

Diseño de un modelo Integral 4.0 para agro empresas de arándanos: plan de negocio, analítica de datos y gestión de la innovación

María Alexandra Montoya Angée

William Libardo Toro Cepeda

Mayra Johanna Espejo Vásquez

Director:

Camilo Torres Sanabria

Maestría en Administración - MBA - Virtual

Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas

Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano

Proyecto de intervención en la organización III

Juan Santiago Correa Restrepo

07 de junio 2025



Tabla de contenido

TÍTULO DE LA TESIS DE INVESTIGACIÓN	4
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
2. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	10
3. HIPÓTESIS.....	10
4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	11
4.1. OBJETIVO GENERAL.....	11
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
5. ESTADO DEL ARTE.....	12
6. MARCO TEÓRICO	20
6.1. LA INNOVACIÓN AGROPECUARIA.....	23
6.2. LA GESTIÓN DE LA INNOVACIÓN	26
6.3. REDES TERRITORIALES DE INNOVACIÓN	29
6.4. LA ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL.....	30
7. ANÁLISIS DEL CULTIVO DE ARÁNDANO BAJO INVERNADERO EN COLOMBIA.....	33
7.1. CONDICIONES DE CULTIVO Y BENEFICIOS DE LOS INVERNADEROS:	34
7.2. VENTAJAS DEL CULTIVO BAJO INVERNADERO	34
7.3. DESAFÍOS DEL CULTIVO BAJO INVERNADERO EN COLOMBIA.....	35
7.4. SITUACIÓN DEL MERCADO	35
7.5. CASOS DE ÉXITO Y PROYECTOS EN COLOMBIA	36
7.6. SOSTENIBILIDAD UN ENFOQUE HACIA LA EMPRESA	37
7.7. ESTRATEGIA DE SOSTENIBILIDAD.....	38
7.8. MISIÓN	42
7.9. VISIÓN	42

7.10.	VALORES	42
7.11.	ORGANIGRAMA	44
7.12.	UBICACIÓN GEOGRÁFICA.....	44
7.13.	SISTEMA DE RIEGO IMPLEMENTADO:	45
7.14.	MONTAJE INVERNADERO	48
7.15.	CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL GENÉTICO:	50
7.16.	SIEMBRA DEL CULTIVO DE ARÁNDANO	54
7.17.	PLAN DE NEGOCIOS.....	56
8.	METODOLOGÍA.....	60
8.1.	FASE 1. RECOLECCIÓN Y SISTEMATIZACIÓN DE DATOS PRODUCTIVOS.....	60
8.2.	PROTOCOLO DE RECOLECCIÓN DE DATOS:.....	62
8.3.	FASE 2. LIMPIEZA, DEPURACIÓN Y ESTANDARIZACIÓN DE DATOS	62
8.4.	FASE 3. APLICACIÓN DEL CICLO METODOLÓGICO CRISP-DM.....	63
8.5.	FASE 4. RETROALIMENTACIÓN, MEJORA CONTINUA Y SOSTENIBILIDAD	66
9.	GESTIÓN DE LA INNOVACIÓN	66
9.1.	PLAN DE FORTALECIMIENTO PARA LA GESTIÓN LA INFORMACIÓN.....	69
9.2.	PLAN DE FORTALECIMIENTO.....	72
10.	CONCLUSIONES	75
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78
	ANEXOS	88

Título de la tesis de investigación

"Diseño de un modelo integral 4.0 para agro empresas de arándanos: plan de negocio, analítica de datos y gestión de la innovación"

1. Planteamiento del Problema

El cultivo de arándanos en Colombia, experimentó un incremento en las áreas sembradas, el rendimiento por hectárea sembrada y el volumen de producto exportado durante los últimos diez años, derivado por un incremento en la demanda internacional y las condiciones agroecológicas favorables del país. Según el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), entre enero y agosto de 2024, las exportaciones de arándanos colombianos aumentaron en un 105% respecto al mismo período del año anterior; este auge ha llevado a la adopción de sistemas de producción protegida, como invernaderos y casas malla, que permiten un mayor control sobre las condiciones de cultivo y una producción más constante a lo largo del año.

Sin embargo, a pesar de las expectativas favorable, el sector enfrenta desafíos estructurales y operativos que limitan su sostenibilidad y competitividad en el mercado global. Entre ellos, la falta de modelos de negocio y estructuras organizacionales adaptadas a la Agricultura 4.0, la mayoría de las agro empresas de arándanos en Colombia carecen de modelos de negocio y estructuras organizacionales que integren las tecnologías y prácticas de la Agricultura 4.0. Esto se traduce en una gobernanza deficiente, esquemas de financiación inadecuados y protocolos de gestión de riesgos que no responden a las exigencias de un entorno agrícola digitalizado e interconectado.

A sí mismo, existe en el país una subutilización de datos generados por tecnologías emergentes, por ejemplo, la incorporación de sensores ambientales, sistemas de riego automatizados y plataformas de monitoreo han generado grandes volúmenes de datos que carecen de metodologías consolidadas para su procesamiento y análisis, siendo esto, sin duda una limitante para los productores, que les impide optimizar los recursos y mejorar la productividad.

Por otra parte, la incorporación, adopción y adaptación de herramientas, modelos y tecnologías digitales en el sector agrícola del país esta apenas surgiendo, según datos del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, solo el 10% de las fincas utilizan tecnologías avanzadas para monitorear cultivos y optimizar procesos. Está limitada apropiación tecnológica se debe a factores como la falta de formación y escasa conectividad en zonas rurales (Minagricultura, 2017).

Estas deficiencias estructurales y operativas aumentan las brechas entre productores, debido al manejo en muchos casos de manera empírica de las variables ambientales, del riego, limitando el diseño de planes de negocio que generen inversiones estratégicas en capital humano y tecnología. En consecuencia, las empresas productoras y comercializadoras de arándanos del país, no logran integrar de forma coherente las necesidades organizacionales, las exigencias de inteligencia de datos y los procesos de gestión de la innovación, reflejándose estos aspectos, en las limitaciones que hoy tiene este sector para aumentar la producción, reducir costos y lograr un posicionamiento en las cadenas de valor agroalimentarias internacionales.

Hoy en Colombia existen algunos modelos de negocio que incorporan estudios aplicados de tecnologías 4.0 en agricultura protegida, sin embargo, persiste un vacío en la literatura que articule los siguientes aspectos:

- Estructuración organizacional, modelos financiero y guía para el establecimiento del cultivo de arándano: Sistemas de gobernanza, esquemas de financiación y protocolos de gestión de riesgos diseñados específicamente para explotaciones de arándanos bajo invernadero.
- Metodologías de analítica avanzada de datos: Flujos de trabajo para la recolección, procesamiento, análisis y visualización de datos provenientes de sensores de riego y variables agronómicas en tiempo real.
- Estrategias de apropiación tecnológica: interacción participativa entre desarrolladores de tecnología, productores e inversionistas, que faciliten la adopción, adaptación y escalamiento de innovaciones digitales de manera sostenible.

La ausencia de un enfoque integrado impide consolidar un conocimiento aplicable que potencie sinergias entre la gestión empresarial, la analítica de datos y la transferencia tecnológica. Por tanto, es imperativo diseñar un modelo integral adaptado a la realidad de la agricultura protegida de arándanos en Colombia, que articule estos tres pilares fundamentales para mejorar la competitividad y sostenibilidad del sector.

Diversas particularidades económicas, ambientales y sociales plantean desafíos para el sector agropecuario en Colombia. De acuerdo con el Departamento Nacional de Estadística – DANE, en el Censo Nacional Agropecuario realizado en 2014, los agricultores del país identificaron dificultades relacionadas con la administración de los sistemas productivos, entre las cuales se destacan la falta de apoyo financiero, los altos costos de insumos y servicios de extensión, la falta de capacitación y asistencia técnica, las dificultades en la comercialización, falta de organización productiva, el desconocimiento de la administración empresarial, entre otros (DANE 2014).

Entre las dificultades relacionadas con el desconocimiento en la administración empresarial, es destacable la escasa gestión de la innovación en los sistemas productivos, lo cual deriva en diversas problemáticas al momento de identificar, analizar, incorporar, adoptar, adaptar y validar los cambios tecnológicos incrementales o radicales en una producción. Esta problemática se relaciona con la falta de educación y generación de capacidades en la gestión del conocimiento y la validación de tecnologías, las cuales se denominan, de acuerdo con el Manual de Oslo de 2018, como innovaciones en la gestión y administración (OECD/Eurostat, 2018). Así, la incorporación y apropiación de innovaciones requiere que los agricultores y administradores de las empresas agropecuarias comprendan como aplicar nuevas tecnologías adecuadamente, a lo largo del proceso productivo, particularmente en sistemas agrícolas intensivos como el planteado para la producción de arándanos. Estas limitaciones en la gestión del conocimiento derivan en el aumento de las brechas de conocimiento, un deterioro en la competitividad de las agro empresas y la subutilización de recursos y tecnologías.

De igual manera, es importante considerar que, pese a los avances que se han desarrollado en Colombia con respecto a las políticas y marcos regulatorios para la innovación en la agricultura, se identifican limitaciones en relación a la integración teórica (derivada de las universidades, centros y grupos de investigación), el contexto territorial (dadas las características propias de cada región), la dimensión ambiental (la cual presenta vacíos con respecto a la medición de los impactos de la actividad agrícola, la inclusión de los agricultores rezagados frente al acceso a la tecnología. En este sentido, las innovaciones tecnológicas en producto y proceso existen, están disponibles en el mercado e incluso, han sido validadas en el medio colombiano, sin embargo, existe una débil apropiación de las tecnologías de la agricultura 4.0 por parte de los agricultores.

De acuerdo con Ortíz-Guerrero, *et al* (2019), en el sistema de innovación agropecuaria en Colombia, existe una limitada conexión en los territorios entre oferta y demanda con respecto al conocimiento y la tecnología, así como una limitada cobertura con relación a temas como seguridad alimentaria, la agricultura campesina, la sostenibilidad en el sentido amplio (en los aspectos económicos, sociales, técnicos y ambientales). De esta manera, surge la necesidad que las producciones de agricultura protegida 4.0 desarrollen herramientas para el manejo de la innovación en los sistemas productivos agro, estimulando el conocimiento, la adopción, adaptación y escalamiento de las tecnologías y conocimientos, así como los mecanismos de gobernanza y participación entre los actores, pretendiendo superar las brechas tecnológicas que limitan de manera estructural el desarrollo del sector agropecuario. Florez-Martinez & Uribe-Galvis (2020), plantean que las actividades de investigación y desarrollo deben contemplar modelos de gobernanza interinstitucional e intersectorial que fortalezcan y soporten tanto la extensión rural como la transferencia de tecnología, de una manera adecuada y pensada según a las características de las familias rurales.

Siguiendo con lo expuesto por Florez-Martinez & Uribe-Galvis (2020), estos concluyen que la agroindustria 4.0 en Colombia enfrenta retos y desafíos en relación a su adopción y apropiación, por lo que es necesario, entre otras actividades, dinamizar las redes de trabajo y la gobernanza en relación al trabajo colaborativo entre investigadores, académicos, empresarios, trabajadores, asistente técnicos y extensionistas, la transformación de las empresas agropecuarias a través de herramientas TIC, la consolidación de empresas innovadoras y los procesos de comunicación con enfoque holístico.

Estas actividades, por las necesidades propias del sector frutícola y específicamente para la producción de arándanos en agricultura protegida en el país, demandan que sean impulsadas por

el sector privado, basados en la experiencia adquirida y el conocimiento propio del negocio, incluso adelantando acciones que estimulen la apropiación de la tecnología por parte de productores e inversionistas, tales como la extensión, capacitación y transferencia de conocimientos, así como la asociatividad para la compra de insumos o acceso a mercados especializados. Así, Ojeda-Beltrán (2022) plantea que, con el fin de fortalecer la competitividad y la sostenibilidad del sector agrícola colombiano, es necesario fortalecer un sistema de gobernanza que sea conformado por leyes, normativas y entidades, acompañado por políticas públicas enfocadas a la infraestructura y capacitación, así como la activa participación de los productores privados, industriales y consumidores.

El desconocimiento en la gestión de la innovación en las agro empresas, impactan de manera negativa en aquellas producciones que se ven enfrentadas a los retos derivados del cambio climático, la variación de precios y el cambio en las exigencias y normativas para la producción de alimentos, lo que afecta en la capacidad de los productores para adaptarse y ser competitivos en el contexto de la globalización de la agricultura.

Se hace necesario un acercamiento a la comprensión del comportamiento administrativo y gerencial que presenta la empresa de producción de arándanos Los Arrayanes ante desafío de implementar las innovaciones, las formas en las que acceden al conocimiento y la innovación; así como las redes de innovación en la que se sustenta el acceso a este conocimiento. Lo anterior, en el marco de las particularidades del sector de agricultura protegida del país y del territorio en el que se encuentra.

Es así, que durante el desarrollo del proyecto se identificaron problemáticas con respecto a la evaluación, validación y apropiación de las tecnologías transferidas (gestión de la innovación)

en lo referente al sistema productivo, el mercado de destino y la organización para la gestión del conocimiento (tanto para la apropiación como extensión de este).

Así, este trabajo plantea la necesidad de desarrollar un plan de fortalecimiento para la gestión de la innovación y apropiación tecnológica que sirva como sustento para la participación de la compañía en las redes territoriales de innovación, así como un elemento clave para inversionistas y agricultores que se asocien para el desarrollo de proyectos similares de producción de arándanos en sistemas de agricultura protegida.

2. Pregunta de investigación

¿Cómo puede diseñarse un modelo integral basado en Agricultura 4.0 para agro empresas productoras y comercializadoras de arándanos en Colombia que articule un plan de negocio con estructura organizacional especializada, una metodología de analítica avanzada de datos provenientes de invernaderos y una estrategia de apropiación tecnológica participativa con el propósito de optimizar la eficiencia operativa, fortalecer la gobernanza y facilitar la adopción y escalamiento de innovaciones digitales en el sector?

3. Hipótesis

La presente investigación parte de la siguiente hipótesis general: "La implementación de un modelo integral 4.0 que articule un plan de negocio especializado, analítica avanzada de datos agronómicos y una estrategia de apropiación tecnológica participativa, mejora significativamente

la eficiencia operativa, sostenibilidad y competitividad de las agro empresas de arándanos bajo invernadero en Colombia".

Esta hipótesis se sustenta en la necesidad de superar los retos estructurales que enfrentan las agro empresas en Colombia, particularmente aquellas dedicadas al cultivo de arándanos. La escasa integración tecnológica, los modelos de negocio tradicionales, la debilidad en la gobernanza y la subutilización de datos agronómicos representan cuellos de botella para el crecimiento del sector. Bajo esta premisa, el modelo integral propuesto pretende articular tres dimensiones fundamentales: la organizacional, la digital y la formativa, todas ellas convergentes hacia una transformación estructural del agro colombiano.

Se espera, por tanto, que la aplicación de dicho modelo se traduzca en mayor rentabilidad, sostenibilidad ambiental y fortalecimiento de las capacidades productivas de los agricultores. Además, la hipótesis implica que el enfoque participativo en la apropiación tecnológica incidirá directamente en la aceptación y adaptación de las herramientas digitales, reduciendo la brecha rural-digital y promoviendo la inclusión de mujeres y jóvenes en los procesos productivos.

4. Objetivos de la investigación

4.1. Objetivo general

Diseñar un modelo integral 4.0, para empresas productoras y comercializadoras de arándanos en Colombia que articule un plan de negocio y estructura organizacional, una metodología de analítica de datos y una estrategia de gestión de la innovación, orientado a mejorar la eficiencia, la productividad y la sostenibilidad del cultivo bajo invernadero.

4.2. Objetivos específicos

- 4.2.1. Diseñar una guía estructurada para empresas productoras y comercializadoras de arándano bajo sistema de invernadero, que integre un modelo financiero y de producción, orientado a garantizar la sostenibilidad económica y operativa del negocio.
- 4.2.2. Desarrollar una metodología de analítica de datos que incluya fases de recolección, limpieza, procesamiento, modelado y visualización de información provenientes de sensores de riego y variables agronómicas en tiempo real.
- 4.2.3. Proponer un plan para la gestión de la innovación en la agro empresa con enfoque participativo que integre acciones de capacitación, acompañamiento y gestión del conocimiento dirigidas a productores e inversionistas.

5. Estado del Arte

Durante las dos últimas décadas, el sector agropecuario ha sido testigo de una transición significativa hacia modelos de producción más tecnificados y sostenibles, impulsada por el avance de tecnologías digitales emergentes. Esta transformación ha sido conceptualizada bajo el término de Agricultura 4.0, que representa la convergencia de tecnologías como el Internet de las Cosas (IoT), la inteligencia artificial (IA), el análisis de grandes volúmenes de datos (*big data*), los

sistemas ciberfísicos y las plataformas digitales, enfocadas en optimizar la gestión agrícola a distintos niveles del sistema productivo.

