



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ORIZABA  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN OPCIÓN  
OPCIÓN I.- TESIS  
TRABAJO PROFESIONAL

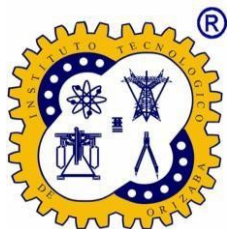
**“SISTEMA DE GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO PARA EL CULTIVO DE CAÑA  
DE AZÚCAR CP-722086 BAJO CONDICIONES DE RIEGO TECNIFICADO”**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:  
**MAESTRO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL**

PRESENTA:  
**ING. IND. ARANO RAMÍREZ IRMA ARANZA**

DIRECTOR DE TESIS:  
**DRA. MARÍA ELOÍSA DE LA ASUNCIÓN GURRUCHAGA RODRÍGUEZ**

CODIRECTOR DE TESIS:  
**MC. MANUEL PANZI UTRERA**



ORIZABA, VERACRUZ, MÉXICO

MAYO 2026



**Instituto Tecnológico de Orizaba**  
División de Estudios de Posgrado e Investigación

Orizaba, Veracruz, **23/abril/2026**  
Dependencia: **División de Estudios de  
Posgrado e Investigación**  
Asunto: **Autorización de Impresión**  
OPCION: I

**C. ARANO RAMIREZ IRMA ARANZA**  
Candidato(a) a Grado de Maestro(a) en:  
**INGENIERÍA INDUSTRIAL**  
**PRESENTE**

De acuerdo con el reglamento de Titulación vigente de los Centros e Institutos Tecnológicos Federales del Tecnológico Nacional de México, de la Secretaría de Educación Pública, y habiendo cumplido con todas las indicaciones que la Comisión Revisora le hizo respecto a su Trabajo Profesional titulado:

**"SISTEMA DE GESTION DEL CONOCIMIENTO PARA EL CULTIVO DE CAÑA DE AZUCAR CP-722086 BAJO  
CONDICIONES DE RIEGO TECNIFICADO"**

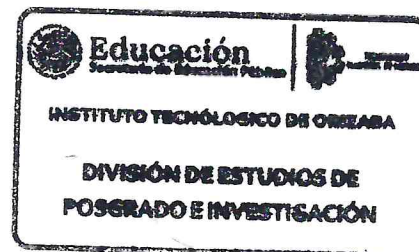
Comunico a usted que este Departamento concede su autorización para que proceda a la impresión del mismo.

**ATENTAMENTE**

Excelencia en Educación Tecnológica®  
CIENCIA - TÉCNICA - CULTURA®



**DR. OSCAR BAEZ SENTIES**  
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE  
DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN



OBS/IARH



OG-13-F06



2026  
**Margarita  
Maza**





Orizaba Veracruz, 17/diciembre/2025

**Asunto:** Revisión de trabajo escrito

**C. OFELIA LANDETA ESCAMILLA**  
**JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS**  
**DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**  
**P R E S E N T E.-**

Los que suscriben, miembros del jurado, han realizado la revisión de la Tesis del (la) C.:

**ARANO RAMÍREZ IRMA ARANZA**

La cual lleva el título de:

**SISTEMA DE GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO PARA EL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR**  
**CP-722086 BAJO CONDICIONES DE RIEGO TECNIFICADO**

y concluyen que se acepta.

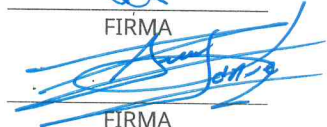
**ATENTAMENTE**

**Excelencia en Educación Tecnológica®**  
**CIENCIA - TÉCNICA - CULTURA®**

**PRESIDENTE:** DRA. MA. ELOISA DE LA ASUNCIÓN GURRUCHAGA  
RODRÍGUEZ

  
FIRMA

**SECRETARIO:** M.C. MANUEL PANZI UTRERA

  
FIRMA

**VOCAL:** DR. ERICK ARTURO BETANZO TORRES

  
FIRMA

**VOCAL SUP.:** DR. OSCAR BAEZ SENTIES

  
FIRMA

TA-09-F18



**2025**  
Año de  
La Mujer  
Indígena



## **DEDICATORIA**

A mis padres, por ser mi pilar, mi guía y el motor que me impulsa a seguir adelante incluso en los momentos más difíciles. Gracias por su amor incondicional, por creer en mí y por cada sacrificio que hicieron para que hoy pudiera alcanzar esta meta. Este logro también es suyo, porque sin ustedes nada de esto habría sido posible.

A mis abuelos, Agustín y Alfonso, quienes, aunque ya no están físicamente, viven en mi corazón y en cada paso que doy. Su ejemplo, sus enseñanzas y su amor siguen siendo una luz que guía mi camino. Me enseñaron el valor del esfuerzo, la humildad y la perseverancia, y hoy honro su memoria con este logro que también les pertenece.

A la Dra. Gurruchaga, por acompañarme desde el inicio de mi formación universitaria, por su paciencia, su apoyo constante y por creer en mí incluso cuando yo dudaba. Gracias por compartir sus conocimientos, por su dedicación y por ser una guía fundamental en este camino académico y personal.

A todos ustedes, gracias por formar parte de este sueño hecho realidad, por estar presentes en cada etapa y por darme la fuerza para no rendirme. Este trabajo es el reflejo de su amor, apoyo y confianza en mí.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco profundamente a mis padres, por su amor incondicional, su apoyo constante y por ser mi mayor inspiración a lo largo de este camino. Gracias por cada consejo, por su paciencia y por nunca dejar de creer en mí; este logro es también de ustedes.

A la Dra. Gurruchaga, por su invaluable acompañamiento desde el inicio de mi formación, por su dedicación, su guía y por impulsarme a dar siempre lo mejor de mí. Su apoyo ha sido fundamental para la realización de este trabajo.

Al Maestro Panzi, por sus conocimientos compartidos, por su disposición para orientar y por sus valiosas aportaciones que enriquecieron este proyecto.

Al Dr. Erick, por su apoyo, enseñanza y por brindarme herramientas importantes para el desarrollo de esta investigación.

A todas las personas que, de una u otra manera, contribuyeron a la realización de este trabajo, gracias por su apoyo y por formar parte de este proceso tan significativo en mi vida.

## **RESUMEN**

La presente investigación se desarrolló con el objetivo de diseñar e implementar un sistema de gestión del conocimiento orientado al cultivo de caña de azúcar, específicamente en la variedad CP-722086, bajo condiciones de riego tecnificado, como una estrategia para fortalecer la administración agrícola, optimizar los procesos productivos y mejorar la toma de decisiones en entornos donde la supervisión presencial es limitada. La problemática principal abordada se relaciona con la distancia física entre el administrador del cultivo, los trabajadores de campo y la zona de producción, lo cual genera deficiencias en la comunicación, pérdida de información empírica, ejecución inadecuada de tareas y falta de sistematización del conocimiento agrícola.

El estudio se sustentó en un enfoque aplicado y tecnológico, partiendo del análisis de las actividades agrícolas realizadas durante las distintas etapas del cultivo de la caña de azúcar, tales como preparación del terreno, siembra, riego, fertilización, control de plagas y cosecha. A partir de este diagnóstico se identificaron los puntos críticos de pérdida de información y descoordinación operativa, lo que permitió diseñar un sistema digital capaz de centralizar, organizar y distribuir el conocimiento generado en campo.

El sistema desarrollado incorpora funcionalidades como el registro detallado de actividades diarias, asignación de órdenes de trabajo de manera remota, captura de evidencia fotográfica y textual en tiempo real, así como el almacenamiento estructurado de datos productivos relevantes. Asimismo, se establecieron flujos de trabajo estandarizados que guían a los trabajadores en la ejecución de tareas, permitiendo transformar el conocimiento tácito adquirido por experiencia en conocimiento explícito accesible para la administración y futuros procesos productivos.

Durante la fase de implementación del prototipo se evaluó su funcionamiento en condiciones reales de operación agrícola, observándose mejoras significativas en la organización de la información, en la comunicación entre el administrador y el personal de campo, y en el control de las actividades relacionadas con el riego tecnificado. Los resultados evidenciaron una mayor trazabilidad de los procesos, reducción de errores operativos, incremento en la eficiencia del uso de recursos y una mejor conservación del conocimiento agronómico generado a lo largo del ciclo productivo.

Además, el sistema permitió establecer un historial de actividades y decisiones que facilita la retroalimentación continua, el análisis de resultados y la mejora progresiva de las prácticas agrícolas. Esta digitalización del conocimiento contribuye no solo al control operativo inmediato, sino también a la construcción de una base de datos estratégica que puede ser utilizada para futuras planeaciones, investigaciones o expansión del sistema a otros cultivos. Se concluye que la gestión del conocimiento aplicada al sector agrícola, mediante herramientas tecnológicas adaptadas al contexto rural, representa una solución efectiva para enfrentar los retos de la administración remota, la falta de estandarización y la pérdida de experiencia acumulada. La implementación del sistema propuesto demuestra que es posible mejorar la productividad, fortalecer la coordinación del trabajo y modernizar los procesos agrícolas sin requerir una presencia constante del administrador en el campo. Finalmente, la investigación confirma que la integración de tecnologías de información en el cultivo de caña de azúcar bajo riego tecnificado favorece una agricultura más organizada, eficiente y sustentable, aportando un modelo replicable para otras unidades productivas que enfrentan problemáticas similares de comunicación y gestión operativa.

## **ABSTRACT**

This research aimed to design and implement a knowledge management system applied to sugarcane cultivation, specifically the CP-722086 variety, under technified irrigation conditions, as a strategy to strengthen agricultural management, optimize productive processes, and improve decision-making in environments with limited on-site supervision. The main problem addressed was the physical distance between the crop administrator, field workers, and the production area, which leads to communication deficiencies, loss of empirical information, inadequate task execution, and lack of systematization of agricultural knowledge.

The study followed an applied and technological approach, beginning with the analysis of agricultural activities carried out throughout the different stages of sugarcane cultivation, including land preparation, planting, irrigation, fertilization, pest control, and harvesting. Based on this diagnosis, critical points of information loss and operational disorganization were identified, allowing the development of a digital system capable of centralizing, organizing, and distributing field-generated knowledge.

The developed system integrates functionalities such as detailed daily activity records, remote task assignment, real-time photographic and textual evidence capture, and structured storage of relevant production data. In addition, standardized workflows were implemented to guide workers in task execution, transforming tacit experiential knowledge into explicit information accessible for management and future production processes.

During the prototype implementation phase, its performance was evaluated under real agricultural operating conditions, showing significant improvements in information organization, communication between administrators and field personnel, and control of technified irrigation activities. The results demonstrated greater process traceability, reduced operational errors, increased resource-use efficiency, and improved preservation of agronomic knowledge generated throughout the production cycle.

Furthermore, the system enabled the creation of an activity and decision history that supports continuous feedback, performance analysis, and progressive improvement of agricultural practices. This knowledge digitalization contributes not only to immediate operational control but also to the development of a strategic database useful for future planning, research, and system expansion to other crops.

It is concluded that knowledge management applied to the agricultural sector through technological tools adapted to rural contexts represents an effective solution to address the challenges of remote management, lack of standardization, and loss of accumulated experience. The implementation of the proposed system demonstrates the feasibility of improving productivity, strengthening work coordination, and modernizing agricultural processes without requiring constant on-site supervision.

Finally, this research confirms that the integration of information technologies into sugarcane cultivation under technified irrigation promotes more organized, efficient, and sustainable agriculture, providing a replicable model for other productive units facing similar communication and operational management challenges.

## Tabla de contenido

|                                                                                                |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>DEDICATORIA .....</b>                                                                       | <b>1</b>  |
| <b>AGRADECIMIENTOS .....</b>                                                                   | <b>2</b>  |
| <b>RESUMEN .....</b>                                                                           | <b>3</b>  |
| <b>ABSTRACT .....</b>                                                                          | <b>5</b>  |
| <b>Índice de Ilustraciones .....</b>                                                           | <b>9</b>  |
| <b>Índice de Tablas .....</b>                                                                  | <b>9</b>  |
| <b>Introducción .....</b>                                                                      | <b>10</b> |
| <b>Capítulo 1.....</b>                                                                         | <b>12</b> |
| <b>Generalidades .....</b>                                                                     | <b>12</b> |
| <b>1.1    Objetivos.....</b>                                                                   | <b>15</b> |
| 1.1.1    Objetivo General .....                                                                | 15        |
| 1.1.2    Objetivos Específicos .....                                                           | 15        |
| <b>1.2    Alcances y limitaciones .....</b>                                                    | <b>16</b> |
| 1.2.1    Alcances.....                                                                         | 16        |
| 1.2.2    Limitaciones .....                                                                    | 16        |
| <b>1.3    Planteamiento del problema .....</b>                                                 | <b>16</b> |
| <b>1.4    Justificación .....</b>                                                              | <b>17</b> |
| <b>Capítulo 2. Marco Teórico .....</b>                                                         | <b>19</b> |
| <b>1.5    Conceptos y modelos de gestión del conocimiento .....</b>                            | <b>19</b> |
| 1.5.1    Modelo de Nonaka y Takeuchi: Espiral del Conocimiento .....                           | 19        |
| 1.5.2    Modelo de Wiig.....                                                                   | 20        |
| 1.5.3    Modelo de Boisot: Modelo de Espacio de Información .....                              | 20        |
| 1.5.4    Modelo de Stankosky: Cuatro Pilares de la Gestión del Conocimiento .....              | 21        |
| 1.5.5    Modelo de Probst, Raub y Romhardt: Ciclo de Gestión del Conocimiento .....            | 21        |
| 1.5.6    Modelo SECI Extendido y Ba de Nonaka .....                                            | 22        |
| 1.5.7    Modelo de Madurez de la Gestión del Conocimiento .....                                | 23        |
| <b>1.6    Gestión del conocimiento en la agricultura .....</b>                                 | <b>23</b> |
| 1.6.1    Herramientas y tecnologías para la gestión del conocimiento .....                     | 24        |
| 1.6.2    Herramientas de Comunicación y Colaboración .....                                     | 27        |
| <b>1.7    La caña de azúcar en México.....</b>                                                 | <b>28</b> |
| 1.7.1    Antecedentes Históricos.....                                                          | 29        |
| 1.7.2    Modernización y tecnificación .....                                                   | 30        |
| 1.7.3    Características y variedades de la caña de azúcar .....                               | 32        |
| <b>Capítulo 3 Desarrollo.....</b>                                                              | <b>51</b> |
| <b>1.8    Lugar de realización .....</b>                                                       | <b>51</b> |
| <b>1.9    Diagnóstico específico del proceso productivo del cultivo de caña de azúcar.....</b> | <b>52</b> |
| <b>1.10    Método de Nonaka y Takeuchi para la gestión del conocimiento .....</b>              | <b>53</b> |
| <b>1.11    Aplicación del modelo de Nonaka y Takeuchi en el sistema propuesto.....</b>         | <b>56</b> |

|                              |                                                                                              |            |
|------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 1.11.1                       | Etapa 1 Sociabilización.....                                                                 | 56         |
| 1.11.2                       | Etapa 2 Externalización .....                                                                | 59         |
| 1.11.3                       | Etapa 3 Combinación.....                                                                     | 61         |
| 1.11.4                       | Etapa 4 Internalización .....                                                                | 71         |
| 1.11.5                       | Evaluación para la mejora continua.....                                                      | 74         |
| <b>Capítulo 4.....</b>       |                                                                                              | <b>77</b>  |
| <b>Resultados.....</b>       |                                                                                              | <b>77</b>  |
| <b>1.12</b>                  | <b>Socialización (identificación del conocimiento desde la experiencia).....</b>             | <b>78</b>  |
| <b>1.13</b>                  | <b>Externalización (estructuración del conocimiento).....</b>                                | <b>80</b>  |
| 1.13.1                       | Resultados de la estructuración del SGC aplicado al cultivo CP-722086 .....                  | 80         |
| 1.13.2                       | Macroproceso del sistema (visión integral).....                                              | 82         |
| 1.13.3                       | Mapa mental del problema (clasificación de impactos) .....                                   | 83         |
| 1.13.4                       | Mapa mental de objetivos del SGC (orientación del sistema) .....                             | 85         |
| 1.13.5                       | Resultados del diseño por fases del desarrollo (planeación del proyecto).....                | 87         |
| 1.13.6                       | Fases del desarrollo (visión conceptual).....                                                | 89         |
| 1.13.7                       | Etapas del desarrollo (desglose por entregables) .....                                       | 90         |
| <b>1.14</b>                  | <b>Combinación (integración y sistematización del conocimiento).....</b>                     | <b>95</b>  |
| 1.14.1                       | Resultados de estandarización operativa mediante diagramas de flujo (módulo ZOCA) 95         |            |
| 1.14.2                       | Resultados por cada flujo ZOCA (entregables completos).....                                  | 97         |
| 1.14.3                       | Síntesis de los resultados del módulo ZOCA .....                                             | 102        |
| 1.14.4                       | Desarrollo tecnológico del sistema .....                                                     | 103        |
| 1.14.5                       | Resultados del desarrollo e implementación de la app (App Inventor).....                     | 103        |
| 1.14.6                       | Arquitectura funcional de la aplicación móvil .....                                          | 103        |
| 1.14.7                       | Integración de estandarización y control dentro de la aplicación .....                       | 104        |
| 1.14.8                       | Fortalecimiento de la supervisión remota y toma de decisiones .....                          | 104        |
| 1.14.9                       | Impacto del uso de App Inventor en el entorno agrícola .....                                 | 105        |
| 1.14.10                      | Síntesis de los resultados tecnológicos del SGC .....                                        | 105        |
| 1.14.11                      | Resultados de interfaz (evidencia del prototipo).....                                        | 106        |
| 1.14.12                      | Pantalla de autenticación y selección de zona de cultivo .....                               | 106        |
| 1.14.13                      | Menú principal por zona seleccionada: acceso estructurado a los procesos estandarizados..... | 107        |
| 1.14.14                      | Pantallas de ejecución operativa: decisiones guiadas y evidencia digital .....               | 108        |
| <b>1.15</b>                  | <b>Internalización (aplicación práctica del conocimiento) .....</b>                          | <b>109</b> |
| 1.15.1                       | Valor técnico del prototipo como resultado de investigación aplicada.....                    | 109        |
| 1.15.2                       | Resultado central: comunicación remota y órdenes sin presencia física .....                  | 110        |
| 1.15.3                       | Estandarización del trabajo como mecanismo de dirección remota.....                          | 110        |
| 1.15.4                       | Registro digital y evidencia como base del control operativo .....                           | 111        |
| 1.15.5                       | Distribución del conocimiento y retroalimentación continua .....                             | 111        |
| 1.15.6                       | Impacto operativo del resultado central .....                                                | 112        |
| 1.15.7                       | Valor científico y aplicado del resultado.....                                               | 113        |
| <b>Conclusiones .....</b>    |                                                                                              | <b>114</b> |
| <b>Recomendaciones .....</b> |                                                                                              | <b>117</b> |
| <b>Bibliografía .....</b>    |                                                                                              | <b>119</b> |

## Índice de Ilustraciones

|                                                                                                                                                                         |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Ilustración 1 Ubicación de la granja .....                                                                                                                              | 12  |
| Ilustración 2 Mapa Ubicación.....                                                                                                                                       | 13  |
| Ilustración 3 Sector Pozo .....                                                                                                                                         | 13  |
| Ilustración 4 Sector Granja .....                                                                                                                                       | 14  |
| Ilustración 5 Sector Caba.....                                                                                                                                          | 14  |
| Ilustración 6 Sector Cerro .....                                                                                                                                        | 14  |
| Ilustración 7 Sector Cornejales .....                                                                                                                                   | 15  |
| Ilustración 8 Sector Pista .....                                                                                                                                        | 15  |
| Ilustración 9 Modelo Nonaka y Takeuchi .....                                                                                                                            | 54  |
| Ilustración 10 Análisis de grupo piloto.....                                                                                                                            | 80  |
| Ilustración 11 Macroproceso del Sistema de Gestión del Conocimiento aplicado al cultivo de caña de azúcar bajo riego tecnificado. ....                                  | 83  |
| Ilustración 12 Mapa mental del problema: ausencia del encargado del cultivo y sus efectos sobre el sistema productivo. ....                                             | 85  |
| Ilustración 13 Mapa mental de objetivos y funciones del Sistema de Gestión del Conocimiento aplicado al cultivo de caña de azúcar.....                                  | 87  |
| Ilustración 14 Mapa conceptual de las fases del desarrollo del Sistema de Gestión del Conocimiento y de la aplicación móvil aplicada al cultivo de caña de azúcar. .... | 90  |
| Ilustración 15 Etapa 1: Planificación y diagnóstico del SGC aplicado al cultivo de caña de azúcar. ....                                                                 | 91  |
| Ilustración 16 Etapa 2: Diseño y desarrollo del producto del Sistema de Gestión del Conocimiento.....                                                                   | 92  |
| Ilustración 17 Etapa 3: Diseño y desarrollo del proceso agrícola estandarizado. ....                                                                                    | 93  |
| Ilustración 18 Etapa 4: Validación del producto y del proceso en campo. ....                                                                                            | 94  |
| Ilustración 19 Etapa 5: Retroalimentación, evaluación y mejora continua del sistema. ....                                                                               | 94  |
| Ilustración 20 Diagrama de flujo ZOCA 1: Evaluación del campo después del corte. ....                                                                                   | 98  |
| Ilustración 21 Diagrama de flujo ZOCA 2: Manejo de residuos y malezas.....                                                                                              | 99  |
| Ilustración 22 Diagrama de flujo ZOCA 3: Fertilización y nutrición vegetal.....                                                                                         | 99  |
| Ilustración 23 Diagrama de flujo ZOCA 4: Manejo del riego tecnificado. ....                                                                                             | 100 |
| Ilustración 24 Diagrama de flujo ZOCA 5: Monitoreo de plagas y enfermedades. ....                                                                                       | 101 |
| Ilustración 25 Diagrama de flujo ZOCA 6: Labores culturales.....                                                                                                        | 102 |
| Ilustración 26 Pantalla de inicio de sesión y selección de campo o zona de cultivo.....                                                                                 | 107 |
| Ilustración 27 Menú principal del sistema con módulos ZOCA por zona de cultivo. ....                                                                                    | 108 |
| Ilustración 28 Pantalla de evaluación operativa con decisiones binarias y registro fotográfico de evidencias.....                                                       | 109 |
| Ilustración 29 Pantalla App Inventor.....                                                                                                                               | 110 |

## Índice de Tablas

|                                                   |    |
|---------------------------------------------------|----|
| Tabla 1 Principales Estados Productores.....      | 31 |
| Tabla 2 Variedades más utilizadas en México ..... | 32 |

## **Introducción**

La agricultura ha sido desde siempre una de las actividades más importantes para el desarrollo económico y social de México, ya que no solo garantiza la producción de alimentos, sino que también genera empleo y sostiene a numerosas comunidades rurales. Dentro de este sector, el cultivo de la caña de azúcar ocupa un lugar destacado por su relevancia en la agroindustria y por su contribución a la economía nacional, al ser utilizada tanto para la producción de azúcar como para diversos subproductos industriales (FAO, 2022).

En los últimos años, la agricultura ha experimentado importantes avances tecnológicos orientados a mejorar la eficiencia productiva y el uso responsable de los recursos naturales. Entre estos avances se encuentra el riego tecnificado, el cual ha permitido optimizar el aprovechamiento del agua, incrementar el rendimiento de los cultivos y reducir pérdidas hídricas (CONAGUA, 2021). Sin embargo, a pesar de contar con infraestructura moderna, en muchas unidades agrícolas persiste una problemática relacionada con la organización y aprovechamiento del conocimiento generado en las actividades diarias del cultivo.

Gran parte de la información sobre el manejo de la caña de azúcar, como calendarios de riego, aplicación de fertilizantes, control de plagas y resultados de cosecha, suele mantenerse de forma dispersa o depender únicamente de la experiencia de los trabajadores. Esta situación dificulta la toma de decisiones oportunas, limita la mejora continua de los procesos productivos y puede ocasionar errores operativos que afectan el rendimiento del cultivo (Davenport & Prusak, 1998).

En particular, la variedad de caña de azúcar CP-722086 se ha caracterizado por su buen desempeño productivo bajo sistemas de riego tecnificado, lo que la convierte en una alternativa favorable para lograr altos rendimientos. No obstante, para aprovechar plenamente su potencial es necesario contar con información organizada y accesible que permita evaluar prácticas agrícolas y realizar ajustes técnicos de manera eficiente.

Desde esta perspectiva, la gestión del conocimiento se presenta como una herramienta fundamental para recopilar, almacenar y utilizar de forma sistemática la información generada en los procesos productivos. De acuerdo con Nonaka y Takeuchi (1995), el conocimiento surge de la combinación de la experiencia práctica con la información documentada, permitiendo el aprendizaje continuo y la mejora organizacional. Asimismo,

Davenport y Prusak (1998) señalan que una adecuada gestión del conocimiento contribuye a reducir errores, mejorar la eficiencia y fortalecer la toma de decisiones.

Otro problema que influye directamente en el manejo del cultivo es la distancia física que existe entre el encargado o administrador y las áreas de producción agrícola. En muchos casos, esta situación genera fallas en la comunicación, poca supervisión de las actividades y retrasos en la ejecución de tareas fundamentales como el riego o la fertilización. Como consecuencia, se afecta la eficiencia operativa y el control del proceso productivo.

Ante esta realidad, el uso de tecnologías móviles surge como una alternativa viable para mejorar la comunicación y el seguimiento de las actividades agrícolas. Las aplicaciones móviles permiten registrar información en tiempo real, enviar instrucciones de manera remota y centralizar datos productivos, lo que facilita una gestión más eficiente del cultivo (World Bank, 2020). Por ello, se plantea el desarrollo de una aplicación móvil como parte de un sistema de gestión del conocimiento, con el objetivo de que el encargado pueda dar órdenes, supervisar labores y consultar información sin necesidad de estar presente físicamente en el campo.

La presente investigación se enfoca en el diseño de un sistema de gestión del conocimiento apoyado en una aplicación móvil para el cultivo de caña de azúcar variedad CP-722086 bajo riego tecnificado. A través de esta herramienta se busca mejorar la organización de la información agrícola, fortalecer la comunicación remota entre el encargado y los trabajadores, y optimizar la toma de decisiones productivas.

Finalmente, se espera que la implementación de este sistema contribuya al incremento de la productividad, al uso eficiente de los recursos naturales y a la modernización de los procesos agrícolas. De esta manera, la gestión del conocimiento apoyada en tecnologías digitales se consolida como una estrategia clave para enfrentar los retos actuales de la agricultura y fortalecer el desarrollo del sector cañero en México.

# Capítulo 1

## Generalidades

La Unidad de Producción Acuícola "Ingeniería Agropecuaria del Papaloapan" se encuentra ubicada en el Rancho Tierra Adentro, perteneciente a la Congregación de Joachín, en el municipio de Tierra Blanca, Veracruz. Sus coordenadas geográficas son 18°39'26" de latitud norte y 96°17'58" de longitud oeste, a una altitud de 63 metros sobre el nivel del mar. La zona climática donde se encuentra es de tipo Aw''2 (w) (e) g, caracterizada por un clima cálido subhúmedo, con una temperatura promedio anual de 27.4 °C y una temporada de lluvias en verano, con una prolongada canícula.

La ubicación de la Unidad de Producción Acuícola es estratégica, ya que se encuentra cerca de la autopista que conecta con el sureste y el centro del país. Esta proximidad facilita el acceso a importantes vías de comunicación y logística, permitiendo una eficiente distribución de productos. Además, está situada a tan solo 80 km del puerto de Veracruz, uno de los principales puntos de exportación e importación del país, lo que refuerza su conectividad y competitividad en el mercado nacional e internacional, dividido en 6 sectores que son: pozo, granja, caba, cerro, cornejales y pista.

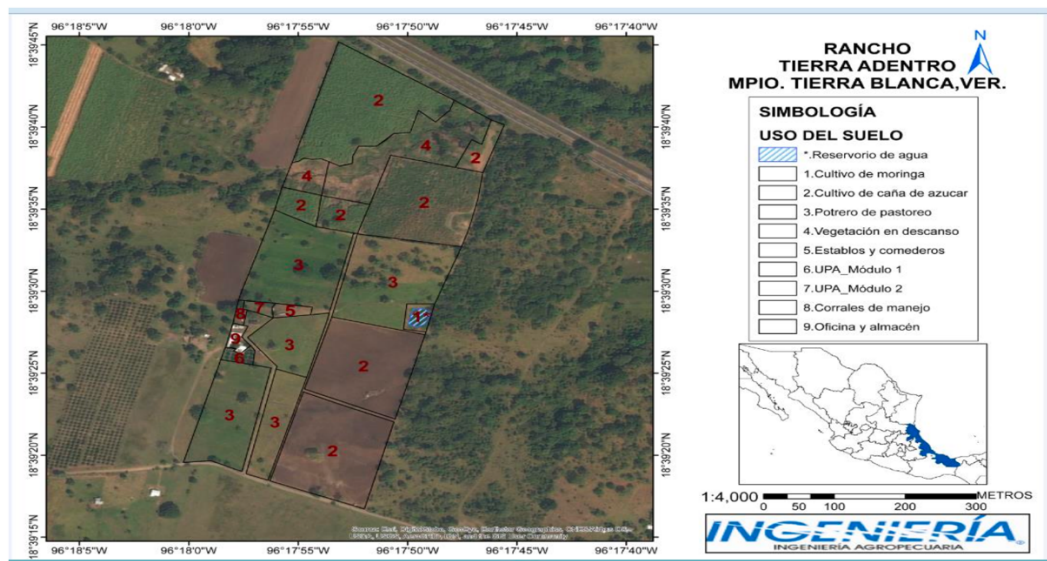


Ilustración 1 Ubicación de la granja

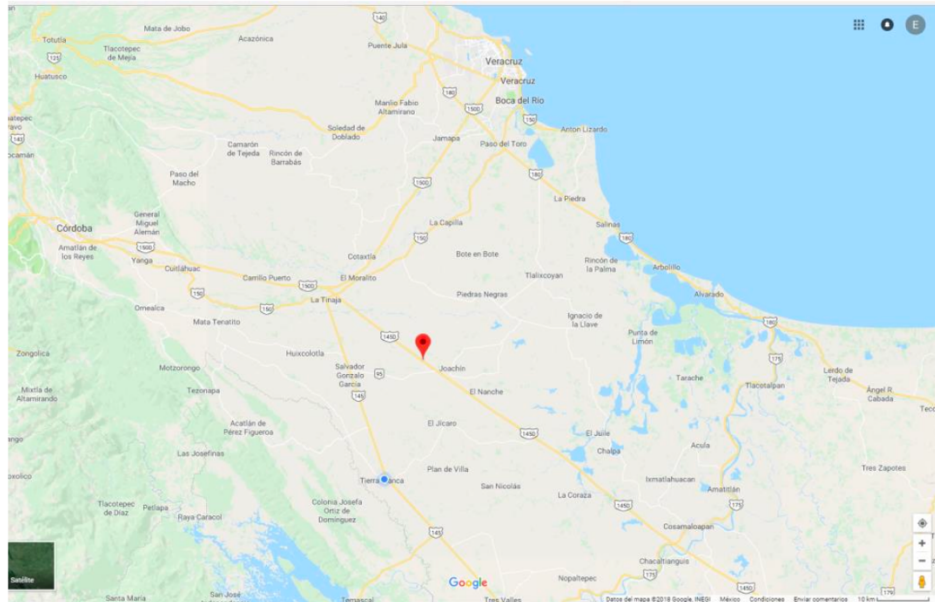


Ilustración 2 Mapa Ubicación

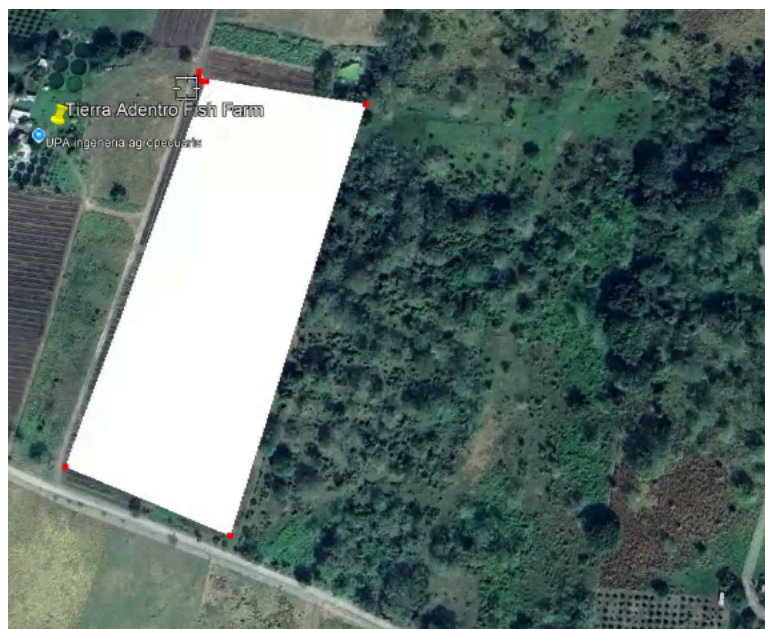


Ilustración 3 Sector Pozo



Ilustración 4 Sector Granja



Ilustración 5 Sector Caba



Ilustración 6 Sector Cerro



Ilustración 7 Sector Cornejales



Ilustración 8 Sector Pista

## 1.1 Objetivos

### 1.1.1 Objetivo General

- Implementar un sistema de gestión del conocimiento para el cultivo de caña de azúcar variedad cp-722086 bajo condiciones de riego tecnificado.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Determinar los conocimientos implícitos del cultivo de caña azúcar bajo condiciones de riego tecnificado.

