroalimentario de CACAO en la República Dominicana en el periodo 2023-2025.*

El objetivo general de esta investigación es diseñar una plataforma de Agricultura 4.0 para la gestión inteligente de la Empresa CONACADO como un biosistema agroalimentario de cacao en la República Dominicana, que contribuya a mejorar la productividad, sostenibilidad socioambiental, eficiencia administrativa y competitividad internacional en el periodo 2023-2025.

Para tal fin, se aplicarán diversos instrumentos a los siguientes actores del Biosistema: Directivos de CONACADO, Técnicos y Coordinadores de Campo y Productores de Cacao Afiliados a CONACADO. Adjuntos a la carta encontrarán los instrumentos para validación; en total son tres.

Sin otro particular, y agradeciendo de antemano su valiosa colaboración, quedo atenta a su respuesta.

Atentamente,



Luis Manuel Castillo Cobas

Doctorando e Investigador principal.

Validado por: Nayla Robaina Rodríguez
Experiencia docente: Posee experiencia como docente catedrática desde hace 14 años en la Educación Superior de Colombia, en institutos tecnológicos, organizaciones ambientales y universidades públicas, como la Universidad de Antioquia. Está vinculada como docente e investigadora en áreas de Ciencias Agrarias, Ciencias Biológicas y Ciencias Ambientales y Sanitarias, con énfasis en la Agroecología y el Desarrollo Rural Sostenible. Ha sido coordinadora y asesora de proyectos nacionales e internacionales.
Nivel Académico: Doctorado
Fecha: 18-10-2025
Observaciones en general: Los instrumentos descritos poseen un orden correcto y congruente entre la línea de trabajo, los objetivos y el tipo de metodología a utilizar, dado los requerimientos de la investigación a desarrollar. Posee una excelente redacción y las herramientas de evaluación son claras y precisas, con el nivel de actualización que demanda este tipo de investigación.
FIRMA DE VALIDADOR DEL INSTRUMENTO Dra. Nayla Robaina Rodríguez 