En Colombia, instituciones como AGROSAVIA han liderado el diseño e implementación de plataformas digitales que integran variables climáticas, geográficas y productivas para mejorar la toma de decisiones agronómicas. Estas soluciones tecnológicas se apoyan en sensores remotos, sistemas de información geográfica (SIG), registros agroclimáticos y herramientas de visualización de datos para ofrecer recomendaciones en tiempo real sobre prácticas de riego, fertilización, cosecha y control de plagas, aumentando la trazabilidad, eficiencia y sostenibilidad del sistema agrícola (Ojeda-Beltrán, 2022).

Por su parte, Cuasquer et al. (2023) resaltan cómo la incorporación de plataformas de *data mining* y monitoreo en tiempo real en entornos agrícolas ha revolucionado la capacidad de los productores para anticipar eventos críticos, optimizando la eficiencia en el uso de insumos e incrementando la productividad. Estas plataformas permiten la integración de datos provenientes de sensores, drones, estaciones meteorológicas y registros históricos, que son procesados mediante algoritmos de aprendizaje automático y visualización de patrones.

En el campo de la protección fitosanitaria, Crispin et al. (2023) han demostrado la eficacia del uso de algoritmos de vigilancia robótica para la detección de enfermedades como el *oidium* en el cultivo de arándano. El desarrollo de redes neuronales convolucionales (CNN) permitió automatizar el proceso de monitoreo de enfermedades foliares, logrando tasas de precisión superiores al 90%, lo que representa una herramienta eficaz para reducir pérdidas y minimizar el uso de fungicidas.

A nivel regional, Lachman, Pereyra y Tacsir (2022) documentan el surgimiento de un ecosistema AgTech en países como Uruguay, donde las políticas públicas, el financiamiento a la

innovación y la formación técnica han permitido que startups agro-digitales acerquen tecnologías de bajo costo a pequeños y medianos productores. Estas experiencias reflejan la necesidad de construir entornos de innovación colaborativa, especialmente en América Latina, donde las brechas tecnológicas entre regiones urbanas y rurales siguen siendo significativas.

Otros estudios como el de Pérez et al. (2020) muestran cómo las plataformas IoT basadas en técnicas de Industria 4.0 pueden ser adaptadas al contexto rural, permitiendo el diseño de “celdas inteligentes” que controlan automáticamente variables críticas del cultivo, como temperatura, humedad y luminosidad. Este enfoque favorece el fortalecimiento y la confiabilidad de los cultivos frente al cambio climático, especialmente en cultivos vulnerables como los frutales de exportación.

En términos de accesibilidad, Chora et al. (2018) presentan cómo dispositivos como Raspberry Pi y Arduino han democratizado la recolección y transmisión de datos en zonas rurales. Gracias a su bajo costo, facilidad de programación y compatibilidad con sensores, estos sistemas han permitido la instalación de estaciones meteorológicas, redes de riego inteligentes y sistemas de alerta temprana en comunidades campesinas, fomentando la apropiación tecnológica y el empoderamiento local.

Desde el plano empresarial, Rosales y Arechavala (2023) destacan que las capacidades tecnológicas —infraestructura, conocimiento y cultura digital— han sido determinantes para que empresas mexicanas exportadoras de *berries* (frutos rojos) escalen su competitividad en mercados internacionales. Dichas capacidades abarcan desde el uso de sensores en campo hasta software de gestión logística y plataformas para trazabilidad certificada.

En síntesis, el estado del arte refleja una transformación profunda del sistema agroalimentario global y regional, donde la digitalización, la inteligencia de datos y la conectividad

no solo optimizan procesos productivos, sino que abren nuevas posibilidades para el desarrollo rural con enfoque territorial y sostenible, el descenso de brechas tecnológicas y la resiliencia frente a contextos adversos como el cambio climático.

El abordaje de las diferentes formas de organización empresarial, el entendimiento de las fuentes y medios de divulgación y apropiación de las innovaciones, así como la caracterización sectorial y territorial en las que se encuentran los sistemas productivos, han incorporado elementos de análisis sistémico enfocados en la comprensión de gestión de la innovación, la cual es desarrollada de manera formal e informal por parte de los mismos productores, investigadores y otros actores de los encadenamientos productivos y los territorios.

Los estudios relacionados con la innovación en agricultura han sido desarrollados desde una perspectiva de análisis de las formas de adopción, transferencia y adaptación por parte de productores primarios; también, los estudios se han enfocado en la discusión de los paradigmas de difusión del conocimiento hacia los productores agropecuarios.

Aguilar *et al.* en 2013, plantea que los modelos de transferencia de tecnología para productores agropecuarios han tenido una fuerte influencia de acuerdo con el paradigma o modelo económico en el que se encuentran enmarcados. En este sentido, se han desarrollado modelos con enfoques al fortalecimiento de producciones con miras a la sustitución de importaciones adoptando paquetes tecnológicos, modelos con enfoque al comercio internacional con énfasis en investigaciones, así como modelos con énfasis en el fortalecimiento de las organizaciones enfatizando en la participación de actores identificando procesos, relaciones e intereses (Quintero-Ramirez *et al.*, 2019).

Siendo los dos primeros modelos con una perspectiva lineal, donde el experto (investigador, académico, centro de investigación) está por encima de los productores,

transmitiendo la comunicación en un solo sentido (investigador hacia productor). Los modelos con enfoque organizacional mantienen muchos elementos de comunicación lineal, pero se han presentado avances con relación a la incorporación de la comunicación en doble sentido, la participación y la promoción de las organizaciones privadas y gremiales en actividades de generación, evaluación, adopción, validación y generación de conocimientos – innovaciones, como el modelo de redes territoriales (Aguilar-Ávila *et al.*, 2010). En este contexto, Ortíz-Guerrero (2019), destacan la interacción de la relación triádica del gobierno, academia e industria, como un modelo de gobernanza que tenga la capacidad de integrar las dinámicas territoriales y sectoriales hacia una perspectiva sistémica de la innovación.

El modelo lineal clásico, en el cual hay un emisor (investigador) que genera conocimiento y el cual es irradiado unidireccionalmente al sector agropecuario ha sido cuestionado en su eficacia y legitimidad. Aunque este modelo ha sido el más desarrollado a lo largo de los años, se han incorporado modificaciones hacia un modelo de organización más horizontal (distinto al burocrático y vertical), basado en acciones que buscan fortalecer, facilitar y gestionar la articulación de los actores participantes de una cadena productiva, así como en el empoderamiento de los procesos de aprendizajes, difusión y manejo de la información (Doloreux, *et al.*, 2004).

Diversas investigaciones plantean que los mercados influyen en las formas en que interactúan los productores con el sistema de información, entre conocimiento y transferencia, así como en los cambios en productos y procesos empresariales agro. Sin embargo, estos desafíos presentan oportunidades de mejora y optimización en técnicas, herramientas, métodos y paradigmas organizacionales y de transformación tecnológica (Avermaete *et al.*, 2004); Rugeles *et al.*, 2013).

También, se ha de considerar que la gestión de la innovación en agricultura está influenciada no solamente por factores relacionales y de mercado, sino también, por el contexto territorial, entendido no solamente como disponibilidad de recursos naturales e infraestructura sino como territorialidad (Monnet & Cruz, 2016), es decir, como el conjunto de valores y formas culturales, jurídicas, económicas, y políticas conformado a lo largo de la historia.

De esta manera, los modelos de transferencia, el mercado en el que se encuentran las producciones, así como el entorno territorial, contribuyen a una mayor y mejor comprensión de la gestión de la innovación de los sistemas agropecuarios en Colombia, lo que difiere de manera importante de otros sectores de la economía, así como lo determinante que puede llegar a ser la comprensión de las redes territoriales de innovación en la forma en que influyen sobre los procesos de gestión y administración de la innovación por parte de los productores primarios.

Para el caso del sector agropecuario colombiano, se debe partir del análisis de las diferencias estructurales entre el modelo lineal clásico y el modelo de innovación basado en aprendizaje, que coexisten actualmente en los sectores productivos vinculados a la agricultura, entendiendo que el cambio tecnológico ejerce un papel influyente en el comportamiento económico, en la adecuación de los cultivos a las exigencias técnicas, normativas y de mercado, así como en las transformaciones derivadas de las políticas del sector (Rugeles *et al.*, 2013)

El primer modelo, entiende que la tecnología resulta desde los centros de investigación, la cual se dispone hacia los productores de manera unidireccional; siendo el paradigma implementado en el país desde mediados del siglo pasado, bajo las lógicas de la Revolución Verde (por ejemplo, el Programa DRI en Colombia). En este caso, el centro de los esfuerzos está en los laboratorios e instituciones de investigación, los cuales capacitan a técnicos de transferencia tecnológica y capacitan a docentes en las academias (Ortiz-Guerrero, 2019); lo anterior deriva en

el cuestionamiento en cuanto a que tanto se aplica, en condiciones reales de campo, el conocimiento generado en el centro de investigación; así como también son planteadas las formas en que las externalidades negativas con el tiempo superan las externalidades positivas (Aguilar-Ávila *et al.*, 2005).

A diferencia del modelo lineal, el modelo de innovación se centra en el aprendizaje como eje del conocimiento y la innovación (Jensen *et al.*, 2007; Lundvall, 2011). Este proceso se nutre de la experiencia de los productores primarios, adquiriendo importancia las etapas en las que el conocimiento generado se convierte en innovación, la cual es reconocida por los productores y se incorpora, transfiere o se hace extensión hacia otros sistemas productivos agropecuarios.

Ortíz-Guerrero *et al* (2019), plantea que la innovación en la agricultura colombiana ha evolucionado desde un modelo lineal centralizado (mediados del siglo pasado), dirigido desde el gobierno central y enfocado en la oferta tecnológica, pasando por procesos de descentralización y reorganización, donde se dan inicios de sistemas nacionales de innovación con la participación de actores regionales, hasta la implantación en 2017 del SNIA (Sistema Nacional de Innovación Agropecuaria), donde se incorpora un enfoque integral de participación de la investigación, la academia, la educación y la extensión de manera coordinada y planeada, integrando actores públicos y privados con miras de inclusión social y sostenibilidad ambiental. Sin embargo, para los mismos autores, pese a los cambios y esfuerzos, persisten retos con relación a la inclusión social, la articulación del SNIA y la gestión del conocimiento al interior de las agro empresas. Desde esta perspectiva, también surgen retos en relación con las presiones derivadas de la globalización de mercados y la importancia de la gobernanza.

En relación con los lineamientos, estructuras, formas de medición y clasificación para la innovación en general y la gestión de la innovación en las agro empresas, estos fueron propuestas

por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico -OCDE (OECD/Eurostat, 2018), las cuales ya se han tenido en cuenta para el desarrollo de algunos estudios en cadenas productivas agropecuarias en Colombia (Bermeo-Andrade *et al.*, 2022).

Así, para entender la gestión de la innovación, se considera adecuado partir desde una perspectiva de construcción de redes territoriales de innovación, por sus características estructurales, convirtiéndose en el modelo más adecuado a los requerimientos de la innovación para un contexto como el actual colombiano.

Hartwich *et al.*, (2007) establece que las exigencias políticas, de mercado y de promoción al desarrollo del sector agropecuario están enfocadas en el fortalecimiento de los sistemas productivos en variados aspectos, tales como el incentivar una cultura organizacional que propenda por el acceso a nuevos conocimientos y aprendizajes, considerar el aprovechamiento de los bienes de la naturaleza usados por el humano y a la generación de nuevos productos y procesos.

Los estudios con respecto a la gestión de la innovación en los sistemas primarios del sector agropecuario colombiano presentan un extenso potencial de investigación. Bermeo-Andrade *et al.* (2022) plantea que se deben considerar la gestión de las innovaciones y sus vínculos con las redes territoriales de innovación, como son el origen, los medios, actividades, actores, estrategias y métodos de transferencia, así como las capacidades y habilidades de los productores primarios, considerando, eso sí, las particularidades sectoriales y territoriales.

En el estudio *Agricultural innovation system: analysis from the subsystems of R&D, training, extension, and sustainability* de Gutierrez *et al* (2023) plantean que la necesidad de incorporar en el análisis de los sistemas de innovación en agricultura, aspectos como la gobernanza, el impacto de las políticas de I+D, las necesidades en capacitación de los agricultores

y el fomento de adopción de conocimientos en gestión, administración y apropiación de la tecnología; lo anterior, sustentado en un enfoque integral y colaborativo para mejorar los sistemas de innovación en aras de alcanzar una agricultura más sostenible y resiliente.

Con respecto a los componentes internos de los sistemas agropecuarios, los mismos autores plantean que el acceso a la información y recursos, la resistencia al cambio, la falta de interconexión y colaboración entre actores, las desigualdades de género y las reglas de juego acordadas en las empresas, son los principales desafíos relacionados con la estructura organizacional de las unidades agropecuarias. En cuanto al sistema de innovación, el estudio concluye la necesidad de mejora en la colaboración, la importancia de la capacitación y la validación e involucramiento de actores clave, como elementos clave para establecer un enfoque integral y colaborativo para mejorar los sistemas de innovación en agricultura (Gutierrez, *et al*, 2023).

6. Marco Teórico

La Agricultura 4.0 se configura como un sistema complejo que integra tecnologías digitales avanzadas para modernizar el sector agropecuario, transformando la forma en que se produce, gestiona y comercializa la producción agrícola. Esta evolución supera el enfoque tradicional de la agricultura de precisión al incorporar mecanismos autónomos, conectividad constante,

aprendizaje automatizado y gestión de la información de acuerdo a las condiciones que se presenten a cada momento.

Uno de los pilares de este paradigma es la agricultura de precisión, definida como la aplicación diferenciada y específica de insumos basada en información georreferenciada del cultivo y su entorno. Esta práctica permite reducir el desperdicio de recursos como agua, fertilizantes y pesticidas, y maximizar los rendimientos en función de las características del terreno. Tecnologías como sensores de humedad, drones, imágenes satelitales y sistemas de geoposicionamiento son esenciales en esta etapa, permitiendo una intervención agronómica más eficiente (Chora *et al.*, 2018).

El Internet de las Cosas (IoT) actúa como infraestructura digital fundamental en la Agricultura 4.0. Mediante dispositivos conectados a la red —como estaciones meteorológicas, válvulas automáticas, cámaras y sensores de suelo— se genera un flujo constante de datos que permite monitorear variables ambientales, automatizar decisiones y ejecutar acciones remotas sobre el cultivo (Pérez et al., 2020). Esta conectividad habilita un nuevo modelo de gestión, donde las decisiones no solo se toman en campo, sino también desde plataformas web y móviles accesibles para el agricultor.

La inteligencia artificial (IA), en especial mediante algoritmos de *machine learning* y redes neuronales profundas, permite transformar grandes volúmenes de datos en predicciones útiles. En el caso de los arándanos, IA ha sido aplicada para predecir brotes de enfermedades, estimar rendimientos, identificar malezas y optimizar rutas logísticas. Según Crispin et al. (2023), el uso de visión computacional ha transformado la detección temprana de enfermedades foliares, con impacto directo en la eficiencia sanitaria del cultivo.

Además, las plataformas digitales agrícolas se han consolidado como el entorno integrador de todos estos sistemas. Se trata de aplicaciones o *dashboards* que concentran y visualizan la información recolectada en campo, permitiendo generar reportes, alertas, recomendaciones y análisis estadísticos. Estas plataformas funcionan como centros de comando agronómico donde el productor puede monitorear su cultivo, tomar decisiones y almacenar registros históricos que le permiten evaluar el desempeño de su finca a lo largo del tiempo (Cuasquer et al., 2023).

Un componente clave en este marco es el desarrollo de capacidades tecnológicas organizacionales. Según la teoría de Bell y Pavitt (1995), estas capacidades se refieren a la habilidad de una organización para absorber, adaptar, internalizar y generar conocimiento tecnológico. Rosales y Arechavala (2023) destacan que las empresas agroexportadoras con mayores niveles de digitalización han logrado sostener ventajas competitivas mediante inversión en talento humano, innovación de procesos y vínculos con grupos y actores de la investigación agropecuaria colombiana.

En un horizonte más reciente, la Agricultura 4.0 propone un modelo centrado no solo en la tecnología, sino también en el bienestar humano, la inclusión social y la sostenibilidad ambiental. Romero y Cruz (2025) plantean que esta nueva etapa demanda nuevas habilidades como alfabetización digital, liderazgo colaborativo, pensamiento sistémico y ética de datos. Esta visión apunta a una transformación cultural en el agro, donde los agricultores no solo sean usuarios, sino también cocreadores de soluciones tecnológicas.