- Diseñar un sistema de gestión para convertir los conocimientos implícitos en explícitos.
- Evaluar la eficiencia del sistema de gestión del conocimiento implementado.

## **1.2 Alcances y limitaciones**

### **1.2.1 Alcances**

- Enfoque en la variedad CP-722086.
- Condiciones de riego tecnificado.
- Componentes del sistema de gestión del conocimiento.
- Beneficios esperados.
- Aplicación en un contexto regional.

### **1.2.2 Limitaciones**

- Limitación a una sola variedad de caña de azúcar.
- Dependencia de la tecnología de riego.
- Posibles limitaciones tecnológicas.
- Restricciones presupuestarias y de tiempo.
- Escalabilidad y mantenimiento del sistema.
- Datos y conocimiento limitado a fuentes disponibles.
- Aceptación por parte de los usuarios.

## **1.3 Planteamiento del problema**

La gestión eficiente de estos cultivos depende de un conjunto de actividades específicas, incluyendo siembra, fertilización, riego, desbroce, corte, quema y cosecha de la caña de azúcar. Estas actividades son coordinadas por el administrador general, quien emite órdenes a los trabajadores para asegurar un manejo óptimo del cultivo.

No obstante, debido a la naturaleza dinámica e impredecible del trabajo agrícola, y la imposibilidad del administrador de estar presente en el campo en todo momento, se ha identificado un desafío significativo en la comunicación y ejecución de las tareas. La falta de una presencia constante del administrador puede llevar a interrupciones en las operaciones, errores en la ejecución de tareas y una pérdida de eficiencia general.

Este contexto resalta la necesidad urgente de un sistema que permita la comunicación remota de instrucciones desde el administrador a los trabajadores en tiempo real. Un sistema así garantizará que los trabajadores reciban y ejecuten las órdenes de manera oportuna y precisa mediante sus dispositivos móviles, manteniendo así la continuidad y eficiencia de las operaciones agrícolas.

Además, la dependencia del conocimiento implícito del administrador, que reside en su experiencia y habilidades personales, presenta un riesgo significativo. Este conocimiento implícito es difícil de transferir y puede perderse si no se captura y estructura adecuadamente. Transformar este conocimiento implícito en conocimiento explícito y accesible es crucial para evitar la pérdida de recursos, asegurar la correcta ejecución de las actividades agrícolas y mantener la continuidad operativa.

Por lo tanto, este trabajo propone desarrollar un sistema de gestión del conocimiento orientado al cultivo y cosecha de caña de azúcar. Este sistema facilitará la captura, organización y difusión del conocimiento operativo necesario, optimizando el proceso productivo y fortaleciendo la capacidad de respuesta y supervisión de las tareas en el campo. La implementación de dicho sistema permitirá no solo mejorar la eficiencia y efectividad de las operaciones agrícolas, sino también asegurar la sostenibilidad y crecimiento a largo plazo de la empresa.

#### **1.4 Justificación**

La presente investigación se centra en la creación e implementación práctica de un sistema estructurado y organizado que facilite la captura, almacenamiento, acceso y distribución de conocimientos relevantes para el cultivo de caña de azúcar, específicamente para la variedad cp-722086 y en el contexto de riego tecnificado.

El administrador general es el encargado de emitir órdenes para la ejecución de diversas actividades agrícolas, como la siembra, fertilización, riego, desbroce, corte, quema y cosecha de la caña de azúcar. Sin embargo, debido a las condiciones laborales, el administrador no siempre puede estar presente para supervisar y dar instrucciones en tiempo real. Esta situación ha generado la necesidad de enviar y supervisar las órdenes de trabajo a través de dispositivos móviles.

Un sistema de gestión del conocimiento es fundamental para transformar el conocimiento implícito del administrador en conocimiento explícito. Esto evita la pérdida de recursos y

asegura la correcta ejecución de las actividades agrícolas, permitiendo que el conocimiento crucial esté disponible para todos los trabajadores de manera accesible y sistemática ya que es una herramienta tecnológica que permite la captura, organización y difusión de información y experiencias dentro de una organización. En este caso, facilitará que las instrucciones y el conocimiento operativo del administrador general sean accesibles para los trabajadores en cualquier momento y lugar. (Martínez J. L., 2024)

La implementación del Internet de las cosas en este sistema permitirá la interconexión de dispositivos móviles y sensores en el campo, facilitando la recopilación y transmisión de datos en tiempo real, esto mejorará la eficiencia y precisión de las operaciones agrícolas al proporcionar información actualizada sobre el estado de las actividades y el entorno. (García, 2024)

El sistema de gestión del conocimiento reducirá significativamente el tiempo necesario para la comunicación y ejecución de órdenes. Los trabajadores podrán recibir instrucciones detalladas de manera instantánea en sus dispositivos móviles, lo que eliminará la espera y acelerará los procesos operativos. (López P. T., 2024)

La supervisión asincrónica es una ventaja clave de este sistema, permitiendo al administrador monitorear y guiar las actividades agrícolas sin necesidad de estar presente físicamente en el campo. Esto aumentará la flexibilidad y eficacia de la gestión, optimizando la utilización del tiempo y los recursos humanos. (Fernández, 2024)

El sistema permitirá la recopilación y almacenamiento de evidencias en tiempo real sobre la ejecución de las actividades. Los trabajadores podrán reportar su progreso y cualquier incidencia mediante fotos, videos y datos registrados en sus dispositivos móviles. Esto garantizará una supervisión precisa y una documentación completa de todas las operaciones. (Ramírez, 2024)

La creación de un sistema de gestión del conocimiento para la empresa Ingeniería Agropecuaria del Papaloapan es esencial para optimizar las operaciones de cultivo y cosecha de caña de azúcar. Mediante la implementación de tecnologías avanzadas como IoT, este sistema facilitará la comunicación, supervisión y ejecución eficiente de las tareas agrícolas, asegurando la correcta utilización de los recursos y mejorando la productividad general.

## **Capítulo 2. Marco Teórico**

En este capítulo se introduce a la gestión de conocimiento, los modelos inherentes al mismo y su aplicación en la agricultura, por otra parte, se mencionan las herramientas tecnológicas que sustentan una gestión de conocimiento.

### **1.5 Conceptos y modelos de gestión del conocimiento**

La gestión del conocimiento es el proceso mediante el cual se identifica, captura, organiza, almacena y comparte el conocimiento dentro de una organización, con el objetivo de mejorar su desempeño, fomentar la innovación y obtener una ventaja competitiva. Los modelos de GC proporcionan enfoques y marcos para facilitar el flujo del conocimiento, desde su creación hasta su aplicación, lo cual resulta esencial en un entorno cada vez más dependiente de la información y el conocimiento como recursos estratégicos.

Entre los principales modelos de GC se encuentran el de Nonaka y Takeuchi, que se enfoca en la conversión del conocimiento tácito en explícito; el modelo de Wiig, que destaca la importancia de organizar y aplicar el conocimiento para la toma de decisiones; el modelo de Boisot, que analiza el conocimiento en función de su grado de codificación y difusión; y el modelo de Stankosky, que integra la gestión del conocimiento con la estrategia organizacional.

#### **1.5.1 Modelo de Nonaka y Takeuchi: Espiral del Conocimiento**

El modelo de la espiral del conocimiento, propuesto por Ikujiro Nonaka y Hirotaka Takeuchi, describe cómo se produce la transformación continua entre el conocimiento tácito personal y basado en la experiencia y el conocimiento explícito formalizado y codificado en documentos o sistemas.

Este modelo plantea cuatro modos fundamentales de conversión del conocimiento. La socialización es el proceso en el que el conocimiento tácito se comparte a través de experiencias comunes, como en talleres o mentorías, sin necesidad de verbalizarlo o estructurarlo.

La exteriorización convierte el conocimiento tácito en explícito, articulando experiencias personales en modelos, manuales o documentos. La combinación implica reorganizar y combinar fragmentos de conocimiento explícito para crear nuevos conocimientos, como al sintetizar investigaciones o informes, la interiorización es el proceso mediante el cual el

conocimiento explícito se convierte en tácito, internalizándose a través de la práctica y transformándose en habilidades o competencias personales.

Este modelo sugiere que el conocimiento se genera a través de un proceso cíclico que no solo impulsa la innovación dentro de las organizaciones, sino que también fomenta una cultura de aprendizaje continuo.

### **1.5.2 Modelo de Wiig**

Karl Wiig desarrolló uno de los primeros modelos de gestión del conocimiento, destacando que tanto la creación como la gestión del conocimiento deben estar orientadas a mejorar el desempeño organizacional.

Según Wiig, el conocimiento dentro de una organización puede clasificarse en cuatro tipos: el conocimiento factual, que se refiere a datos concretos y específicos sobre hechos o eventos, como estadísticas o información de productos; el conocimiento conceptual, que establece relaciones entre diferentes hechos o ideas, permitiendo una comprensión más profunda; el conocimiento expectativo, que se basa en expectativas, juicios y suposiciones, y es útil para la toma de decisiones y predicciones; y el conocimiento metodológico, que abarca los métodos y procedimientos que guían la realización de tareas o actividades dentro de la organización.

Wiig sostiene que la gestión del conocimiento debe incluir procesos para construir, organizar, distribuir y aplicar este conocimiento, asegurándose de que dichos procesos estén alineados con los objetivos estratégicos de la organización para mejorar su efectividad.

### **1.5.3 Modelo de Boisot: Modelo de Espacio de Información**

El modelo de Max Boisot propone un enfoque de gestión del conocimiento que resalta la importancia de la información y su flujo dentro de la organización. Boisot introduce tres dimensiones clave para clasificar el conocimiento: la codificación, que se refiere al nivel en que el conocimiento es formalizado y puede ser fácilmente comprendido y compartido; la abstracción, que indica el grado de generalización del conocimiento, donde el conocimiento abstracto tiene aplicaciones más amplias, mientras que el conocimiento específico se limita a contextos particulares; y la difusión, que mide el grado de accesibilidad del conocimiento para los diferentes miembros de la organización.

A partir de estas dimensiones, Boisot define un "espacio de información" que clasifica el conocimiento en tipos como el conocimiento personal, común y público.

Según este modelo, el flujo de conocimiento dentro de una organización debe ser gestionado de manera que se maximice la codificación y la abstracción del conocimiento, facilitando su difusión y asegurando su aplicación eficaz en diversos contextos.

#### **1.5.4 Modelo de Stankosky: Cuatro Pilares de la Gestión del Conocimiento**

El modelo de Stankosky propone cuatro pilares fundamentales para la gestión del conocimiento en una organización, los cuales son clave para implementar estrategias exitosas.

El primer pilar, el liderazgo, destaca la importancia de contar con un liderazgo comprometido con la gestión del conocimiento, capaz de impulsar una cultura organizacional orientada al aprendizaje y la innovación.

El segundo pilar, la organización, se refiere al diseño de estructuras organizacionales que faciliten la comunicación y el flujo de conocimiento, permitiendo una colaboración efectiva entre los miembros.

El tercer pilar, la tecnología, incluye herramientas tecnológicas que apoyan la creación, almacenamiento y distribución del conocimiento, como sistemas de gestión de bases de datos y plataformas de colaboración.

Finalmente, el pilar del aprendizaje promueve procesos de aprendizaje organizacional que permiten la adquisición y actualización constante del conocimiento, estos pilares ayudan a crear una infraestructura que fomente el flujo de conocimiento y una cultura de aprendizaje continuo, convirtiendo la gestión del conocimiento en un componente estratégico para el crecimiento y la sostenibilidad de la organización.

#### **1.5.5 Modelo de Probst, Raub y Romhardt: Ciclo de Gestión del Conocimiento**

Este modelo se enfoca en un ciclo de ocho procesos clave para la gestión del conocimiento, asegurando que el conocimiento se gestione de manera integral a lo largo de su ciclo de vida dentro de la organización.

El primer proceso es la identificación del conocimiento, que implica localizar y reconocer el conocimiento crítico dentro de la organización.

El segundo proceso es la adquisición de conocimiento, que consiste en incorporar nuevo conocimiento proveniente de fuentes externas, como expertos, investigaciones o competidores.

En el desarrollo de conocimiento, el proceso se centra en crear o mejorar el conocimiento mediante investigación, desarrollo o innovación interna. A continuación, en la distribución de conocimiento, se asegura que el conocimiento llegue a quienes lo necesitan, utilizando sistemas de comunicación y colaboración adecuados.

El uso del conocimiento se refiere a la aplicación del conocimiento en los procesos de negocio para mejorar el desempeño organizacional, la retención del conocimiento, otro de los procesos clave, busca preservar el conocimiento relevante a través de su documentación y almacenamiento en bases de datos accesibles, la evaluación del conocimiento permite monitorear su efectividad en la organización, lo que lleva a ajustar las estrategias de gestión del conocimiento según sea necesario.

Finalmente, la eliminación del conocimiento obsoleto asegura retirar la información que ya no es útil o relevante, evitando la acumulación de datos redundantes. Este ciclo integral optimiza el valor del conocimiento a medida que se crea, utiliza, evalúa y descarta dentro de la organización.

### **1.5.6 Modelo SECI Extendido y Ba de Nonaka**

La extensión del modelo SECI propone que el conocimiento organizacional no solo se transforma a través de los cuatro modos de conversión socialización, exteriorización, combinación e interiorización, sino que también está influenciado por el entorno o "Ba". Según Nonaka, el "Ba" es un "espacio compartido" donde los individuos interactúan y crean conocimiento, el cual puede ser físico, virtual o mental. Este modelo destaca que la creación de conocimiento es un proceso colectivo que ocurre en entornos propicios para la colaboración.

Por ello, la organización debe fomentar la creación de espacios de interacción que faciliten este proceso de generación de conocimiento, ya sea en el ámbito físico, mediante encuentros presenciales, o en el virtual, utilizando herramientas tecnológicas, así como en el plano mental, a través de la reflexión conjunta y el intercambio de ideas.

### **1.5.7 Modelo de Madurez de la Gestión del Conocimiento**

El modelo de madurez evalúa el nivel de desarrollo de las capacidades de gestión del conocimiento en una organización, definiendo etapas progresivas que reflejan su evolución. En la etapa inicial, la organización no tiene estrategias formales de gestión del conocimiento y depende principalmente de esfuerzos individuales para gestionar el conocimiento. En la fase repetible, se comienzan a establecer procesos básicos de gestión del conocimiento, aunque de manera informal y sin una integración estratégica clara.

Al llegar a la etapa definida, la organización formaliza los procesos de gestión del conocimiento, asignando roles y utilizando herramientas específicas para su gestión. En la fase gestionada, los procesos de gestión del conocimiento están alineados con los objetivos organizacionales y se monitorean para asegurar su mejora continua, finalmente, en la etapa optimizada, la gestión del conocimiento se convierte en una ventaja competitiva crucial, siendo un componente clave de la estrategia organizacional, con un enfoque continuo en la innovación.

### **1.6 Gestión del conocimiento en la agricultura**

La gestión del conocimiento es una disciplina que busca maximizar la eficiencia y efectividad en el uso de información dentro de organizaciones y comunidades, facilitando el proceso de captura, organización, distribución y reutilización de conocimiento. En la agricultura, donde se enfrentan múltiples desafíos como la variabilidad climática, la presión por reducir el uso de recursos, y la necesidad de métodos sostenibles, la gestión del conocimiento se ha convertido en una herramienta clave para optimizar prácticas productivas y apoyar la innovación. (Báez Hernández, 2018)

En la gestión del conocimiento, uno de los modelos más influyentes es el modelo SECI de Nonaka y Takeuchi, que describe cuatro procesos clave en la conversión del conocimiento, fundamentales para transformar la información en recursos prácticos aplicables. El primer proceso, Socialización, se refiere al intercambio de conocimiento tácito, es decir, aquel que no ha sido formalizado, mediante experiencias y aprendizajes compartidos. En el contexto agrícola, este proceso ocurre, por ejemplo, cuando los agricultores adquieren conocimientos observando y participando en prácticas de campo, lo que les permite aprender técnicas directamente de colegas o expertos, la externalización implica transformar ese conocimiento

tácito en conocimiento explícito, de modo que pueda ser documentado en manuales, guías o bases de datos, facilitando su acceso para otros agricultores o técnicos.

El tercer proceso que es combinación, se enfoca en integrar diferentes tipos de conocimiento explícito, organizando y sistematizando información de manera que permita generar nuevos conocimientos. En la agricultura, esto podría darse al recopilar datos sobre el rendimiento de cultivos y combinarlos con estudios de técnicas de riego para desarrollar nuevas prácticas optimizadas. Finalmente, la internalización consiste en convertir el conocimiento explícito en tácito, un proceso que ocurre cuando los agricultores aplican las nuevas técnicas documentadas y las incorporan en sus prácticas diarias, internalizando esos conocimientos en su propia experiencia.

Este modelo SECI resulta esencial para el diseño de un sistema de gestión del conocimiento en el ámbito agrícola, ya que permite capturar y distribuir eficientemente tanto las experiencias de campo como los conocimientos técnicos, promoviendo una agricultura colaborativa y fundamentada en datos. Al aplicar este modelo, se pueden sistematizar las mejores prácticas, lo que no solo mejora el aprendizaje compartido, sino que también incrementa la sostenibilidad y la innovación en el cultivo. Además, al facilitar que el conocimiento se convierta en un recurso accesible y reutilizable, este modelo contribuye al desarrollo de una cultura de colaboración continua, que es clave para enfrentar los desafíos de una agricultura en constante evolución.(Ikujiro Nonaka, 1999)

### **1.6.1 Herramientas y tecnologías para la gestión del conocimiento**

La gestión del conocimiento utiliza herramientas y tecnologías específicas para facilitar la creación, almacenamiento, distribución y aplicación del conocimiento en las organizaciones y estas herramientas permiten a las empresas capturar el conocimiento existente, compartirlo entre sus empleados y promover un entorno de aprendizaje continuo.

En un contexto agrícola, como el cultivo de caña de azúcar, estas tecnologías también pueden mejorar la eficiencia de los procesos y la toma de decisiones al facilitar el acceso a información clave y la sistematización de prácticas.

#### **1.6.1.1 Repositorios de Conocimiento y Bases de Datos**

Los repositorios de conocimiento y bases de datos son herramientas esenciales para almacenar, organizar y acceder al conocimiento de manera centralizada, facilitando la

recuperación de información relevante tanto para la capacitación de nuevos empleados como para el soporte en la toma de decisiones. Las bases de datos, tanto relacionales como no relacionales, se utilizan para almacenar grandes volúmenes de datos, como información técnica, guías de procedimientos y datos históricos de producción.

Los repositorios documentales, como SharePoint, Google Drive o Dropbox, permiten centralizar documentos, informes, manuales de operación y otros recursos importantes, promoviendo el acceso y uso compartido de los mismos. Por su parte, los gestores de contenidos empresariales son plataformas que facilitan la administración de documentos, archivos y otros recursos digitales dentro de una organización, integrando funciones avanzadas como búsqueda, control de versiones y la organización de archivos en categorías específicas.

#### **1.6.1.2 Sistemas de Gestión del Conocimiento**

Los sistemas de gestión del conocimiento son plataformas diseñadas para capturar, almacenar y distribuir el conocimiento dentro de una organización, facilitando procesos como la recopilación de mejores prácticas, la documentación de lecciones aprendidas y el acceso a bases de datos de conocimiento.

Estos sistemas incluyen diversos componentes, como los portales de conocimiento, que son espacios en línea donde los empleados pueden acceder a recursos informativos y herramientas de colaboración ya que también se encuentran las plataformas de colaboración, como Confluence, Microsoft Teams o Slack, que facilitan la comunicación y el trabajo en equipo, permitiendo la creación e intercambio de conocimiento en tiempo real y además, los sistemas de gestión documental permiten almacenar y recuperar documentos clave, asegurando un acceso rápido y la actualización constante de la información específica dentro de la organización.

#### **1.6.1.3 Tecnologías de Big Data y Análisis de Datos**

Las tecnologías de big data permiten gestionar grandes volúmenes de información de manera eficiente, extrayendo conocimiento valioso de datos complejos y no estructurados. En la agricultura, estas tecnologías pueden ser clave para mejorar la toma de decisiones estratégicas.

Una de las herramientas más relevantes es el análisis predictivo, que permite anticipar comportamientos, como patrones de crecimiento de los cultivos, y predecir los rendimientos ya que además la minería de datos utiliza técnicas para identificar patrones y relaciones entre datos históricos, lo que es útil para optimizar procesos y mejorar el rendimiento, la visualización de datos facilita la interpretación de la información mediante gráficos y cuadros visuales, ayudando a identificar tendencias y hacer más comprensible el análisis de grandes volúmenes de datos.

#### **1.6.1.4 Sistemas de Información de Mercado y Portales de Conocimiento Abierto**

Los sistemas de información de mercado y los portales de conocimiento abierto brindan a los productores y agricultores acceso a información crucial sobre el mercado y mejores prácticas en la industria.

Los sistemas de precios de mercado son fundamentales para mantener a los agricultores informados sobre los precios actuales de los productos agrícolas, lo que les permite tomar decisiones estratégicas en la comercialización, los portales de capacitación agrícola ofrecen plataformas en línea con cursos, guías y recursos educativos sobre diversas áreas, como técnicas de cultivo, manejo de plagas y otros temas relevantes para mejorar las prácticas agrícolas.

Por otro lado, las bases de datos científicas proporcionan acceso a investigaciones y estudios técnicos que son valiosos para los profesionales del sector agrícola, ayudándoles a mantenerse actualizados sobre los avances en la ciencia agrícola.

#### **1.6.1.5 App Inventor**

La inteligencia artificial y el aprendizaje automático juegan un papel fundamental en el análisis de grandes volúmenes de datos, permitiendo extraer conocimiento valioso que optimiza la toma de decisiones y la planificación agrícola ya que los sistemas de recomendación analizan datos y sugieren las mejores prácticas de cultivo, fertilización y riego según las condiciones específicas de cada campo.

Además, el monitoreo y la predicción de plagas, mediante algoritmos de IA, facilitan la detección temprana de plagas y enfermedades en los cultivos, permitiendo la implementación de medidas preventivas para proteger los cultivos y la optimización del riego a través de IA permite ajustar los sistemas de riego de forma automática, basándose en las condiciones

meteorológicas y los niveles de humedad del suelo, lo que contribuye a una gestión más eficiente del agua.

### **1.6.2 Herramientas de Comunicación y Colaboración**

Las herramientas de comunicación y colaboración son esenciales para el intercambio rápido y efectivo de conocimiento entre empleados y equipos, especialmente en entornos de trabajo colaborativos. Plataformas de comunicación en línea, como Zoom, Microsoft Teams y Google Meet, facilitan la interacción virtual y permiten a los equipos colaborar sin importar su ubicación.

Además, los foros y comunidades en línea ofrecen un espacio donde los empleados pueden compartir ideas, resolver dudas y discutir mejores prácticas, promoviendo el aprendizaje colectivo ya que los sistemas de mensajería instantánea proporcionan una forma rápida y directa de comunicación entre miembros de equipos, lo que optimiza la coordinación de actividades y mejora el flujo de conocimiento en tiempo real.

#### **1.6.2.1 Tecnologías de Realidad Aumentada y Realidad Virtual**

Las tecnologías de realidad aumentada y realidad virtual están comenzando a transformarse en herramientas clave en la agricultura y la capacitación, al permitir que los empleados interactúen con información compleja de manera visual y en tiempo real. La realidad aumentada, por ejemplo, facilita la capacitación en campo, permitiendo a los empleados visualizar guías e instrucciones mientras realizan tareas en el campo, lo que mejora la eficiencia y precisión de su trabajo.

Por otro lado, los simuladores de realidad virtual ofrecen a los agricultores la posibilidad de entrenarse en técnicas específicas de cultivo o manejo de maquinaria sin el riesgo de cometer errores o dañar equipos y la realidad aumentada puede superponer datos en tiempo real, como información meteorológica o niveles de humedad en el suelo, brindando a los agricultores las herramientas necesarias para tomar decisiones más informadas y efectivas.

#### **1.6.2.2 Plataformas de Gestión de Proyectos y Tareas**

Las herramientas de gestión de proyectos son fundamentales para organizar tareas, asignar recursos y supervisar el progreso de las actividades, lo que resulta especialmente útil en la gestión del conocimiento para estructurar procesos y asegurar su implementación de manera

coherente. Programas como Trello, Asana o Microsoft Project permiten gestionar el conocimiento organizacional asignando responsabilidades y estableciendo plazos claros, lo que facilita la coordinación de esfuerzos. Además, estas herramientas de gestión de proyectos permiten un seguimiento detallado de tareas específicas, lo que ayuda a los equipos a documentar y mejorar continuamente sus procesos de gestión del conocimiento.

Algunos sistemas de gestión de proyectos también integran funciones para compartir documentos y conocimientos, mejorando la accesibilidad de la información para todos los involucrados y fomentando la colaboración eficiente dentro de la organización.

### **1.6.2.3 Beneficios de las Herramientas de Gestión del Conocimiento**

La implementación de herramientas y tecnologías de gestión del conocimiento ofrece múltiples beneficios. En primer lugar, aumenta la eficiencia al organizar el conocimiento de manera estructurada, lo que facilita el acceso a información útil. Además, mejora la toma de decisiones al permitir el análisis de datos en tiempo real y el uso de inteligencia artificial, lo que contribuye a hacer predicciones informadas y a mejorar la precisión de las decisiones.

Estas herramientas también fomentan la innovación, ya que los sistemas de colaboración y los repositorios de conocimiento facilitan la creación de ideas y la mejora continua. Por otro lado, los sistemas de gestión del conocimiento favorecen la capacitación continua, proporcionando acceso a información que impulsa el desarrollo y la actualización constante de los empleados.

En un contexto agrícola, como en el caso del cultivo de caña de azúcar bajo condiciones de riego tecnificado, estas tecnologías son esenciales para capturar, estructurar y aplicar el conocimiento organizacional, sistematizando las prácticas, mejorando la eficiencia en el uso de recursos y promoviendo una cultura de aprendizaje continuo, con beneficios tangibles para la productividad y sostenibilidad del cultivo.

## **1.7 La caña de azúcar en México**

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) es uno de los cultivos agroindustriales más relevantes en México, tanto por su extensión territorial como por su impacto económico, social y ambiental. Desde su introducción en el siglo XVI, ha evolucionado hasta convertirse en una de las principales fuentes de ingreso y empleo en muchas regiones del país. La caña de azúcar abastece la demanda de azúcar en el mercado nacional e internacional, y también se aprovecha en la generación de bioenergía, alcoholes, papel y otros derivados.

En la actualidad, el sector cañero enfrenta retos significativos como el cambio climático, la presión sobre los recursos hídricos y la necesidad de transitar hacia modelos de producción más sostenibles y tecnificados. En este contexto, la implementación de Sistemas de Gestión del Conocimiento representa una herramienta clave para optimizar la toma de decisiones agronómicas, mejorar la productividad y fortalecer la resiliencia del cultivo, especialmente en esquemas con riego tecnificado.

El cultivo de caña de azúcar en México es una actividad esencial para el desarrollo rural, la seguridad alimentaria y la sostenibilidad energética. La modernización del sector requiere no solo tecnología de riego o máquinas, sino una verdadera revolución en la forma en que se genera, comparte y aplica el conocimiento.

### **1.7.1 Antecedentes Históricos**

La caña de azúcar fue introducida por los conquistadores españoles en la década de 1520. El primer ingenio azucarero en el continente americano fue fundado en 1535, en la región de Córdoba, Veracruz. Desde entonces, la caña se convirtió en uno de los pilares de la economía novohispana, y posteriormente de la economía nacional.

Durante el periodo colonial, la producción se concentró en haciendas cañeras que integraban todas las etapas del proceso productivo, desde la siembra hasta la molienda. En el siglo XX, con el impulso del Estado mexicano, se modernizó el sector con la creación de ingenios, cooperativas cañeras y programas de extensionismo agrícola.

La caña llegó a México en la primera mitad del siglo XVI, traída por los conquistadores españoles. Existen registros que indican que Hernán Cortés introdujo las primeras plantas de caña en 1522, aprovechando el clima cálido y húmedo de las tierras bajas mexicanas, particularmente en el actual estado de Veracruz.

#### **1.7.1.1 Régimen colonial y mano de obra**

La expansión del cultivo de caña en México estuvo estrechamente ligada al sistema de encomiendas, que proporcionaba mano de obra indígena para el trabajo agrícola. Posteriormente, con la disminución de la población indígena, se recurrió a la importación de esclavos africanos. Esto marcó profundamente la estructura socioeconómica de las regiones cañeras del país.

### **1.7.1.2 Independencia y Reforma Agraria**

Tras la independencia de México en 1821, la industria azucarera experimentó altibajos debido a conflictos políticos, luchas internas y falta de tecnología. Fue hasta principios del siglo XX, con el porfiriato, que se impulsó nuevamente la agroindustria azucarera mediante inversión extranjera, mejoras en la infraestructura ferroviaria y la mecanización de los procesos de cultivo y molienda.

Durante la Revolución Mexicana 1910-1920, muchas haciendas cañeras fueron expropiadas. Posteriormente, con la Reforma Agraria del siglo XX, grandes extensiones de tierra fueron redistribuidas en ejidos, transformando el esquema productivo de las zonas cañeras y dando origen a nuevas formas de organización como los comités de productores cañeros.

### **1.7.2 Modernización y tecnificación**

Desde mediados del siglo XX, el gobierno mexicano ha promovido políticas para tecnificar el cultivo y modernizar los ingenios. Se implementaron programas para mecanizar la cosecha, mejorar el manejo agronómico, optimizar el uso de fertilizantes y agua, y aumentar la eficiencia de extracción de los ingenios.

Con el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) en 1994, México abrió nuevos mercados para el azúcar, especialmente en Estados Unidos, lo que impulsó aún más la productividad. Sin embargo, también se generaron desafíos por la competencia internacional y las cuotas de exportación.

#### **1.7.2.1 Producción Nacional y Participación Internacional**

Actualmente, México se posiciona entre los diez principales productores de azúcar del mundo, compitiendo con países como Brasil, India y Tailandia. La producción nacional se destina principalmente al consumo interno, aunque también se exportan excedentes a mercados como Estados Unidos, Centroamérica y el Caribe.

- Superficie cultivada: Aproximadamente 800,000 hectáreas.
- Productores: Más de 170,000.
- Ingenios activos: 49 distribuidos en 15 estados.
- Rendimiento promedio: 70 a 85 toneladas por hectárea.
- Producción anual: Entre 5.5 y 6 millones de toneladas de azúcar.
- Consumo per cápita: ~38 kg de azúcar al año.

| Estado                   | Participación nacional aproximada |
|--------------------------|-----------------------------------|
| Veracruz                 | 38%                               |
| Jalisco                  | 13%                               |
| San Luis Potosí          | 10%                               |
| Oaxaca                   | 8%                                |
| Chiapas, Morelos, Puebla | Resto                             |

Tabla 1 Principales Estados Productores

Veracruz destaca como el principal estado productor debido a su clima tropical, suelos fértiles y la infraestructura industrial instalada. Municipios como Tierra Blanca son referentes nacionales en rendimiento por hectárea, lo que los convierte en escenarios ideales para la aplicación de innovaciones tecnológicas.

#### 1.7.2.2 Variedades Comerciales y su Adaptabilidad

En México se cultivan diversas variedades híbridas de caña adaptadas a diferentes condiciones ecológicas. La variedad CP-722086, proveniente de programas de mejoramiento genético, se ha popularizado por su alto contenido de sacarosa, buena resistencia a plagas y enfermedades, y adaptabilidad a condiciones de riego tecnificado.

Es una variedad de maduración intermedia a tardía, ideal para zonas tropicales húmedas como Tierra Blanca, Veracruz. Su manejo adecuado puede resultar en rendimientos superiores a 100 toneladas por hectárea, especialmente cuando se integran buenas prácticas agronómicas, monitoreo técnico y seguimiento en tiempo real.

En México, el desarrollo y validación de variedades está a cargo de instituciones como el INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias), los Comités de Producción Cañera, y centros internacionales como Canal Point en EE. UU. Estas instituciones seleccionan variedades con base en criterios agronómicos, tecnológicos y económicos.

| Variedad   | Características principales                                                    | Región recomendada        |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| CP-722086  | Alta productividad, adaptada a riego tecnificado, maduración intermedia-tardía | Veracruz, Oaxaca, Chiapas |
| Mex 69-290 | Buena acumulación de sacarosa, resistente a roya, ideal para tierras altas     | Puebla, Morelos, Hidalgo  |

|            |                                                                   |                            |
|------------|-------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| Co 997     | Tolerante a sequías, rápido desarrollo vegetativo                 | Tabasco, Chiapas, Campeche |
| CP 88-1165 | Alta extracción de jugo, buena tolerancia a enfermedades foliares | Jalisco, Michoacán         |

Tabla 2 Variedades más utilizadas en México

### 1.7.2.3 Criterios de adaptabilidad

La adaptabilidad de una variedad depende de su desempeño en distintos entornos agroclimáticos. Los principales criterios que se consideran son:

- Tolerancia a la sequía o exceso de humedad.
- Resistencia a plagas como *Diatraea* spp. (barrenador) y enfermedades como la roya (*Puccinia* spp.).
- Capacidad de rebrote en ciclos de zafra.
- Interacción con el tipo de suelo (pH, textura, contenido de materia orgánica).
- Respuesta al manejo de riego y fertilización.

Ventajas del uso de variedades adaptadas

- Mejora del rendimiento por hectárea.
- Reducción del uso de agroquímicos.
- Disminución de riesgos productivos por condiciones climáticas.
- Aumento del contenido de sacarosa y de la rentabilidad del cultivo.
- La elección de una variedad adecuada y su manejo específico en función del clima, suelo y tipo de riego son factores clave para alcanzar una producción eficiente y sostenible.

### 1.7.3 Características y variedades de la caña de azúcar

La caña de azúcar es un cultivo perenne de la familia Poaceae, nativo de las regiones tropicales del sudeste asiático y cultivado principalmente por su alto contenido de sacarosa, que se extrae para producir azúcar. Este cultivo ha sido fundamental para muchas economías tropicales y subtropicales, tanto por su uso en la producción de azúcar como por su capacidad de generar bioenergía, productos derivados y empleo. La producción de caña de azúcar también tiene un papel importante en la sostenibilidad, ya que sus residuos bagazo y melaza pueden utilizarse en la generación de biocombustibles, energía y productos industriales.

### **1.7.3.1 Características Morfológicas y Agronómicas**

La caña de azúcar es una planta perenne y robusta que puede crecer entre 2 y 6 metros de altura, adaptándose a diversas condiciones climáticas, especialmente en regiones tropicales y subtropicales. Su estructura principal incluye tres componentes esenciales: tallos, hojas y raíces. Los tallos son la parte fundamental de la planta para la industria azucarera, ya que en ellos se almacena la sacarosa. Estos tallos son fibrosos y contienen un jugo dulce rico en azúcares, lo que los convierte en la principal fuente para la producción de azúcar. Además de su uso en la industria alimentaria, los tallos también son aprovechados en la producción de biocombustibles y bioenergía debido a su alto contenido energético.

Las hojas de la caña de azúcar son largas, planas y se disponen de forma alterna alrededor del tallo, facilitando la fotosíntesis, proceso crucial que permite a la planta convertir la luz solar en energía para su crecimiento. Estas hojas también contribuyen a la regulación térmica de la planta y al reciclaje de nutrientes, ya que, cuando se secan y caen, ayudan a mejorar la calidad del suelo.

El sistema de raíces de la caña es de tipo fibroso y se desarrolla principalmente en la capa superior del suelo, aunque puede alcanzar cierta profundidad para buscar agua y nutrientes esenciales para el crecimiento. Este sistema radicular es fundamental para la estabilidad de la planta y su capacidad de adaptarse a diferentes tipos de suelo, siendo particularmente eficaz en suelos profundos y bien drenados. Además, la estructura radicular permite que la planta acceda a nutrientes en áreas donde otras plantas no llegan, ayudándola a resistir períodos cortos de sequía y a optimizar el uso del agua en condiciones de riego tecnificado.

En conjunto, la estructura de la caña de azúcar está diseñada para maximizar su capacidad de crecimiento y almacenamiento de azúcares, haciéndola una de las plantas más productivas en términos de biomasa. Este diseño estructural no solo facilita su cultivo en grandes áreas, sino que también hace que la planta sea valiosa para la producción de productos derivados, como etanol y electricidad, generando múltiples beneficios económicos y ambientales en las zonas donde se cultiva.

### **1.7.3.2 Ciclo de Vida y Etapas de Crecimiento**

El ciclo de vida de la caña de azúcar es relativamente largo y puede extenderse entre 10 y 24 meses, variando en función de factores como el clima, el tipo de suelo y la variedad cultivada.

Este ciclo está compuesto por varias etapas cruciales, cada una de las cuales es determinante para la calidad y el rendimiento del cultivo.

La primera etapa es la de emergencia, que inicia tras la siembra. En esta fase, las yemas ubicadas en los tallos de la planta comienzan a brotar y se desarrollan nuevos retoños, un proceso que es sensible a la calidad del suelo y la disponibilidad de agua, ya que estas condiciones pueden afectar directamente la densidad y el vigor de los brotes.

Una vez completada la emergencia, comienza la fase de crecimiento activo, durante la cual la caña de azúcar experimenta un desarrollo acelerado en altura y volumen. En esta etapa, la planta también inicia la acumulación de azúcares en sus tallos, especialmente si las condiciones climáticas son óptimas, con temperaturas cálidas y buena disponibilidad de agua. La fertilización y el riego adecuado son críticos en este momento para promover un crecimiento robusto y asegurar que los tallos alcancen un buen tamaño y contenido de azúcar. La etapa de maduración es el siguiente paso en el ciclo de vida de la planta, donde se ralentiza el crecimiento en altura y la acumulación de azúcar en los tallos alcanza su punto máximo. Durante este período, el enfoque se centra en el contenido de azúcar, ya que el rendimiento de la cosecha depende en gran medida de su concentración. La maduración es favorecida por un período de reducción de agua y temperaturas moderadamente más bajas, lo cual ayuda a concentrar los azúcares.

Finalmente, la cosecha se realiza cuando los tallos de la caña han alcanzado el punto óptimo de maduración y contienen el nivel de azúcar adecuado para el procesamiento. Esta etapa es decisiva, ya que la cosecha en el momento adecuado garantiza el máximo aprovechamiento del azúcar acumulado en los tallos. La cosecha puede realizarse manualmente o con maquinaria especializada, dependiendo de la infraestructura disponible y las prácticas agrícolas de la región. Además de su importancia en la producción de azúcar, la caña cosechada también puede destinarse a la producción de etanol y otros subproductos como bagazo para generación de energía, aumentando así el valor económico del cultivo.

El ciclo completo de la caña de azúcar refleja un balance entre las condiciones ambientales, la genética de la planta y las prácticas de manejo, y permite optimizar el uso de recursos y el rendimiento en cada fase de su desarrollo.

### **1.7.3.3 Variedades de Caña de Azúcar**

Existen numerosas variedades de caña de azúcar que han sido desarrolladas para adaptarse a condiciones específicas de clima, suelo y prácticas de cultivo, lo que ha permitido a los productores seleccionar aquellas que mejor responden a las características de su entorno agrícola. La selección de estas variedades se basa en criterios fundamentales, tales como el rendimiento en producción, el contenido de azúcar, la resistencia a enfermedades y plagas, y la adaptabilidad tanto al clima local como a las técnicas de manejo, especialmente en sistemas de riego tecnificado. Estas características son clave para mejorar la eficiencia en el cultivo, reducir costos y maximizar los beneficios económicos.

Una de las variedades más utilizadas en zonas con riego tecnificado, y que se relaciona directamente con el tema de tu tesis, es la CP-722086. Esta variedad es reconocida por su alta productividad y su capacidad para adaptarse a condiciones controladas de riego, lo que la convierte en una opción popular en zonas donde el acceso al agua está asegurado mediante tecnologías de riego. Además de su rendimiento productivo, la CP-722086 destaca por su resistencia natural a diversas enfermedades y plagas, lo que reduce la necesidad de tratamientos químicos y permite un manejo más sostenible del cultivo.

Otra clasificación importante en el desarrollo de variedades de caña de azúcar es la que las organiza según su tiempo de maduración: temprana, media y tardía. Esta clasificación permite a los productores escalonar la cosecha en función de la variedad y el clima local, optimizando el rendimiento general al ajustar la siembra y la cosecha según los periodos de máxima productividad, las variedades de maduración temprana suelen ser cosechadas al inicio de la temporada, mientras que las de maduración media y tardía se programan para ser recolectadas progresivamente, maximizando el uso de recursos y adaptándose a los ciclos climáticos de la región.

En general, la diversidad en las variedades de caña de azúcar permite que el cultivo sea más flexible y adaptable a distintos entornos y necesidades, desde sistemas de riego tecnificado hasta regiones con condiciones climáticas adversas o suelos menos fértiles.

### **1.7.3.4 Factores que afectan la productividad de la caña de azúcar**

La productividad de la caña de azúcar está influenciada por una amplia gama de factores que pueden tener efectos tanto positivos como negativos en su crecimiento y rendimiento. Entre los aspectos clave que determinan su éxito se encuentran factores ambientales, como

el clima y el suelo, que juegan un papel crucial en la capacidad de la planta para prosperar. El clima afecta directamente a la cantidad de agua disponible, la temperatura, la humedad y la radiación solar, todos los cuales influyen en la tasa de fotosíntesis y el crecimiento de la caña. Por otro lado, el suelo es fundamental para asegurar una adecuada absorción de nutrientes y agua, y su composición arcillosa, arenosa, etc., puede determinar la eficacia de los sistemas de riego y fertilización. Los factores de manejo agrícola, como las prácticas de riego, fertilización, control de plagas y enfermedades, también son determinantes para mantener condiciones óptimas para el crecimiento de la planta. Un manejo eficiente en estas áreas no solo mejora el rendimiento, sino que también promueve la sostenibilidad a largo plazo de la producción.

A lo largo de los años, los avances en la biotecnología y la mejora genética han permitido desarrollar variedades de caña de azúcar con características mejoradas, como una mayor resistencia a enfermedades, adaptabilidad a condiciones climáticas extremas y un mayor rendimiento de azúcar por hectárea. La elección de la variedad adecuada es un factor determinante en la productividad, ya que ciertas variedades son más aptas para regiones específicas, ya sea por su resistencia a plagas, su tolerancia a sequías o su capacidad para adaptarse a suelos específicos.

Además, en el contexto actual de cambio climático, donde las condiciones meteorológicas se vuelven cada vez más impredecibles, y la competencia por recursos hídricos y de suelo se intensifica, es fundamental optimizar estos factores para garantizar la sostenibilidad de la producción de caña de azúcar. La gestión adaptativa y la investigación continua son esenciales para abordar estos desafíos, promoviendo el uso de tecnologías avanzadas en riego, fertilización y control biológico de plagas, así como el uso de prácticas agrícolas inteligentes que permitan hacer un uso eficiente de los recursos disponibles. De esta manera, se pueden maximizar los rendimientos y la calidad de la caña de azúcar, a la vez que se asegura la viabilidad económica y ambiental del cultivo en el largo plazo.

#### **1.7.3.5 Factores ambientales**

Los factores ambientales son determinantes clave en el desarrollo y productividad de la caña de azúcar, ya que influyen de manera directa en la salud de la planta y su capacidad para acumular sacarosa, que es el principal componente utilizado en la producción de azúcar. Entre estos factores, uno de los más influyentes es el clima, que abarca variables como

la temperatura, la precipitación, la humedad relativa y la radiación solar. La temperatura afecta la tasa de fotosíntesis y el crecimiento general de la planta. Temperaturas extremas, ya sea altas o bajas, pueden interferir con el desarrollo de la caña, reduciendo su capacidad para acumular azúcar.

Asimismo, la precipitación juega un papel fundamental, ya que una cantidad adecuada de agua es esencial para el crecimiento y desarrollo de la planta, mientras que la sequía prolongada puede limitar el rendimiento y afectar la calidad del producto final. Además, la humedad relativa influye en la eficiencia del proceso de fotosíntesis y en la transpiración de la planta, mientras que la radiación solar es crucial para el proceso de fotosíntesis, que produce la energía necesaria para el crecimiento de la caña y la acumulación de sacarosa en los tallos.

### Clima

El clima es uno de los factores más determinantes en el cultivo de la caña de azúcar, ya que influye directamente en su desarrollo, crecimiento y capacidad para acumular sacarosa. Este cultivo se adapta mejor a climas cálidos y húmedos, comunes en las regiones tropicales y subtropicales, donde las condiciones son más favorables para su desarrollo. El rendimiento óptimo de la caña de azúcar se alcanza cuando se cumplen ciertos parámetros climáticos que favorecen la fotosíntesis y la acumulación de biomasa. Entre estos factores se destacan:

### Temperatura

La caña de azúcar prospera en un rango de temperaturas promedio entre 20°C y 30°C. Este rango es ideal para un crecimiento rápido y una acumulación eficiente de sacarosa en los tallos. Temperaturas más bajas, cercanas a los 10°C, pueden ralentizar el crecimiento de la planta, reducir la tasa de fotosíntesis y, por lo tanto, afectar negativamente el rendimiento. Por otro lado, temperaturas superiores a los 35°C también pueden ser perjudiciales, ya que pueden inducir estrés térmico, disminuir la eficiencia fotosintética y generar pérdidas en la calidad de la caña, afectando la cantidad de azúcar producida.

### Luz solar

La caña de azúcar es una planta C4, lo que significa que posee un sistema fotosintético altamente eficiente que le permite aprovechar grandes cantidades de luz solar para convertirla en energía y almacenar biomasa y azúcar. La intensidad y la duración de la luz solar juegan

un papel crucial en la fotosíntesis. En áreas con poca luz solar o durante las épocas nubladas, el crecimiento de la planta puede verse limitado, lo que a su vez reduce su capacidad de generar azúcares en los tallos. En contraste, una buena exposición solar durante las etapas de crecimiento, especialmente en los primeros meses de desarrollo, mejora significativamente la productividad.

### Precipitación

Las lluvias regulares son esenciales para mantener niveles adecuados de humedad en el suelo, lo que favorece el crecimiento de las raíces y la planta en general.

La caña de azúcar necesita 800 a 1500 mm de lluvia anual distribuidos uniformemente durante la temporada de crecimiento. Sin embargo, el exceso de precipitación puede resultar en encharcamiento del suelo, lo que impide la correcta absorción de oxígeno por las raíces y puede provocar enfermedades fúngicas y bacterianas. Además, la inundación prolongada puede dañar la calidad del tallo, afectando la cantidad de azúcar almacenada. Por otro lado, la escasez de lluvia también limita el crecimiento, y en estos casos, es necesario implementar sistemas de riego tecnificados para suplir las necesidades hídricas del cultivo y garantizar un suministro constante de agua. Los sistemas de riego deben ajustarse para evitar tanto la sobrecarga hídrica como la escasez, manteniendo un balance adecuado para la óptima absorción de agua por las raíces.

Un clima cálido y húmedo es ideal para el cultivo de la caña de azúcar, pero es crucial que las condiciones de temperatura, luz solar y precipitación se mantengan dentro de un rango adecuado. El manejo climático a través de tecnologías de riego, fertilización adecuada y la selección de variedades resistentes puede mitigar los efectos de las variaciones climáticas y garantizar una producción sostenible y de alta calidad.

### Suelo

La caña de azúcar es un cultivo adaptable a diversos tipos de suelos, pero su rendimiento óptimo se alcanza en suelos profundos, bien drenados y con un alto contenido de materia orgánica. Para asegurar un crecimiento saludable y una buena acumulación de sacarosa, los suelos ideales deben cumplir con ciertas características que faciliten la absorción de agua, aire y nutrientes esenciales para la planta. Entre las principales cualidades que deben tener los suelos para el cultivo de la caña de azúcar, destacan las siguientes:

#### Textura del suelo

Los suelos francos o franco-arenosos son los más adecuados para el cultivo de caña de azúcar, ya que proporcionan un buen balance entre retención de humedad y drenaje adecuado. Estos suelos permiten que el agua llegue a las raíces sin crear condiciones de encharcamiento, lo cual es fundamental para evitar la asfixia radicular. En contraste, los suelos arcillosos tienden a retener demasiada agua, lo que aumenta el riesgo de encharcamiento y favorece la proliferación de enfermedades fúngicas, que pueden comprometer el desarrollo de la planta. La permeabilidad del suelo es esencial, ya que la caña de azúcar necesita un drenaje eficiente para un crecimiento óptimo.

#### pH del suelo

La caña de azúcar prefiere suelos con un pH ligeramente ácido a neutro, que oscile entre 6.0 y 7.5. Estos niveles de pH permiten una mejor disponibilidad de nutrientes para la planta, especialmente los nutrientes clave como el nitrógeno, el fósforo y el potasio, esenciales para su crecimiento y producción de sacarosa. Los suelos demasiado ácidos o alcalinos pueden limitar la capacidad de la planta para absorber nutrientes, afectando negativamente su desarrollo y rendimiento. El pH del suelo debe ser monitoreado regularmente y corregido cuando sea necesario mediante enmiendas adecuadas, como la cal para suelos ácidos o yeso para suelos alcalinos.

#### Fertilidad del suelo

La fertilidad es uno de los factores más críticos para el rendimiento de la caña de azúcar. Este cultivo es altamente demandante en nutrientes, especialmente en nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K). Estos nutrientes son esenciales para el desarrollo de la planta, la síntesis de proteínas, la formación de azúcares y el crecimiento radicular. La deficiencia de estos elementos puede llevar a una reducción en el crecimiento de la planta y una menor producción de sacarosa.

Además de los macronutrientes, la caña de azúcar también necesita otros nutrientes menores, como magnesio, calcio y azufre, que deben estar presentes en cantidades adecuadas para optimizar la salud de la planta. Es importante realizar un análisis de suelo antes de plantar, para identificar las deficiencias y corregirlas mediante la aplicación de fertilizantes orgánicos o químicos.

El rendimiento de la caña de azúcar depende en gran medida de la calidad del suelo en que se cultiva. Los suelos profundos, con una textura adecuada, un pH equilibrado y una alta

fertilidad, son fundamentales para obtener una producción de alta calidad. El manejo adecuado del suelo, junto con prácticas de fertilización y correcto riego, permitirá a los productores maximizar el rendimiento del cultivo, incluso en condiciones adversas.

#### Disponibilidad de Agua

La caña de azúcar es un cultivo que tiene un alto requerimiento hídrico, lo que significa que la disponibilidad de agua es crucial para su desarrollo y productividad. El agua no solo es esencial para el crecimiento de la planta, sino que también juega un papel fundamental en la acumulación de azúcar en los tallos, que es el principal producto de interés en este cultivo. La cantidad adecuada de agua permite a la planta llevar a cabo procesos fisiológicos clave, como la fotosíntesis, la asimilación de nutrientes y el transporte de azúcares desde las raíces hasta los tallos.

Por otro lado, la falta de agua puede limitar gravemente el crecimiento de la caña de azúcar, provocando estrés hídrico, disminución de la productividad y una baja acumulación de sacarosa. En condiciones de sequía, la planta puede reducir su actividad metabólica, lo que afecta su capacidad para producir energía y desarrollarse adecuadamente. Además, la escasez de agua puede inducir un mayor riesgo de plagas y enfermedades, ya que las plantas estresadas se vuelven más vulnerables a estos problemas.

Sin embargo, un riego excesivo también representa un desafío para el cultivo de la caña de azúcar. El riego en exceso puede ocasionar encharcamiento en el suelo, lo que dificulta la oxigenación de las raíces y promueve la aparición de enfermedades fúngicas y bacterianas, como el mildiu o la pudrición de raíces. Además, un exceso de agua puede lixiviar los nutrientes esenciales, reduciendo la eficiencia del fertilizante y afectando el equilibrio nutricional de la planta.

Para contrarrestar estos problemas, el riego tecnificado juega un papel clave al proporcionar una aplicación controlada y eficiente de agua. Métodos como el riego por goteo permiten aplicar el agua directamente en la zona radicular de las plantas, asegurando que las raíces reciban la cantidad justa de agua sin que se desperdicie ni se produzcan excesos. Este tipo de riego mejora la eficiencia en el uso del agua, reduciendo las pérdidas por evaporación o escorrentía, lo que es especialmente beneficioso en regiones donde los recursos hídricos son limitados.

El uso de tecnologías de riego eficientes no solo mejora la productividad de la caña de azúcar, sino que también promueve la sostenibilidad agrícola, al permitir el manejo eficiente del agua en un contexto de creciente escasez hídrica y cambio climático. Además, el riego tecnificado puede integrar otras prácticas como la fertirrigación, en la que se aplica fertilizante junto con el agua, optimizando la nutrición de las plantas y asegurando un desarrollo adecuado en todas las etapas del cultivo. En resumen, la implementación de un sistema de riego adecuado es esencial para maximizar la eficiencia del uso del agua, prevenir enfermedades y lograr un rendimiento óptimo en la producción de caña de azúcar.

#### **1.7.3.6 Caña de azúcar CP722086**

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) constituye uno de los cultivos agrícolas de mayor relevancia económica en México, particularmente en el estado de Veracruz, donde se concentra más del 35 % de la superficie nacional destinada a este cultivo (CONADESUCA, 2022). La localidad de Joachín, ubicada en el municipio de Tierra Blanca, forma parte de la región cañera central, caracterizada por suelos fértiles, clima cálido húmedo y disponibilidad de infraestructura de riego tecnificado, lo que la convierte en una zona idónea para la producción sustentable de caña de azúcar. La variedad CP 72-2086 es una de las más difundidas a nivel nacional debido a su alta productividad y adaptabilidad a diferentes condiciones edafoclimáticas. Su comportamiento agronómico estable bajo sistemas de riego tecnificado la posiciona como un referente para estudios de gestión del conocimiento y mejora continua en la producción cañera.

Características morfológicas

- Altura de la planta: 2.5 a 3.5 metros.
- Diámetro del tallo: 2.5 a 3.0 cm, de color verde claro con ligera tonalidad amarilla.
- Hojas: largas y erectas, de color verde intenso.
- Yemas: redondeadas, prominentes y cubiertas parcialmente por la hoja envolvente.
- Floración: escasa o nula en la mayoría de las zonas cañeras de México.

Estas características facilitan el manejo agronómico y reducen el acame (caída del tallo), favoreciendo la cosecha mecanizada o manual.

Caracterización del material biológico: la variedad CP 72-2086

La variedad CP 72-2086 ha sido ampliamente utilizada en el cultivo de caña de azúcar en México, constituyéndose en uno de los genotipos más comunes del parque varietal nacional.

#### Origen y difusión

La denominación CP 72-2086 hace referencia a un clon liberado por el programa de mejoramiento de la estación “CP” (Canal Point, Florida, Estados Unidos) en el año 1972. En México, esta variedad fue adoptada tras su evaluación técnica por instituciones como Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar (CONADESUCA). Según informes técnicos, CP 72-2086 representa aproximadamente el 36 % de la superficie nacional de caña en ciertas temporadas.

#### Adaptación agroclimática y edáfica

La variedad muestra buena adaptabilidad a zonas cálidas y húmedas del país, así como bajo condiciones de riego tecnificado. Su uso es frecuente en regiones con suelos de textura media a pesada, tales como vertisoles o fluvisoles, que pueden contar con infraestructura de riego. El hecho de que sea tan ampliamente cultivada también evidencia su capacidad para responder favorablemente a las condiciones del entorno cañero mexicano.

#### Rendimiento productivo y calidad industrial

Diversas investigaciones realizadas por INIFAP muestran el comportamiento de CP 72-2086 en el campo mexicano. Por ejemplo, en la región de El Mante, Tamaulipas, se evaluaron siete variedades en condiciones de madurez al inicio de cosecha, incluyendo CP 72-2086 como testigo, donde se observaron diferencias en rendimiento y parámetros de calidad del jugo.

De manera general, se estima que la variedad posee un rendimiento medio potencial de alrededor de 115 t ha<sup>-1</sup> de caña en zona nacional.

Respecto a la calidad industrial, los valores reportados señalan que CP 72-2086 tiene contenido de azúcares reductores relativamente bajos en comparación con algunas otras variedades evaluadas.

#### Ventajas agronómicas y riesgos

Entre las ventajas destacan su amplia difusión lo que indica buen manejo agronómico y disponibilidad de semilla, su aceptable rendimiento bajo condiciones del país y su adaptación a sistemas de riego tecnificado.

Sin embargo, también se han identificado riesgos relacionados con la dependencia varietal, dado que su alta prevalencia en el territorio mexicano puede aumentar la vulnerabilidad ante el desarrollo de enfermedades emergentes o plagas específicas.

#### Importancia de la Selección de Variedades

La selección de una variedad adecuada de caña de azúcar es clave para optimizar el rendimiento del cultivo y minimizar los riesgos de pérdidas causadas por enfermedades o condiciones ambientales desfavorables. Al elegir una variedad, es esencial considerar varios factores que afectan directamente tanto la productividad como la rentabilidad. Uno de los factores más importantes es la resistencia a enfermedades. La caña de azúcar es vulnerable a diversas enfermedades, como la roya marrón y el carbón de la caña, que pueden reducir significativamente el rendimiento y la calidad de la cosecha. Optar por variedades resistentes, como la CP-722086, permite reducir el uso de tratamientos fitosanitarios, lo que no solo disminuye los costos, sino que también contribuye a prácticas agrícolas más sostenibles al limitar el uso de químicos.

La adaptabilidad al clima y al tipo de suelo, dado que la caña de azúcar se cultiva en regiones con una gran variedad de condiciones climáticas y de suelos, las variedades deben seleccionarse de acuerdo con las particularidades de cada entorno. Algunas variedades muestran mejor adaptación a climas húmedos, mientras que otras toleran mejor las condiciones secas o suelos con características específicas, como niveles altos de salinidad o drenaje limitado, esta adaptabilidad es especialmente relevante en el contexto de riego tecnificado, donde las variedades adecuadas pueden aprovechar al máximo el agua y los nutrientes disponibles, incrementando la eficiencia del cultivo.

Finalmente, el rendimiento y el contenido de sacarosa son factores determinantes para la elección de la variedad, ya que influyen directamente en la rentabilidad del cultivo. Las variedades de alto rendimiento, que producen una mayor cantidad de biomasa y contienen altos niveles de sacarosa en sus tallos, son preferidas por los productores debido a que permiten obtener más azúcar por hectárea. Esto mejora la eficiencia y reduce los costos de producción en comparación con variedades de menor rendimiento, en el contexto de una agricultura orientada a la sostenibilidad, las variedades con altos niveles de sacarosa y buena resistencia también pueden ser aprovechadas para producir biocombustibles y subproductos, aumentando así el valor económico del cultivo y contribuyendo a una mayor diversificación

de la producción agrícola, la elección adecuada de la variedad, en conjunto con un manejo óptimo, permite una producción más estable, rentable y resiliente frente a desafíos ambientales y de mercado.