Por tanto, el marco teórico de este estudio reconoce que el desarrollo tecnológico agrícola es un proceso multidimensional que involucra infraestructura, datos, personas y relaciones institucionales. La Agricultura 4.0, más allá de ser un conjunto de herramientas, constituye un

modelo de gestión agroempresarial y territorial que transforma los modos de producir, aprender y habitar el campo.

La tendencia del sector agroalimentario es hacia la globalización, la concentración y la liberalización de las transacciones y mercados; es así como, pocas compañías transnacionales controlan los mercados de *commodities* tales como azúcar, el trigo, la soya, el café, el té y el maíz. A nivel mundial se observa el crecimiento de grandes corporaciones alimenticias sustentado en el incremento de las relaciones de poder e influencia en el mercado y la desnacionalización del capital generado por el sector agropecuario, impactando la agricultura familiar; lo anterior despierta preocupación, dado que estos sistemas familiares son la fuente de la gran mayoría de los alimentos que llegan a los hogares en Colombia (CEPAL, 2016).

En este sentido, la agricultura colombiana se ha visto rezagada en relación con los nuevos modelos de negocio y formas de comercializar, que satisfagan las exigencias de los mercados nacionales e internacionales. Es así como se deben tener en cuenta las particularidades de los diferentes subsectores agropecuarios, las dimensiones territoriales y las características de los productores; particularmente en momentos donde las dinámicas de comercialización de insumos y alimentos están experimentando grandes cambios.

6.1. La innovación agropecuaria

En Colombia la mayoría de la producción agropecuaria se encuentra sustentada en producciones campesinas, así como en sistemas pequeños y medianos, lo que conlleva a una oferta agropecuaria atomizada, informal, sin direccionamiento estratégico y vulnerable a los cambios de mercado. Lo anterior supone un reto para la inclusión o adopción de innovaciones, ya que no es sólo la disposición de los conocimientos y tecnologías en el medio, sino la forma en que

estos se introducen al interior de los sistemas, tal como lo afirma Díaz (2018) citado por Aragón, et al, 2019, los procesos productivos exitosos requieren de un modelo de gestión empresarial eficiente y apoyada en procesos técnico-científicos.

De acuerdo con la CEPAL en 2016, son múltiples los desafíos para la agricultura familiar (compuesta por pequeños productores y campesinos), así como a la agricultura comercial de pequeña escala, tales como el acceso a bienes y servicios de la naturaleza (tierra y agua principalmente), la fuerte y desigual competencia con inversores privados, la minería, la industria maderera, la industria petrolera, así como el acceso a mercados en condiciones de igualdad y cumplimiento de las reglas de juego de manera clara y objetiva. En ese sentido, los retos que se presentan a los productores agropecuarios en Colombia no son sólo de orden sectorial, sino contemplan dinámicas en las diferentes dimensiones territoriales.

Adicionalmente, las características intrínsecas de las producciones y el perfil de los responsables en la administración de las mismas determinan la gestión de la innovación en los sistemas productivos. Los desempeños de estos productores se han desarrollado a partir de la experiencia ganada en generaciones, permitiendo tener conocimientos sobre el manejo del talento humano, la producción, la comercialización y el presupuesto (Aragón, et al, 2019).

Desde el punto de vista sectorial, el desarrollo de los agronegocios se ha sustentado en los cambios y adecuaciones de las formas tradicionales (campesinas) en las que se obtienen productos agropecuarios y en los cambios organizacionales el proceso productivo, imitando en muchos aspectos al sector industrial en aspectos como la “taylorización” de los procesos, la tercerización de actividades, el arrendamiento y sub contratación de factores productivos, etc. (Cáceres, 2015 citado por Arboleda, Ramírez & Osorno, 2020).

A partir de estos fenómenos descritos, surge la necesidad de encontrar estrategias que impulsen el desarrollo del sector a partir de innovaciones en procesos de gestión y administración, dado que la agricultura colombiana se ha visto rezagada con relación a los nuevos modelos de negocio y formas de comercializar.

Estas innovaciones deben atender las tendencias actuales en torno a los desafíos ambientales, culturales y económicos, considerando modelos de desarrollo sostenible a nivel territorial y sectorial, así como a las necesidades y demandas de los clientes finales por productos sanos, de calidad y sostenibles. De igual manera, se deben contemplar las particularidades de los diferentes subsectores agropecuarios, las dimensiones territoriales y las características de los productores primarios.

En tal sentido, el abordaje de las diferentes formas de organización empresarial, el entendimiento de las fuentes y medios de divulgación y apropiación de las innovaciones, así como la caracterización sectorial y territorial en las que se encuentran los sistemas productivos, se incorporan como elementos de análisis sistémico, enfocado en la comprensión de las redes de innovación creadas de manera formal e informal por parte de los mismos productores y otros actores de los encadenamientos y territorios.

Ante lo anterior, Bianco en 2020, expone que el análisis de la innovación en los procesos de administración en los sistemas productivos, permite explorar la necesidad de incorporar las relaciones de poder al interior de las redes creadas y las asimetrías en las transacciones, derivando en una gran diversidad de formas y estrategias de intervención.

Así, para la evaluación de la gestión de la innovación en la agro empresa Los Arrayanes, se parte de las definiciones y características planteadas por la OECD para la medición de la

innovación. Así, se plantean una serie de innovaciones en producto y proceso, dentro de las cuales se encuentran aquellas relacionadas con los procesos de gestión y administración tales como:

- Capacidades para acceder, procesar y analizar conocimientos
- Intercambio o la transferencia de conocimiento de otras empresas
- Eficiencia o función de la cadena de valor de la empresa
- Comunicación dentro de la empresa
- Relaciones externas
- Resiliencia empresarial y adaptabilidad al cambio de los sistemas
- Implementar nuevos modelos de negocio (OECD & Eurostat, 2018, PP 145).

Estas particularidades permitieron un acercamiento a la forma en que los sistemas productivos son administrados, logrando el entendimiento de las estrategias que utilizan los productores para responder a los desafíos anteriormente planteados.

6.2. La Gestión de la innovación

De acuerdo con el Manual de Oslo, desarrollado por la OECD, dentro de los diferentes enfoques en los que se puede definir la innovación, esta se refiere a todo cambio o mejora sustancial de un proceso o producto, bien o servicio, un método de comercialización o de organización al interior de las empresas y que es dispuesto al mercado (OECD/Eurostat. 2018). Dentro de este concepto, es importante destacar el rol que tiene la innovación como una herramienta para mejorar la competitividad de las empresas agropecuarias, ya sea a través de la diferenciación de productos, las mejoras de la calidad, el aumento de la eficiencia en el uso de insumos, aumentando la sostenibilidad, entre otros (Bermeo – Andrade, 2022; OECD, 2015).

Desde esta perspectiva, el hecho de adelantar procesos de innovación en la agricultura, como el desarrollado por la agro empresa los Arrayanes para la producción de arándanos en un sistema productivo de cobertura, implica la implementación de prácticas, métodos y tecnologías disruptivas en el componente técnico, frente a la producción tradicional; lo que deriva, también, en cambios con relación a la producción, el mercadeo y la organización. A este respecto, Garcia *et al* (2023), considera que la innovación en la agricultura se refiere a la adopción de nuevos métodos productivos, tecnologías, procesos de distribución, comercialización o formas organizacionales, con miras a optimizar el rendimiento y desempeño productivo, el aumento de la eficiencia en el uso de insumos y aplicación de procesos y mejoramiento de la sostenibilidad (en el sentido amplio del concepto).

En cuanto a la gestión de la innovación, las mismas autoras, establecen que para que una empresa agropecuaria se diferencie en el mercado, enfrente a los competidores y alcance las ventajas competitivas, se deben adelantar acciones que planifiquen, organicen y controlen actividades e implementaciones que estén orientadas a la generación, desarrollo y aplicación de nuevas ideas (García, *et al*, 2023). Lo anterior deriva en que la gestión de la innovación debe promover la construcción de una cultura organizacional participativa, de continua capacitación y con miras al fortalecimiento constante de las habilidades, lo que implica promover entornos favorables internos y externos con miras a promover una cultura innovadora (IICA, 2014).

En línea con lo anterior, se entiende que la innovación debe ser comprendida desde un enfoque sistémico que integre al cultivo con el sector productivo y el territorio donde se encuentra, aspecto a incluir en el fortalecimiento de la gestión de la innovación de una agro empresa. Estos aspectos de gobernanza son desarrollados por Garrido *et al* (2016), quienes plantean que la unión entre diferentes actores sectoriales y territoriales permiten aprovechar las

ventajas competitivas locales y fortalecen las dinámicas productivas innovadoras.; esta relación externa facilita la integración de los conocimientos, el desarrollo sectorial, e incluso, el apoyo en el diseño de normas, políticas y disposiciones legales para la innovación.

A este respecto, García- Sánchez *et al* (2018), evidenció que para empresas de agricultura protegida en México, la débil articulación entre las políticas de Estado, las actividades de los agricultores y las instituciones de investigación derivaban en una baja adopción de innovaciones, afectando la competitividad y sostenibilidad de la agricultura protegida, aspectos que podrían ser atendidos por una adecuada gestión de la innovación en cuanto a procesos, mecanismos y medios de incorporación de las innovaciones.

Al momento de evaluar la gestión de la innovación, se pueden considerar diferentes componentes. Según las recomendaciones para la elaboración de encuestas de innovación del Manual de Oslo en 2018 (OECD/Eurostat. (2018), al momento de adelantar evaluaciones de innovación en las empresas, específicamente en lo relacionado a la gestión de la innovación se deben considerar las acciones encaminadas a:

- Mejorar las capacidades para acceder, procesar y analizar conocimientos
- Mejorar el intercambio o la transferencia de conocimiento de otras empresas
- Mejorar la eficiencia o función de la cadena de valor de la empresa
- Mejorar la comunicación dentro de la empresa
- Mejorar o desarrollar nuevas relaciones externas
- Incrementar la resiliencia empresarial y adaptabilidad al cambio de los sistemas
- Implementar nuevos modelos de negocio (OECD & Eurostat, 2018 PP145).

Para García *et al* (2023), se deben considerar siete elementos o factores relevantes para la evaluación de la gestión, los cuales están relacionados con:

- Participación en actividades de formación e intercambio de conocimiento
- Propuestas de mejoras por parte de los actores internos de la compañía
- Evaluación de métodos productivos y organizacionales
- Incorporación de nuevos productos y procesos en las áreas de comercialización y administración
- Capacitación empresarial
- Frecuencia de incorporación de nuevos productos, bienes o servicios
- Fiabilidad interna de los instrumentos de medición de la innovación, García *et al* (2023).

A partir del conocimiento y evaluación de la gestión de la innovación, se pueden establecer planes de fortalecimiento estructurales, organizacionales y culturales, con el fin de fortalecer la productividad, aumentar la competitividad y mejorar la sostenibilidad de un sistema productivo de arándanos bajo agricultura protegida.

6.3. Redes territoriales de innovación

El sector productivo agropecuario colombiano es fundamental en el funcionamiento de la sociedad rural y de la sociedad del país en general, plantea consideraciones en torno al papel que juega la innovación en los cambios necesarios para tener sistemas productivos competitivos. El acercamiento al entendimiento de las dinámicas de innovación en las agro empresas debe contemplar las dinámicas e intereses de los diferentes actores de las cadenas productivas, así como los territorios donde se encuentran estos sistemas.

En primer lugar, se debe analizar las diferencias estructurales entre los dos modelos de innovación descritos y que coexisten en la actualidad del agro en Colombia, atendiendo la preocupación de que, de manera general, el cambio tecnológico ejerce un papel influyente en el

comportamiento macroeconómico, en los procesos que derivan en modificaciones estructurales, así como en las transformaciones de las propias agro empresas. Estos modelos son el de transferencia tecnológica lineal – vertical y el modelo de redes de conocimiento, siendo abordadas estas últimas bajo la mirada de redes territoriales de innovación rural (Aguilar, *et al.* 2010).

Lucendo (2007) establece que el principal valor agregado del modelo interactivo de innovación va más allá de su manifestación en productos, bienes o servicios, evidenciando procesos complejos de carácter holístico, mediado por relaciones interdependientes y de carácter retroalimentativo entre los distintos elementos que los conforman.

Así mismo, las dinámicas de los mercados establecen derroteros para la forma en que se articula la innovación en las agro empresas y en la cadena, bajo el argumento de que los mercados son cambiantes y dinámicos en razón a las características de los productos, sus características perecederas y las variaciones en acuerdos y políticas. Lo anterior presenta y deriva en desafíos tecnológicos, administrativos y organizacionales (Avermaete *et al.*, 2004; Rugeles *et al.*, 2013).

Por último, se plantea que la innovación en agricultura está influenciada no solamente por factores relacionales y de mercado, sino también, por el contexto territorial, entendido a la manera de Monnet (Monnet & Cruz, 2016), no solamente como disponibilidad de recursos naturales e infraestructura sino como territorialidad, es decir, como el conjunto de valores y formas culturales, jurídicas, económicas y políticas que han sido conformados a lo largo del tiempo.

6.4. La estructura organizacional

Ante los desafíos planteados por el mercado, la normatividad sectorial y el cambio climático, las empresas agropecuarias requieren de una constante adaptación al interior de sus

sistemas en cuanto a los procesos, relaciones, responsabilidades y flujos de conocimiento. Así, consideraciones en torno a la estructura organizacional deben ser consideradas al momento de evaluar las actividades y procesos de gestión del conocimiento y la innovación, dado que la alineación de la estructura al interior de la empresa facilita la coordinación y el flujo de materiales, trabajo y conocimiento para el cumplimiento de objetivos.

Para Blanco-Ariza *et al* (2020), establecen que a un nivel mayor de cambios e influencias externas a una empresa mayores son los desafíos en torno a las necesidades de las estructuras organizacionales, derivando en la necesidad de incorporar puntos de referencia relevantes para la gestión de las organizaciones en escenarios de negocios cambiantes en los económico y lo tecnológico. Así, para una adecuada reestructuración de procesos se deben considerar las condiciones del entorno, contexto de mercado, así como las características internas que intervienen en su desempeño competitivo (Blanco-Ariza, *Et al*, 2020).

Siguiendo con las características internas y estructura organizacional de los sistemas productivos agropecuarios, Bermeo-Andrade *et al* (2022) identifican como una de las barreras principales los deficientes sistemas para reconocer, validar, clasificar, apropiar y compartir conocimientos, máxime cuando las unidades productivas están sujetas a variaciones regionales, así como cambios tecnológicos y ambientales. Para los mismos, autores, al no poseer estructuras claras para la apropiación y transferencia de conocimiento entre trabajadores o entre asesores profesionales y trabajadores, las unidades pierden conocimientos y experiencias acumuladas, afectando nuevamente los procesos de adaptación y apropiación de innovaciones.

En cuanto a la definición de roles y estructuras empresariales al interior de una organización en relación a la gestión de la innovación, el Manual de Oslo (OECD/Eurostat, 2018), establece como problema crítico la ausencia de estos roles y funciones, en gran parte derivado de

la prevalencia de organizaciones tradicionales, informales y jerárquicas (características comunes en los sistemas agropecuarios de Colombia), lo dificulta el flujo de conocimiento, aprendizaje y apropiación de nuevas tecnologías y metodologías.

Los anteriores planteamientos con relación a la estructura organizacional, sumado a la resistencia al cambio, generan dificultades al momento de incorporar innovaciones. Esta resistencia, sustentada en estructuras organizacionales pobres, rígidas o con escasa gestión del conocimiento, limita las capacidades de respuesta ante las exigencias del entorno, impactando en la competitividad y los rendimientos económicos esperados.

Para Gutierrez *et al* en 2023, entre las barreras que limitan la innovación se destaca la resistencia al cambio por parte de los agricultores, lo que dificulta más la falta de acceso a la información y a los recursos; derivando en las necesidades de mejorar la capacitación y educación de los agricultores en relación con la gestión del conocimiento. En este sentido, los autores establecen la necesidad de profundizar en enfoques de investigación en torno a los actores de los sistemas de innovación, las mejoras en capacidades de innovación, gestión y adaptación, así como la interacción con redes de colaboración.

En el estudio de revisión en relación con los sistemas de gestión agrícola, Tummers *et al*, en 2019, identifica factores que están implícitamente relacionados con la estructura organizacional de las empresas agropecuarias, tales como la insuficiencia en las habilidades y educación de los agricultores, limitando el uso de sistemas de gestión; los costos elevados de implementación de sistemas de gestión, las bajas tasas de adopción y la falta de integración y la incoherencia al momento de gestionar el conocimiento con respecto a los objetivos productivos.

7. Análisis del cultivo de arándano bajo invernadero en Colombia

El cultivo de arándano bajo invernadero en Colombia está en expansión debido al creciente interés por los mercados internacionales, como el de Estados Unidos y Europa, donde la demanda por frutas saludables ha aumentado considerablemente. Este cultivo es viable en el país por su adaptabilidad a las condiciones climáticas y geográficas, especialmente en altitudes entre 1,800 y 2,800 metros sobre el nivel del mar (Barrera & Ramírez, 2020).