#### **1.7.3.7 Tecnologías de riego en cultivos agrícolas**

El riego es una práctica fundamental en la agricultura, especialmente en áreas donde la disponibilidad de agua es limitada o variable a lo largo del año. Esta técnica permite que los cultivos reciban el agua necesaria para su crecimiento en regiones áridas o durante períodos de sequía, asegurando una producción estable. La tecnificación del riego consiste en la adopción de métodos y herramientas avanzadas para optimizar el uso de agua, adaptando su aplicación a las necesidades específicas de cada cultivo y a las características del suelo, este enfoque no solo maximiza la eficiencia hídrica, sino que también contribuye a una gestión sostenible de los recursos, minimizando el desperdicio y mejorando el rendimiento del agua utilizada en la producción agrícola.

Con el tiempo, las tecnologías de riego en la agricultura han evolucionado significativamente, integrando herramientas que permiten una aplicación precisa y controlada del agua, entre estas tecnologías destacan el riego por goteo, la microaspersión y los sistemas de pivote central, los cuales están diseñados para reducir al mínimo las pérdidas de agua por evaporación y escorrentía, permitiendo una distribución uniforme en todo el campo, el riego tecnificado se beneficia de sensores de humedad del suelo, sistemas automatizados y monitoreo en tiempo real, lo que permite a los agricultores ajustar el riego de manera óptima, basándose en datos precisos y en las condiciones cambiantes del entorno. Estas innovaciones no solo reducen el consumo total de agua, sino que también maximizan la productividad del cultivo, ya que los cultivos reciben agua en el momento y la cantidad adecuada, evitando tanto el déficit como el exceso hídrico. En un contexto de cambio climático y aumento de la competencia por los recursos hídricos, el riego tecnificado no solo es una herramienta para mejorar la producción agrícola, sino también una estrategia clave para fomentar la sostenibilidad y la resiliencia del sector, con una adecuada implementación, el riego tecnificado permite una agricultura más eficiente, contribuyendo a la seguridad alimentaria y a la protección de los recursos naturales en el largo plazo.

## Importancia del Riego Tecnificado

El riego tecnificado en la agricultura es esencial para un uso eficiente del agua, especialmente en el contexto actual de cambio climático, donde la escasez de recursos hídricos y la creciente demanda de alimentos son grandes desafíos. Este sistema permite que el agua llegue directamente a la zona de las raíces de los cultivos en la cantidad y el momento adecuados, reduciendo el desperdicio y optimizando el rendimiento de los cultivos. Un sistema de riego eficiente no solo mejora la productividad agrícola al aumentar el rendimiento de las plantas, sino que también contribuye a reducir los costos operativos y a conservar los recursos naturales, minimizando las pérdidas de agua por evaporación y escorrentía.

Además, el riego tecnificado permite la integración de otras prácticas de manejo, como la fertirrigación, que consiste en la aplicación de fertilizantes junto con el agua de riego. Este método asegura que los nutrientes se distribuyan uniformemente y se absorban de manera más efectiva, mejorando la nutrición de las plantas y potenciando su crecimiento. Esto es especialmente relevante en cultivos intensivos, como la caña de azúcar, que requieren grandes volúmenes de agua y nutrientes para alcanzar su máximo rendimiento. La combinación de riego y fertilización en un solo sistema reduce el uso excesivo de fertilizantes, previene la lixiviación y disminuye el impacto ambiental al evitar que los nutrientes se filtren a cuerpos de agua cercanos.

En un contexto donde la disponibilidad de agua es cada vez más limitada y la presión sobre los sistemas agrícolas es mayor, el riego tecnificado no solo mejora la sostenibilidad de la producción agrícola, sino que también permite a los agricultores adaptarse a condiciones climáticas variables, optimizando el uso de recursos y garantizando una producción alimentaria estable y eficiente. La adopción de estas tecnologías es fundamental para avanzar hacia una agricultura más sostenible y resiliente frente a los desafíos actuales y futuros.

### **1.7.3.8 Manejo Agronómico de la caña de azúcar**

La variedad de caña de azúcar seleccionada es un factor fundamental para garantizar una alta productividad, ya que las diferentes variedades tienen características específicas que se adaptan mejor a condiciones ambientales particulares y a prácticas de manejo agrícola. Cada variedad tiene propiedades que determinan su rendimiento, resistencia a enfermedades, capacidad de adaptación al tipo de suelo y su idoneidad para sistemas de riego, lo cual influye directamente en la rentabilidad y la sostenibilidad del cultivo.

Una de las características más importantes a considerar en la selección de la variedad es su adaptabilidad a las condiciones climáticas y de manejo del cultivo. Por ejemplo, la variedad CP-722086 es especialmente adecuada para condiciones de riego tecnificado, ya que no solo es capaz de adaptarse a diferentes tipos de suelos y climas, sino que también muestra una destacada resistencia a las principales enfermedades que afectan a la caña de azúcar, como la roya y el mosaico. Esta adaptabilidad es clave para optimizar el rendimiento y reducir los costos asociados con el manejo del cultivo, ya que las variedades más resistentes requieren menos insumos y tratamientos fitosanitarios, lo que contribuye a un cultivo más eficiente y sostenible.

La resistencia a enfermedades es otro factor crítico que debe ser considerado. Las plagas y enfermedades fúngicas y virales son comunes en el cultivo de caña de azúcar y pueden afectar gravemente la productividad. Por ejemplo, la roya de la caña y el mosaico, dos enfermedades que afectan a la planta, pueden reducir significativamente la cantidad de azúcar producida, además de requerir tratamientos repetidos con productos químicos. Seleccionar variedades con una alta resistencia a estas enfermedades no solo disminuye la necesidad de aplicar pesticidas y fungicidas, sino que también reduce el impacto ambiental del cultivo y mejora la sostenibilidad a largo plazo.

Otro factor determinante en la elección de la variedad es el contenido de sacarosa, que varía considerablemente entre las distintas variedades de caña. Algunas variedades, como la CP-722086, han sido seleccionadas específicamente por su alto contenido de sacarosa, lo que mejora la eficiencia en la producción de azúcar. Un mayor contenido de sacarosa no solo incrementa el rendimiento de la planta, sino que también mejora la rentabilidad del cultivo, ya que se obtiene más azúcar por tonelada de caña. Esta característica es particularmente relevante en la industria azucarera, donde la rentabilidad está directamente relacionada con la cantidad de sacarosa que se puede extraer de cada planta.

La selección de la variedad de caña de azúcar adecuada es un paso clave para maximizar la productividad del cultivo, optimizar el uso de recursos como el agua y los fertilizantes, y reducir la exposición a enfermedades y plagas. Al elegir la variedad más apropiada para las condiciones específicas del terreno, el clima y el sistema de manejo agrícola, los agricultores pueden asegurar una producción más eficiente, rentable y sostenible a lo largo del tiempo.

Factores Genéticos

Las prácticas de manejo agronómico son fundamentales para maximizar la productividad de los cultivos, ya que influyen directamente en la aplicación eficiente de insumos, la gestión adecuada del suelo y el uso eficiente del agua. Estas prácticas no solo impactan el rendimiento del cultivo, sino también la sostenibilidad y la rentabilidad a largo plazo. Un manejo adecuado permite optimizar los recursos, reducir los costos operativos y garantizar que las plantas reciban los nutrientes, agua y atención necesarios para crecer de manera saludable.

La aplicación eficiente de insumos, como fertilizantes y pesticidas, es una de las prácticas clave en el manejo agronómico.

El uso adecuado de fertilizantes mejora la fertilidad del suelo y asegura que las plantas obtengan los nutrientes necesarios para su crecimiento y desarrollo. Sin embargo, el uso excesivo de fertilizantes puede provocar la contaminación de aguas subterráneas y desequilibrio en los ecosistemas, por lo que es esencial un manejo preciso, como la fertirrigación, que permite aplicar los nutrientes directamente a las raíces de las plantas, asegurando una absorción óptima y reduciendo el desperdicio. Además, el control de plagas y enfermedades mediante el uso racional de pesticidas ayuda a mantener un equilibrio ecológico en el cultivo, sin afectar de manera negativa al medio ambiente.

#### Fertilización

La caña de azúcar es un cultivo altamente exigente en términos de nutrientes, especialmente nitrógeno, fósforo y potasio, que son esenciales para su desarrollo y producción. El nitrógeno es clave para el crecimiento vegetativo y la formación de tallos, el fósforo favorece el desarrollo de las raíces y la floración, y el potasio es crucial para la síntesis de azúcares y la resistencia a enfermedades. Un suministro adecuado y equilibrado de estos nutrientes no solo favorece un crecimiento vigoroso, sino también un alto contenido de sacarosa, lo que resulta en una mayor productividad y calidad del cultivo.

La fertilización adecuada es uno de los factores más importantes para asegurar que la caña de azúcar alcance su máximo potencial. Para ello, es esencial realizar un análisis de suelo que permita conocer la disponibilidad de nutrientes en el terreno y determinar las cantidades exactas de fertilizantes que deben aplicarse. Este análisis debe tener en cuenta tanto los nutrientes que ya están presentes en el suelo como las necesidades específicas de la planta durante sus distintas fases de crecimiento. La fertilización balanceada es fundamental para

evitar el exceso de nutrientes, lo que podría afectar la salud del suelo y el ambiente, así como para prevenir deficiencias que puedan limitar el rendimiento del cultivo.

Además, la fertilización puede combinarse con sistemas de fertirrigación, especialmente en sistemas de riego tecnificado como el riego por goteo. La fertirrigación permite aplicar tanto agua como nutrientes directamente en la zona radicular de las plantas, mejorando la eficiencia en la absorción y reduciendo el desperdicio. Este enfoque no solo optimiza el uso de recursos hídricos, sino que también asegura que la caña de azúcar reciba los nutrientes de manera precisa y en el momento adecuado, lo que es especialmente importante en suelos con limitaciones en la retención de nutrientes.

El uso de fertilizantes de liberación controlada y el monitoreo constante de la conductividad eléctrica y los niveles de nutrientes en el suelo mediante tecnología avanzada, como sensores y sistemas de control automatizados, también puede mejorar la eficiencia de la fertilización, reduciendo el impacto ambiental y mejorando la sostenibilidad del cultivo. De esta manera, la integración de la fertilización adecuada con sistemas de riego tecnificado y fertirrigación contribuye a un manejo más eficiente y sostenible de los recursos, asegurando altos rendimientos y mejorando la rentabilidad del cultivo de la caña de azúcar.

#### Control de Plagas y Enfermedades

Las plagas y enfermedades son una de las principales amenazas para el rendimiento de la caña de azúcar, ya que pueden reducir significativamente tanto el rendimiento como la calidad del cultivo. Las plagas más comunes incluyen el barrenador de la caña, que perfora los tallos y debilita la planta, y el gusano cogollero, que se alimenta de los brotes jóvenes, afectando el crecimiento y la capacidad de la planta para producir sacarosa. Otras plagas importantes incluyen ácaros, cochinillas y orugas, que también afectan la salud de la caña de azúcar, causando daños directos y creando un ambiente propenso a infecciones.

En cuanto a las enfermedades, la roya de la caña de azúcar, causada por un hongo, se caracteriza por la aparición de manchas en las hojas, lo que reduce la capacidad fotosintética de la planta. El carbón de la caña es otra enfermedad fúngica que ataca los tallos, causando la muerte de las plantas afectadas. El mosaico, provocado por un virus, afecta el crecimiento y la producción de azúcar, disminuyendo el rendimiento del cultivo. Estas enfermedades pueden ser particularmente destructivas si no se controlan a tiempo, ya que se propagan rápidamente, afectando grandes áreas de cultivo.

El Manejo Integrado de Plagas (MIP) es una estrategia fundamental para controlar tanto las plagas como las enfermedades de manera sostenible y eficiente. Este enfoque utiliza una combinación de métodos químicos, biológicos y culturales para minimizar los impactos negativos de las plagas y enfermedades, mientras se reducen los costos y el uso de productos químicos. Los métodos químicos, como insecticidas y fungicidas, son necesarios en situaciones graves, pero deben utilizarse de manera selectiva y estratégica para evitar la resistencia y minimizar los efectos secundarios en el ambiente y los ecosistemas circundantes.

Por otro lado, los métodos biológicos incluyen el uso de predadores naturales, como insectos benéficos y microorganismos, que controlan las plagas de manera más ecológica. El uso de biopesticidas, que son productos orgánicos derivados de organismos vivos o naturales, es una alternativa cada vez más popular para reducir el impacto ambiental de los pesticidas tradicionales.

Finalmente, las prácticas culturales juegan un papel crucial en la prevención de plagas y enfermedades. Estas incluyen la rotación de cultivos, la siembra en fechas adecuadas para evitar que las plagas encuentren condiciones óptimas de reproducción, la utilización de variedades resistentes y el mantenimiento de una buena gestión del suelo para reducir las fuentes de infección. Además, el uso de sistemas de monitoreo mediante tecnologías avanzadas, como sensores y drones, puede ayudar a detectar plagas y enfermedades en etapas tempranas, permitiendo una intervención rápida y dirigida.

El MIP no solo es clave para el control efectivo de plagas y enfermedades, sino también para mantener un cultivo de caña de azúcar saludable y productivo, mejorando la sostenibilidad y reduciendo el uso de químicos, lo que contribuye a una agricultura más responsable y respetuosa con el medio ambiente.

#### Preparación del Suelo y Control de Malezas

La preparación adecuada del suelo es un factor clave para garantizar el buen desarrollo de la caña de azúcar desde sus primeras etapas. Un suelo bien preparado facilita un mejor establecimiento de las plantas, ya que asegura una penetración eficiente de las raíces, lo que permite un adecuado acceso a los nutrientes y al agua. Además, la preparación del suelo, que puede incluir actividades como la labranza, la nivelación y la aireación, mejora la estructura del suelo, favoreciendo su drenaje y reduciendo la compactación. Estas prácticas

permiten a las raíces crecer de manera más saludable y profunda, lo que es esencial para el rendimiento del cultivo, especialmente en áreas de riego tecnificado.

El control de malezas es otro aspecto fundamental en el manejo del cultivo de caña de azúcar, ya que las malezas compiten directamente con las plantas de caña por nutrientes, agua y luz solar, lo que puede resultar en una disminución significativa del rendimiento y la calidad del cultivo. Las malezas, además, pueden albergar plagas y enfermedades, creando un ambiente propicio para su proliferación, lo que complica aún más el manejo del cultivo. Para controlar las malezas de manera efectiva, se utilizan diversas estrategias, tanto químicas como mecánicas.

El uso de herbicidas selectivos es uno de los métodos más comunes y eficaces para eliminar las malezas sin dañar la caña de azúcar. Estos herbicidas están diseñados para actuar específicamente sobre las malezas, dejando intacta la planta de caña. Sin embargo, es crucial aplicar los herbicidas en las dosis y momentos adecuados para evitar la resistencia y minimizar el impacto ambiental.

Por otro lado, el control mecánico de malezas incluye prácticas como el deshierbe manual, el cultivo entre hileras con maquinaria especializada, y el uso de desmalezadoras o cepillos mecánicos. Aunque es más laborioso y puede ser costoso, el control mecánico es una alternativa ecológica y más sostenible en cultivos orgánicos o en aquellos en los que se busca reducir el uso de productos químicos.

Además, el control integrado de malezas, que combina el uso de herbicidas selectivos, técnicas mecánicas y prácticas culturales como la rotación de cultivos, la cobertura del suelo con mulching o la siembra de cultivos de cobertura, ha demostrado ser efectivo para prevenir la proliferación de malezas de manera sostenible. Las cubiertas vegetales o los cultivos intercalados pueden reducir la incidencia de malezas al cubrir el suelo y competir con ellas por los recursos, disminuyendo la necesidad de intervenciones químicas.

Un adecuado manejo del suelo y un control eficaz de malezas son fundamentales para optimizar el rendimiento de la caña de azúcar. Estas prácticas no solo mejoran la productividad del cultivo, sino que también favorecen un ambiente más saludable y sostenible, reduciendo el uso de productos químicos y aumentando la eficiencia en el uso de recursos como el agua y los nutrientes.

## **Capítulo 3 Desarrollo**

### **1.8 Lugar de realización**

La presente investigación se desarrolló en una unidad de producción agrícola destinada al cultivo de caña de azúcar, ubicada en la localidad de Joachín, perteneciente al municipio de Tierra Blanca, en el estado de Veracruz. Esta región forma parte de una importante zona productora de caña de azúcar en el país, caracterizada por su actividad agrícola intensiva y por la implementación de diferentes prácticas de manejo orientadas a mejorar la productividad del cultivo.

Las condiciones agroclimáticas de la región son favorables para el desarrollo del cultivo de la caña de azúcar, ya que presenta un clima predominantemente cálido subhúmedo, con temperaturas medias anuales que oscilan entre los 24 y 26 °C, así como una precipitación anual aproximada de entre 1,200 y 1,500 mm, concentrada principalmente durante la temporada de lluvias. Estas condiciones permiten el adecuado crecimiento y desarrollo del cultivo durante su ciclo productivo. Sin embargo, en determinados periodos del año pueden presentarse condiciones de déficit hídrico, por lo que resulta necesaria la implementación de sistemas de riego que permitan mantener la disponibilidad de agua para el cultivo.

La parcela donde se llevó a cabo el estudio cuenta con infraestructura agrícola destinada al manejo del cultivo de caña de azúcar, incluyendo sistemas de riego tecnificado que permiten optimizar el uso del recurso hídrico y mejorar las condiciones de producción. Dentro de esta unidad de producción se cultiva la variedad CP-722086, la cual es ampliamente utilizada en diferentes regiones cañeras debido a su buen rendimiento, adaptación a diversas condiciones edafoclimáticas y su potencial productivo en términos de tonelaje por hectárea.

Un aspecto relevante del contexto en el que se desarrolla esta investigación es la dinámica de trabajo existente entre el administrador del cultivo y los trabajadores encargados de realizar las labores agrícolas. En este caso, el administrador no se encuentra permanentemente en el lugar donde se desarrolla la producción, debido a la distancia entre el sitio de cultivo y el lugar donde se realizan las actividades administrativas. Esta situación puede generar dificultades en la supervisión directa de las labores, en la comunicación con los trabajadores y en la toma de decisiones oportunas relacionadas con el manejo del cultivo.

Ante esta problemática, el presente proyecto se enfoca en el diseño e implementación de un sistema de gestión del conocimiento aplicado al cultivo de caña de azúcar bajo condiciones

de riego tecnificado. Dicho sistema busca facilitar la organización, transmisión y aplicación del conocimiento relacionado con las actividades agrícolas, permitiendo que las instrucciones y procedimientos puedan ser comunicados de manera eficiente entre el administrador y los trabajadores, aun cuando no exista una presencia física constante en el sitio de producción. De esta manera, el lugar de realización del estudio no solo proporciona el contexto físico y productivo en el que se desarrolla el cultivo, sino que también representa el entorno real en el que se identifican las necesidades de gestión, comunicación y supervisión que motivan el desarrollo del sistema propuesto en esta investigación.

### **1.9 Diagnóstico específico del proceso productivo del cultivo de caña de azúcar**

El diagnóstico del sistema productivo se enfocó en el análisis detallado del manejo real del cultivo de caña de azúcar variedad CP-722086 bajo condiciones de riego tecnificado, considerando tanto las actividades operativas desarrolladas en campo como los mecanismos de control, supervisión y toma de decisiones existentes. Este análisis permitió identificar como problemática central la ausencia de una presencia constante del administrador o encargado del cultivo en las zonas productivas, situación que generaba una gestión fragmentada y altamente dependiente del criterio individual de los trabajadores agrícolas.

En la práctica, esta condición provocaba una ejecución no estandarizada de las labores críticas del cultivo, lo que se reflejaba en una alta variabilidad operativa. Entre las principales consecuencias detectadas se encontraron la aplicación irregular del riego tecnificado, donde los tiempos y volúmenes de agua no siempre correspondían con las necesidades reales del suelo y del estado fenológico de la planta; errores en la dosificación de fertilizantes, derivados de la falta de lineamientos claros y de registros históricos que orientaran las decisiones; retrasos en el control de plagas y enfermedades, al no existir un sistema de monitoreo sistemático que alertara oportunamente sobre incidencias; omisión de actividades agrícolas esenciales, como evaluaciones post corte o manejo adecuado de residuos; y una carencia generalizada de registros productivos que permitieran analizar el desempeño del cultivo a lo largo del tiempo.

Estas deficiencias operativas impactaban directamente en el uso ineficiente de los recursos productivos, especialmente en el consumo de agua y de insumos agrícolas, generando incrementos en los costos operativos y afectaciones en el rendimiento del cultivo. Desde la perspectiva de la ingeniería industrial, este escenario evidencia una ausencia de control de

procesos, falta de estandarización del trabajo y carencia de mecanismos de retroalimentación, elementos que Deming (1986) señala como factores determinantes de la ineficiencia productiva y de la variabilidad en los resultados.

Asimismo, el diagnóstico reveló que el conocimiento técnico relacionado con las mejores prácticas de riego, fertilización y manejo fitosanitario se encontraba principalmente en forma tácita, basado en la experiencia del productor y de algunos trabajadores, sin procesos formales de documentación ni transferencia estructurada. Esta situación incrementaba la dependencia del factor humano y elevaba el riesgo de errores operativos, pérdida de información y dificultad para implementar mejoras continuas.

Como resultado de este análisis, se evidenció la necesidad de implementar un sistema estructurado que permitiera organizar, documentar y estandarizar la información agrícola, así como establecer mecanismos de supervisión y comunicación más eficientes. En este contexto, la incorporación de un Sistema de Gestión del Conocimiento apoyado en herramientas digitales y una aplicación móvil se planteó como una solución estratégica para facilitar la supervisión remota, reducir la variabilidad operativa, fortalecer el control de procesos y transformar el conocimiento empírico en procedimientos técnicos sistematizados, orientados a mejorar la productividad y sostenibilidad del cultivo.

### **1.10 Método de Nonaka y Takeuchi para la gestión del conocimiento**

Para el desarrollo del sistema de gestión del conocimiento aplicado al cultivo de caña de azúcar, se tomó como referencia el modelo de creación del conocimiento propuesto por Ikujiro Nonaka y Hirotaka Takeuchi. Este modelo es ampliamente reconocido dentro del campo de la Gestión del Conocimiento, ya que describe cómo se genera, comparte y transforma el conocimiento dentro de una organización o grupo de trabajo.

El modelo desarrollado por estos autores plantea que el conocimiento se crea a través de la interacción entre dos tipos de conocimiento: el conocimiento tácito y el conocimiento explícito. El conocimiento tácito se refiere a aquel que se encuentra en la experiencia, habilidades y conocimientos personales de los individuos, y que generalmente es difícil de expresar o documentar. Por otro lado, el conocimiento explícito es aquel que puede ser transmitido mediante documentos, instrucciones, manuales o cualquier otro medio que permita su almacenamiento y difusión.

La propuesta de Nonaka y Takeuchi establece que la creación de conocimiento se desarrolla mediante un proceso dinámico conocido como modelo SECI, el cual está compuesto por cuatro etapas fundamentales: socialización, externalización, combinación e internalización. Estas etapas permiten transformar el conocimiento individual en conocimiento organizacional que puede ser utilizado por diferentes personas dentro de un sistema productivo.



*Ilustración 9 Modelo Nonaka y Takeuchi*

La primera etapa corresponde a la socialización, en la cual el conocimiento tácito es compartido entre los individuos mediante la interacción directa, la observación y la experiencia práctica. En el contexto del cultivo de caña de azúcar, este proceso puede observarse cuando los trabajadores aprenden nuevas técnicas de manejo del cultivo a partir

de la experiencia transmitida por el administrador o por otros trabajadores con mayor conocimiento en determinadas actividades agrícolas.

La segunda etapa es la externalización, que consiste en la transformación del conocimiento tácito en conocimiento explícito. En esta fase, las experiencias, habilidades o procedimientos que anteriormente se encontraban únicamente en la mente de los trabajadores o del administrador son documentados y estructurados en forma de instrucciones, registros o procedimientos de trabajo. Dentro del presente proyecto, esta etapa fue fundamental para convertir el conocimiento relacionado con el manejo del cultivo en información organizada que pudiera ser integrada dentro del sistema de gestión del conocimiento.

La tercera etapa corresponde a la combinación, en la cual el conocimiento explícito existente se integra, organiza y sistematiza para generar nuevo conocimiento estructurado. En esta fase se recopila la información disponible, se clasifica y se organiza dentro de una plataforma o sistema que facilite su consulta y aplicación. En el caso de esta investigación, la combinación permitió reunir diferentes procedimientos, instrucciones y registros relacionados con el cultivo de caña de azúcar bajo riego tecnificado, con el fin de estructurarlos dentro del sistema propuesto.

Finalmente, la cuarta etapa es la internalización, que ocurre cuando el conocimiento explícito es asimilado por los individuos y se transforma nuevamente en conocimiento tácito mediante la práctica y la experiencia. Es decir, los trabajadores utilizan la información disponible en el sistema para ejecutar sus actividades en el campo, lo que les permite desarrollar nuevas habilidades y fortalecer su conocimiento sobre el manejo del cultivo.

La aplicación del modelo de Nonaka y Takeuchi dentro de esta investigación permitió establecer una base metodológica para la organización y transmisión del conocimiento relacionado con el cultivo de caña de azúcar. De esta manera, el sistema de gestión del conocimiento desarrollado busca facilitar la comunicación entre el administrador y los trabajadores, así como mejorar la estandarización de las actividades agrícolas, incluso en situaciones donde la supervisión presencial es limitada debido a la distancia entre el lugar de administración y el sitio de producción.

En este sentido, la implementación de este modelo contribuye a fortalecer los procesos de aprendizaje dentro de la unidad de producción agrícola, promoviendo una mejor gestión de

la información y una mayor eficiencia en la ejecución de las actividades relacionadas con el manejo del cultivo.

### **1.11 Aplicación del modelo de Nonaka y Takeuchi en el sistema propuesto**

El modelo de creación del conocimiento desarrollado por Ikujiro Nonaka y Hirotaka Takeuchi fue utilizado como base conceptual para estructurar el sistema de gestión del conocimiento propuesto en esta investigación. Su aplicación permitió organizar la manera en que el conocimiento relacionado con el manejo del cultivo de caña de azúcar puede ser capturado, estructurado, compartido y utilizado por los trabajadores, aun cuando el administrador no se encuentre físicamente presente en el área de producción.

El desarrollo del Sistema de Gestión del Conocimiento para el cultivo de caña de azúcar variedad CP-722086 bajo riego tecnificado se estructuró mediante una metodología sistemática basada en principios de ingeniería industrial y en los modelos de gestión del conocimiento organizacional. Esta metodología permitió integrar el análisis de procesos productivos, la estandarización operativa y el uso de tecnologías digitales con el objetivo de transformar el conocimiento tácito existente en información explícita, organizada y accesible para todos los actores involucrados en el sistema agrícola.

El proceso de desarrollo se organizó en cinco fases interrelacionadas y cíclicas, las cuales no solo permitieron diseñar el sistema, sino también garantizar su mejora continua a través de la retroalimentación permanente de la información generada en campo.

En el contexto de esta investigación, el modelo SECI se adaptó al entorno agrícola con el objetivo de mejorar la transmisión de conocimientos entre el administrador y los trabajadores encargados de ejecutar las actividades en el campo. A continuación, se describe la forma en que cada una de las etapas del modelo fue aplicada dentro del sistema propuesto.

#### **1.11.1 Etapa 1 Sociabilización**

La socialización corresponde al proceso mediante el cual el conocimiento tácito se comparte entre los individuos a través de la interacción directa, la experiencia y la observación. En el caso del cultivo de caña de azúcar, gran parte del conocimiento relacionado con las prácticas agrícolas se adquiere mediante la experiencia acumulada por los trabajadores y por el administrador del cultivo.

Dentro del sistema de gestión del conocimiento desarrollado en esta investigación, la socialización se refleja en la transmisión inicial de conocimientos y experiencias relacionadas con las actividades agrícolas, tales como el manejo del riego, la supervisión del crecimiento del cultivo, la aplicación de fertilizantes y el control de malezas. Estos conocimientos fueron identificados a partir de la experiencia práctica del administrador y posteriormente considerados como base para estructurar la información que sería incorporada al sistema.

#### **1.11.1.1 Identificación del conocimiento agrícola crítico**

En esta primera fase se realizó un levantamiento sistemático del conocimiento técnico y operativo relacionado con las actividades esenciales del cultivo, tales como el manejo del riego tecnificado, la fertilización, el control de plagas y enfermedades, la evaluación post corte y la administración de costos. Este conocimiento se encontraba principalmente en forma tácita, basado en la experiencia del productor y de los trabajadores agrícolas.

A través de entrevistas, observaciones directas en campo y revisión de prácticas habituales, se identificaron las mejores prácticas productivas, los errores recurrentes y los puntos críticos del proceso. Esta etapa permitió reconocer qué información era fundamental para el desempeño eficiente del cultivo y debía ser documentada dentro del SGC. De acuerdo con Probst et al. (2000), la identificación del conocimiento es el primer paso para evitar su pérdida y convertirlo en un recurso estratégico organizacional.

#### **1.11.1.2 Captura y formalización del conocimiento agrícola específico del cultivo CP-722086**

La captura del conocimiento tácito asociado al manejo del cultivo de caña de azúcar constituyó una etapa fundamental en el desarrollo del Sistema de Gestión del Conocimiento, ya que permitió transformar la experiencia práctica acumulada por el productor y los trabajadores en información técnica estructurada y sistematizada. Este conocimiento, previamente disperso y no documentado, representaba el principal insumo para la estandarización de los procesos agrícolas y la mejora del desempeño productivo.

El proceso de captura se llevó a cabo mediante una combinación de entrevistas técnicas semiestructuradas al productor responsable del cultivo, observación directa de las labores agrícolas en campo y análisis detallado de las prácticas productivas aplicadas en cada etapa del ciclo del cultivo. Estas técnicas permitieron comprender no solo qué actividades se

realizaban, sino también los criterios utilizados para la toma de decisiones, tales como ajustes en el riego, selección de dosis de fertilizantes y acciones preventivas frente a plagas y enfermedades.

A partir de este análisis se identificaron una serie de parámetros críticos que influyen directamente en el rendimiento del cultivo y en la eficiencia del uso de recursos. Entre los principales elementos formalizados se incluyeron los niveles óptimos de humedad del suelo requeridos en cada fase fenológica, la frecuencia y duración del riego tecnificado según las condiciones climáticas y el tipo de suelo, así como las señales visuales que indicaban deficiencias nutricionales o estrés hídrico en la planta. Asimismo, se definieron los momentos oportunos de fertilización, basados en el desarrollo vegetativo de la caña y en las necesidades específicas de nutrientes, y se establecieron indicadores tempranos para la detección de plagas y enfermedades, permitiendo una intervención oportuna que evitara pérdidas productivas.