El uso de invernaderos permite controlar mejor las variables climáticas, como temperatura, humedad y radiación solar, lo que contribuye a un crecimiento óptimo del cultivo y una mayor productividad (García & Rojas, 2021). Además, el manejo controlado de plagas y enfermedades es más eficiente en comparación con el cultivo a campo abierto (López, 2019).

Otro aspecto relevante es la necesidad de riego tecnificado, dado que el arándano tiene requerimientos hídricos específicos que, si no son atendidos correctamente, pueden afectar la calidad y el rendimiento de la fruta. El uso de sistemas de riego por goteo se ha implementado exitosamente en invernaderos, optimizando el uso del agua y mejorando las condiciones del suelo (Martínez et al., 2022).

El cultivo de arándano bajo invernadero en Colombia es una actividad agrícola emergente que ha ganado popularidad debido a las condiciones favorables del país para este tipo de cultivo y su creciente demanda en los mercados internacionales; según información de Asocolblue en Colombia hoy existen aproximadamente 400Ha del cultivo y se estima que es necesario llegar a 6.000Ha para abastecer una fracción del mercado local y de Estados Unidos.

7.1. Condiciones de cultivo y beneficios de los invernaderos:

El arándano es una planta que requiere condiciones climáticas específicas, particularmente en términos de temperatura, humedad y calidad del suelo. Colombia, con su diversidad climática y la posibilidad de cultivar en altitudes entre los 1.800 y 2.800 metros sobre el nivel del mar, permite el desarrollo de cultivos como el arándano. Sin embargo, las variaciones climáticas pueden afectar negativamente la productividad y la calidad de la fruta, razón por la cual los invernaderos se convierten en la mejor técnica para controlar factores ambientales, proporcionando una temperatura y humedad más estables, protegiendo las plantas de plagas y enfermedades, y extendiendo la temporada de cultivo.

7.2. Ventajas del cultivo bajo invernadero

- **Control climático:** Los invernaderos permiten mantener un clima adecuado para los arándanos durante todo el año, evitando las heladas y las lluvias excesivas que podrían dañar las plantas.
- **Producción continua:** En un ambiente controlado, es posible producir arándanos de manera constante, sin depender de los cambios estacionales.
- **Aumento de la productividad:** Al controlar factores como la radiación solar, la ventilación y el riego, se puede optimizar el crecimiento de las plantas y calidad de los frutos.
- **Sostenibilidad:** Con el uso eficiente de recursos como el agua y los fertilizantes, se pueden implementar prácticas más sostenibles, minimizando el impacto ambiental

7.3. Desafíos del cultivo bajo invernadero en Colombia

A pesar de sus beneficios, el cultivo de arándanos bajo invernadero enfrenta varios desafíos en Colombia:

- Inversión inicial alta: Los invernaderos requieren una inversión considerable en infraestructura y tecnología, lo que puede ser un obstáculo para pequeños productores.
- Falta de acceso de pequeño y medianos productores a la banca.

7.4. Situación del mercado

El cultivo de arándanos en Colombia ha comenzado a posicionarse en el panorama agroexportador del país durante la última década. A diferencia de países con tradición consolidada en la producción de este fruto, como Chile, Estados Unidos, Perú o Argentina, Colombia ha iniciado recientemente un proceso de adaptación del cultivo a sus condiciones agroclimáticas específicas, especialmente en zonas de altitud media y alta donde las temperaturas moderadas y la radiación solar favorecen el desarrollo del fruto (Rodríguez et al., 2020).

La expansión del arándano en Colombia ha estado impulsada por factores estratégicos. En primer lugar, la creciente demanda internacional por frutos ricos en compuestos bioactivos como antocianinas, flavonoides y ácidos fenólicos, presentes en altas concentraciones en los arándanos, sin duda, ha incentivado la búsqueda de nuevos territorios de producción que puedan abastecer mercados exigentes como Estados Unidos, Canadá, la Unión Europea y Asia (Prior et al., 2001; Seeram, 2008). Según datos del International *Blueberry Organization* (IBO), el mercado global de arándanos frescos y procesados ha mostrado un crecimiento sostenido, impulsado principalmente por la percepción de los consumidores sobre sus beneficios para la salud, como la mejora de la

memoria, la reducción del riesgo cardiovascular y sus propiedades antiinflamatorias (Kalt et al., 2007).

Colombia cuenta con ventajas competitivas y una ubicación geográfica privilegiada, que permite la producción del fruto durante todo el año, lo que representa una oportunidad frente a otros países donde la producción está limitada por las estaciones. Este factor, junto con una proximidad estratégica a mercados como Estados Unidos y la disponibilidad de mano de obra agrícola, ha llevado a que varias empresas agroindustriales y pequeños productores comiencen a invertir en este cultivo (Gómez & Ramírez, 2021); sin embargo, el país aún enfrenta desafíos estructurales, como la necesidad de adaptar tecnologías de cultivo, desarrollar paquetes técnicos apropiados, y establecer cadenas de valor eficientes que garanticen la calidad y trazabilidad del producto desde el campo hasta los mercados de exportación (ICA, 2022).

Por otra parte, el cultivo de arándanos en Colombia aún se encuentra en una fase de consolidación, las condiciones agroecológicas, la dinámica del mercado internacional, y el creciente interés de productores e inversionistas indican un panorama prometedor. No obstante, el éxito del sector dependerá en gran medida de la capacidad institucional, técnica y logística del país para competir en mercados de alto valor agregado, lo cual requiere inversión en investigación, capacitación y desarrollo de infraestructura postcosecha.

7.5. Casos de éxito y proyectos en Colombia

Boyacá y Cundinamarca: Son departamentos donde se han desarrollado proyectos exitosos de cultivo de arándanos bajo invernadero. En estas regiones, las condiciones climáticas y la infraestructura disponible han permitido una producción significativa.

Exportaciones crecientes: Según el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, la producción de arándanos ha mostrado un crecimiento sostenido en los últimos años, con un aumento en las exportaciones. Empresas colombianas están enfocándose en exportar productos de alta calidad, destacando la capacidad del país para competir en el mercado global de frutas.

De acuerdo con lo anterior y conscientes de la responsabilidad que tenemos como expertos en la agricultura y sabiendo el potencial de crecimiento del cultivo en el país, nace - Compañía De Producción Y Comercialización De Arándanos Los Arrayanes, con el firme propósito de generar trabajo en el campo y contribuir al desarrollo agrícola del país.

7.6. Sostenibilidad un enfoque hacia la Empresa

Los sistemas agroalimentarios enfrentan desafíos significativos para garantizar la soberanía alimentaria de una población en crecimiento, agravados por los efectos del cambio climático. Fenómenos como sequías, inundaciones, proliferación de plagas y enfermedades impactan directamente la producción agrícola, poniendo en riesgo la seguridad alimentaria global.

En este contexto, adoptar un enfoque sostenible desde el origen es esencial para asegurar la resiliencia y la continuidad de las empresas agroalimentarias. La sostenibilidad no solo implica prácticas agrícolas responsables, sino también la integración de estrategias que permitan a las empresas adaptarse y mitigar los efectos del cambio climático.

La Compañía de producción y comercialización de arándanos Los Arrayanes, reconoce la importancia de este enfoque y se viene trabajando en la adopción de prácticas sostenibles en todas sus operaciones. Esto incluye la adopción de tecnologías limpias, la gestión eficiente de recursos naturales y la promoción de la biodiversidad. Además, la empresa busca fortalecer las

capacidades de las comunidades locales, fomentando la agricultura familiar y la equidad de género, en línea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

7.7. Estrategia de Sostenibilidad

La Empresa concibe a la sostenibilidad bajo el enfoque de “Bien +” (González-Pérez), un concepto que viene desarrollando la Universidad EAFIT, en el cual son empresas que tienen un propósito concebido desde dos aristas; el primero las prácticas y tecnologías implementadas deben contribuir al Desarrollo Sostenible es decir a la prosperidad, el planeta y a las personas y por otro lado asegurar la relevancia competitiva en el tiempo.

Bajo ese enfoque se vienen implementando prácticas como las que se mencionan a continuación con un enfoque de sostenibilidad:

Tabla 1. Estrategia de sostenibilidad cultivo de arándanos en la agro empresa Los Arrayanes

Práctica y/o tecnología	Contexto	Aporte a los Objetivos de Desarrollo Sostenible
Cultivo bajo invernadero	Esto contribuye sostenibilidad y resiliencia frente al cambio climático. Al permitir el control preciso de variables como temperatura, humedad y radiación solar, los invernaderos optimizan el uso de recursos hídricos y energéticos, reduciendo la dependencia de factores climáticos externos y minimizando los riesgos asociados a la variabilidad climática. Además, esta técnica permite una producción más eficiente, con mayores rendimientos por unidad de superficie y una reducción en el uso de agroquímicos, gracias a la implementación de sistemas de riego eficientes y la gestión integrada de plagas.	<p>ODS 2- Hambre Cero: Promueve la seguridad alimentaria mediante una producción agrícola sostenible y eficiente.</p> <p>ODS 12- Producción y Consumo Responsables: Reduce el uso de agroquímicos y promueve prácticas agrícolas sostenibles</p>

<p>Uso de sustrato de coco</p>	<p>El uso de sustrato de coco como medio de cultivo representa una alternativa sostenible frente al uso de suelos tradicionales. Este material, derivado de la fibra de coco, presenta una elevada capacidad de retención hídrica y adecuada aireación, condiciones que favorecen un desarrollo radicular eficiente y reducen significativamente el consumo de agua en los sistemas agrícolas. Al tratarse de un subproducto renovable de la agroindustria cocotera, su aprovechamiento fomenta la economía circular, disminuye la generación de residuos orgánicos y promueve la sostenibilidad en la producción agrícola</p>	<p>ODS 2- Hambre cero: al contribuir a sistemas agrícolas más eficientes y resilientes.</p> <p>ODS 6- Agua limpia y saneamiento: mediante la optimización del uso del recurso hídrico.</p> <p>ODS 12- Producción y consumo responsables: al valorizar residuos orgánicos y promover la economía circular.</p> <p>ODS 13- Acción por el clima: al reducir el impacto ambiental asociado al uso de suelos y agua.</p>
<p>Sistema de riego por goteo y localizado</p>	<p>Se implementan sistemas de riego localizado, específicamente riego por goteo, que permiten la aplicación precisa de agua directamente en la zona radicular de los cultivos. Esta tecnología minimiza las pérdidas por evaporación, escurrimiento superficial e infiltración profunda, mejorando notablemente la eficiencia hídrica. Asimismo, facilita la fertirrigación, al permitir la dosificación controlada de nutrientes, optimizando su absorción y reduciendo el riesgo de lixiviación. Estas prácticas promueven una</p>	<p>ODS 2- Hambre cero: al mejorar el rendimiento y la eficiencia de los sistemas productivos.</p> <p>ODS 6- Agua limpia y saneamiento: mediante el uso eficiente y responsable del recurso hídrico.</p> <p>ODS 12- Producción y consumo responsables:</p>

	gestión sostenible del recurso hídrico y una producción agrícola más eficiente.	<p>por la optimización de insumos como el agua y los fertilizantes.</p> <p>ODS 13- Acción por el clima: al contribuir a la resiliencia de los sistemas agrícolas frente al estrés hídrico.</p>
Cosecha de agua (reservorio):	Compañía de producción y comercialización de Arandanos Los Arrayanes, cuenta con un reservorio para almacenar agua lluvia y garantizar su disponibilidad durante épocas secas. Esta práctica asegura el abastecimiento hídrico en todas las etapas del cultivo y evita la presión de las fuentes hídricas.	<p>ODS 2 – Hambre Cero: Permite una producción agrícola continua y estable.</p> <p>ODS 6 – Agua limpia y saneamiento: Garantiza la disponibilidad continua de agua para el riego.</p> <p>ODS 13 – Acción por el clima: Mejora la resiliencia frente a variabilidad climática.</p>
Implementación de herramientas de manejo del paisaje	Se implementan prácticas como cobertura vegetal y barreras naturales para conservar el suelo, prevenir la erosión y mantener la biodiversidad en torno al cultivo. Así mismo como especie que sean atractivas para la conservación de la abejas quienes aporta a la polinización del mismo.	<p>ODS 12 – Producción y consumo responsables: Asegura el uso sostenible del territorio</p> <p>ODS 13 – Acción por el clima: Ayuda a mitigar el impacto ambiental de la producción agrícola,</p>

		<p>garantizando una agricultura regenerativa.</p> <p>ODS 15 – Vida de ecosistemas terrestres: Contribuye a la conservación del suelo y la biodiversidad.</p>
Contratación de mano de obra local:	Compañía de producción y comercialización de Arandanos Los Arrayanes, prioriza la contratación de personas de las comunidades rurales cercanas, fortaleciendo el empleo formal y la economía local.	<p>ODS 8 – Trabajo decente y crecimiento económico: Genera empleo digno y estable en el entorno rural.</p> <p>ODS 10 – Reducción de las desigualdades: Mejora las condiciones económicas en zonas rurales.</p>
Contratación de mujeres campesinas	Se promueve activamente la inclusión de mujeres en labores agrícolas, desde el cultivo hasta la postcosecha, impulsando la equidad de género y el empoderamiento femenino.	<p>ODS 5 – Igualdad de género: Garantiza la participación y equitativa de las mujeres en el proceso productivo.</p> <p>ODS 8 – Trabajo decente y crecimiento económico: Diversifica las oportunidades laborales en el sector agro.</p> <p>ODS 10 – Reducción de las desigualdades: Favorece la</p>

		equidad económica y social en el ámbito rural.
--	--	--

Fuente: Autores con información de la compañía

7.8. Misión

La Compañía de producción y comercialización de Arándanos Los Arrayanes, tiene como misión posicionarse como una compañía pionera en la producción y comercialización de arándanos de alta calidad, adoptando las mejores prácticas económicas, sociales y ambientales. Su objetivo es generar valor compartido y contribuir al desarrollo agrícola de la región (Los Arrayanes, 2025).

7.9. Visión

Para el año 2028 La Compañía de producción y comercialización de Arándanos Los Arrayanes, cultivara 8Ha de arándanos de manera sostenible, implementando prácticas agrícolas innovadoras y de agricultura de precisión, respetando el medio ambiente y fomentando el desarrollo socioeconómico de las comunidades locales (Los Arrayanes, 2025).

7.10. Valores



Pasión: Nos comprometemos y entusiasmanos con cada objetivo productivo, superando las metas y sintiéndonos orgullosos de alcanzarlas (Los Arrayanes, 2025).



Transparencia: Fomentamos la comunicación clara, honesta y directa, creando un entorno de confianza con nuestros colaboradores, clientes, proveedores y demás grupos de interés (Los Arrayanes, 2025).

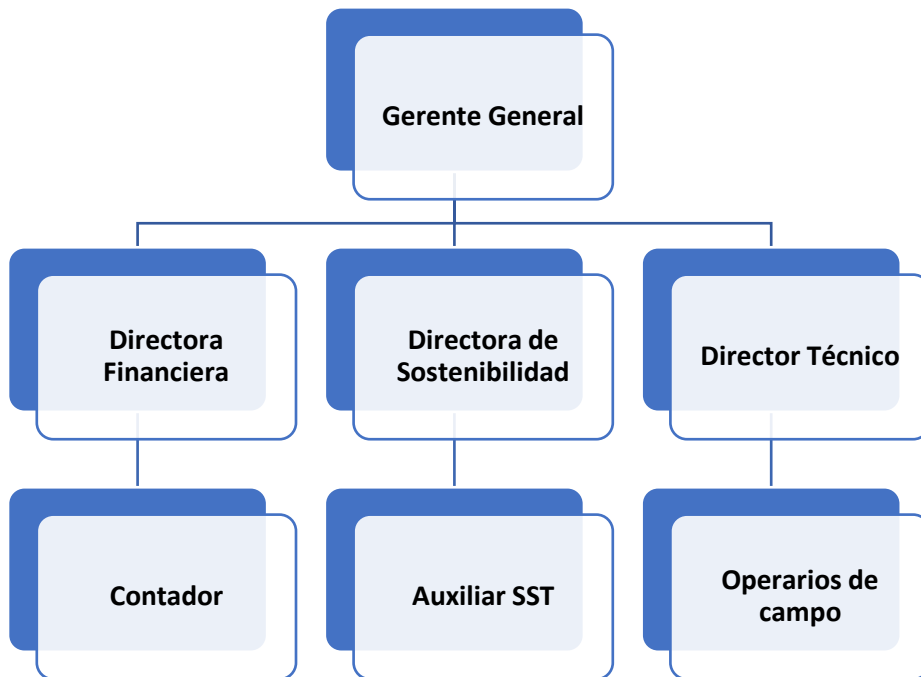


Integridad: Nos mantenemos fieles a nuestros principios y valores, actuando con ética y responsabilidad en cada decisión, garantizando que nuestras acciones reflejen transparencia y honestidad en todo momento (Los Arrayanes, 2025).



Excelencia: Adoptamos prácticas agrícolas de vanguardia para asegurar cosechas de alta calidad, promoviendo la mejora continua en nuestros procesos y superando constantemente los estándares del sector (Los Arrayanes, 2025).

7.11. Organigrama



Fuente autores.

7.12. Ubicación geográfica

La empresa Compañía de producción y comercialización de arándanos Los Arrayanes, está ubicada en el municipio de Arcabuco, departamento de Boyacá, dicho municipio tiene características agroclimáticas que lo hacen potencialmente apto para la siembra del cultivo el arándano, debido a su altitud, régimen pluviométrico y niveles de radiación solar.

Arcabuco se encuentra en la región del altiplano Cundiboyacense, dentro de la cordillera oriental de los Andes colombianos. La finca de Los Arrayanes se encuentra en la vereda Quemados a 2700 metros sobre el nivel del mar (msnm).

El régimen pluviométrico de la región se caracteriza por ser bimodal, típico de la zona andina colombiana, con dos temporadas lluviosas bien marcadas: de marzo a mayo y de

septiembre a noviembre. Durante estos periodos, las lluvias son más intensas, siendo abril y mayo los meses con mayor precipitación, con promedios de 199 mm y 162 mm respectivamente, mientras que el mes más seco es enero, con solo 39 mm de precipitación.

En cuanto a la radiación solar, Arcabuco presenta niveles moderadamente estables a lo largo del año. La energía solar de onda corta diaria promedio alcanza su pico durante los meses secos, especialmente en agosto, con 5.8 kWh/m²/día, mientras que noviembre es el mes con menor radiación, con un promedio de 4.5 kWh/m²/día; estos niveles son adecuados para cultivos como el arándano, que requieren buena luminosidad para el desarrollo de antocianinas y compuestos fenólicos, esenciales en su calidad comercial y propiedades nutraceuticas.

7.13. Sistema de riego implementado:

Para la instalación del sistema de riego, es necesario mencionar aspectos técnicos del cultivo de arándano de la Compañía de producción y comercialización de arándanos Los Arrayanes:

- Ubicación: Arcabuco Boyacá.
- 12.000 plantas en doble surco, siembra a tres bolillos
- Siembra en bolsa comprimida
- Energía disponible para bombeo, energía eléctrica 220W monofásica
- Fuente de Agua, reservorio
- Altimetría del terreno a sembrar, pendiente del 4%

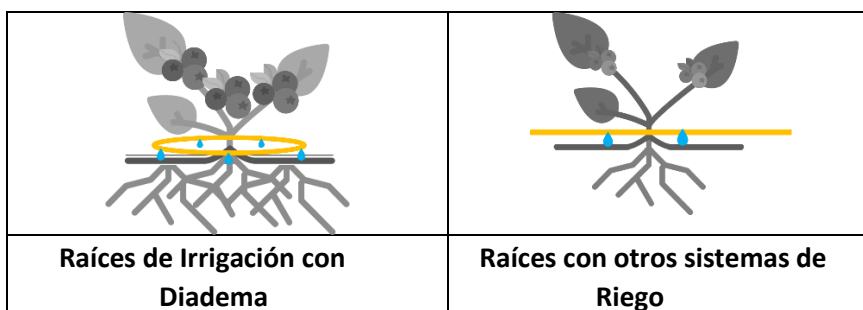
Imagen 1. Área para la producción de arándanos de la agro empresa Los Arrayanes



Fuente autores

El sistema de riego a instalar es por goteo, con capacidad de 2 L/h/planta. posee sistema auto-compensado y anti-drenante. La irrigación es simétrica/radial, Loop Drip/anillo/diadema, con capacidad para transferir agua y fertilizantes en cinco (5) puntos distintos en el sustrato, tal cual se describe en l siguientes imágenes:

Imagen 2. Imagen ilustrativa del sistema de irrigación



Fuente: autores

Imagen 3. Tecnología para el enraizamiento de las plántulas



Fuente: autores

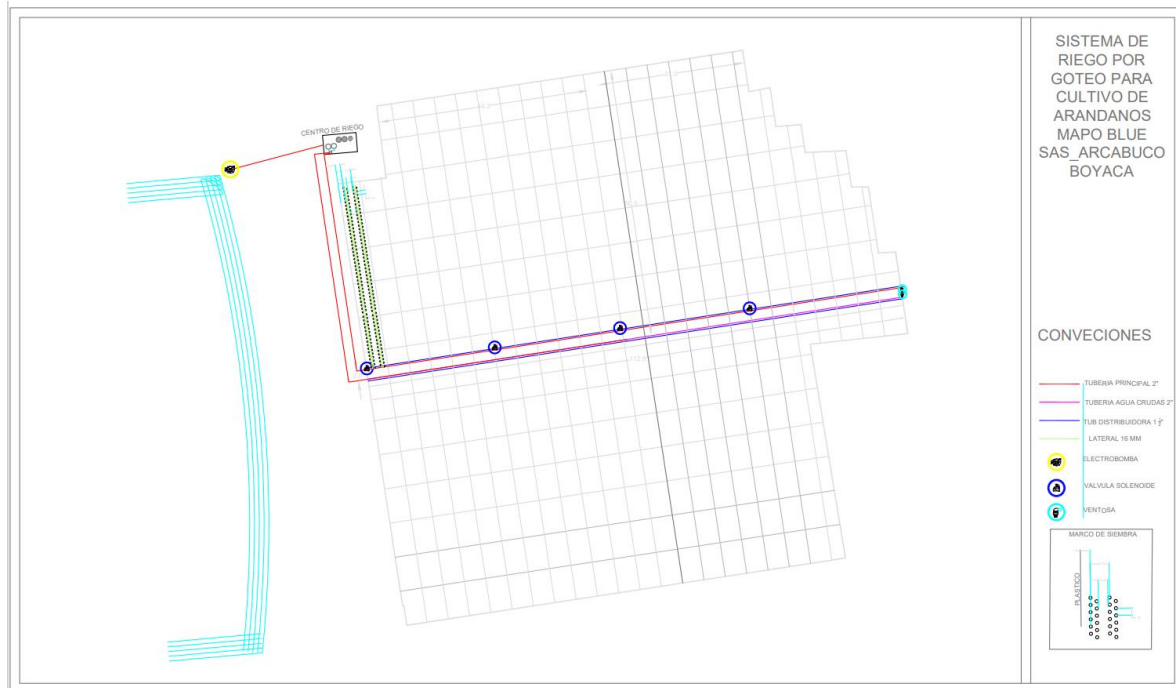
Se contempla que la presurización del agua para riego se efectuara mediante el uso de una electrobomba de alto caudal, con un caballo de fuerza e infraestructura de succión y descarga en 1 1/2" pulgadas.

Por otra parte, la calidad del agua fuente del reservorio, hace posible implementar un sistema de filtrado metálico con gravas de separación de solidos especiales, reforzados por filtros de anillos y demás accesorios de control y protección hidráulica.

Para las redes de conducción, se contempla la instalación de tuberías de PVC, de 2" pulgada, que van desde el bombeo hasta la plantación; las líneas secundarias en PVC de 1 1/2" pulgadas, posterior a las líneas de riego terciarias en polietileno de 16 mm que serán instaladas sobre cada surco de bolsas y serán las encargadas de alimentar cada anillo de goteo en cada planta. Los dispositivos de control de aire y retorno serán instalados en las tuberías mencionadas con el fin proteger el sistema hidráulico.

Se contempla además una red independiente para el manejo de aguas crudas y/o riegos por pomos o uso de eventuales equipos para control de bajas temperaturas.

Imagen 4. Diseño del sistema de riego para el cultivo de arándano de la agro empresa Los Arrayanes



Fuente: autores.

El sistema de riego cuenta con automatización, lo que permitirá hacer varios pulsos de riego al día en forma programada, optimizando el proceso de fertirriego y realizando ahorros significativos en agua, nutrientes energía entre otros; este sistema se puede controlar incluso desde el celular, permitiendo programar y visualizar lo que sucede en tiempo real.

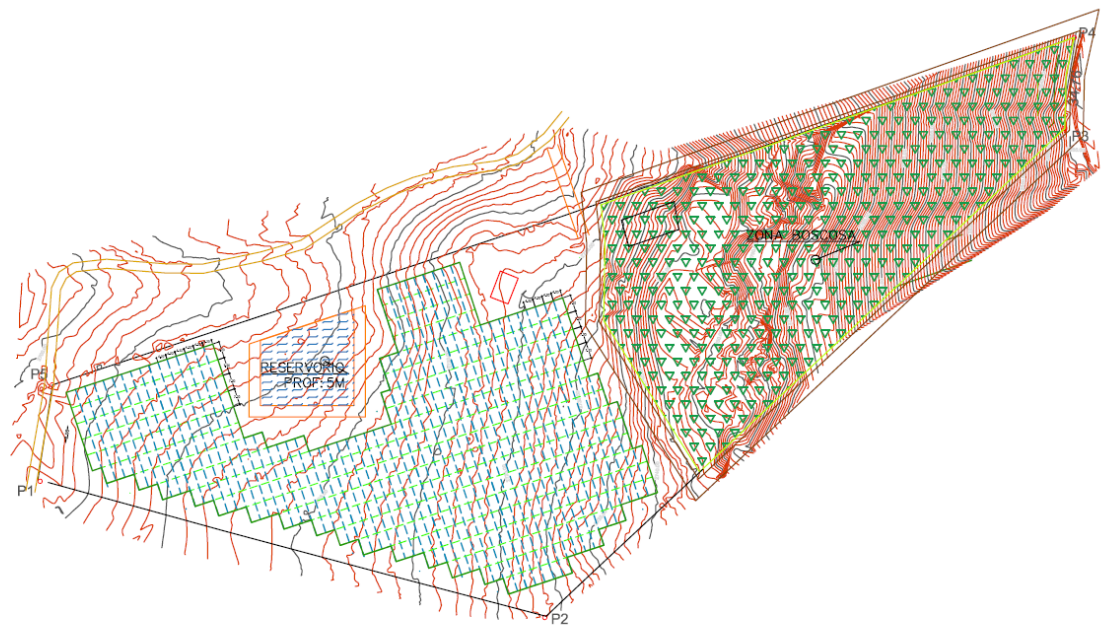
7.14. Montaje Invernadero

La construcción del invernadero es en acero galvanizado, lo cual garantiza su uso hasta por 30 años; contempla los siguientes materiales:

- Tubería galvanizada de 2.1/2 pulgadas para perímetro
- Tubería de 1.1/2 pulgadas para intermedias

- Guaya de 3/16 para tiras
- Plástico importado, especial para el cultivo de arándano
- Mixto y cemento.
- Grapa industrial 5019
- Tornillo bastón
- Puerta corrediza
- Malla anti pájaro

Imagen 5. Mapa del sistema productivo agro empresa Los Arrayanes con identificación de invernadero y reservorio



ÁREA INVERNADERO : 17,932.32 m²

Fuente: Autores con información de Los Arrayanes

Imagen 6. Estructura de invernadero en acero para la producción de arándanos en la agro empresa Los Arrayanes



Fuente autores.

7.15. Características del material genético:

Se establecerán en un sistema agrícola tecnificado 12.000 plantas vivas de arándano de la variedad '*Emerald*' (*Vaccinium corymbosum* L.). Este material vegetal es producido a partir de plantas madre cultivadas en Colombia, bajo condiciones controladas y conforme a estándares de calidad establecidos por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) y las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) (ICA, 2020).

La variedad '*Emerald*' es una selección de *Vaccinium corymbosum* desarrollada por la Universidad de Florida, es reconocida por su alto vigor, rusticidad, producción temprana y excelente firmeza de fruta (Lyrene, 2008). Es una variedad recomendada para las condiciones climáticas del municipio de Arcabuco, por ser una zona con frecuencia de lluvias, radiación solar alta y horas frío en la noche (Retamales & Hancock, 2018). Su establecimiento exitoso en Colombia ha sido documentado en evaluaciones agronómicas recientes, que destacan su adaptabilidad, tolerancia a condiciones edafoclimáticas locales y buena respuesta productiva (Gómez & Ramírez, 2021).

Las características morfológicas, sanitarias y genéticas son consistentes con estándares internacionales para cultivos comerciales de arándano. La trazabilidad, uniformidad varietal y respaldo técnico brindan garantías para el éxito agronómico y comercial del proyecto, consolidando a la variedad *Emerald* como una alternativa viable y competitiva para productores colombianos con proyección exportadora.

Las plantas, en el momento de trasplante en campo, tendrán las siguientes características:

- Edad: mínimo cuatro (4) meses desde su establecimiento en vivero.
- Altura: entre 20 y 30 cm, medida desde la base hasta el ápice vegetativo.
- Número de hojas maduras: mínimo de diez (10), sanas, de color verde oscuro y sin daño visible de insectos.
- Brotes basales: al menos tres (3), lo que indica vigor y capacidad de ramificación lateral.
- Flujos de crecimiento: uno (1) a dos (2), representando la sucesión de ciclos vegetativos bien definidos.
- Sistema radicular: abundante, desarrollado, y colonizando totalmente el sustrato.
- Sustrato y contenedor: pot rígido de polietileno negro (11 x 11 x 11 cm) con un litro de sustrato, que asegura soporte, drenaje y disponibilidad de nutrientes.

Estas características son coherentes con los parámetros óptimos descritos por Strik y Yarborough (2005) para plantas de arándano de alta calidad destinadas a trasplante comercial, ya que aseguran una adecuada adaptación al campo, rápido establecimiento y uniformidad en el crecimiento.

El vivero certifica que las plantas serán entregadas libres de plagas y enfermedades, conforme a los protocolos de manejo integrado y registros de trazabilidad que acompañan cada lote. Se aplican tratamientos foliares preventivos contra ácaros, insectos y hongos, como lo recomiendan Retamales et al. (2014) y la guía técnica del ICA (ICA, 2020). Además, cualquier tratamiento adicional sugerido por el comprador será asumido bajo su responsabilidad.

Las plantas cuentan con garantías de calidad, autenticidad varietal y post-trasplante; viveros Génesis, quien propaga las plantas, ofrece la siguiente garantía integral:

- De calidad morfológica y fitosanitaria, respaldada por reposición de plantas que no cumplan las especificaciones técnicas (una a una).
- De autenticidad varietal, garantizada por tres (3) meses tras la entrega, período dentro del cual se permite reclamar inconsistencias en la identidad genética del material.
- De desempeño post-trasplante, cubriendo fallos atribuibles a defectos de vivero dentro de los tres (3) meses posteriores al establecimiento en campo, previa verificación técnica.

Estas garantías se ajustan a las recomendaciones internacionales de certificación de material vegetal (CABI, 2019), y constituyen un componente esencial para la consolidación de cultivos perennes como el arándano en zonas emergentes.

Imagen 7. Plántulas de Arándano V Emerald



Fuente Autores

Imagen 8. Proceso de germinación de Plántulas de Arándano V Emerald



Fuente Autores

7.16. Siembra del cultivo de arándano

El cultivo se sembrará en sustrato de fibra de coco, lo cual garantiza la uniformidad en el desarrollo radicular del cultivo, así como la eficiencia en el manejo nutricional y riego, y la productividad por unidad de superficie (Retamales & Hancock, 2018; Bryla & Strik, 2007).

El sustrato de coco es ideal para el cultivo de arándano, ya que esta planta es exigente en la aireación radicular y además es susceptible al encharcamiento; a continuación, se describen sus características técnicas:

- Capacidad de retención de agua: 60–70% del volumen.
- Porosidad total: >85%.
- pH: entre 5.5 y 6.5 (ajustable con acidificantes).
- CE (conductividad eléctrica): <1.0 mS/cm, ideal para evitar salinidad

(Meerow, 1994).

La fibra debe ser lavada y buferizada con el fin de eliminar sales residuales y garantizar estabilidad en el pH, especialmente importante para arándanos, que prefieren medios ácidos con pH entre 4.5 y 5.5 (Strik & Yarborough, 2005; Echeverría & Retamales, 2021).

La siembra del cultivo se hace en bolsas de polietileno negro internamente y blanco con el exterior, con capacidad de 34 litros, con perforaciones en la base y laterales para facilitar el drenaje. Las dimensiones son de 32*13*13*45cm; dichas bolsas deben estar colocadas sobre un soporte elevado, para evitar contacto con el suelo y favorecer así el drenaje (Bryla et al., 2010).