De igual manera, se documentó la secuencia eficiente de labores agrícolas, desde la evaluación post corte hasta las actividades de mantenimiento del cultivo, con el fin de asegurar una ejecución ordenada, sistemática y alineada con las mejores prácticas identificadas. Esta secuencia fue fundamental para la construcción de los diagramas de flujo operativos que guían las acciones de los trabajadores dentro de la aplicación móvil.

Toda la información recopilada fue transformada en reglas técnicas operativas, procedimientos estandarizados y criterios de control que alimentaron directamente los módulos del Sistema de Gestión del Conocimiento y la estructura funcional de la aplicación desarrollada en App Inventor. De esta forma, el conocimiento empírico dejó de depender exclusivamente de la experiencia individual y pasó a formar parte de un sistema accesible, replicable y sujeto a mejora continua.

Este proceso corresponde a la fase de exteriorización del conocimiento dentro del modelo SECI propuesto por Nonaka y Takeuchi (1995), en la cual el conocimiento tácito es convertido en conocimiento explícito mediante su documentación y estructuración en formatos comprensibles y utilizables. Al formalizar la experiencia agrícola en procedimientos técnicos y flujos operativos digitales, se fortaleció la base del SGC, facilitando la transferencia de conocimiento, la estandarización de procesos y la toma de decisiones basada en información sistematizada.

### **1.11.2 Etapa 2 Externalización**

La externalización consiste en convertir el conocimiento tácito en conocimiento explícito, es decir, transformar la experiencia y el conocimiento personal en información que pueda ser documentada y compartida con otras personas. Esta etapa fue fundamental para el desarrollo del sistema, ya que permitió transformar el conocimiento empírico relacionado con el cultivo de caña de azúcar en procedimientos, instrucciones y registros organizados. Durante esta fase se identificaron y documentaron diversas actividades agrícolas que forman parte del manejo del cultivo, las cuales fueron estructuradas dentro del sistema en forma de instrucciones claras para los trabajadores. De esta manera, el conocimiento que anteriormente dependía exclusivamente de la experiencia individual del administrador pudo convertirse en información accesible y organizada.

#### **1.11.2.1 Modelado de procesos del cultivo**

Una vez identificado el conocimiento crítico, se procedió al modelado de los procesos productivos del cultivo de caña de azúcar mediante herramientas de ingeniería industrial, principalmente diagramas de flujo, diagramas de medios y funciones y el análisis FAST. Estos instrumentos permitieron representar de manera visual y estructurada cada una de las actividades agrícolas, desde la preparación del suelo hasta la cosecha y el monitoreo continuo del cultivo.

El modelado de procesos facilitó la identificación de secuencias operativas, puntos de control, responsables de cada actividad y posibles cuellos de botella. Asimismo, permitió estandarizar procedimientos, reducir la variabilidad en la ejecución de las tareas y definir con claridad las acciones que debían realizarse en cada etapa del manejo agrícola. Esta fase resultó fundamental para traducir el conocimiento empírico en procesos formales y reproducibles.

#### **1.11.2.2 Modelado de procesos agrícolas mediante diagramas de flujo estandarizados**

El modelado de los procesos productivos del cultivo de caña de azúcar variedad CP-722086 se llevó a cabo mediante la elaboración de diagramas de flujo estandarizados, los cuales constituyen una de las herramientas fundamentales de la ingeniería industrial para la representación, análisis y mejora de procesos. Estos diagramas permitieron estructurar de

manera lógica y secuencial cada una de las actividades agrícolas, transformando las prácticas empíricas en procedimientos técnicos claramente definidos.

Cada diagrama fue diseñado para representar el ciclo completo de evaluación técnica, toma de decisiones y ejecución de acciones correctivas, estableciendo puntos de control específicos donde se analizan las condiciones del cultivo antes de proceder con la siguiente actividad. De esta forma, se incorporaron criterios objetivos para decidir, por ejemplo, cuándo aplicar riego, ajustar dosis de fertilización o intervenir ante la presencia de plagas, reduciendo la dependencia del criterio subjetivo del trabajador.

Los diagramas de flujo se desarrollaron con base en el conocimiento capturado previamente del productor y se enfocaron en cubrir las etapas críticas del proceso productivo del cultivo, incluyendo:

- La evaluación del campo después del corte para determinar condiciones del suelo y brotación inicial;
- El manejo de residuos agrícolas y control de malezas para asegurar un desarrollo adecuado del cultivo;
- La fertilización y nutrición vegetal conforme a las necesidades específicas de cada fase fenológica;
- El manejo del riego tecnificado, considerando niveles óptimos de humedad y frecuencia de aplicación;
- El control fitosanitario para la detección temprana y mitigación de plagas y enfermedades;
- Y la administración de costos productivos, permitiendo dar seguimiento al uso de insumos y recursos económicos.

Este modelado permitió no solo estandarizar las operaciones agrícolas, sino también identificar posibles redundancias, omisiones de actividades y oportunidades de mejora en la secuencia del trabajo. Desde la perspectiva de la ingeniería industrial, la estandarización de procesos es un elemento clave para garantizar consistencia en los resultados, reducir errores operativos y mejorar la eficiencia global del sistema productivo (Shillito, 1991; Maynard, 2001).

Adicionalmente, los diagramas de flujo sirvieron como base estructural para la implementación del Sistema de Gestión del Conocimiento dentro de la aplicación móvil desarrollada en App Inventor. Cada diagrama fue convertido en un módulo interactivo dentro de la plataforma digital, donde los trabajadores siguen paso a paso las decisiones establecidas en el flujo, registran información y reciben instrucciones operativas. Esta integración permitió que el conocimiento explícito se tradujera directamente en acciones prácticas en campo, fortaleciendo la supervisión remota y el control del proceso.

El uso de diagramas de flujo estandarizados contribuyó significativamente a la reducción de la variabilidad operativa, al asegurar que todos los trabajadores ejecutaran las labores conforme a procedimientos definidos, independientemente de la presencia física del administrador. Asimismo, facilitó la capacitación del personal al proporcionar guías visuales claras y secuenciales, y mejoró la eficiencia de los procesos al eliminar improvisaciones y errores recurrentes.

El modelado de procesos mediante diagramas de flujo se consolidó como un elemento central del Sistema de Gestión del Conocimiento, permitiendo convertir la experiencia agrícola en procesos estructurados, controlables y orientados a la mejora continua del cultivo de caña de azúcar bajo riego tecnificado.

### **1.11.3 Etapa 3 Combinación**

La etapa de combinación se refiere a la integración y organización del conocimiento explícito existente con el propósito de generar información estructurada que facilite su consulta y aplicación. En el presente proyecto, esta etapa implicó la recopilación y organización de los diferentes procedimientos, registros y actividades relacionadas con el manejo del cultivo de caña de azúcar bajo condiciones de riego tecnificado.

El sistema de gestión del conocimiento permitió integrar esta información dentro de una plataforma organizada, en la cual las tareas, instrucciones y procesos agrícolas pueden ser consultados por los trabajadores. Esta organización facilita la comunicación entre el administrador y el personal de campo, permitiendo que las actividades sean ejecutadas de manera más clara y estandarizada.

#### **1.11.3.1 Diseño de herramientas de control y estandarización**

En la tercera fase se diseñaron herramientas orientadas al control de procesos, la medición del desempeño y la estandarización de las actividades agrícolas. Entre estas herramientas se incluyeron hojas de control para el registro sistemático de variables críticas como humedad del suelo, tiempos de riego, aplicación de fertilizantes y presencia de plagas; indicadores clave de desempeño (KPIs) para evaluar eficiencia hídrica, costos operativos y productividad del cultivo; así como matrices de priorización para enfocar los esfuerzos en las actividades de mayor impacto productivo.

Adicionalmente, se incorporó el enfoque TWI (Training Within Industry) para estructurar la capacitación de los trabajadores, asegurando que cada procedimiento se realizara conforme a estándares definidos. Estas herramientas permitieron establecer un sistema de control continuo, alineado con los principios de mejora continua y gestión de calidad propuestos por Deming (1986).

#### **1.11.3.2 Aplicación del Análisis FAST al sistema agrícola**

El Análisis FAST (Function Analysis System Technique) se empleó como herramienta central de la ingeniería de valor para estructurar de manera lógica y jerárquica las funciones del Sistema de Gestión del Conocimiento orientado al manejo del cultivo de caña de azúcar variedad CP-722086 bajo riego tecnificado. Esta metodología permitió descomponer el sistema en funciones esenciales, facilitando la comprensión de cómo cada componente contribuye al objetivo general del proceso productivo y al aprovechamiento eficiente de los recursos disponibles.

La función principal del sistema fue definida como:

Optimizar la productividad del cultivo mediante el uso de conocimiento estructurado y el control digital de los procesos agrícolas.

Esta función resume el propósito estratégico del SGC, integrando tanto la dimensión técnica del manejo agrícola como la dimensión organizacional de la gestión de la información. A partir de esta función central, se desarrolló una estructura jerárquica de funciones secundarias y de apoyo que permiten su cumplimiento efectivo.

Entre las funciones secundarias identificadas se incluyeron la captura sistemática de información del campo, orientada al registro continuo de variables críticas como humedad del suelo, aplicaciones de riego, fertilización y presencia de plagas; la estandarización de las

prácticas agrícolas mediante procedimientos formalizados y diagramas de flujo; la comunicación de instrucciones técnicas de manera clara y oportuna entre el administrador y los trabajadores; el monitoreo permanente de variables productivas a través de registros digitales y sensores de medición; y la evaluación del desempeño del cultivo mediante indicadores clave de productividad y eficiencia.

El diagrama FAST permitió responder de manera estructurada a las preguntas fundamentales de la metodología: ¿por qué se realiza cada función?, ¿cómo se ejecuta? y ¿cuándo se integra dentro del proceso productivo? De esta forma, se estableció una relación lógica entre las funciones estratégicas del sistema y los medios tecnológicos y operativos necesarios para su ejecución, tales como la aplicación móvil desarrollada en App Inventor, los diagramas de flujo operativos, las hojas de control digitalizadas y los sistemas de monitoreo en tiempo real. Este análisis facilitó la identificación de redundancias, la eliminación de funciones innecesarias y la optimización del flujo de información dentro del SGC, asegurando que cada componente del sistema agregara valor al proceso productivo. Asimismo, permitió alinear las necesidades reales del cultivo con las funcionalidades tecnológicas implementadas, garantizando un diseño funcional coherente y eficiente.

Desde la perspectiva de la ingeniería industrial, la aplicación del Análisis FAST contribuyó a estructurar el sistema con base en principios de eficiencia, claridad funcional y orientación a resultados, aspectos fundamentales para el mejoramiento continuo de procesos (Bytheway, 1965; Shillito, 1991). En el contexto agrícola, esta herramienta permitió integrar el conocimiento empírico con soluciones tecnológicas, transformando el manejo tradicional del cultivo en un sistema organizado, controlable y orientado a la productividad sostenible.

#### **1.11.3.3 Implementación del QFD en el diseño del sistema agrícola**

El Despliegue de la Función de Calidad (QFD) se utilizó como herramienta estratégica de la ingeniería industrial para asegurar que el Sistema de Gestión del Conocimiento desarrollado respondiera de manera directa a las necesidades reales del productor de caña de azúcar bajo condiciones de riego tecnificado. Esta metodología permitió transformar las expectativas y problemáticas del entorno agrícola en requerimientos técnicos específicos, orientando el diseño funcional del sistema hacia la mejora efectiva del proceso productivo.

En una primera etapa se identificaron las principales necesidades del usuario final, las cuales surgieron del diagnóstico del sistema productivo, entrevistas técnicas y observación directa

en campo. Entre las necesidades prioritarias destacaron el control eficiente del riego tecnificado para optimizar el uso del agua, la reducción de errores en la fertilización mediante procedimientos estandarizados, la posibilidad de realizar supervisión remota ante la ausencia física constante del administrador, el registro sistemático de información productiva para análisis y toma de decisiones, y la mejora continua del rendimiento del cultivo mediante retroalimentación constante de datos.

Posteriormente, estas necesidades fueron organizadas y jerarquizadas dentro de la matriz QFD, evaluando su nivel de importancia y su impacto en la productividad del sistema agrícola. A partir de este análisis se establecieron las características técnicas que debía incorporar el Sistema de Gestión del Conocimiento para dar respuesta a cada requerimiento identificado.

Entre las especificaciones técnicas derivadas del QFD se incluyeron el desarrollo de módulos operativos dentro de la aplicación móvil para guiar las actividades agrícolas mediante diagramas de flujo estandarizados; la incorporación de hojas de control digitales para el registro de variables como humedad del suelo, riego, fertilización y presencia de plagas; la implementación de mecanismos de comunicación directa entre administrador y trabajadores para la emisión de instrucciones técnicas; y la generación de reportes automáticos que permitieran evaluar el desempeño productivo y los indicadores clave de eficiencia.

Este proceso de traducción de necesidades en funcionalidades permitió asegurar que cada componente del sistema tuviera una justificación técnica basada en los problemas reales del cultivo, evitando el desarrollo de herramientas innecesarias o poco funcionales. De esta manera, el SGC no solo se diseñó como una plataforma tecnológica, sino como una solución integral orientada a mejorar el control de procesos, la estandarización del trabajo y la productividad agrícola.

Desde la perspectiva de la ingeniería industrial, la aplicación del QFD facilitó la alineación entre los objetivos productivos del sistema agrícola y las soluciones tecnológicas implementadas, fortaleciendo la calidad del diseño y maximizando el valor generado por el sistema (Akao, 1990; Hauser & Clausing, 1988). En el contexto del cultivo de caña de azúcar, esta herramienta permitió estructurar un sistema centrado en el usuario, capaz de responder eficazmente a los retos de supervisión, control y eficiencia propios de la agricultura tecnificada.

#### **1.11.3.4 Hojas de control digitales aplicadas al cultivo de caña de azúcar**

Las hojas de control se incorporaron como una de las herramientas fundamentales dentro del Sistema de Gestión del Conocimiento para garantizar el registro sistemático, ordenado y continuo de las variables críticas que influyen en el desempeño del cultivo de caña de azúcar variedad CP-722086 bajo condiciones de riego tecnificado. Esta herramienta, ampliamente utilizada en la gestión de calidad y control de procesos, permitió transformar las actividades agrícolas cotidianas en fuentes estructuradas de información para la toma de decisiones técnicas y la mejora continua del sistema productivo.

Las principales variables registradas mediante las hojas de control incluyeron la humedad del suelo por zona productiva, lo que permitió evaluar con precisión las necesidades reales de riego en cada área del cultivo; la frecuencia y duración del riego tecnificado, facilitando el control del uso del agua y la identificación de posibles desperdicios; la cantidad de fertilizante aplicado en cada etapa del ciclo productivo, asegurando una dosificación acorde a los requerimientos nutricionales del cultivo; la presencia de plagas y enfermedades, lo que posibilitó la detección temprana de riesgos fitosanitarios; y el registro detallado de las actividades agrícolas realizadas, generando una bitácora digital de las operaciones diarias.

La digitalización de estas hojas dentro de la aplicación móvil desarrollada en App Inventor permitió realizar el registro de información en tiempo real directamente desde el campo, eliminando la dependencia de formatos físicos y reduciendo errores asociados a la pérdida o transcripción incorrecta de datos. Además, esta integración facilitó el almacenamiento sistemático de la información, su consulta histórica y su análisis para la evaluación del desempeño productivo.

Desde la perspectiva de la ingeniería industrial, las hojas de control digitales funcionaron como un mecanismo de retroalimentación continua del proceso agrícola, permitiendo identificar tendencias, desviaciones y áreas de mejora. A partir de los datos registrados, fue posible establecer indicadores clave de desempeño relacionados con eficiencia hídrica, uso de insumos y cumplimiento de actividades programadas, fortaleciendo el control de procesos y la estandarización operativa.

De acuerdo con Ishikawa (1985), las hojas de control permiten convertir datos operativos dispersos en información útil para la mejora continua, al facilitar el análisis sistemático de los procesos y la detección de problemas recurrentes. En el contexto del cultivo de caña de

azúcar, esta herramienta contribuyó significativamente a la reducción de errores operativos, al control eficiente de recursos y al fortalecimiento de la toma de decisiones basada en evidencia.

La implementación de hojas de control digitales dentro del SGC consolidó un sistema agrícola orientado al monitoreo permanente, la gestión eficiente de la información y la optimización de los procesos productivos, transformando la operación tradicional del cultivo en un entorno de gestión basado en datos y conocimiento estructurado.

#### **1.11.3.5 Indicadores clave de desempeño enfocados al riego tecnificado y productividad**

Con el objetivo de evaluar de manera objetiva el impacto del Sistema de Gestión del Conocimiento en el desempeño del cultivo de caña de azúcar variedad CP-722086 bajo condiciones de riego tecnificado, se diseñó un conjunto de indicadores clave de desempeño (KPIs) orientados tanto al control eficiente de los recursos como a la medición de la productividad agrícola. Estos indicadores permitieron transformar los datos operativos registrados en la aplicación móvil y en las hojas de control digitales en información cuantificable para la toma de decisiones y la mejora continua.

Uno de los principales KPIs establecidos fue la eficiencia en el uso del agua, calculada a partir de la relación entre el volumen de agua aplicada y el nivel de humedad óptimo del suelo alcanzado en cada zona productiva. Este indicador permitió evaluar la efectividad del riego tecnificado, identificar desperdicios hídricos y ajustar los tiempos y frecuencias de aplicación conforme a las necesidades reales del cultivo.

Asimismo, se definió el cumplimiento del programa de riego, el cual midió el grado en que las actividades de riego realizadas coincidieron con las programadas dentro del Sistema de Gestión del Conocimiento. Este KPI permitió detectar retrasos, omisiones o aplicaciones fuera de los parámetros establecidos, fortaleciendo la disciplina operativa y la estandarización de procesos.

Otro indicador relevante fue la reducción de incidencias operativas, que contempló la disminución de errores en la dosificación de fertilizantes, fallas en la ejecución de actividades críticas y retrasos en el control fitosanitario. Este KPI reflejó directamente el impacto del SGC en la mejora del control de procesos y en la reducción de la variabilidad operativa.

La productividad por zona de cultivo se utilizó como indicador de desempeño agronómico, permitiendo comparar rendimientos entre diferentes áreas del campo en función de las prácticas implementadas y los recursos utilizados. Este análisis facilitó la identificación de zonas de alto y bajo desempeño, orientando acciones correctivas y estrategias de mejora específicas.

Finalmente, se incorporó el tiempo de respuesta a las instrucciones técnicas emitidas a través de la aplicación móvil, midiendo el intervalo entre la generación de una indicación por parte del administrador y su ejecución efectiva en campo. Este indicador permitió evaluar la eficiencia del sistema de comunicación remota y su impacto en la rapidez de atención de actividades críticas del cultivo.

Desde la perspectiva de la ingeniería industrial, estos KPIs funcionaron como herramientas de control estadístico del proceso agrícola, permitiendo monitorear el comportamiento del sistema, identificar desviaciones y aplicar acciones correctivas oportunas (Montgomery, 2012). La integración de estos indicadores dentro del SGC fortaleció la retroalimentación continua del sistema, asegurando que las decisiones productivas se basaran en información objetiva y actualizada.

En conjunto, el diseño y aplicación de indicadores clave de desempeño permitió cuantificar los beneficios del Sistema de Gestión del Conocimiento, evidenciar mejoras en eficiencia hídrica, control de procesos y productividad del cultivo, y consolidar un modelo de gestión agrícola orientado a resultados, sostenibilidad y mejora continua.

#### **1.11.3.6 Diagrama de contingencias aplicado al sistema agrícola tecnificado**

El diagrama de contingencias se implementó como una herramienta estratégica para la identificación, evaluación y gestión de riesgos dentro del Sistema de Gestión del Conocimiento aplicado al cultivo de caña de azúcar bajo condiciones de riego tecnificado. Su propósito principal fue anticipar eventos que pudieran afectar la continuidad operativa del sistema agrícola, así como establecer acciones preventivas y correctivas que minimizaran su impacto sobre la productividad y el uso eficiente de los recursos.

Durante su elaboración se analizaron de manera sistemática los procesos productivos, las tecnologías implementadas y las condiciones externas que influyen en el cultivo, permitiendo identificar riesgos críticos asociados tanto a factores técnicos como humanos y ambientales. Entre los principales riesgos detectados se incluyeron las fallas del sistema de riego

tecnificado, tales como obstrucciones en las líneas de goteo, fallos en válvulas o problemas de presión que pudieran provocar déficit o exceso hídrico; las interrupciones tecnológicas relacionadas con el funcionamiento de la aplicación móvil, pérdida de conectividad o errores en el almacenamiento de datos; los errores humanos en el registro de información productiva, derivados de omisiones, capturas incorrectas o falta de capacitación; y los eventos climáticos extremos, como sequías prolongadas, lluvias intensas o temperaturas elevadas, capaces de alterar significativamente las condiciones del cultivo.

Para cada uno de estos riesgos se evaluó su probabilidad de ocurrencia y su impacto potencial en la productividad del sistema agrícola, lo que permitió priorizar aquellos con mayor nivel de criticidad. A partir de este análisis se diseñaron acciones preventivas orientadas a reducir la posibilidad de ocurrencia, tales como mantenimiento periódico del sistema de riego, respaldos automáticos de información digital, capacitación continua del personal en el uso de la aplicación y monitoreo climático constante. Asimismo, se establecieron acciones correctivas para responder de manera inmediata ante la materialización de algún riesgo, incluyendo protocolos de reparación del sistema de riego, recuperación de datos, ajustes operativos en las prácticas agrícolas y planes de contingencia ante eventos climáticos adversos.

Desde la perspectiva de la ingeniería industrial y la gestión de proyectos, el uso del diagrama de contingencias permitió estructurar un enfoque proactivo de administración de riesgos, orientado no solo a la solución de problemas cuando ocurren, sino a su prevención sistemática (Kerzner, 2013). En el contexto del sistema agrícola tecnificado, esta herramienta fortaleció la resiliencia operativa del cultivo, asegurando que las actividades productivas pudieran mantenerse aun frente a situaciones imprevistas.

En conjunto, la aplicación del diagrama de contingencias contribuyó significativamente a la estabilidad del Sistema de Gestión del Conocimiento, reduciendo interrupciones operativas, protegiendo los recursos tecnológicos implementados y garantizando la continuidad productiva del cultivo de caña de azúcar. Esta gestión integral de riesgos permitió consolidar un sistema agrícola más robusto, confiable y preparado para enfrentar las variaciones propias del entorno agrícola.

#### **1.11.3.7 Aplicación del TWI para estandarización del trabajo agrícola**

El programa Training Within Industry (TWI) se implementó como una estrategia fundamental para garantizar la correcta adopción y ejecución de los procesos estandarizados definidos dentro del Sistema de Gestión del Conocimiento aplicado al cultivo de caña de azúcar bajo condiciones de riego tecnificado. Este enfoque de capacitación permitió transformar los procedimientos documentados y los diagramas de flujo en prácticas operativas consistentes, asegurando que todos los trabajadores realizaran las actividades agrícolas conforme a los estándares técnicos establecidos.

La aplicación del TWI se centró principalmente en el módulo de Job Instruction (Instrucción en el Trabajo), mediante el cual se desarrollaron guías operativas claras y secuenciales para cada actividad crítica del cultivo, tales como la aplicación del riego tecnificado, la dosificación de fertilizantes, el monitoreo de plagas y el registro de información en la aplicación móvil. Estas guías se diseñaron a partir del conocimiento formalizado dentro del SGC y se utilizaron como base para entrenamientos prácticos en campo, donde los trabajadores aprendieron no solo qué hacer, sino cómo hacerlo correctamente y por qué cada paso era importante para la productividad del cultivo.

Asimismo, el componente Job Methods permitió analizar y mejorar continuamente los métodos de trabajo, identificando actividades innecesarias, movimientos improductivos y oportunidades de optimización en las labores agrícolas. Esto contribuyó a reducir tiempos de ejecución, eliminar desperdicios y mejorar la eficiencia operativa del sistema productivo. Por su parte, el módulo Job Relations fortaleció la comunicación entre el administrador y los trabajadores, facilitando la aceptación del nuevo sistema digital y promoviendo una cultura de cooperación y responsabilidad en el cumplimiento de los procedimientos.

La implementación del TWI generó beneficios directos en la operación del cultivo, tales como la uniformidad en la ejecución de las tareas, al asegurar que todos los trabajadores aplicaran los mismos criterios técnicos; la reducción de errores operativos, especialmente en la dosificación de insumos y el manejo del riego; el incremento de la productividad, al optimizar tiempos y recursos; y la facilitación de la adopción del sistema digital, al integrar la capacitación con el uso práctico de la aplicación móvil desarrollada en App Inventor.

Desde la perspectiva de la gestión del conocimiento, el TWI funcionó como un mecanismo de internalización del conocimiento explícito, permitiendo que los procedimientos

documentados dentro del SGC se transformaran en habilidades prácticas incorporadas por los trabajadores en su rutina diaria. De acuerdo con Dinero (2005), este enfoque asegura que el conocimiento no solo sea almacenado, sino efectivamente aplicado en los procesos productivos, fortaleciendo la estandarización y la mejora continua.

En conjunto, la aplicación del TWI consolidó el Sistema de Gestión del Conocimiento como una herramienta operativa real en el campo, garantizando que la tecnología, los procedimientos estandarizados y la capacitación humana trabajaran de manera integrada para mejorar la eficiencia, calidad y sostenibilidad del cultivo de caña de azúcar bajo riego tecnificado.

#### **1.11.3.8 Matriz de priorización aplicada a procesos críticos del cultivo**

La matriz de priorización se utilizó como una herramienta estratégica de análisis para jerarquizar las actividades agrícolas del cultivo de caña de azúcar bajo condiciones de riego tecnificado, con el objetivo de enfocar los recursos disponibles tiempo, insumos, tecnología y esfuerzo humano en aquellos procesos con mayor impacto sobre la productividad y la eficiencia del sistema productivo. Esta metodología permitió tomar decisiones fundamentadas, evitando la dispersión de esfuerzos y asegurando una gestión agrícola orientada a resultados.

En una primera etapa se identificaron todas las actividades que conforman el proceso productivo del cultivo, incluyendo labores de riego, fertilización, control fitosanitario, monitoreo del crecimiento, manejo postcosecha y registro de información. Posteriormente, cada actividad fue evaluada con base en criterios previamente definidos, tales como impacto productivo (grado en que influye en el rendimiento del cultivo), urgencia (necesidad de intervención inmediata para evitar pérdidas) y viabilidad técnica y económica (facilidad de implementación con los recursos disponibles).

Cada criterio fue ponderado de acuerdo con su relevancia dentro del sistema agrícola tecnificado, asignando valores numéricos que permitieron obtener un puntaje total por actividad. A partir de este análisis cuantitativo, se logró establecer una jerarquía clara de procesos críticos que requerían atención prioritaria dentro del Sistema de Gestión del Conocimiento.

Como resultado de la aplicación de la matriz, se identificaron como procesos de mayor prioridad el manejo del riego tecnificado, debido a su impacto directo en el desarrollo del

cultivo y el uso eficiente del agua; el control de plagas y enfermedades, por su influencia inmediata en la pérdida de rendimiento si no se atienden oportunamente; la fertilización, esencial para garantizar una nutrición adecuada de la planta; y la evaluación postcosecha, clave para retroalimentar el sistema y ajustar prácticas productivas futuras.

Esta jerarquización permitió orientar el diseño funcional de la aplicación móvil, priorizando el desarrollo de módulos específicos para estos procesos críticos, así como la asignación de indicadores clave de desempeño y herramientas de control enfocadas en dichas actividades. Asimismo, facilitó la planificación de capacitaciones bajo el enfoque TWI, concentrando los esfuerzos de formación en los procesos de mayor impacto.

Desde la perspectiva de la ingeniería industrial, la matriz de priorización constituye un instrumento fundamental para la gestión eficiente de procesos y recursos, al permitir enfocar acciones en áreas estratégicas que generan mayores beneficios productivos (Kerzner, 2013). En el contexto del cultivo de caña de azúcar, su aplicación fortaleció la toma de decisiones, optimizó el uso de recursos tecnológicos y humanos, y contribuyó a maximizar el impacto del Sistema de Gestión del Conocimiento en la productividad agrícola.

Esta herramienta permitió estructurar un enfoque sistemático de intervención en el sistema productivo, asegurando que las acciones implementadas a través del SGC y la aplicación móvil se concentraran en los factores más determinantes del rendimiento y la sostenibilidad del cultivo.

#### **1.11.4 Etapa 4 Internalización**

La internalización corresponde al proceso mediante el cual el conocimiento explícito es asimilado por los individuos y se transforma nuevamente en conocimiento tácito a través de la práctica y la experiencia. En otras palabras, los trabajadores utilizan la información disponible dentro del sistema para ejecutar sus actividades diarias, lo que les permite desarrollar habilidades y reforzar su conocimiento sobre el manejo del cultivo.

En el contexto de esta investigación, la internalización ocurre cuando los trabajadores consultan las instrucciones proporcionadas por el sistema y las aplican directamente en las labores agrícolas. Con el tiempo, la repetición de estas actividades permite que los trabajadores incorporen estos conocimientos en su práctica diaria, fortaleciendo su capacidad para realizar las tareas de manera eficiente.

#### **1.11.4.1 Implementación tecnológica mediante aplicación móvil**

La cuarta fase consistió en la implementación del SGC a través de una aplicación móvil desarrollada con App Inventor, la cual funcionó como plataforma central de captura, almacenamiento y distribución del conocimiento agrícola. La aplicación integró los diagramas de flujo del proceso ZOCA, permitiendo que los trabajadores recibieran instrucciones operativas directamente desde el sistema, mientras que el administrador podía supervisar, registrar información y emitir indicaciones de manera remota.

La aplicación permitió organizar las zonas productivas, registrar actividades diarias, documentar evaluaciones postcorte, controlar riego tecnificado y almacenar evidencia visual mediante fotografías. Esta digitalización transformó el sistema productivo tradicional en un entorno de gestión basado en datos, facilitando la toma de decisiones informadas y reduciendo la dependencia de la presencia física del administrador.

#### **1.11.4.2 Desarrollo e integración de la aplicación móvil en App Inventor**

La aplicación móvil desarrollada mediante la plataforma App Inventor se consolidó como el componente central del Sistema de Gestión del Conocimiento implementado en el cultivo de caña de azúcar variedad CP-722086 bajo condiciones de riego tecnificado. Esta herramienta tecnológica permitió digitalizar y operacionalizar los procesos estandarizados previamente definidos mediante diagramas de flujo, así como integrar los mecanismos de control, registro de información y comunicación remota necesarios para garantizar una gestión agrícola eficiente y sistemática.