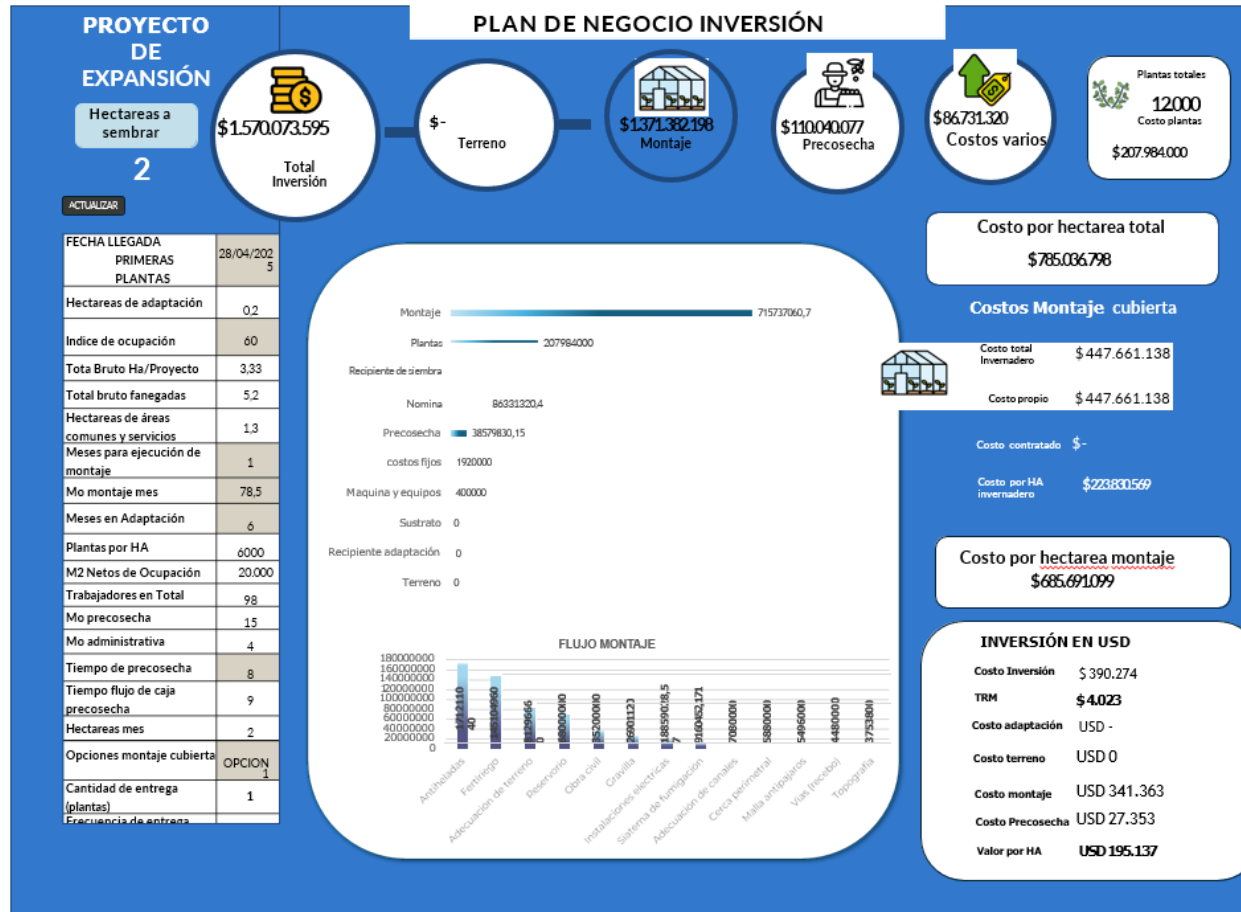
Imagen 9. Actividades de siembra en el cultivo de arándano de la agro empresa Los Arrayanes



Fuente : Autores

7.17. Plan de negocios

Figura 1. Plan de negocios para el cultivo de arándano en la agro empresa Los Arrayanes





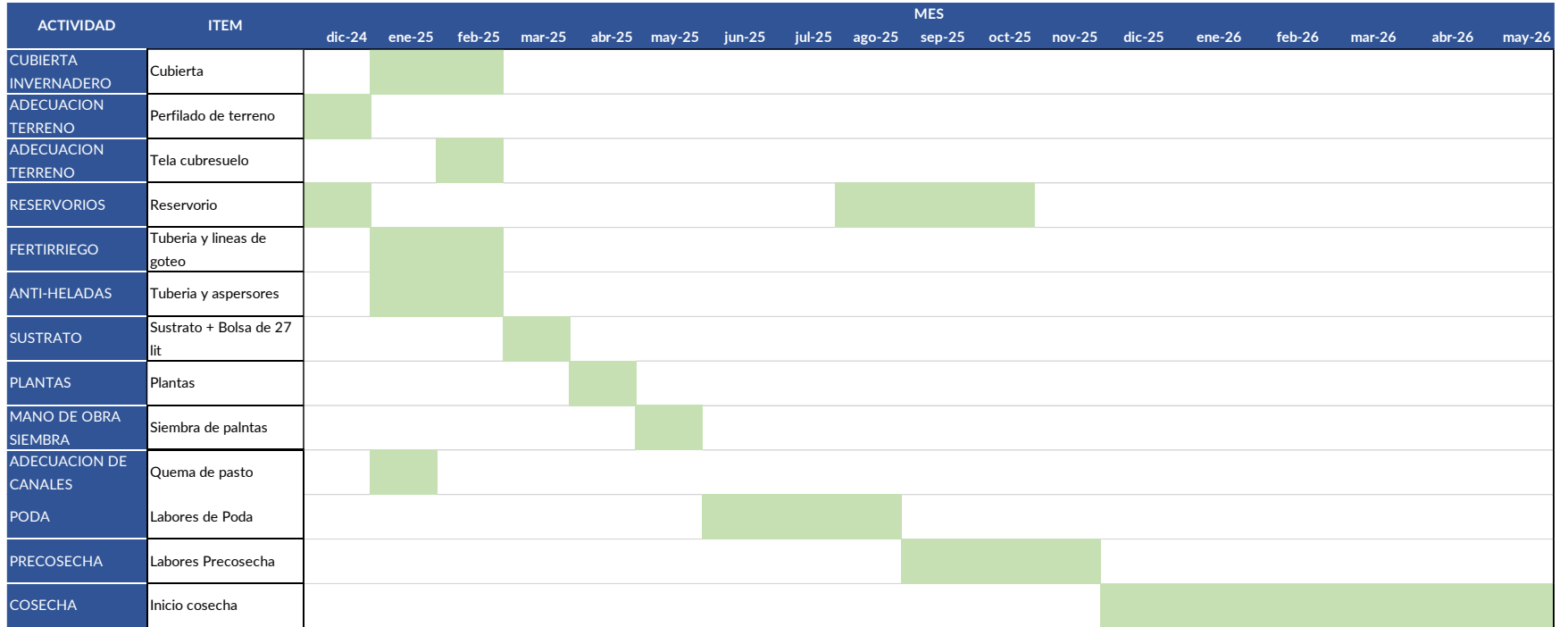
Fuente: Elite Blue, 2025.

Figura 2. Costos Montaje cultivo de arándano para la agro empresa Los Arrayanes

ACTIVIDAD	ITEM	VALOR / Ha	Iva	VALOR TOTAL	% POR ITEM
Cubierta Invernadero en acero galvanizado	Cubierta	\$ 280.000.000,00	19%	\$ 345.679.012,35	29,09%
Tela cubresuelo	Tela Cubresuelo	\$ 28.040.000,00		\$ 28.040.000,00	2,36%
Adecuacion de terreno	Perfilado de terreno, vias internas y	\$ 69.022.000,00		\$ 69.022.000,00	5,81%
Encerramiento finca	Materiales / mano de obra	\$ 22.607.700,00		\$ 22.607.700,00	1,90%
Obras civiles y oficina	Oficina, materiales y mano de obra	\$ 64.508.976,00		\$ 64.508.976,00	5,43%
Instalacion postes de Luz finca	Postes y MO	\$ 22.000.000,00		\$ 22.000.000,00	1,85%
Topografo	Levantamieto Topografico	\$ 6.000.000,00		\$ 6.000.000,00	0,50%
Obras civiles fertirriego	Caseta, cuarto de bombas, porteria	\$ 10.000.000,00		\$ 10.000.000,00	0,84%
Fertirriego	Sistema de riego completo	\$ 89.653.770,00		\$ 89.653.770,00	7,54%
Sustrato	Sustrato de coco	\$ 120.000.000,00	19%	\$ 148.148.148,15	12,47%
Ladrillos	Ladrillos	\$ 14.400.000,00		\$ 14.400.000,00	1,21%
Recipiente de siembra	Bolsa comprimida	\$ 1.703,70	19%	\$ 20.444.444,44	1,72%
Plantas, variedad Emerald In vitro	Plantas	\$ 176.646.960,00		\$ 176.646.960,00	14,86%
Mano de obra siembra	Siembra de palntas	\$ 24.000.000,00		\$ 24.000.000,00	2,02%
Flete de plantulas	Flete plantas	\$ 17.680.000,00		\$ 17.680.000,00	1,49%
Adecuacion de canales de riego y terreno	Quema de pasto	\$ 1.000.000,00		\$ 1.000.000,00	0,08%
Arriendo de Tierra año		\$ 6.000.216,00		\$ 6.000.216,00	0,50%
Varios				\$ 12.675.000,00	1,07%
Mano de Obra Podas	Labores de cultvio x 10 meses	\$ 80.000.000,00		\$ 80.000.000,00	6,73%
Fertilizacion preventios de agroquimicos	Fertilizantes, agroquimicos	\$ 30.000.000,00		\$ 30.000.000,00	2,52%
Costo Total				\$ 1.188.506.226,94	

Fuente: Autores

Figura 3. Cronograma de labores para el cultivo de arándanos.



Fuente: Autores

8. Metodología

Para el cumplimiento del objetivo "Implementar un modelo básico de analítica de datos que permita recopilar, procesar y visualizar información clave del proceso productivo, para fortalecer la toma de decisiones agronómicas y empresariales en el cultivo de arándanos bajo invernadero.", se plantea una metodología dividida en cuatro fases articuladas que permiten el desarrollo progresivo de un modelo funcional de analítica de datos en un entorno agrícola, empleando herramientas accesibles y criterios técnicos de bajo costo. Cada fase se centra en un componente fundamental del proceso: captura de datos, tratamiento, análisis visual y retroalimentación.:

8.1. Fase 1. Recolección y sistematización de datos productivos

Esta fase tiene como objetivo establecer un esquema sistemático y funcional de captura de información diaria, alineado con las condiciones reales del agricultor y basado en la estructura de una plantilla previamente diseñada que contempla 365 registros diarios, uno por cada día del año, y que contiene las variables clave (ver tabla 2).

Tabla 2. Variables existentes en la base de datos.

Variable	Tipo	Definición Conceptual	Definición Operacional
Fecha	Cualitativa / temporal	Día específico de registro de datos que permite el análisis cronológico del cultivo.	Registro diario durante el año 2024 para cada lote y variable agronómica.
Lote	Categoría	Unidad productiva con condiciones agronómicas diferenciadas dentro del cultivo protegido.	Identificación única asignada a tres sectores diferenciados: Lote 1, Lote 2, Lote 3.
Variedad	Categoría	Tipo de arándano cultivado con características genéticas y productivas particulares.	Clasificación nominal como Biloxi, Emerald o Misty según registro de plantación.
Temperatura ambiental (°C)	Cuantitativa	Grado de calor del ambiente que influye en el desarrollo del cultivo.	Promedio diario registrado por sensores IoT instalados en el invernadero.
Humedad relativa (%)	Cuantitativa	Porcentaje de vapor de agua presente en el aire.	Promedio diario medido por sensores digitales calibrados con norma ISO/IEC 17025.
Nivel de plagas	Cualitativa	Presencia e intensidad de plagas que afectan la sanidad del cultivo.	Observación visual diaria, clasificada como: Ninguna, Baja, Media, Alta.
pH del suelo	Cuantitativa	Medida de acidez o alcalinidad del sustrato.	Valor medido semanalmente con electrodo, rango óptimo 5.5 a 6.5.
Volumen riego (L/día)	Cuantitativa	Volumen de agua suministrado por planta.	Registro automático de caudalímetros, validado con control manual 1 vez por semana.
Rendimiento (kg/lote)	Cuantitativa	Producción efectiva de arándano por lote.	Registro diario de peso cosechado por lote, con balanza calibrada.
Grupo agronómico clasificado	Categoría	Clasificación del desempeño técnico del lote.	Calculado a partir de un índice compuesto por temperatura, plagas, humedad y rendimiento (Muy Bajo a Muy Alto).
Labores culturales	Categoría	Conjunto de prácticas agronómicas aplicadas para mantener la productividad del cultivo.	Registro diario de prácticas como poda, control de plagas o fertilización aplicado por lote.

Fuente. Autores

8.2. Protocolo de recolección de datos:

Muestreo:

- Se analizaron 3 lotes productivos, cada uno con características agronómicas diferenciadas.
- Cada lote tuvo un seguimiento diario durante los 365 días del año 2024.

Procedimiento:

Implementación de la plantilla: Se distribuye a cada lote una versión editable de la plantilla en Excel, preconfigurada con listas desplegables, validaciones de datos y campos obligatorios. Esta estructura reduce errores comunes en la captura de datos.

Responsable del registro diario: Se designa una persona encargada (operario, supervisor o técnico) para completar los datos diariamente al finalizar la jornada.

8.3. Fase 2. Limpieza, depuración y estandarización de datos

Una vez consolidado el archivo con registros diarios, se procede a la revisión técnica del conjunto de datos para asegurar su calidad y utilidad analítica. Este proceso es fundamental para evitar errores en las fases de modelado y visualización.

Acciones principales:

Verificación de campos obligatorios: Se identifican y corrigen campos faltantes o inconsistentes, como fechas vacías, valores nulos en rendimiento, o ausencia de datos de humedad o temperatura.

Unificación de categorías: Se corrigen diferencias ortográficas o sintácticas en campos categóricos como plagas_observadas, tipo_riego o labores_culturales mediante búsqueda y reemplazo. Ejemplo: “goteo” y “GOTEO” se estandarizan como “Goteo”.

Tratamiento de valores atípicos: Se realiza un análisis de dispersión y se identifican registros fuera de rango (ej. 500 litros de riego diarios en un lote pequeño). Estos valores se validan con el productor o se marcan para exclusión si no hay justificación.

Conversión de tipos de datos: Se asegura que fechas estén en formato datetime, variables numéricas en formato float o int, y categorías como texto uniforme.

Validación cruzada: Se emplean filtros o reglas simples de lógica condicional (ej. si no hay labores registradas pero hay cosecha, ¿es consistente?) para revisar coherencia interna.

8.4. Fase 3. Aplicación del ciclo metodológico CRISP-DM

Se implementa un proceso de análisis de datos estructurado en seis etapas, conforme al modelo CRISP-DM (Cross Industry Standard Process for Data Mining), adaptado al entorno agrícola:

Comprensión del negocio

Se definen las preguntas clave: ¿Qué factores influyen en el rendimiento diario? ¿Existe relación entre riego y productividad? ¿Cuál es la incidencia de plagas por lote? Se identifican decisiones agronómicas que pueden beneficiarse del análisis.

Comprensión de los datos

Se realiza un análisis descriptivo inicial: medias, medianas, gráficos de distribución, boxplots por variedad, análisis de correlación simple entre riego, humedad, temperatura y rendimiento.

Preparación de los datos

Se derivan nuevas variables:

- a. **plagas_observadas** - Se genera según humedad alta (>72%) o eficiencia < 0.75 y se realiza clasificación de plagas: Baja, Media o Alta
- b. **eficiencia_riego**- Evalúa qué tan bien se convierte el riego en producción **Fórmula:**
 $\text{rendimiento_kg} / \text{volumen_riego_litros}$
- c. **rendimiento_predicho**- peso de la fruta que se espera cosechar ese día
- d. **error_prediccion** - Diferencia entre real y predicho, Mide el margen de error (positivo o negativo) **Formula:** $\text{rendimiento_kg} - \text{rendimiento_predicho}$
- e. **grupo_agronomico_clasificado:** Clasificación de rendimiento diario, Clasificación por rangos: < 18 → "Muy Bajo" , 18-22 → "Bajo", 22-26 → "Medio", 26-30 → "Alto", 30 → "Muy Alto" Útil para segmentar días buenos y malos según producción

Modelado (exploratorio)

En esta fase se aplican técnicas básicas:

- ✓ Segmentación de patrones por tipo de riego o variedad
- ✓ Análisis de regresión lineal múltiple para predecir rendimiento
- ✓ Análisis de agrupamiento (clustering) por comportamiento agronómico

Herramientas Estadísticas y Software de Análítica de Datos

- Google Colab:

- ✓ Limpieza, transformación y análisis de datos.
- ✓ Modelado predictivo mediante Árboles de Decisión (DecisionTreeRegressor), regresión lineal y clustering.
- ✓ Generación de informes en PDF automatizados con gráficos.
- Power BI:
 - ✓ Visualización avanzada de datos en dashboards:
 - ✓ Hoja 1: KPIs generales, análisis climático y predicción.
 - ✓ Hoja 2: Diagnóstico por lote, plagas, eficiencia de riego y correlaciones.
- Técnicas estadísticas:
 - ✓ Correlación de Pearson y Spearman para dependencias entre variables.
 - ✓ Boxplot y diagramas de dispersión para análisis exploratorio.
 - ✓ Matriz de confusión y MAE (Error Absoluto Medio) para validar los modelos

Evaluación

Los modelos son evaluados en función de su utilidad práctica. Se prioriza la interpretabilidad y relevancia agronómica más que la sofisticación técnica. Se seleccionan los gráficos e indicadores más comprensibles para el usuario final.