El diseño de la aplicación se orientó a replicar de manera práctica la lógica de los procesos agrícolas modelados, transformando cada diagrama de flujo en módulos interactivos que guían paso a paso la ejecución de las actividades en campo. De esta manera, la experiencia empírica formalizada dentro del Sistema de Gestión del Conocimiento se convirtió en instrucciones operativas accesibles para los trabajadores, reduciendo la improvisación y asegurando el cumplimiento de los procedimientos técnicos establecidos.

Entre las principales funcionalidades incorporadas en la aplicación se encuentra la autenticación de usuarios, que permitió asignar responsabilidades específicas y asegurar la trazabilidad de las actividades realizadas; la selección de zonas de cultivo, facilitando la gestión diferenciada de cada área productiva según sus condiciones particulares; y la

ejecución guiada de procesos agrícolas, donde los trabajadores siguen los flujos operativos de riego, fertilización, control fitosanitario y evaluación postcosecha.

Adicionalmente, la aplicación integró módulos para la captura de datos productivos en tiempo real, incluyendo registros de humedad del suelo, aplicaciones de riego, uso de fertilizantes, presencia de plagas y actividades realizadas. Estos registros se complementaron con la posibilidad de adjuntar evidencias visuales, como fotografías del estado del cultivo, fortaleciendo la veracidad de la información y el monitoreo remoto por parte del administrador.

Un elemento clave del sistema fue el módulo de comunicación remota, que permitió al encargado del cultivo emitir instrucciones técnicas directamente desde la aplicación, incluso sin presencia física en el campo. Esta funcionalidad solucionó una de las principales problemáticas identificadas en el diagnóstico inicial: la falta de supervisión constante, fortaleciendo el control de procesos y la rapidez en la toma de decisiones.

Desde la perspectiva de la ingeniería industrial, la integración de la aplicación móvil permitió transformar un sistema agrícola tradicional en un entorno de gestión basado en datos, control de procesos y retroalimentación continua. La digitalización de hojas de control, KPIs y flujos operativos facilitó la medición del desempeño, la estandarización del trabajo y la mejora continua del sistema productivo.

De acuerdo con estudios sobre agricultura digital y sistemas de información agrícola, el uso de aplicaciones móviles en la gestión de cultivos contribuye significativamente a mejorar la eficiencia operativa, optimizar el uso de recursos naturales y fortalecer la sostenibilidad productiva (World Bank, 2020). En el contexto del cultivo de caña de azúcar, la aplicación desarrollada en App Inventor permitió reducir errores operativos, mejorar el uso del agua, incrementar la productividad y asegurar la transferencia efectiva del conocimiento agrícola. La aplicación móvil no solo funcionó como una herramienta tecnológica, sino como el mecanismo integrador del Sistema de Gestión del Conocimiento, conectando procesos estandarizados, control de información, capacitación del personal y supervisión remota en una plataforma única orientada a la eficiencia, productividad y sostenibilidad del sistema agrícola tecnificado.

### **1.11.5 Evaluación para la mejora continua**

Finalmente, el SGC incorporó un esquema de evaluación continua del desempeño mediante el análisis de los datos registrados en la aplicación móvil y en las hojas de control digitalizadas. Los KPIs definidos permitieron monitorear el uso de recursos, la eficiencia operativa y los resultados productivos del cultivo.

Esta información sirvió como base para la retroalimentación constante del sistema, permitiendo realizar ajustes en los procesos, mejorar las prácticas agrícolas y fortalecer la estandarización operativa. Conforme a lo establecido por Probst et al. (2000), esta fase cierra el ciclo de gestión del conocimiento al asegurar que la información generada sea utilizada para la mejora continua y la actualización permanente del sistema.

#### **1.11.5.1 Integración de la mejora continua en el cultivo tecnificado**

La implementación del Sistema de Gestión del Conocimiento se estructuró bajo los principios de la mejora continua, tomando como marco metodológico el ciclo PDCA (Plan-Do-Check-Act) propuesto por Deming (1986), el cual permitió establecer un proceso sistemático de planificación, ejecución, evaluación y ajuste permanente de las prácticas agrícolas. Este enfoque garantizó que el sistema no se limitara a la aplicación de procedimientos estáticos, sino que evolucionara de manera constante a partir de la información generada en campo.

En la fase de planificación (Plan), se definieron los parámetros técnicos del manejo del cultivo, tales como los niveles óptimos de humedad del suelo, la frecuencia de riego tecnificado, los programas de fertilización y las estrategias de control fitosanitario, basándose en el conocimiento formalizado dentro del SGC y en los resultados históricos del cultivo. Asimismo, se establecieron indicadores clave de desempeño que permitieron medir la eficiencia hídrica, el uso de insumos y la productividad agrícola.

Durante la fase de ejecución (Do), los trabajadores aplicaron los procesos estandarizados guiados por la aplicación móvil desarrollada en App Inventor, siguiendo los diagramas de flujo operativos y registrando cada actividad en las hojas de control digitales. Esta etapa permitió llevar a la práctica las estrategias definidas, asegurando uniformidad operativa y trazabilidad de las acciones realizadas en el campo.

En la fase de verificación (Check), la información recopilada fue analizada mediante los KPIs establecidos, evaluando el comportamiento del sistema agrícola en términos de consumo de agua, cumplimiento del programa de riego, reducción de errores operativos y rendimiento

del cultivo. Esta evaluación continua permitió identificar desviaciones respecto a los parámetros óptimos y detectar oportunidades de mejora en los procesos productivos.

Finalmente, en la fase de acción (Act), se implementaron ajustes técnicos y operativos con base en los resultados obtenidos, tales como modificaciones en los tiempos de riego, ajustes en las dosis de fertilización o mejoras en los procedimientos de control de plagas. Estos cambios se incorporaron nuevamente al Sistema de Gestión del Conocimiento, actualizando los diagramas de flujo, las reglas operativas y los módulos de la aplicación móvil.

Desde la perspectiva de la ingeniería industrial, la integración del ciclo PDCA permitió convertir el sistema agrícola en un proceso dinámico orientado a la optimización continua de recursos y resultados. El uso de datos reales provenientes del monitoreo digital fortaleció la toma de decisiones basada en evidencia, reduciendo la variabilidad operativa y aumentando la eficiencia productiva.

La aplicación de la mejora continua dentro del cultivo tecnificado consolidó un modelo de gestión agrícola adaptable, eficiente y sostenible, donde el conocimiento se actualiza permanentemente y las prácticas productivas evolucionan conforme a las condiciones reales del entorno. Este enfoque permitió maximizar la productividad del cultivo de caña de azúcar, optimizar el uso del agua y los insumos, y garantizar la consolidación del Sistema de Gestión del Conocimiento como una herramienta estratégica de largo plazo.

#### **1.11.5.2 Síntesis del desarrollo del sistema aplicado al cultivo de caña**

El desarrollo e implementación del Sistema de Gestión del Conocimiento en el cultivo de caña de azúcar variedad CP-722086 bajo condiciones de riego tecnificado permitió transformar un sistema productivo tradicional, caracterizado por la dependencia del conocimiento empírico y la supervisión presencial, en un modelo agrícola estructurado, digitalizado y orientado a la eficiencia operativa y la mejora continua.

A través de la integración de herramientas propias de la ingeniería industrial —como diagramas de flujo, análisis FAST, QFD, hojas de control, matrices de priorización, diagramas de contingencia e indicadores clave de desempeño— fue posible estandarizar los procesos agrícolas, reducir la variabilidad operativa y establecer mecanismos sistemáticos de control y evaluación del desempeño productivo. Estas herramientas facilitaron la conversión del conocimiento tácito del productor en procedimientos técnicos explícitos, accesibles y

replicables, fortaleciendo la transferencia de conocimiento y la continuidad operativa del sistema.

La incorporación de la aplicación móvil desarrollada en App Inventor constituyó el eje tecnológico del SGC, permitiendo digitalizar los procesos productivos, registrar información en tiempo real, facilitar la supervisión remota y generar una base de datos estructurada para la toma de decisiones basada en evidencia. Esta digitalización transformó el manejo del cultivo en un sistema medible, donde cada actividad, consumo de recursos y resultado productivo puede ser monitoreado y analizado de manera continua.

Como resultado de esta integración metodológica y tecnológica, el sistema agrícola evolucionó hacia un modelo:

- Estandarizado, al contar con procedimientos definidos para cada etapa del cultivo;
- Digitalizado, mediante la captura y gestión electrónica de la información productiva;
- Medible, a través de indicadores clave de desempeño que cuantifican eficiencia y productividad;
- Controlado, gracias al monitoreo permanente de variables críticas y a la supervisión remota;
- Orientado a la productividad, al enfocar los recursos en procesos de mayor impacto;
- Sostenible, al optimizar el uso del agua, insumos y recursos tecnológicos.

En conjunto, el Sistema de Gestión del Conocimiento consolidó la ingeniería industrial y la tecnología móvil como herramientas estratégicas para la modernización del sector agrícola, demostrando que la aplicación de metodologías de optimización de procesos, gestión de información y mejora continua puede generar sistemas productivos más eficientes, resilientes y sostenibles.

Este desarrollo no solo fortaleció el control y la productividad del cultivo de caña de azúcar, sino que también estableció un modelo replicable para otros sistemas agrícolas tecnificados, evidenciando el potencial de la gestión del conocimiento como eje transformador de la agricultura moderna.

## **Capítulo 4**

### **Resultados**

En este capítulo se presentan de manera sistemática los resultados derivados del desarrollo, implementación y validación del Sistema de Gestión del Conocimiento (SGC) diseñado para el manejo del cultivo de caña de azúcar variedad CP-722086 bajo condiciones de riego tecnificado. Dicho sistema integró herramientas propias de la ingeniería industrial con el uso de una aplicación móvil desarrollada en App Inventor, la cual funcionó como plataforma operativa para la estandarización de procesos, el registro estructurado de información productiva y la comunicación remota entre el administrador y los trabajadores agrícolas.

Los resultados obtenidos reflejan no únicamente la construcción de una herramienta tecnológica, sino la transformación integral del sistema productivo hacia un modelo de gestión basado en conocimiento estructurado, control de procesos y toma de decisiones sustentada en datos reales. En este sentido, el análisis de resultados se enfoca en evidenciar productos concretos y verificables del desarrollo metodológico, los cuales constituyen aportaciones prácticas para la modernización del manejo agrícola tecnificado.

En primer lugar, se presentan los modelos conceptuales y diagramas operativos que permitieron estructurar el conocimiento agrícola previamente tácito, incluyendo los diagramas de flujo estandarizados, el análisis FAST, las matrices de priorización y los diagramas de contingencia. Estos instrumentos formalizaron las prácticas productivas, establecieron secuencias lógicas de operación y definieron puntos de control que fortalecieron la eficiencia del sistema.

En segundo término, se muestran los módulos funcionales de la aplicación móvil, donde cada proceso crítico del cultivo fue transformado en flujos operativos guiados, facilitando la ejecución uniforme de las labores agrícolas, el registro de actividades y la retroalimentación continua del sistema. Esta digitalización permitió reducir la variabilidad operativa y asegurar la correcta aplicación de los procedimientos estandarizados.

Asimismo, se presentan los instrumentos de control implementados, tales como las hojas de control digitales y los indicadores clave de desempeño, los cuales posibilitaron el monitoreo sistemático del riego tecnificado, el uso de insumos, la productividad por zona y la eficiencia operativa general. Estos resultados evidencian el impacto del SGC en la optimización de recursos y en la mejora continua del proceso productivo.

Finalmente, se analizan los mecanismos de comunicación remota integrados en la aplicación móvil, los cuales permitieron al encargado del cultivo emitir instrucciones técnicas, supervisar actividades y recibir información en tiempo real sin necesidad de presencia física constante en el campo. Este componente resolvió una de las principales problemáticas detectadas en el diagnóstico inicial, asegurando la continuidad operativa y fortaleciendo el control de procesos.

De acuerdo con los enfoques de gestión del conocimiento propuestos por Nonaka y Takeuchi (1995) y por Probst, Raub y Romhardt (2000), los resultados obtenidos demuestran la efectiva conversión del conocimiento tácito en conocimiento explícito, su integración en procesos operativos estructurados y su aplicación práctica en un entorno productivo real. En conjunto, el capítulo evidencia cómo la combinación de ingeniería industrial y tecnología móvil permitió transformar el manejo tradicional del cultivo de caña de azúcar en un sistema tecnificado, medible, controlado y orientado a la productividad sostenible.

### **1.12 Socialización (identificación del conocimiento desde la experiencia)**

Uno de los resultados más relevantes del diagnóstico del sistema productivo fue la formalización técnica del problema central que afectaba el desempeño del cultivo de caña de azúcar bajo condiciones de riego tecnificado: la ausencia de una presencia constante del administrador o encargado en las zonas de producción. Esta condición, previamente percibida como una dificultad operativa cotidiana, fue analizada y estructurada como un problema sistémico que impactaba directamente en la eficiencia, la calidad de las operaciones agrícolas y el aprovechamiento de los recursos productivos.

El análisis permitió evidenciar que la falta de supervisión continua generaba una alta dependencia del criterio individual de los trabajadores para la toma de decisiones técnicas, lo que ocasionaba una ejecución no estandarizada de las labores críticas del cultivo. Como consecuencia, se identificaron interrupciones frecuentes en la programación del riego tecnificado, variabilidad en la aplicación de fertilizantes, retrasos en las acciones de control fitosanitario y omisiones de actividades esenciales para el desarrollo óptimo del cultivo. Asimismo, la carencia de mecanismos formales de comunicación y registro provocaba fallas de coordinación entre el administrador y el personal operativo, dificultando el seguimiento de tareas y la retroalimentación oportuna.

Estas deficiencias se tradujeron en desperdicio de recursos hídricos y de insumos agrícolas, incremento de costos operativos y disminución del rendimiento productivo por zona de cultivo. Desde el enfoque de la ingeniería industrial, estos efectos corresponden a problemas clásicos de ausencia de control de procesos, falta de estandarización del trabajo y carencia de sistemas de medición y retroalimentación, elementos que Deming (1986) identifica como causas fundamentales de ineficiencia y variabilidad en los sistemas productivos.

La formalización del problema permitió, además, identificar de manera clara las necesidades reales del usuario agrícola, entre las que destacaron la supervisión remota de las actividades del cultivo, la estandarización de los procesos operativos, el registro sistemático de información productiva, la comunicación efectiva entre el encargado y los trabajadores, y la disponibilidad de datos para la toma de decisiones basada en evidencia.

Esta definición estructurada de necesidades constituyó la base técnica para el diseño del Sistema de Gestión del Conocimiento y para la selección de herramientas de ingeniería industrial como los diagramas de flujo, el análisis FAST, el QFD, las hojas de control y los indicadores de desempeño. De acuerdo con Kerzner (2013), una correcta identificación del problema y de los requerimientos del sistema es fundamental para desarrollar soluciones efectivas y sostenibles, evitando enfoques improvisados o parciales.

En conjunto, este resultado permitió pasar de una percepción empírica de las fallas operativas a un diagnóstico técnico sustentado, que justificó plenamente la implementación del Sistema de Gestión del Conocimiento y la aplicación móvil como una solución integral orientada al control de procesos, la eficiencia productiva y la continuidad operativa del cultivo de caña de azúcar bajo riego tecnificado.

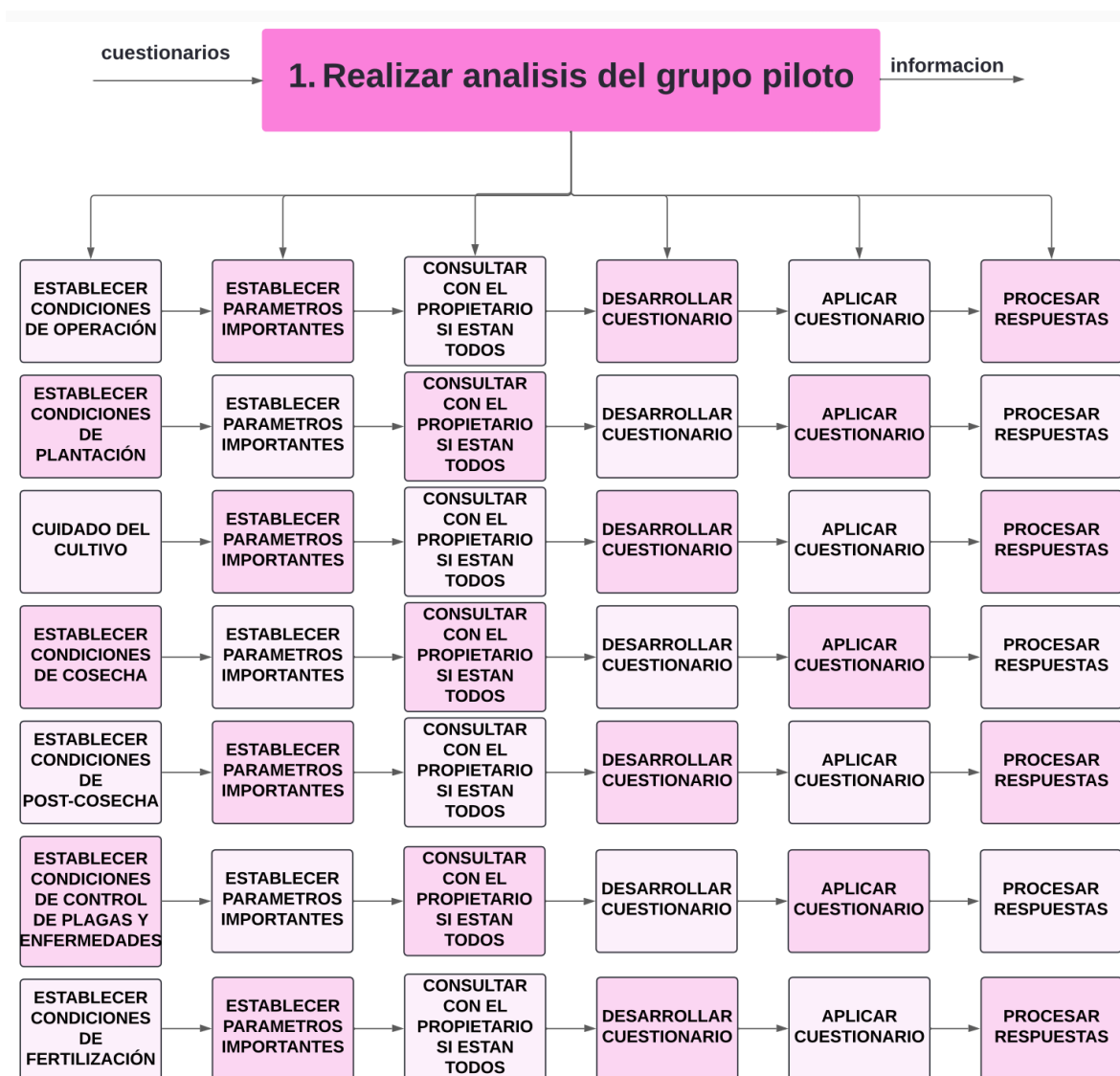


Ilustración 10 Análisis de grupo piloto

## 1.13 Externalización (estructuración del conocimiento)

### 1.13.1 Resultados de la estructuración del SGC aplicado al cultivo CP-722086

Como primer resultado del desarrollo del Sistema de Gestión del Conocimiento, se consolidó una arquitectura lógica orientada a la captura sistemática, organización estructurada y aplicación operativa del conocimiento agrícola. Esta arquitectura integró los componentes metodológicos de la ingeniería industrial con herramientas digitales, permitiendo transformar la experiencia empírica acumulada en el campo en un sistema formal de procedimientos técnicos, registros productivos y mecanismos de control.

Desde la perspectiva de la gestión del conocimiento, el sistema fue diseñado específicamente para facilitar la conversión del conocimiento tácito —representado por las prácticas, criterios y experiencia del productor y los trabajadores— en conocimiento explícito, materializado en diagramas de flujo estandarizados, reglas operativas, hojas de control, indicadores de desempeño y módulos funcionales dentro de la aplicación móvil. Esta transformación permitió que el conocimiento dejara de depender de individuos específicos y pasara a formar parte de una base estructurada accesible, replicable y sujeta a mejora continua.

La arquitectura lógica del SGC se organizó en niveles interrelacionados. En un primer nivel se ubicó la captura de información en campo, mediante registros digitales de variables críticas como riego, fertilización, estado del cultivo y presencia de plagas. En un segundo nivel se integró el procesamiento y organización de esta información dentro de repositorios estructurados, permitiendo su análisis histórico y comparativo. Finalmente, en un tercer nivel se estableció la aplicación práctica del conocimiento a través de flujos operativos guiados, instrucciones técnicas remotas y mecanismos de retroalimentación continua.

Este diseño permitió que cada acción realizada en el cultivo alimentara el sistema con nuevos datos, los cuales a su vez fortalecían los criterios de decisión y los procedimientos estandarizados. De esta manera, el SGC operó como un sistema dinámico de aprendizaje organizacional, donde la experiencia generada en campo se transformó constantemente en mejoras de proceso.

De acuerdo con el modelo SECI de Nonaka y Takeuchi (1995), esta arquitectura favoreció principalmente las fases de exteriorización y combinación del conocimiento, al documentar experiencias prácticas y organizarlas en estructuras operativas funcionales. Asimismo, en concordancia con la propuesta de Wiig (1993), el sistema permitió clasificar el conocimiento agrícola en componentes factuales (datos de riego y producción), metodológicos (procedimientos de manejo), conceptuales (criterios técnicos de decisión) y experienciales (lecciones aprendidas), fortaleciendo su uso estratégico dentro del proceso productivo.

Desde el enfoque de la ingeniería industrial, la arquitectura lógica del SGC contribuyó directamente a la estandarización de procesos, la reducción de la variabilidad operativa y la

mejora del control del sistema agrícola, estableciendo un marco estructurado que permitió gestionar el cultivo como un proceso productivo formal, medible y orientado a resultados.

Este primer resultado evidenció que el Sistema de Gestión del Conocimiento no se limitó a almacenar información, sino que se consolidó como un mecanismo integral de transformación del conocimiento agrícola en valor productivo, sentando las bases para una gestión eficiente, sostenible y replicable del cultivo de caña de azúcar bajo riego tecnificado.

### **1.13.2 Macroproceso del sistema (visión integral)**

Como resultado del desarrollo metodológico del Sistema de Gestión del Conocimiento aplicado al cultivo de caña de azúcar bajo condiciones de riego tecnificado, se obtuvo una representación macro del sistema productivo que integra de manera estructurada las fases operativas del cultivo con los procesos de captura, organización, aplicación y retroalimentación del conocimiento agrícola. Este macroproceso permitió visualizar el funcionamiento global del sistema, mostrando cómo cada actividad realizada en campo se vincula directamente con los mecanismos de gestión de la información y con la toma de decisiones técnicas.

El macroproceso se diseñó con enfoque de procesos propio de la ingeniería industrial, estableciendo entradas, actividades clave, puntos de control y salidas para cada etapa del sistema agrícola. En él se integran las fases de evaluación del cultivo, ejecución de prácticas agrícolas estandarizadas, registro de datos productivos, análisis de desempeño y generación de acciones correctivas, formando un ciclo continuo de mejora del sistema productivo.

Esta representación integral permitió identificar claramente las interacciones entre los trabajadores, el administrador y la plataforma tecnológica, evidenciando cómo el conocimiento fluye desde el campo hacia el Sistema de Gestión del Conocimiento y regresa en forma de instrucciones operativas, ajustes técnicos y procedimientos mejorados. De esta manera, el macroproceso no solo refleja la secuencia de actividades agrícolas, sino también el funcionamiento del sistema como un mecanismo dinámico de aprendizaje organizacional. Desde la perspectiva de la gestión del conocimiento, este macroproceso articula las etapas propuestas por Probst, Raub y Romhardt (2000), al mostrar explícitamente cómo se identifica, adquiere, desarrolla, distribuye, utiliza y evalúa el conocimiento dentro del entorno productivo. Asimismo, se alinea con el ciclo de mejora continua PDCA, integrando

planificación, ejecución, verificación y acción correctiva dentro de un solo esquema funcional.

Como entregable, el macroproceso cumple una doble función. En primer lugar, actúa como un mapa operativo para los usuarios del sistema, facilitando la comprensión de cómo se relacionan las actividades agrícolas con el uso de la aplicación móvil y las herramientas de control. En segundo lugar, constituye un elemento fundamental de documentación académica, al sintetizar de forma visual la arquitectura funcional del Sistema de Gestión del Conocimiento implementado.

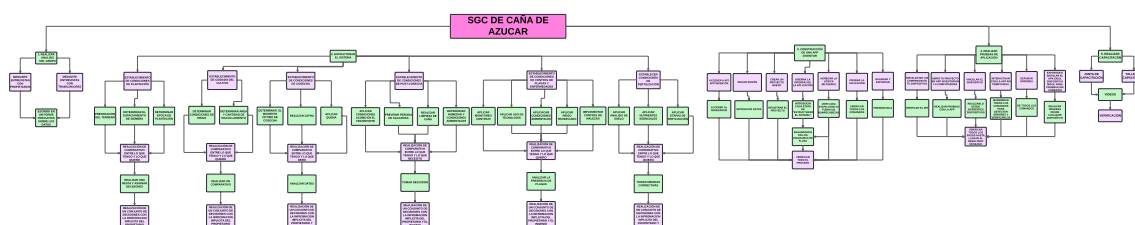


Ilustración 11 Macroproceso del Sistema de Gestión del Conocimiento aplicado al cultivo de caña de azúcar bajo riego tecnificado.

### 1.13.3 Mapa mental del problema (clasificación de impactos)

Como parte del análisis de resultados del diagnóstico del sistema agrícola, se elaboró un mapa mental que permitió organizar de manera visual y estructurada el problema central identificado la ausencia constante del encargado del cultivo en diferentes dimensiones de impacto sobre el proceso productivo. Esta herramienta facilitó la descomposición de una problemática general en categorías específicas, analizadas desde una perspectiva integral que considera tanto factores técnicos como organizacionales y económicos.

El mapa mental se estructuró en cinco dimensiones principales: sostenibilidad, funcionalidad operativa, economía del proceso productivo, tecnología y usabilidad del sistema. En la dimensión de sostenibilidad se identificaron efectos relacionados con el uso ineficiente del agua, el desperdicio de insumos agrícolas y el impacto ambiental derivado de prácticas no controladas. En la dimensión funcional se agruparon problemáticas como interrupciones en las actividades del cultivo, falta de estandarización del trabajo, retrasos en la ejecución de tareas críticas y deficiencias en la coordinación entre el personal.

En el ámbito económico, el mapa mental evidenció el incremento de costos operativos debido al mal uso de recursos, reprocesos y pérdidas productivas ocasionadas por decisiones tardías

o incorrectas. En la dimensión tecnológica se identificaron carencias relacionadas con la ausencia de herramientas digitales de monitoreo, registro de información y comunicación remota, limitando la capacidad de control y análisis del sistema agrícola. Finalmente, en la dimensión de usabilidad se agruparon dificultades asociadas a la falta de guías claras de trabajo, dependencia del conocimiento empírico y barreras para la adopción de prácticas estandarizadas.

Este resultado permitió comprender que la problemática no se limitaba a una cuestión de supervisión física, sino que afectaba múltiples áreas del sistema productivo, generando impactos acumulativos sobre la eficiencia, la sostenibilidad y la productividad del cultivo. Desde la perspectiva de la ingeniería industrial, esta clasificación facilitó la identificación de relaciones causa–efecto y contribuyó a la priorización de acciones de intervención en los procesos más críticos.

Asimismo, el mapa mental sirvió como base para el diseño de las soluciones integradas dentro del Sistema de Gestión del Conocimiento, al orientar la selección de herramientas como diagramas de flujo, hojas de control, KPIs, comunicación digital y capacitación TWI en función de cada dimensión problemática. De esta forma, cada componente del sistema respondió directamente a un conjunto específico de impactos previamente identificados.

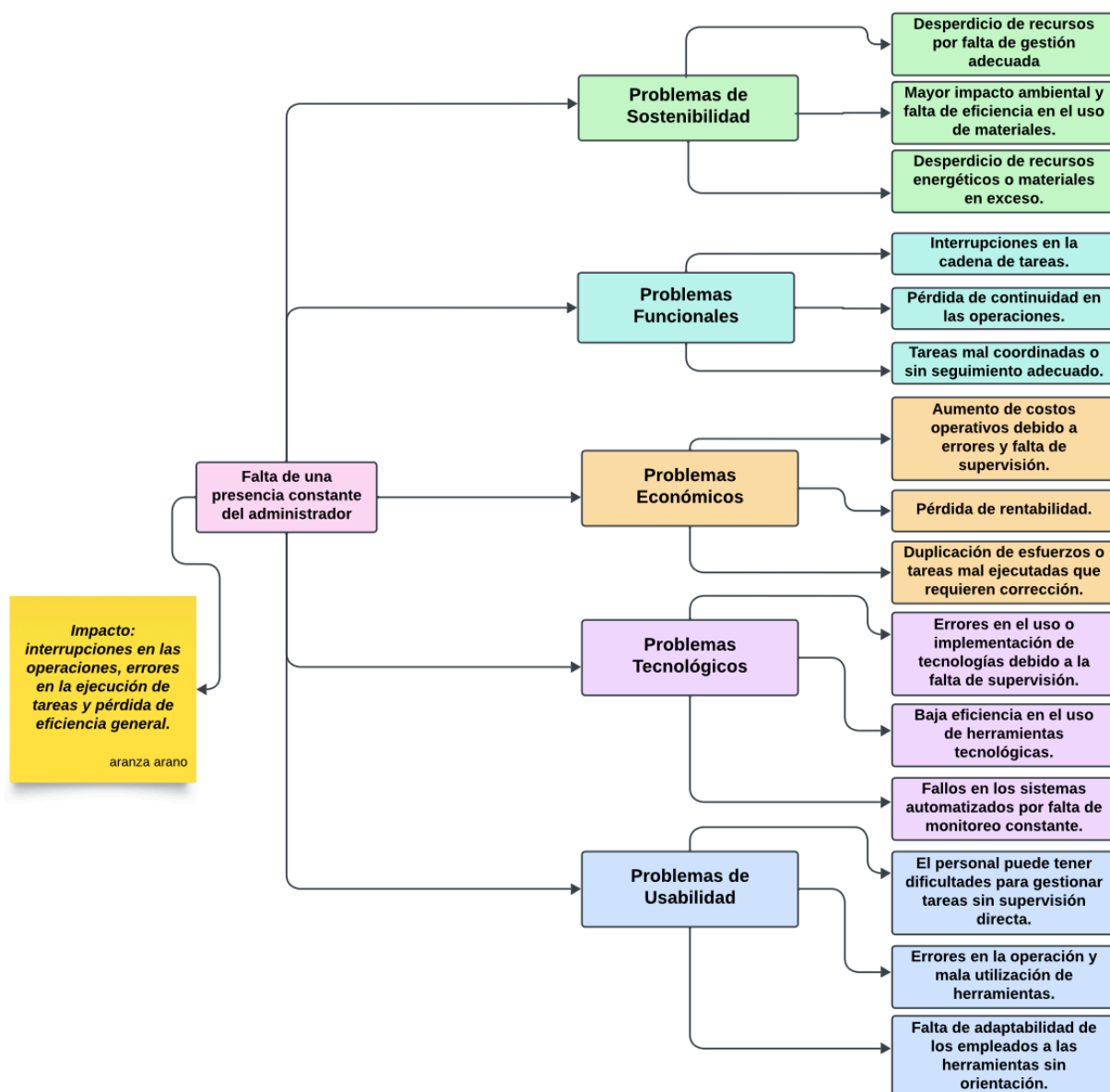


Ilustración 12 Mapa mental del problema: ausencia del encargado del cultivo y sus efectos sobre el sistema productivo.

Esta figura permitirá al lector comprender de forma inmediata la complejidad del problema analizado y la relación entre sus diferentes dimensiones de impacto.

#### 1.13.4 Mapa mental de objetivos del SGC (orientación del sistema)

Como resultado del proceso de diseño y estructuración del Sistema de Gestión del Conocimiento (SGC), se elaboró un mapa mental enfocado en los objetivos estratégicos y funciones operativas del sistema aplicado al cultivo de caña de azúcar CP-722086 bajo riego

tecnificado. Este instrumento permitió visualizar de manera integral cómo el SGC articula diferentes componentes técnicos, organizacionales y tecnológicos para transformar el manejo tradicional del cultivo en un sistema controlado, estandarizado y orientado a la mejora continua.

El mapa mental se construyó a partir de los principios de la gestión del conocimiento propuestos por Wiig (1993) y Probst, Raub y Romhardt (2000), los cuales enfatizan que el conocimiento organizacional debe ser identificado, estructurado, aplicado, evaluado y retroalimentado de forma sistemática. En este sentido, el mapa mental agrupó los objetivos del SGC en ejes funcionales claramente definidos.

Uno de los ejes principales fue la optimización de prácticas agrícolas, donde se integraron actividades relacionadas con la estandarización del riego tecnificado, la fertilización controlada, el manejo de plagas y la ejecución secuencial de labores productivas. Este eje refleja la función del SGC como mecanismo de normalización operativa, reduciendo la variabilidad del trabajo agrícola y asegurando la aplicación consistente de las mejores prácticas.

Un segundo eje correspondió al control y monitoreo del sistema productivo, incluyendo la captura sistemática de datos de humedad del suelo, consumo de agua, tiempos de riego, aplicaciones de insumos y desempeño por zona de cultivo. Este componente permitió transformar el proceso agrícola en un sistema medible, facilitando el análisis del desempeño mediante indicadores clave (KPIs) y hojas de control digitales.

El mapa mental también integró un eje de comunicación y supervisión remota, destacando el uso de la aplicación móvil como herramienta para transmitir instrucciones técnicas, validar actividades realizadas y retroalimentar al personal operativo en tiempo real. Este objetivo responde directamente a la problemática de la ausencia física del encargado, sustituyendo la supervisión presencial por control digital estructurado.

Otro componente relevante fue la capacitación y transferencia de conocimiento, donde se incluyeron procesos de formación mediante TWI, uso de guías estandarizadas y acceso continuo a procedimientos digitales. Este eje asegura que el conocimiento formalizado dentro del SGC sea comprendido y aplicado correctamente por todos los trabajadores, fortaleciendo la sostenibilidad del sistema.

Finalmente, el mapa mental incorporó la mejora continua como eje transversal, articulando la recopilación de datos, evaluación de resultados, ajustes operativos y actualización constante de prácticas agrícolas mediante el ciclo PDCA. De esta manera, el SGC se consolida no solo como una plataforma de registro, sino como un sistema dinámico de aprendizaje organizacional.

Este resultado demuestra que el SGC desarrollado va más allá de una simple digitalización de actividades agrícolas. El sistema se orienta estratégicamente a mejorar la toma de decisiones, optimizar recursos, elevar la productividad y fortalecer la sostenibilidad del cultivo, alineándose con los modelos modernos de gestión del conocimiento organizacional.

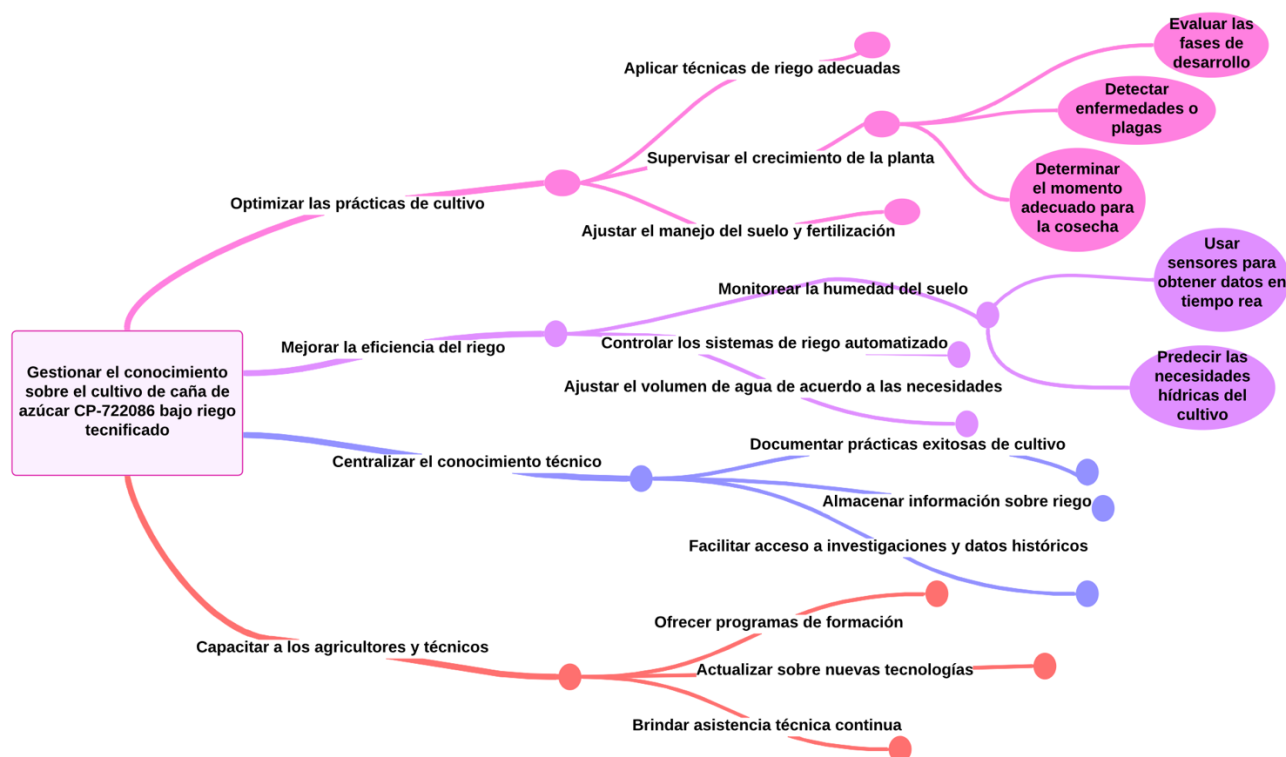


Ilustración 13 Mapa mental de objetivos y funciones del Sistema de Gestión del Conocimiento aplicado al cultivo de caña de azúcar.

### 1.13.5 Resultados del diseño por fases del desarrollo (planeación del proyecto)

Como resultado del proceso de planeación del Sistema de Gestión del Conocimiento aplicado al cultivo de caña de azúcar CP-722086 bajo riego tecnificado, se consolidó un esquema de desarrollo por fases que permitió organizar de manera lógica, progresiva y controlada todas las actividades del proyecto. Este enfoque responde a los principios de la ingeniería industrial

y la gestión de proyectos, los cuales enfatizan la necesidad de estructurar los procesos de intervención en etapas claramente definidas para asegurar trazabilidad, control del avance, evaluación de resultados y mejora continua (Kerzner, 2013).

El diseño por fases inició con una etapa de diagnóstico del sistema productivo, en la cual se analizaron las prácticas agrícolas existentes, los flujos de trabajo reales, las deficiencias operativas y la problemática central asociada a la ausencia del encargado del cultivo. Esta fase permitió establecer una línea base del funcionamiento del sistema y definir con precisión las necesidades técnicas que debía atender el SGC.

Posteriormente se desarrolló una fase de modelado y estructuración del conocimiento, donde se formalizaron los procesos agrícolas mediante diagramas de flujo, análisis FAST y mapas mentales. En esta etapa se transformó el conocimiento empírico del productor y de los trabajadores en procedimientos estandarizados, criterios técnicos de decisión y secuencias operativas claras, asegurando la coherencia funcional del sistema.

La tercera fase correspondió al diseño de herramientas de control y estandarización, integrando hojas de control digitales, indicadores clave de desempeño (KPIs), matriz de priorización y diagrama de contingencias. Estos instrumentos permitieron establecer mecanismos formales de monitoreo del desempeño, gestión de riesgos y enfoque de recursos en procesos críticos del cultivo.

En una cuarta fase se realizó la implementación tecnológica del sistema mediante el desarrollo de la aplicación móvil en App Inventor. En esta etapa se digitalizaron los diagramas de flujo, los registros productivos, los módulos de comunicación remota y las interfaces de captura de datos, convirtiendo el SGC en una plataforma operativa funcional para el control diario del cultivo.

Finalmente, se integró una fase de evaluación y mejora continua, basada en el análisis de datos generados por el sistema, revisión de indicadores de desempeño y retroalimentación del personal operativo. Esta fase se alineó con el ciclo PDCA de Deming (1986), permitiendo ajustes constantes a los procesos agrícolas, a las funcionalidades del sistema y a las prácticas productivas.

El resultado de este diseño por fases fue un proyecto técnicamente estructurado, con coherencia metodológica y con capacidad de adaptación progresiva. La planeación por etapas garantizó que cada componente del SGC respondiera a necesidades reales del cultivo, que

las soluciones se construyeran de forma integrada y que los resultados obtenidos fueran verificables y medibles.

Desde la perspectiva de la ingeniería industrial, este enfoque permitió asegurar:

- Control del desarrollo del sistema
- Reducción de riesgos en la implementación
- Alineación entre diagnóstico, diseño y resultados
- Facilitación de la mejora continua
- Documentación clara del proceso de intervención

En consecuencia, el desarrollo por fases no solo organizó el trabajo de investigación, sino que constituyó un resultado metodológico clave que fortaleció la efectividad del SGC como solución estructurada para la modernización del cultivo de caña de azúcar bajo riego tecnificado.

#### **1.13.6 Fases del desarrollo (visión conceptual)**

Como resultado de la etapa de planeación y estructuración del Sistema de Gestión del Conocimiento (SGC) aplicado al cultivo de caña de azúcar CP-722086 bajo riego tecnificado, se consolidó un mapa conceptual que sintetiza de manera gráfica y organizada las fases fundamentales del desarrollo del proyecto, desde el diagnóstico inicial hasta la evaluación continua del desempeño productivo. Este entregable permitió representar de forma clara la secuencia lógica del proceso de implementación, asegurando coherencia entre los objetivos del sistema, las herramientas de ingeniería industrial empleadas y los resultados obtenidos.

El mapa conceptual integra las fases de identificación del problema productivo, captura del conocimiento agrícola, modelado de procesos, diseño de instrumentos de control, implementación tecnológica mediante la aplicación móvil y retroalimentación para mejora continua. Cada fase se encuentra interconectada, reflejando el carácter cíclico del sistema, donde los datos generados en la operación alimentan constantemente la optimización de prácticas agrícolas y la actualización del conocimiento estructurado.

Desde la perspectiva de la gestión del conocimiento, este resultado se alinea con los modelos de Probst, Raub y Romhardt (2000), los cuales establecen que el conocimiento debe ser

identificado, desarrollado, utilizado, evaluado y renovado de manera sistemática. Al mismo tiempo, el mapa conceptual incorpora principios de gestión de proyectos de ingeniería industrial, donde cada fase representa un entregable verificable que garantiza el control del avance y la trazabilidad del desarrollo (Kerzner, 2013).

Este esquema conceptual permitió visualizar cómo las herramientas específicas —diagramas de flujo, análisis FAST, hojas de control, KPIs, capacitación TWI y aplicación móvil— se distribuyen estratégicamente dentro de cada etapa del proyecto, demostrando que el SGC no fue implementado de forma aislada, sino como un sistema integral de intervención productiva.

Asimismo, el mapa conceptual facilitó la comprensión del proyecto tanto para los usuarios del sistema como para la documentación académica, al sintetizar procesos complejos en una estructura clara que evidencia la lógica del diseño metodológico de la investigación.

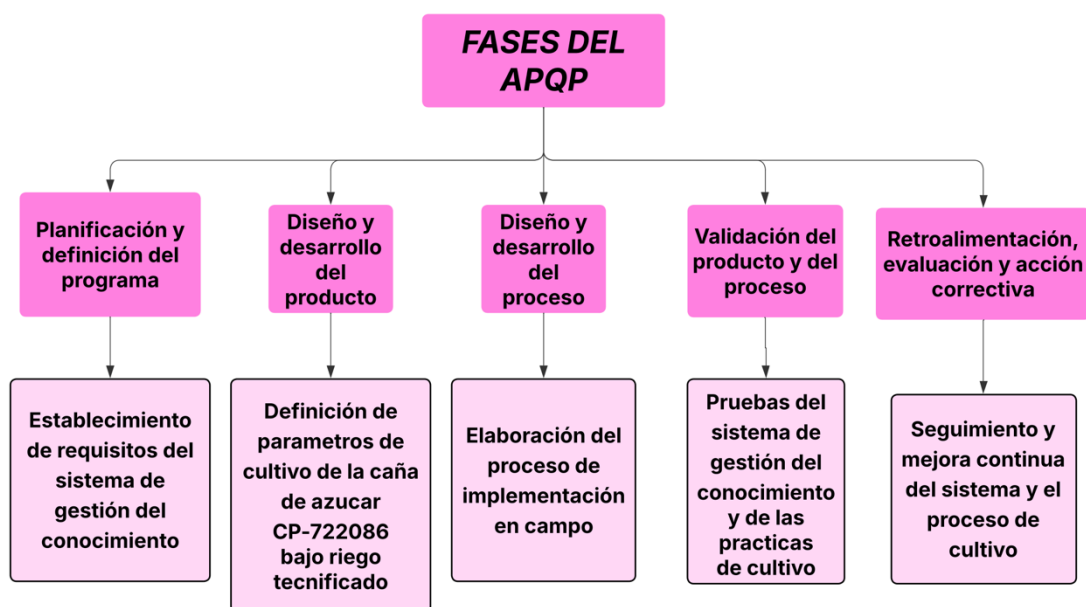


Ilustración 14 Mapa conceptual de las fases del desarrollo del Sistema de Gestión del Conocimiento y de la aplicación móvil aplicada al cultivo de caña de azúcar.

### **1.13.7 Etapas del desarrollo (desglose por entregables)**

Como resultado del proceso de estructuración del proyecto del Sistema de Gestión del Conocimiento (SGC) aplicado al cultivo de caña de azúcar CP-722086 bajo riego tecnificado, se generó un conjunto de diagramas que representan de forma detallada las cinco etapas fundamentales del desarrollo del sistema. Estos diagramas constituyen entregables formales

de planeación, ejecución y control, propios de la ingeniería industrial y la gestión de proyectos, al permitir visualizar el avance progresivo del proyecto, la relación entre actividades y la verificación del cumplimiento de objetivos en cada fase.

#### 1.13.7.1 Etapa 1

Planificación y diagnóstico consolidó los resultados del análisis inicial del sistema productivo, donde se identificaron las problemáticas operativas, necesidades del productor, riesgos técnicos y viabilidad de implementación del SGC. En esta fase se formalizaron los requerimientos funcionales del sistema, se evaluaron los recursos disponibles y se establecieron los objetivos técnicos del proyecto, generando una base sólida para el diseño posterior. Esta etapa permitió transformar un problema operativo general en un conjunto estructurado de requerimientos técnicos medibles.

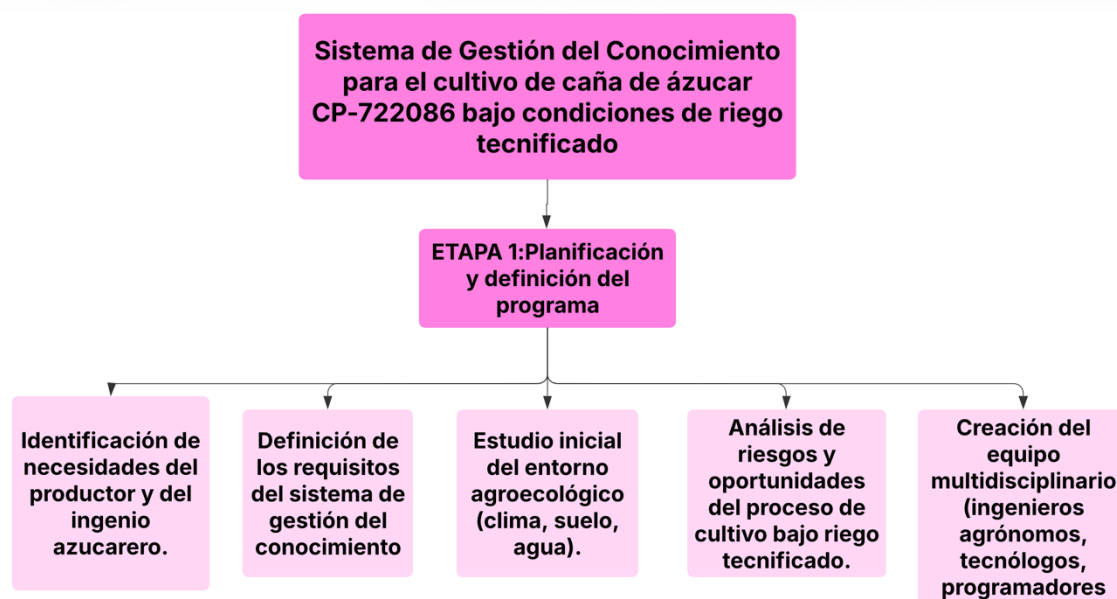


Ilustración 15 Etapa 1: Planificación y diagnóstico del SGC aplicado al cultivo de caña de azúcar.

#### 1.13.7.2 Etapa 2

Diseño y desarrollo del producto se enfocó en la construcción del contenido técnico del sistema, incluyendo la elaboración de procedimientos estandarizados, manuales operativos, reglas de decisión agrícola y diseño conceptual de los módulos de la aplicación móvil. En esta fase se integraron herramientas como QFD, análisis FAST y formalización del conocimiento agrícola, asegurando que el producto final el SGC digitalizado respondiera directamente a las necesidades del cultivo y del usuario.

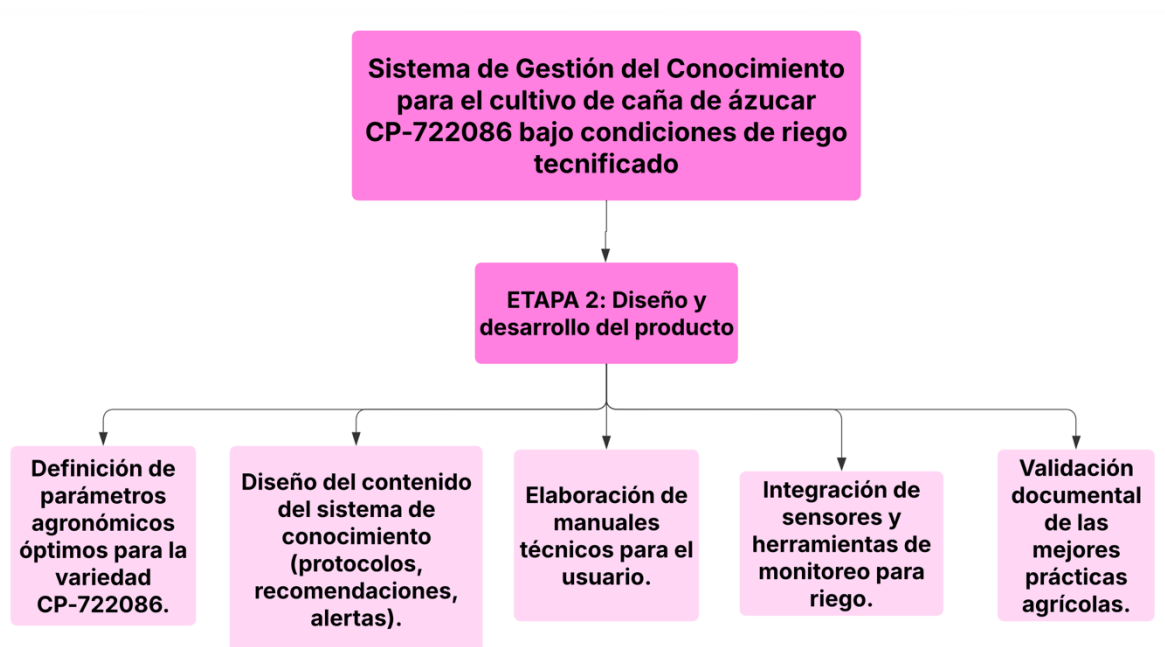


Ilustración 16 Etapa 2: Diseño y desarrollo del producto del Sistema de Gestión del Conocimiento.

### 1.13.7.3 Etapa 3

Diseño y desarrollo del proceso, se estructuraron los flujos operativos del cultivo mediante diagramas de flujo estandarizados, se diseñaron las hojas de control digitales, los indicadores clave de desempeño (KPIs) y los esquemas de capacitación mediante TWI. Esta fase transformó el conocimiento formalizado en procesos operativos ejecutables, asegurando que cada actividad agrícola contara con instrucciones claras, criterios de control y mecanismos de seguimiento.

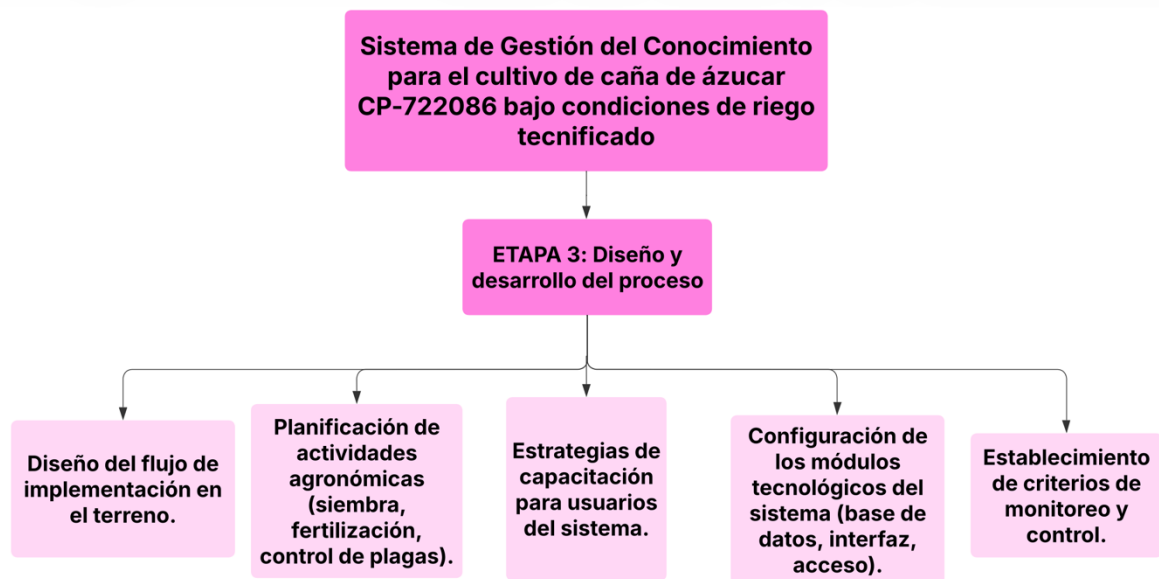


Ilustración 17 Etapa 3: Diseño y desarrollo del proceso agrícola estandarizado.

#### **1.13.7.4 Etapa 4**

Validación del producto y del proceso comprendió la implementación piloto de la aplicación móvil y de los procedimientos estandarizados en el entorno real del cultivo. Durante esta etapa se realizaron pruebas de funcionamiento de los módulos de registro, comunicación remota y ejecución guiada de actividades, así como la evaluación del desempeño del personal al utilizar el sistema. La retroalimentación obtenida permitió detectar áreas de mejora, ajustes técnicos y optimización de flujos operativos.

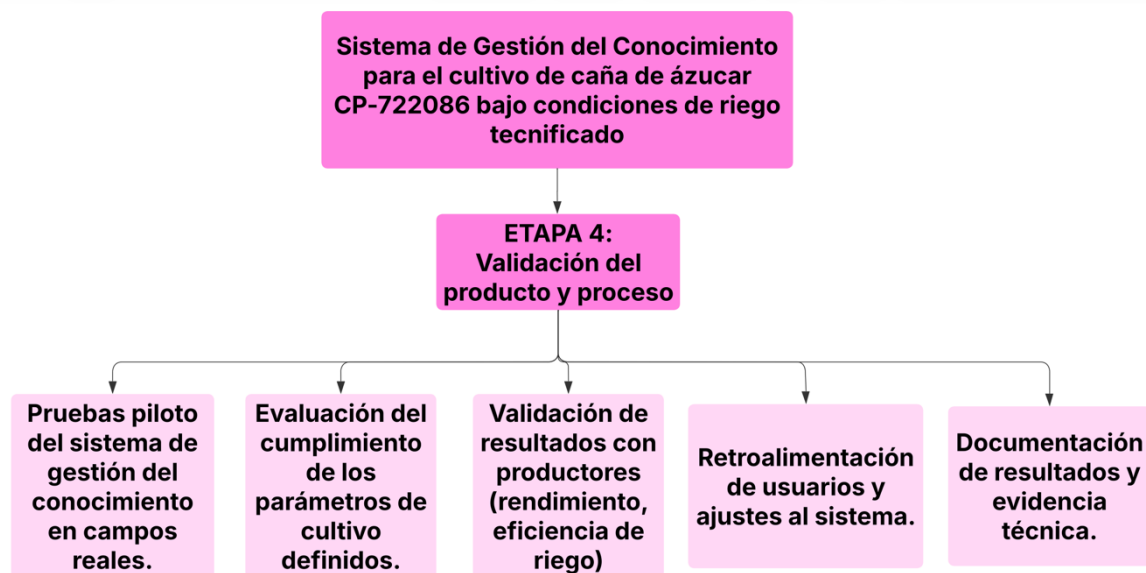


Ilustración 18 Etapa 4: Validación del producto y del proceso en campo.

#### 1.13.7.5 Etapa 5

Retroalimentación, evaluación y acción correctiva consolidó el enfoque de mejora continua del sistema, integrando los resultados de indicadores de desempeño, análisis de hojas de control y observaciones de campo para realizar ajustes constantes en los procesos agrícolas y en la aplicación móvil. Esta fase aseguró que el SGC no funcionara como un sistema estático, sino como una herramienta dinámica de aprendizaje organizacional.

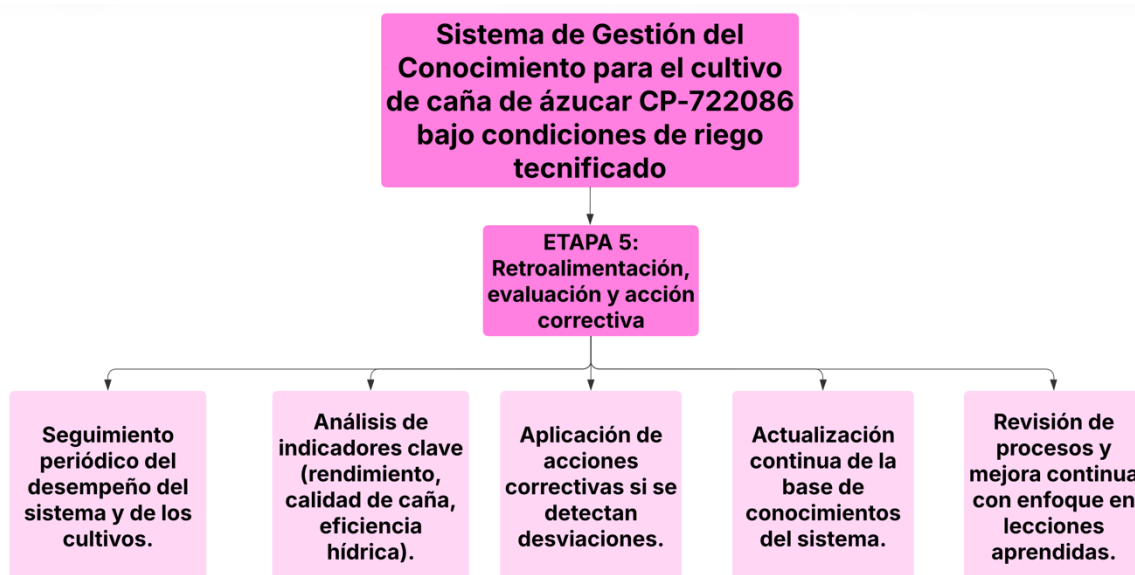


Ilustración 19 Etapa 5: Retroalimentación, evaluación y mejora continua del sistema.

Este desglose por etapas demuestra que el desarrollo del SGC se realizó bajo un enfoque sistemático de planeación, ejecución, control y mejora continua, alineado con los principios del ciclo PDCA de Deming (1986) y con metodologías modernas de gestión de proyectos propuestas por Kerzner (2013). Como resultado, el proyecto presenta trazabilidad completa entre diagnóstico, diseño, implementación y resultados productivos.

## **1.14 Combinación (integración y sistematización del conocimiento)**

### **1.14.1 Resultados de estandarización operativa mediante diagramas de flujo (módulo ZOCA)**

Uno de los resultados más relevantes del desarrollo del Sistema de Gestión del Conocimiento fue la estandarización formal de las actividades agrícolas del cultivo de caña de azúcar CP-722086 a través de seis diagramas de flujo operativos correspondientes al módulo ZOCA. Estos diagramas representan procesos críticos del manejo del cultivo y fueron diseñados bajo principios de ingeniería industrial orientados a la reducción de variabilidad, mejora de la eficiencia y aseguramiento de la calidad en la ejecución del trabajo de campo.

En términos metodológicos, los diagramas de flujo constituyen una herramienta fundamental para la normalización del trabajo, ya que permiten representar de manera clara la secuencia lógica de actividades, los puntos de decisión técnica y las acciones correctivas requeridas ante diferentes condiciones del proceso productivo (Maynard, 2001). Al estructurar cada proceso agrícola bajo un flujo estandarizado, se eliminan interpretaciones subjetivas del personal operativo y se asegura que cada tarea se realice conforme a criterios técnicos previamente definidos.