Despliegue local

Los resultados se presentan en un dashboard interactivo en Power BI, que el agricultor pueda consultar fácilmente, actualizado mensualmente con nuevos datos. Y la presentación visual de los hallazgos y su traducción en decisiones agronómicas concretas. Los datos se transforman en conocimiento accionable.

8.5. Fase 4. Retroalimentación, mejora continua y sostenibilidad

El objetivo de esta última fase es garantizar que el sistema de analítica básica sea sostenible en el tiempo y evolucione con las necesidades del productor.

Acciones estratégicas:

- ✓ Establecer rutina mensual de actualización de la base
- ✓ Incorporar nuevas variables a futuro (ej. costos, horas de trabajo)
- ✓ Automatizar reportes con macros o programación ligera (Python/Power BI)
- ✓ Evaluar impacto real del análisis en decisiones tomadas

9. Gestión de la innovación

Para abordar de manera integral la elaboración de la propuesta del plan de fortalecimiento de la gestión de la innovación, se adoptará una metodología mixta, combinando enfoques cuantitativos y cualitativos. Este enfoque permite comprender de manera amplia los procesos de gestión de la innovación por parte de los directores del cultivo, teniendo en cuenta la influencia de los factores territoriales y sectoriales, así como los modelos y estructuras de organización.

Este plan tendrá características descriptivas, con el fin de describir los factores que tienen influencia en la forma de valorar y gestionar el conocimiento para incorporar las innovaciones en el sistema productivos; también, características de investigación explicativa, analizando como las percepciones y estructuras de la organización perciben y gestionan la innovación en los componentes técnicos, administrativos, organizacionales y de mercaderos, con miras a mejorar la competitividad y la sostenibilidad en la agro empresa. De esta manera, el desarrollo fue exploratorio secuencial, donde

inicialmente se recolectaron y analizaron datos cualitativos para explorar en profundidad el contexto para luego complementar con datos cuantitativos específicos de la empresa los Arrallanes.

Para adelantar el diseño del plan de fortalecimiento de la gestión de la innovación, se adelantaron una serie de cuatro entrevistas semiestructuradas con el personal directivo y trabajadores de la compañía. Los aspectos que se pusieron en consideración fueron derivados de los componentes recomendados por la encuesta de innovación del Manual de Oslo (OECD & Eurostat, 2018) y enriquecido por los componentes a evaluar propuestos por García *et al* (2023), ver tabla 3.

Tabla 3. Componentes considerados para la evaluación de la gestión de la innovación en la agro empresa Los Arrayanes

Componente	Criterios considerados
Capacidades para el acceso, procesamiento y análisis de conocimiento	Herramientas tecnológicas y metodológicas
	Formación y competencias en análisis de las áreas técnicas, administrativas, organizacionales y mercadeo
	Fuentes de consulta
Intercambio y transferencia de conocimiento de empresas del mismo sector	Existencia y participación en redes territoriales o alianzas estratégicas
	Participación en foros o eventos de innovación
	Existencia de mecanismos de apropiación de conocimiento proveniente de otras empresas
Funcionamiento de la cadena de valor de la empresa	Identificación de cuellos de botella en las áreas técnicas, administrativas, organizacionales y mercadeo
	Trazabilidad y control de calidad de la gestión del conocimiento

	Integración vertical u horizontal para la gestión del conocimiento
Comunicación interna	Flujo de información entre la áreas técnicas, administrativas, organizacionales y mercadeo
	Colaboración para toma de decisiones y resolución de problemas
	Retroalimentación e innovación colaborativa para la gestión del conocimiento
Relaciones externas y gobernanza	Identificación de actores externos con los que se tienen relaciones
	Estrategias claras de relacionamiento institucional, vigilancia e identificación de innovaciones
	Alianzas externas para la adquisición de conocimientos en las áreas técnicas, administrativas, organizacionales y mercadeo
Resiliencia empresarial y adaptación al cambio	Existencia de estrategias para enfrentar cambios en las áreas técnicas, administrativas, organizacionales y mercadeo
	Estrategias para el cambio y diversificación de producto, proceso, comercialización u organización
	Capacidades de ajustes y cambios de estrategias, estructuras o culturas organizacionales
Nuevos modelos de negocio	Identificación de nuevos modelos en las áreas técnicas, administrativas, organizacionales y mercadeo
	Existencia de estudios o vigilancias comerciales
	Capacidades de implementación de nuevos modelos de negocio

Fuente: Autores a partir de información de (OECD & Eurostat, 2018) y García et al (2023).

A partir de la información obtenida se estructuró el plan de fortalecimiento de la gestión de la innovación, permitiendo definir estrategias para la exploración de nuevas áreas u oportunidades de negocio, la construcción de alianzas con productores pequeños y medianos, así como la inserción en las redes territoriales del conocimiento.

9.1. Plan de fortalecimiento para la gestión la información

Diagnóstico inicial

A partir de la información recolectada en las entrevistas semi estructuradas se elaboró una matriz DOFA (Debilidades, Oportunidades, Fortalezas y Amenazas) en relación con las áreas técnicas, administrativas, organizacionales y de mercadeo para el cultivo de arándanos en agricultura protegida desarrollado por la agro empresa los Arrayanes (ver tabla 4).

Tabla 4. Análisis DOFA de los procesos de gestión de la innovación de la compañía los Arrayanes

Fortalezas (internas)	Debilidades (internas)
Personal en disposición para incorporar innovaciones en las diferentes áreas	Deficiencias en los planes y métodos para gestionar la innovación de manera transversal en la compañía
Los profesionales y trabajadores cuentan con la capacidad técnica y los conocimientos para el desarrollo de las actividades de agricultura 4.0	Debilidades en la sistematización y comunicación formal de las experiencias y aprendizajes
Habilidades adquiridas por el desarrollo de planes piloto	Debilidades en la cultura organizacional en relación a la gestión de la innovación
Conocimiento de las técnicas, herramientas, equipos y metodologías en agricultura protegida	

Oportunidades (externas)	Amenazas (externas)
Existencia de fuentes de financiación pública para el desarrollo e implementación de las innovaciones	Incertidumbre en las políticas relacionadas con el ordenamiento productivo y de impulso a la agricultura protegida
Incremento de la demanda por productos limpios y sostenibles obtenidos bajo modelos de agricultura 4.0	Riesgos climáticos y cambios ambientales que impacten las innovaciones o mejoras incorporadas
Disponibilidad de tecnologías, herramientas y conocimientos	Brechas de conectividad o de disponibilidad de TIC's
Existencia de redes sectoriales y territoriales para la innovación	
Existencia de entidades públicas y privadas con disposición a establecer alianzas para la innovación	

Fuente: Autores

El desarrollo de un proyecto de agricultura protegida para la producción de arándanos, como el desarrollado por Los Arrayanes, implica importantes esfuerzos con relación a la inversión y adecuación de recursos financieros, tecnológicos y de talento humano para establecer un proyecto que difiere de manera importante con las técnicas tradicionales de agricultura que desarrolla el país; así, en conjunto, el mismo establecimiento del proyecto es un proceso innovador. De esta manera, las capacidades internas de la compañía disponen de soluciones para los componentes técnicos, administrativos, organizacionales y de mercadeo, lo que, en primera instancia, por lo reciente de la conformación del proyecto, permitiría anticiparse a los cambios de mercado y el ajuste de tecnologías ante desafíos de orden técnico, ambiental o normativo.

Desde esta perspectiva, la cultura organizacional en Los Arrayanes favorece la innovación dado que la compañía posee principios y valores sustentados en la importancia de la innovación. Así, se debe promover en ejercicios que promuevan la socialización y la transferencia de conocimientos y capacidades desarrolladas a otros productores y actores externos, así como al fortalecimiento de la participación en la gobernanza del subsector de la agricultura protegida.

Líneas estratégicas del plan de fortalecimiento

A partir de las entrevistas y los datos obtenidos y agrupados en el DOFA, se establecieron diferentes acciones estratégicas que determinan el plan de fortalecimiento (ver tabla 5).

Tabla 5. Aplicación estratégica del análisis DOFA para la gestión de la innovación en la agro empresa Los Arrayanes

Estrategias FO (Fortalezas + Oportunidades)	Estrategias DO (Debilidades + Oportunidades)
A partir de los conocimientos y capacidades del equipo de colaboradores, formular y presentar proyectos para convocatorias públicas de investigación y desarrollo agrícola (MINCIENCIAS, gobernaciones, MINAGRICULTURA)	Diseñar mecanismos y metodologías claras para la documentación, sistematización y evaluación de las experiencias y desarrollos obtenidos de los procesos de innovación al interior del cultivo
Identificación, vinculación y participación en las redes territoriales de innovación y las redes sectoriales de agricultura protegida para acceder a procesos de transferencia y creación del conocimiento	Fortalecer la cultura organizacional para la innovación, ya sea para la participación en redes externas y procesos de gobernanza, así como para de apropiación, adopción y adaptación de innovaciones.
Estrategias FA (Fortalezas + Amenazas)	Estrategias DA (Debilidades + Amenazas)

<p>A partir del conocimiento técnico y la experiencia derivada de los proyectos piloto (propios y ajenos) desarrollar planes de contención ante eventos climáticos o de infraestructura de servicios</p>	<p>Realizar ejercicios de prospección en relación a escenarios desafiantes con respecto al cambio de políticas, cambios en las exigencias de producto o cambios climáticos</p>
<p>Búsqueda, adopción y adaptación de tecnologías compatibles con baja o nula conectividad diseñadas para agricultura 4.0</p>	<p>Adelantar capacitaciones con respecto a la flexibilidad y cultura organizacional con respecto a la gestión del cambio</p>

Fuente: Autores

9.2. Plan de fortalecimiento

A partir de los resultados obtenidos, son planteadas una serie de acciones a considerar para la apropiación tecnológica y gestión de la innovación. Cada acción se considera dentro del marco de los aspectos evaluados para la gestión de la innovación para la agro empresa Los Arrayanes.

Área técnica

Las acciones para el área técnica en relación con la gestión de la innovación se deben centrar en evaluar y desarrollar la escalabilidad de los procesos pilotos de aplicación de tecnologías, para el fortalecimiento de la transferencia de tecnología. Así mismo, para optimizar la cadena de valor de la innovación al interior de la compañía, es necesario construir una herramienta de identificación, seguimiento y medición de los indicadores de eficiencia, calidad y sostenibilidad de las tecnologías incorporadas.

En cuanto a los desafíos ambientales, técnicos y de mercado, es necesario hacer ejercicios de prospección ante eventos climáticos, cambios en la oferta y disponibilidad de insumos, así como las nuevas tendencias de comercio y exigencias del consumidor con relación a las frutas cosechadas.

Las capacidades existentes del personal técnico de la compañía presentan un potencial para la generación de nuevos modelos de negocio con relación a la prestación de servicios de transferencia técnica y extensionismo, la capacitación técnica, la formulación de proyectos para convocatorias e inversionistas, así como la participación en redes de expertos territoriales y sectoriales.

Área administrativa

Para la optimización de la cadena de valor al interior de la compañía Los Arrayanes, se plantea el mejoramiento de los procesos administrativos con miras al registro y evaluación de las experiencias obtenidas de los procesos piloto. De igual manera, establecer metodologías para la evaluación administrativa y financiera de cada actividad innovadora, atendiendo una necesidad general de la agricultura colombiana, donde existen limitadas experiencias en la valoración y evaluación de innovaciones.

Con respecto al fortalecimiento de la resiliencia y adaptabilidad de la compañía, es importante plantear escenarios prospectivos con respecto a contingencias económicas. Con respecto al relacionamiento externo y los nuevos modelos de negocio, es importante establecer estrategias y prácticas para acceder a créditos, alternativas de financiación y apoyo, así como a recursos públicos y privados para el desarrollo de proyectos innovadores.

Área organizacional

Con respecto al relacionamiento externo, es importante desarrollar las habilidades y capacidades de los equipos de trabajo (para cada una de las áreas) para participar y colaborar en redes territoriales de innovación, gremiales y sectoriales; estas actividades, asociadas con el relacionamiento externo y la adaptabilidad, permitirán a la empresa ofrecer asesorías y acompañamientos a nuevos modelos de negocio.

Los aspectos internos como la optimización cadena de valor y la gestión del conocimiento, resaltan la importancia de fortalecer la cultura organizacional con respecto a la familiarización de los procesos de identificación, validación, adopción y adaptación a la innovación, promoviendo la integración de los equipos de trabajo con respecto a las estrategias de innovación planteadas.

Área de mercadeo

Como una actividad importante para la gestión es importante establecer protocolos para vigilar el mercado y las tecnologías que puedan influir en la compañía; así se permite el desarrollo de mecanismos que sirvan para ampliar el portafolio de bienes y servicios, ya sea para lograr alianzas productivas, establecer nuevos cultivos y atraer inversionistas.

En relación con los componentes de relacionamiento externo y nuevos modelos de negocio, se deben establecer nuevos modelos para la adquisición de insumos, alianzas con redes de productores y comercialización a través de plataformas digitales

10. Conclusiones

La presente investigación demuestra que es posible transformar el modelo tradicional de producción de arándanos en Colombia mediante la implementación de un enfoque integral basado en Agricultura 4.0, el cual articula tecnologías digitales, análisis de datos, sostenibilidad productiva y una estrategia de apropiación tecnológica adaptada al contexto rural. A partir del diseño y validación de un modelo agroempresarial inteligente, se integraron componentes de infraestructura agronómica, análisis financiero, gobernanza participativa y gestión basada en datos, generando una visión más resiliente, rentable y sostenible del negocio agrícola.

Uno de los mayores aportes del estudio fue el desarrollo e implementación de un modelo de analítica avanzada, sustentado en la metodología CRISP-DM, que permitió estructurar y analizar una base de datos diaria del cultivo durante todo el año 2024. Este modelo combinó variables clave como temperatura, humedad, frecuencia de plagas, tipo de riego y rendimiento, permitiendo construir modelos predictivos mediante regresión lineal, árboles de decisión y clasificación por grupo agronómico. Los resultados obtenidos evidencian que variables como la temperatura media diaria, el volumen de riego y la incidencia de plagas tienen un impacto directo sobre la productividad del cultivo. Estas correlaciones no solo validan teóricamente la importancia del monitoreo ambiental, sino que proporcionan una herramienta práctica para el ajuste de decisiones en campo.

El uso de visualizaciones interactivas en Power BI facilitó la creación de un tablero de control dinámico que permite identificar patrones, generar alertas y comparar el comportamiento productivo en tiempo real. Esta visualización sirvió como puente entre la complejidad técnica del análisis de datos y la toma de decisiones por parte del agricultor, mostrando que la democratización del acceso a

herramientas de inteligencia de negocio es posible en el sector agropecuario cuando se adopta un enfoque pedagógico y participativo.

La simulación de condiciones adversas, como olas de calor, presión atmosférica baja y brotes de plagas, permitió evaluar el comportamiento del sistema bajo escenarios críticos, concluyendo que la implementación de sistemas de monitoreo y respuesta temprana es fundamental para mitigar pérdidas. Asimismo, la clasificación de los días del año por niveles de desempeño agronómico (de “muy bajo” a “muy alto”) permitió establecer umbrales de rendimiento e intervenir con precisión, con base en información objetiva.

Otro componente esencial fue la construcción de una estrategia de apropiación tecnológica que partió de la realidad de las agro empresas rurales: bajos niveles de digitalización, limitada conectividad y escasa formación técnica. Se diseñó, por tanto, un plan formativo adaptado al perfil de los productores locales, incluyendo operarios, mujeres rurales y jóvenes, con el fin de garantizar una adopción efectiva de las tecnologías y fomentar un modelo organizativo centrado en la innovación colaborativa y la gestión por datos.

Finalmente, el modelo propuesto no solo es replicable en otras regiones del país con cultivos de alta demanda internacional como los arándanos, sino que también representa un camino viable hacia la transformación estructural del agro colombiano. La integración de infraestructura adecuada, talento humano capacitado, tecnologías digitales accesibles y sistemas analíticos para la toma de decisiones permite transitar desde una lógica reactiva a una gestión predictiva e inteligente. Esto posiciona a la agro empresa Los Arrayanes como pionera en innovación tecnológica rural, capaz de competir en mercados globales, mejorar las condiciones de vida de sus trabajadores y aportar a los objetivos de desarrollo sostenible del país.

A partir de los análisis realizados con relación a la gestión de la innovación para el cultivo de arándanos en agricultura 4.0 de la empresa Los Arrayanes, se concluye que la gestión de la innovación es un pilar fundamental donde se puede estructurar una serie de ventajas competitivas. Dado que la compañía establece un proyecto disruptivo e innovador, en comparación a la producción de frutas en Colombia, con relación a las tecnologías, conocimientos, métodos y prácticas incorporadas, se pueden establecer mecanismos para la articulación de conocimientos, tanto al interior como al exterior de la compañía.

La gestión de la innovación se debe insertar en modelos de gobernanza, así como de redes territoriales y sectoriales, aprovechando de manera estratégica el crecimiento potencial del cultivo, las ofertas tecnológicas y la disponibilidad de recursos para la investigación y desarrollo. Así mismo, esta participación permite a la compañía generar estrategias de adaptación y confiabilidad ante los cambios tecnológicos, comerciales, sociales y ambientales que puedan ocurrir.

Con respecto a los componentes internos, la gestión de la innovación se debe centrar en el fortalecimiento de la cultura organizacional con respecto a los procesos de evaluación, adopción, adaptación e implementación de innovaciones. En el caso de Los Arrayanes, su reciente proceso de creación permite la definición y fortalecimiento de los mecanismos, herramientas y metodologías para el manejo del conocimiento y de procesos innovadores.

Este ejercicio permite resaltar que, para la agro empresa Los Arrayanes u otras empresas, la gestión de la innovación no es sólo el manejo apropiado de las tecnologías o los procesos, sino que incluye el desarrollo de una cultura organizacional estructurada y dinámica para aprovechar las oportunidades existentes, manteniendo la mira en la competitividad y la sostenibilidad económica, ambiental y social.

Referencias Bibliográficas

- Aguilar, G. N., Muñoz, R. M., Santoyo, C. V. H., & Aguilar, Á. J. (2013). Influencia del perfil de los productores en la adopción de innovaciones en tres cultivos tropicales. *Teuken Bidikay*, 4, 207–228.
<https://revistas.elpoli.edu.co/index.php/teu/article/view/1081/899>
- Aguilar-Ávila, J., Altamirano Cárdenas, J. R., & Rendón Medel, R. (2010). Del extensionismo agrícola a las redes de innovación rural. En *Del Extensionismo agrícola a Las Redes De Innovación Rural*.
<https://ciestaam.edu.mx/libro/del-extensionismo-agricola-a-la-redes-innovacion-rural/>
- Aguilar-Ávila, J., Rendón-Medel, R., Muñoz-Rodríguez, M., Cárdenas, J. R. A., & Santoyo-Cortés, V. H. (2005). Agencias para la gestión de la innovación en territorios rurales (pp. 79–98).
https://www.researchgate.net/publication/274064714_Agencias_para_la_gestion_de_la_innovacion_en_territorios_rurales
- Aragón, J. P., Albuja, M., Burbano, E., Erazo, A., & Aragón, M. (2019). Modelo de gestión empresarial de los agricultores de la Zona de Intag , Cantón Cotacachi. *Journal of Agriculture and Research*, 5(2), 8–21. <https://www.ijrdo.org/index.php/ar/article/view/2661>
- Arboleda Jaramillo, C. A., Ramírez Olier, J. P., & Osorno Restrepo, M. (2020). Innovación agropecuaria para el desarrollo regional. *Administración y Desarrollo*, 50(2), 46–58.
<https://doi.org/10.22431/25005227.vol50n2.3>

Avermaete, T., Viaene, J., Morgan, E. J., Pitts, E., Crawford, N., & Mahon, D. (2004). Determinants of product and process innovation in small food manufacturing firms. *Trends in Food Science and Technology*, 15(10), 474–483. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2004.04.005>

Bell, M., & Pavitt, K. (1995). The development of technological capabilities. In I. Ul Haque (Ed.), *Trade, technology and international competitiveness* (pp. 69–101). The World Bank.

Bermeo-Andrade, H., Rugeles, L., Guaitero, B., Toro-Cepeda, W., Reyes, J., & Torres, C. (2022). Innovación agrícola con enfoque territorial: una aproximación desde el Tolima. <https://doi.org/https://doi.org/10.35707/9789587544022>

Bianco, M. (2020). La innovación en los estudios sociales de procesos agropecuarios: evolución y énfasis en Latinoamérica. *Agrociencia*, 24(NE1). <https://doi.org/10.31285/agro.24.346>

Blanco-Ariza, A., Vásquez-García, A., García-Jiménez, R. & Melamed-Varela, E. (2020). Estructura organizacional como determinante competitivo en pequeñas y medianas empresas del sector alimentos. En: *Revistas de Ciencias Sociales*. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=28063431012>

CEPAL - Comisión Económica para América Latina y el Caribe (2016). Encadenamientos productivos y circuitos cortos: innovaciones en esquemas de producción y comercialización para la agricultura familiar. Santiago de Chile. <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/c1d8970f-5460-4c99-a207-c0af3497b1d5/content>

- Chora, D., Álvarez, S., & Espinoza, M. (2018). Raspberry Pi y Arduino: Semilleros en *innovación tecnológica para la agricultura de precisión*. *Revista Informática y Sistemas*, 2(1), 74–82.
- Crispin, B. S. L., Ravines, V. E., Santisteban, A. E., & Mendoza, R. P. (2023). *Desarrollo de un algoritmo de visión artificial basado en redes neuronales para la identificación del oídio en la planta de arándano*. *INGnosis*, 9(2), 1–12. <https://doi.org/10.18050/ingnosis.v9i2.3176>
- Cuasquer, M. E., Loyola, O., Carrillo, E., Pérez, F. E., Duque, J., & Herrera, C. A. (2023). *Plataformas tecnológicas que ayudan en el proceso de toma de decisiones usando data mining en agricultura*. *4.0. Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(5).
https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i5.8590
- DANE - Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2014). Tercer Censo Nacional Agropecuario. Hay Campo para todos. Tomo 1 y 2.
<https://www.dane.gov.co/files/images/foros/foro-de-entrega-de-resultados-y-cierre-3-censo-nacional-agropecuario/CNATomo2-Resultados.pdf>
- Doloreux, D., Edquist, C., & Hommen, L. (2004). The institutional and functional underpinnings of the regional innovation system of East-Gothia in Sweden. *Canadian Journal of Regional Science*, 27(4), 0–41.
https://www.researchgate.net/publication/266042492_Nordic_Regional_Innovation_Systems_Analysis_of_the_Region_of_East_Gothia_Sweden

- Elite Blue. (2025). Plan de negocios e inversión para un cultivo de arándano bajo invernadero en Colombia. Documento técnico de información para inversionistas. En: <https://eliteblue.global/>
- Flórez-Martínez, D & Uribe-Galvis, C. (2020). Tecnologías de la cuarta revolución industrial para el sector agropecuario: un análisis de tendencias en la agricultura 4.0. En: *18 th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: "Engineering, Integration, and Alliances for a Sustainable Development"* Virtual Edition. https://www.laccei.org/LACCEI2020-VirtualEdition/full_papers/FP11.pdf
- García, M., Arteaga, M., Intriago, M., Torrens, M. (2023). Gestión de la innovación en las micro, pequeñas y medianas empresas del cantón Portoviejo, provincia de Manabí. En: *REVISTA RELAYN, Micro y pequeña empresa en Latinoamérica*. Vol 7, Num. 3. <https://iquatroeditores.org/revista/index.php/relayn/article/view/1106/622>
- García-Sánchez, E., Vargas-Canales, J., Palacios-Rangel, M. & Aguilar-Ávila, J. (2018). Sistema de innovación como marco analítico de la agricultura protegida en la región centro de México. En: *Cuadernos de Desarrollo Rural*. 15 (81). <https://revistas.javeriana.edu.co/index.php/desarrolloRural/article/view/21671>
- Garrido, M., Martínez, J., Medel, R & Granados, R. (2016). Los sistemas de innovación y su impacto en el desarrollo territorial. En: *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. Num 15. <https://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/index.php/agricolas/article/view/432/345>

Gómez, L., & Ramírez, D. (2021). *Potencial del cultivo de arándano en Colombia: análisis agroclimático y de mercado*. Revista Colombiana de Agronomía, 37(2), 112–128.

González-Pérez, MA [@alekayak]. (s/f). MasterClass Maestría en Sostenibilidad de EAFIT - Agenda 2030. YouTube. Recuperado el 10 de mayo de 2025, de <https://www.youtube.com/watch?v=KKOA-8H0Zq8>

Gutiérrez, L., Zartha J., Orozco G., Suárez, M., Agudelo D. & Quintero, J. (2023). Agricultural innovation system: analysis from the subsystems of R&D, training, extension, and sustainability. En: *Frontiers in Sustainable Food Systems*. doi: 10.3389/fsufs.2023.1176366.
<https://www.frontiersin.org/journals/sustainable-food-systems/articles/10.3389/fsufs.2023.1176366/full>

Hartwich, F., Monge Pérez, M., Ampuero Ramos, L., & Soto, J. L. (2007). Knowledge management for agricultural innovation: lessons from networking efforts in the Bolivian Agricultural Technology System. *Knowledge Management for Development Journal*, 3(2), 21–37.
https://www.academia.edu/19181535/Knowledge_management_for_agricultural_innovation_lessons_from_networking_efforts_in_the_Bolivian_Agricultural_Technology_System

ICA - Instituto Colombiano Agropecuario. (2025). *Lineamientos técnicos para el cultivo de arándanos en Colombia*. Bogotá: ICA.

IICA – Instituto Interamericano para la Cooperación en la Agricultura. (2014). La innovación en la agricultura: un proceso clave para el desarrollo sostenible. Documento de posicionamiento institucional. <https://hdl.handle.net/11324/2607>

International Blueberry Organization (IBO). (2020). *Global State of the Blueberry Industry Report*. <https://www.internationalblueberry.org>

Jensen, M. B., Johnson, B., Lorenz, E., & Lundvall, B.-Å. (2007). Forms of knowledge and modes of innovation. En: *Research Policy*, 36(5), 680–693. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2007.01.006>

Kalt, W., Blumberg, J. B., McDonald, J. E., Vinqvist-Tymchuk, M. R., Fillmore, S. A. E., Graf, B. A., ... & Milbury, P. E. (2007). Identification of anthocyanins in the liver, eye, and brain of blueberry-fed pigs. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(3), 706–712.

Lachman, J., Pereyra, M., & Tacsir, E. (2022). *Agtech: Startups y nuevas tecnologías digitales para el sector agropecuario. Casos de estudio de Uruguay*. *Cuyonomics*, 6(10), 13–34.

<https://doi.org/10.48162/rev.42.045>

Lucendo, A. L. (2007). Cadenas productivas e innovación en el marco territorial andaluz. Consejo Económico y Social de Andalucía. Editor: Consejo Económico y Social de Andalucía. ISBN: 978-84-690-3601-3.

<https://www.researchgate.net/deref/http%3A%2F%2Fwww.juntadeandalucia.es%2Fconsejocono>

micosocial%2Fpublicaciones%2Fdetalle%3Fid%3D1397? tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uliwicGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uliwicG9zaXRpb24iOiJwYWdlQ29udGVudCJ9fQ

Lundvall, B.-Å. (2011). From the Economics of Knowledge to the Learning Economy Why focus on economics of knowledge ? En: *Globelics Academy*.

<https://repository.gatech.edu/server/api/core/bitstreams/85a8530d-1e02-4615-9fbf-8f82fae5ac7d/content>

Minagricultura. (2017). Plan estratégico de tecnologías de información y comunicación del Minagricultura. Oficina de tecnologías de la información y las comunicaciones, Estrategia de gobierno en línea.

https://www.minagricultura.gov.co/Documents/Plan_Estrategico_Tecnologias_Informacion-PETI_Institucional.pdf

Monnet, J., & Cruz, N. (2016). El territorio reticular. Enfoques y métodos en estudios territoriales. En: *RETEC*, 137–167. [https://shs.hal.science/file/index/docid/1057267/filename/Monnet2013-](https://shs.hal.science/file/index/docid/1057267/filename/Monnet2013-Territorio_reticular.pdf)

[Territorio_reticular.pdf](https://shs.hal.science/file/index/docid/1057267/filename/Monnet2013-Territorio_reticular.pdf)

OECD/Eurostat. (2018). Oslo Manual 2018: Guidelines for Collecting, Reporting and Using Data on Innovation, 4th Edition, The Measurement of Scientific, Technological and Innovation Activities. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/9789264304604>

OECD. (2015). OECD Review of Agricultural Policies: Colombia 2015. OECD Publishing. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1787/9789264227644-en> OECD 2015. (n.d.). OCDE. (2015). Revisión de la OCDE de las Políticas Agrícolas: Colombia 2015 - Evaluación y Recomendaciones de Política

Ojeda-Beltrán, A. (2022). Plataformas tecnológicas en la Agricultura 4.0: Una mirada al desarrollo en Colombia. *Journal of Computational and Electronic Science: Theory and Applications*, 3(1), 9–18. <https://doi.org/10.17981/cesta.03.01.2022.02>

Ortíz-Guerrero, C., Bucheli, M & Moreno, M. (2019). Evolución de las políticas para la innovación agropecuaria en Colombia. Capítulo V. En: *Sistemas y políticas de innovación para el sector agropecuario en América Latina*. Compilador Frédéric Goulet, Jean-François Le Coq, Octavio Sotomayor. - 1. ed. - Rio de Janeiro: E-papers. <https://agritrop.cirad.fr/593825/1/PoliticasySistemasdeInnovacionenAL-Goulet.pdf>

Pérez, A., Sánchez, A. C., & Jiménez, J. (2020). *Plataforma de gestión IoT mediante técnicas de industria 4.0 para agricultura de precisión*. *Research in Computing Science*, 149(11), 303–315.

Prior, R. L., Cao, G., Martin, A., Sofic, E., McEwen, J., O'Brien, C., ... & Mainland, C. M. (2001). Antioxidant capacity as influenced by total phenolic and anthocyanin content, maturity, and variety of *Vaccinium* species. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(11), 5315–5321.

ProColombia. (2021). *Oportunidades para la exportación de frutas exóticas colombianas: caso arándano*.

Bogotá: Ministerio de Comercio, Industria y Turismo.

Quintero-Ramirez, S., Ruiz-Castañeda, W. L., Giraldo-Ramírez, D. P., Vélez-Acosta, L. M., Marín-Sánchez,

B. M., Cubillos-Jiménez, S., & Cárdenas-Garcés, A. Y. (2019). Modelo de transferencia de

tecnología para las cadenas productivas agropecuarias: Análisis comparativo de las cadenas del

café y el aguacate en Antioquia.

<https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/4899?locale-attribute=en>

Romero, R., & Cruz, J. E. (2025). *Habilidades directivas en la agricultura 5.0*. *Ecociencia*, 12(1), 21–24.

<https://doi.org/10.21855/ecociencia.121.994>

Rosales, A., & Arechavala, R. (2023). *Capacidades tecnológicas y competitividad en las empresas*

exportadoras de berries de Jalisco. XIII Congreso Red Internacional de Investigadores en

Competitividad, 496–500.

Rodríguez, J., Martínez, H., & Herrera, S. (2020). Evaluación preliminar del comportamiento agronómico

del arándano en condiciones de altiplano cundiboyacense. *Acta Agronómica*, 69(1), 37–45.

Rugeles, L., Guaitero, B., Saavedra, D., Betancur, I., Castillo, O., Arosa, C., Barrera, L. M., & Vargas, M.

(2013). *Medición de la innovación agropecuaria en Colombia* (S. E. U. de Medellín (ed.); Primera).

https://www.utadeo.edu.co/files/node/publication/field_attached_file/pdf-

[medicion de la innovacion agropecuaria - pag-.pdf](#)

Seeram, N. P. (2008). Berry fruits: compositional elements, biochemical activities, and the impact of their intake on human health, performance, and disease. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(3), 627–629.

Anexos

Anexo 1. Procesamiento y análisis estadístico de datos para la simulación en un cultivo de arándanos de la agro empresa Los Arrayanes. Ver archivo Informe_Arandanos_2024.pdf

Anexo 2. Visualización analítica de datos para un cultivo de arándanos de la compañía Los Arrayanes, que contiene las variables del modelo propuesto. Ver archivo:

PowerBI_ModeloArandanos_2024.xlsx

Anexo 3. Visualización de datos Dashboard, Hoja 1: KPI's generales, análisis climáticos y predicciones. Hoja 2: Diagnóstico por lote, plagas, eficiencia de riego y correlaciones. Ver Archivo:

Dashboard_Arandanos_Vision_General.pbix