Los seis diagramas ZOCA se enfocaron en etapas estratégicas del ciclo productivo del cultivo, tales como evaluación del campo posterior al corte, manejo de residuos, control de malezas, riego tecnificado, fertilización y control fitosanitario. Cada flujo incorpora preguntas técnicas, decisiones tipo Sí/No, rutas alternativas de acción y puntos de verificación que garantizan que el trabajador ejecute las actividades de manera ordenada, eficiente y alineada con las mejores prácticas agrícolas.

Un aspecto innovador de este resultado es que los diagramas no permanecieron únicamente como documentos teóricos, sino que fueron transformados en lógica operativa dentro de la aplicación móvil desarrollada en App Inventor. De esta forma, el trabajador no solo consulta el diagrama, sino que interactúa con él paso a paso, respondiendo preguntas, siguiendo

instrucciones automáticas y registrando evidencias del trabajo realizado mediante fotografías y datos en tiempo real.

Desde la perspectiva de control de procesos, esta integración permitió generar trazabilidad completa de cada actividad agrícola. Cada decisión tomada dentro del flujo queda registrada en la base de datos del sistema, junto con la evidencia visual y temporal correspondiente. Esto fortalece la supervisión remota del cultivo, ya que el encargado puede verificar el cumplimiento de las actividades sin necesidad de presencia física constante, resolviendo una de las problemáticas principales detectadas en el diagnóstico.

Asimismo, la estandarización mediante diagramas de flujo contribuyó significativamente a la capacitación del personal agrícola. Al contar con instrucciones digitales guiadas, los trabajadores pueden ejecutar procesos complejos sin depender exclusivamente del conocimiento empírico o de la supervisión directa. Este enfoque se alinea con los principios de trabajo estandarizado propuestos por Shingo (1989), los cuales señalan que la repetibilidad del método es clave para lograr eficiencia, calidad y mejora continua.

Otro resultado importante fue la reducción del riesgo de omisión de actividades críticas. El sistema no permite avanzar en el flujo si no se completa cada paso, lo que asegura que tareas esenciales como revisión de humedad del suelo, aplicación correcta de fertilizantes o inspección de plagas no sean ignoradas. Esto se traduce en mayor control operativo y menor probabilidad de fallas productivas.

En términos de gestión del conocimiento, los diagramas ZOCA digitalizados constituyen una forma concreta de conocimiento explícito, donde la experiencia del productor y los criterios técnicos agrícolas se transformaron en procedimientos estructurados, accesibles y reutilizables dentro del sistema (Nonaka & Takeuchi, 1995). Así, el SGC logra su función central de convertir la experiencia práctica en procesos formales de alto valor productivo.

En síntesis, la integración de los diagramas de flujo ZOCA dentro de la aplicación móvil generó los siguientes resultados clave:

- Estandarización efectiva de procesos agrícolas críticos
- Reducción de variabilidad en la ejecución del trabajo de campo
- Supervisión remota basada en evidencia real
- Mejora en capacitación y autonomía del personal
- Registro sistemático de decisiones operativas

- Fortalecimiento del control y trazabilidad del cultivo

Este resultado demuestra que la combinación de herramientas clásicas de ingeniería industrial con tecnologías móviles permite transformar la gestión tradicional del cultivo de caña de azúcar en un sistema moderno, controlado y orientado al desempeño productivo sostenible.

#### **1.14.2 Resultados por cada flujo ZOCA (entregables completos)**

Como parte del desarrollo del Sistema de Gestión del Conocimiento y de su implementación en la aplicación móvil, se obtuvieron seis diagramas de flujo ZOCA que constituyen productos técnicos verificables del proyecto. Estos diagramas representan la formalización completa de los procesos operativos más importantes del cultivo de caña de azúcar CP-722086 bajo riego tecnificado, convirtiendo actividades tradicionalmente empíricas en procedimientos estandarizados, controlados y digitalizados.

Cada flujo ZOCA integra criterios técnicos agrícolas, puntos de decisión, acciones correctivas y mecanismos de registro de información, asegurando la correcta ejecución de las labores y la generación sistemática de datos productivos. Desde la ingeniería industrial, estos flujos corresponden a procesos normalizados que permiten mejorar eficiencia, reducir errores y garantizar repetibilidad operativa (Maynard, 2001; Shingo, 1989).

##### **1.14.2.1 ZOCA 1 Evaluación del campo después del corte**

Este primer flujo estandariza la inspección inicial del terreno posterior a la cosecha, etapa crítica para preparar el siguiente ciclo productivo. El diagrama guía al trabajador en la identificación de condiciones del suelo, presencia de residuos, compactación, daños en brotes y necesidades inmediatas de intervención.

Como resultado, se asegura que cada parcela sea evaluada bajo criterios técnicos uniformes antes de iniciar nuevas labores, evitando omisiones que puedan afectar el desarrollo del cultivo. Además, se generan registros sistemáticos de condiciones iniciales del campo, lo que facilita la planificación de acciones correctivas y la comparación de resultados entre ciclos productivos.

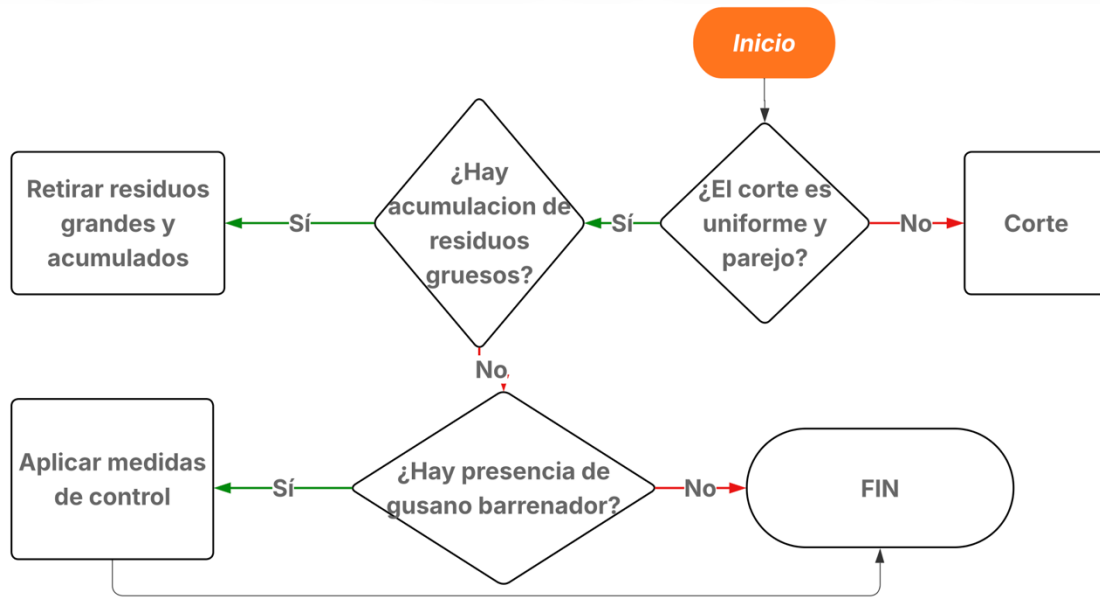


Ilustración 20 Diagrama de flujo ZOCA 1: Evaluación del campo después del corte.

#### 1.14.2.2 ZOCA 2 Manejo de residuos y control de malezas

Este flujo estructura las actividades relacionadas con la eliminación o reincorporación de residuos de cosecha y el control sistemático de malezas que compiten por nutrientes y agua. El diagrama establece criterios para seleccionar métodos de manejo, tiempos de intervención y acciones correctivas según el nivel de infestación.

El resultado principal es la reducción de variabilidad en el manejo del suelo y una aplicación más eficiente de recursos, lo que impacta directamente en la salud del cultivo y en la optimización del uso de insumos agrícolas.

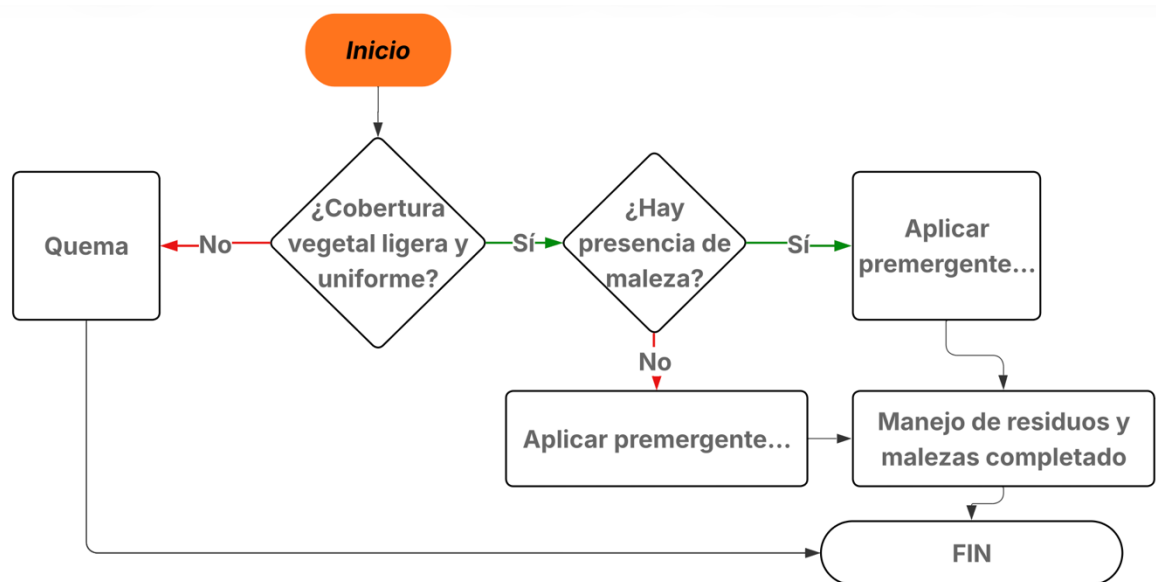


Ilustración 21 Diagrama de flujo ZOCA 2: Manejo de residuos y malezas.

### 1.14.2.3 ZOCA 3 Fertilización y nutrición vegetal

Este flujo formaliza las decisiones relacionadas con la aplicación de fertilizantes y el monitoreo del estado nutricional del cultivo. Incluye criterios de diagnóstico visual, análisis de condiciones del suelo, selección de dosis y momentos óptimos de aplicación.

Como resultado, se logra una fertilización más precisa, controlada y documentada, reduciendo desperdicios de insumos, evitando deficiencias nutricionales y mejorando el rendimiento del cultivo.

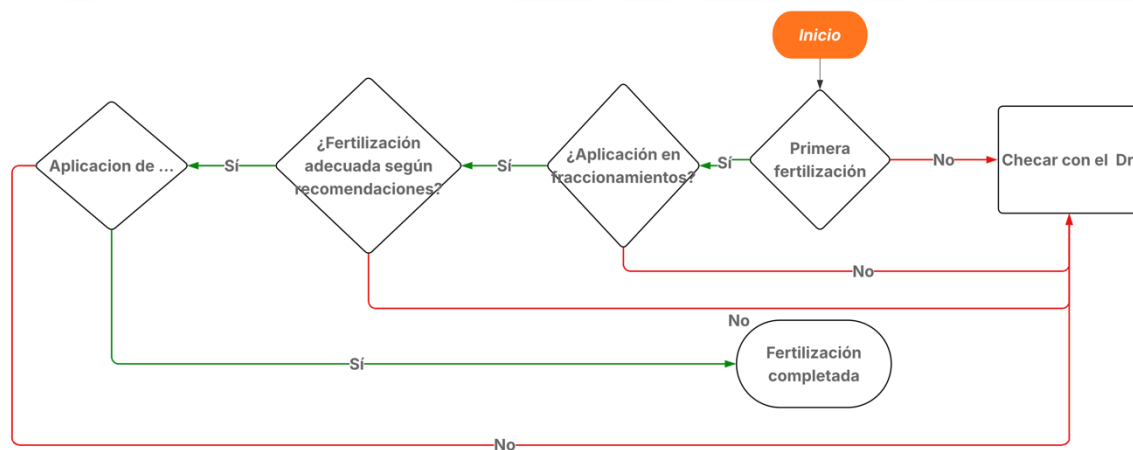


Ilustración 22 Diagrama de flujo ZOCA 3: Fertilización y nutrición vegetal.

#### 1.14.2.4 ZOCA 4 Manejo del riego tecnificado

Este flujo representa uno de los procesos más críticos del sistema productivo, ya que guía la toma de decisiones sobre cuándo, cuánto y cómo aplicar el riego tecnificado en función de la humedad del suelo, etapa fenológica del cultivo y condiciones climáticas.

El resultado de este flujo es un control preciso del uso del agua, reducción del desperdicio hídrico y mejora de la eficiencia del riego, lo cual impacta directamente en sostenibilidad y productividad agrícola.

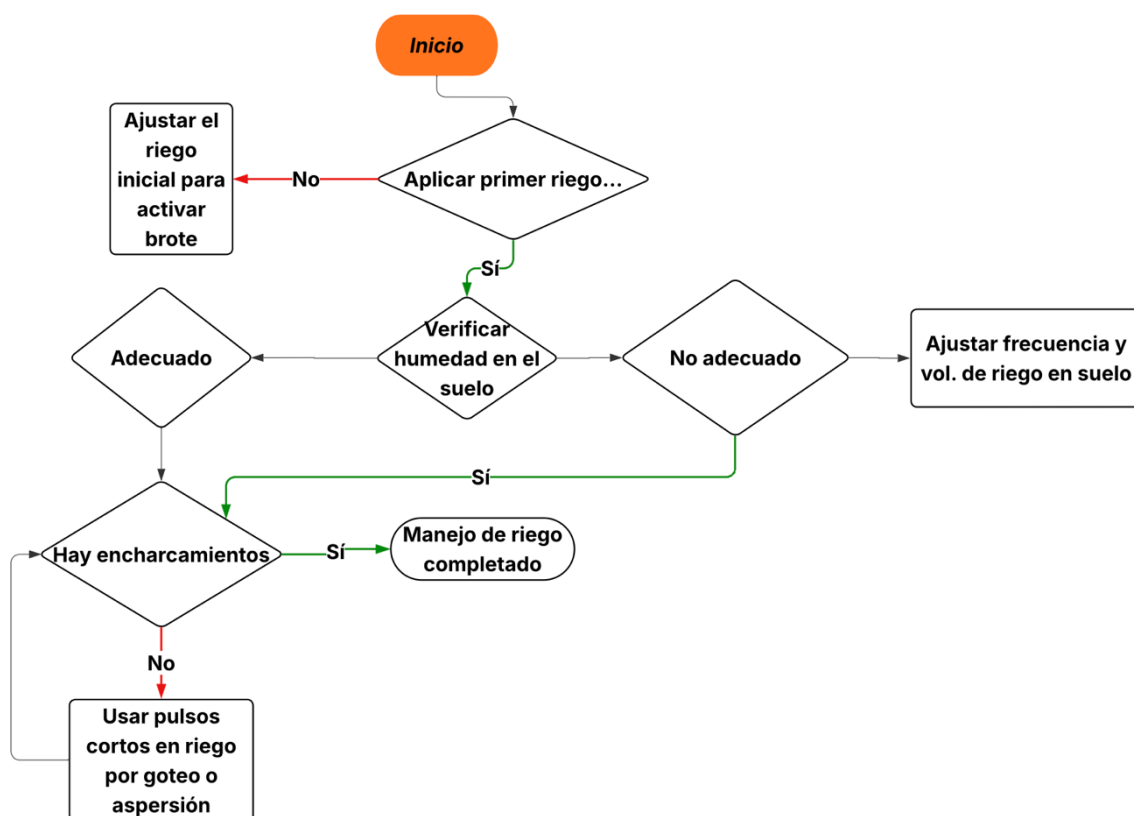


Ilustración 23 Diagrama de flujo ZOCA 4: Manejo del riego tecnificado.

#### 1.14.2.5 ZOCA 5 Monitoreo continuo de plagas y enfermedades

Este diagrama estructura la vigilancia sistemática del cultivo para detectar de forma temprana la presencia de plagas y enfermedades. Incluye criterios de inspección, niveles de alerta, selección de medidas de control y seguimiento posterior.

Como resultado, se mejora la capacidad de respuesta ante problemas fitosanitarios, se reducen pérdidas productivas y se promueve un manejo preventivo más eficiente del cultivo.

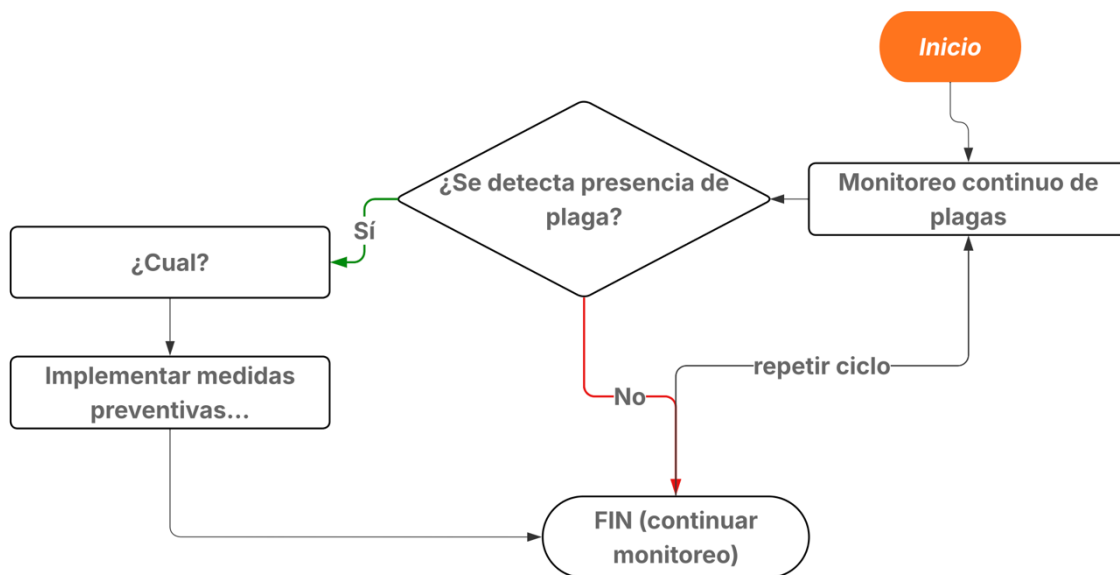


Ilustración 24 Diagrama de flujo ZOCA 5: Monitoreo de plagas y enfermedades.

#### **1.14.2.6 ZOCA 6. Labores culturales**

Este flujo estandariza actividades complementarias como limpieza del campo, mantenimiento de surcos, revisión de infraestructura de riego y prácticas de conservación del suelo. Estas labores, aunque rutinarias, son fundamentales para mantener condiciones óptimas de desarrollo del cultivo.

El resultado es una ejecución ordenada y sistemática de tareas que normalmente se realizan de forma informal, mejorando la organización del trabajo agrícola y previniendo deterioros en el sistema productivo.

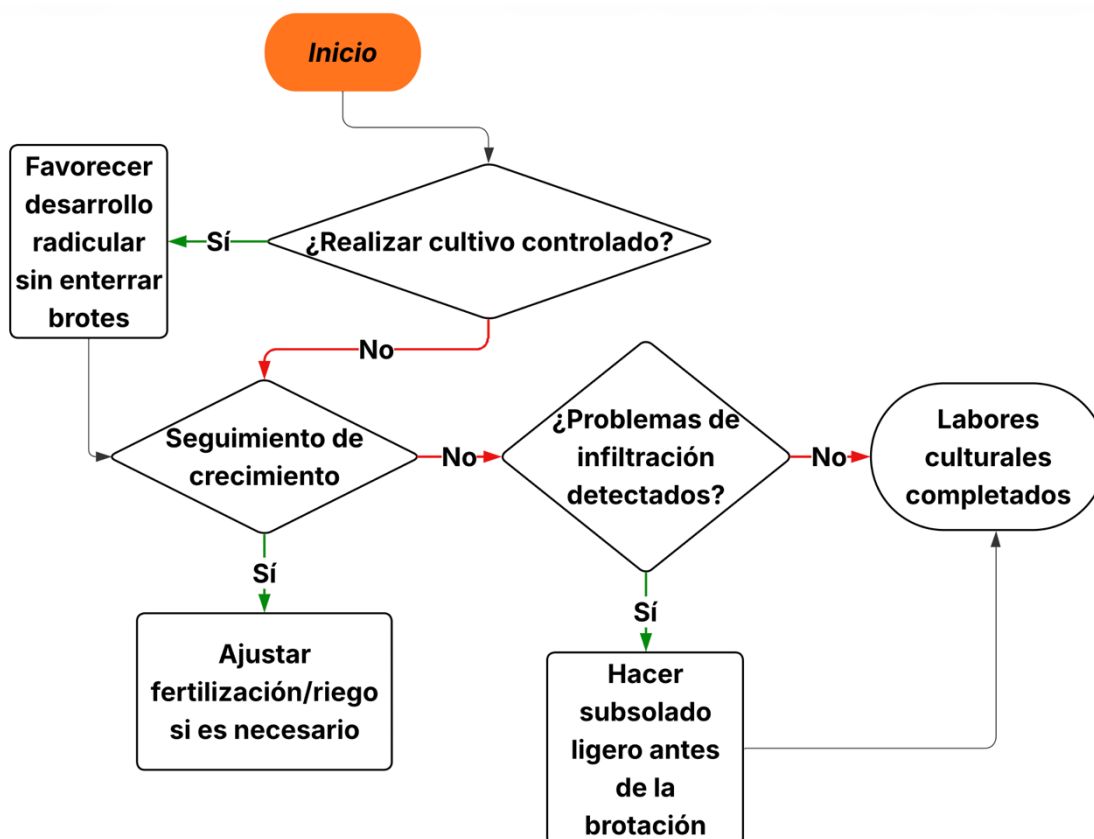


Ilustración 25 Diagrama de flujo ZOCA 6: Labores culturales.

### 1.14.3 Síntesis de los resultados del módulo ZOCA

En conjunto, los seis flujos ZOCA constituyen un sistema completo de estandarización operativa del cultivo de caña de azúcar. Como resultado del desarrollo se logró:

- Transformar actividades empíricas en procesos técnicos estructurados
- Garantizar ejecución uniforme de labores agrícolas
- Generar registros digitales continuos
- Facilitar supervisión remota del cultivo
- Reducir errores y omisiones críticas
- Optimizar uso de agua e insumos

Estos entregables representan uno de los pilares centrales del Sistema de Gestión del Conocimiento implementado, demostrando cómo la ingeniería industrial aplicada al entorno agrícola puede generar mejoras sustanciales en eficiencia, control y sostenibilidad productiva.

#### **1.14.4 Desarrollo tecnológico del sistema**

##### **1.14.5 Resultados del desarrollo e implementación de la app (App Inventor)**

Uno de los resultados más relevantes del presente proyecto fue el desarrollo exitoso de una aplicación móvil funcional mediante la plataforma MIT App Inventor, la cual se consolidó como la interfaz central de operación del Sistema de Gestión del Conocimiento (SGC) aplicado al cultivo de caña de azúcar CP-722086 bajo riego tecnificado. Esta aplicación no se limitó a ser un repositorio de información, sino que fue diseñada como una herramienta activa de control, estandarización y comunicación remota de los procesos agrícolas.

Desde la perspectiva de la gestión del conocimiento, la aplicación permitió materializar la conversión del conocimiento tácito del productor y del administrador en procedimientos explícitos y digitalizados, accesibles en tiempo real para los trabajadores de campo. Esto fortalece los procesos de captura, almacenamiento, distribución y aplicación del conocimiento productivo, elementos centrales del ciclo de conocimiento organizacional propuesto por Nonaka y Takeuchi (1995) y Probst, Raub y Romhardt (2000).

##### **1.14.6 Arquitectura funcional de la aplicación móvil**

Como resultado del diseño, la aplicación fue estructurada en módulos interconectados que reflejan directamente los procesos estandarizados del cultivo, permitiendo una navegación intuitiva y operativa para los usuarios. Entre sus principales componentes se encuentran:

- Sistema de autenticación de usuarios, que permite identificar al trabajador o encargado responsable de cada actividad registrada, fortaleciendo la trazabilidad del proceso productivo.
- Selección de zonas o parcelas de cultivo, facilitando el control diferenciado por área productiva y permitiendo análisis comparativos de desempeño.
- Acceso directo a los flujos ZOCA, donde cada proceso agrícola se ejecuta de forma guiada mediante secuencias de decisión estructuradas.
- Registro digital de información operativa, como respuestas técnicas (sí/no), valores de variables productivas y observaciones de campo.
- Captura de evidencia visual mediante fotografías, lo que respalda cada actividad realizada y mejora el control de calidad del proceso.

- Comunicación remota de instrucciones técnicas, permitiendo que el administrador emita indicaciones sin necesidad de presencia física en el campo.

Esta estructura funcional transforma el manejo agrícola tradicional en un sistema digitalizado, organizado y basado en datos, alineado con principios de control de procesos de la ingeniería industrial.

#### **1.14.7 Integración de estandarización y control dentro de la aplicación**

Un resultado clave del desarrollo fue la conversión de los diagramas de flujo ZOCA en lógica operativa dentro de la aplicación. Cada decisión agrícola fue programada como una secuencia de pasos guiados, asegurando que el trabajador ejecute las actividades conforme a criterios técnicos previamente definidos.

Este enfoque permitió:

- Reducir la variabilidad operativa
- Evitar omisiones de actividades críticas
- Facilitar la capacitación del personal
- Asegurar el cumplimiento de procedimientos estandarizados
- Generar información productiva en tiempo real

Desde la ingeniería industrial, esto equivale a implementar trabajo estandarizado digital, uno de los mecanismos más eficaces para mejorar productividad y calidad de procesos (Shingo, 1989; Maynard, 2001).

#### **1.14.8 Fortalecimiento de la supervisión remota y toma de decisiones**

La aplicación resolvió uno de los principales problemas detectados en el diagnóstico: la imposibilidad del administrador de estar presente constantemente en todas las zonas del cultivo. A través de los módulos de registro y comunicación, el encargado puede:

- Supervisar avances de labores agrícolas en tiempo real
- Recibir evidencia de actividades ejecutadas
- Detectar desviaciones del proceso estándar

- Emitir instrucciones correctivas inmediatas

Este resultado representa una mejora sustancial en el control del sistema productivo, transformando un proceso dependiente de presencia física en un sistema de supervisión digital continua, lo cual incrementa eficiencia y reduce riesgos operativos (Deming, 1986).

#### **1.14.9 Impacto del uso de App Inventor en el entorno agrícola**

La elección de MIT App Inventor permitió desarrollar una solución tecnológica accesible, de bajo costo y adaptable al contexto rural, facilitando su implementación práctica. Como resultado:

- Se eliminó la necesidad de infraestructura tecnológica compleja
- Se facilitó la adopción por parte de trabajadores con baja experiencia digital
- Se garantizó portabilidad del sistema directamente al campo de cultivo

Este enfoque coincide con estudios sobre digitalización agrícola que señalan las aplicaciones móviles como herramientas clave para modernizar la gestión productiva y mejorar la eficiencia de recursos (World Bank, 2020).

#### **1.14.10 Síntesis de los resultados tecnológicos del SGC**

Como resultado del desarrollo e implementación de la aplicación móvil se logró:

- Digitalizar completamente los procesos agrícolas críticos
- Integrar control, estandarización y registro en tiempo real
- Facilitar supervisión remota del cultivo
- Fortalecer la gestión del conocimiento operativo
- Reducir dependencia del criterio individual del trabajador
- Mejorar eficiencia hídrica y uso de insumos

La aplicación móvil desarrollada en App Inventor se consolidó así como el eje operativo del Sistema de Gestión del Conocimiento, demostrando que la combinación de ingeniería

industrial y tecnología digital puede transformar el manejo agrícola tradicional en un sistema moderno, controlado y orientado a la productividad sostenible.

#### **1.14.11 Resultados de interfaz (evidencia del prototipo)**

Como parte de los resultados tecnológicos del proyecto, se obtuvo un prototipo funcional de la aplicación móvil desarrollada en MIT App Inventor, cuya interfaz gráfica refleja de manera directa la operacionalización del Sistema de Gestión del Conocimiento aplicado al cultivo de caña de azúcar bajo riego tecnificado. Las pantallas diseñadas no solo cumplen una función visual, sino que representan la traducción práctica de los modelos, diagramas de flujo y herramientas de ingeniería industrial desarrolladas en etapas previas.

A partir del análisis de las capturas del prototipo, se evidencia una estructura lógica orientada a facilitar la ejecución estandarizada de los procesos agrícolas, la captura sistemática de información y la supervisión remota de las actividades productivas.

#### **1.14.12 Pantalla de autenticación y selección de zona de cultivo**

La primera interfaz corresponde al acceso al sistema, donde el usuario debe ingresar su cuenta y contraseña, asegurando control de acceso y trazabilidad de la información registrada. Adicionalmente, se incorpora un selector de zona o campo productivo (por ejemplo: Pozo, Granja, Cava u otras áreas de cultivo), lo que permite organizar la información por unidad productiva y facilitar análisis comparativos posteriores.

Este resultado es relevante porque introduce principios de control de procesos y responsabilidad operativa, propios de la ingeniería industrial, al asociar cada actividad con un usuario y una zona específica del cultivo. De esta manera se fortalece la gestión de información productiva y se evita la pérdida de datos o la ejecución de actividades sin supervisión técnica.

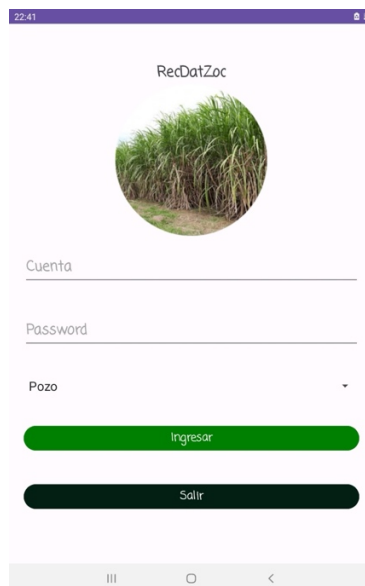


Ilustración 26 Pantalla de inicio de sesión y selección de campo o zona de cultivo.

#### **1.14.13 Menú principal por zona seleccionada: acceso estructurado a los procesos estandarizados**

Una vez seleccionada la zona de trabajo, la aplicación despliega un menú principal donde se presentan los módulos operativos del sistema, correspondientes a los flujos ZOCA desarrollados (evaluación del campo, manejo de residuos, fertilización, riego tecnificado, control de plagas, labores culturales), así como el módulo de administración de costos productivos.

Este resultado demuestra cómo los procesos agrícolas fueron transformados en rutas operativas claras y accesibles, evitando que el trabajador actúe de forma improvisada o según criterio personal. El menú funciona como una guía estructurada del trabajo diario, alineada con principios de estandarización de métodos y organización del proceso productivo (Maynard, 2001).

Además, esta estructura facilita la capacitación del personal, ya que cada actividad se encuentra claramente identificada dentro del sistema, reduciendo tiempos de aprendizaje y errores operativos.

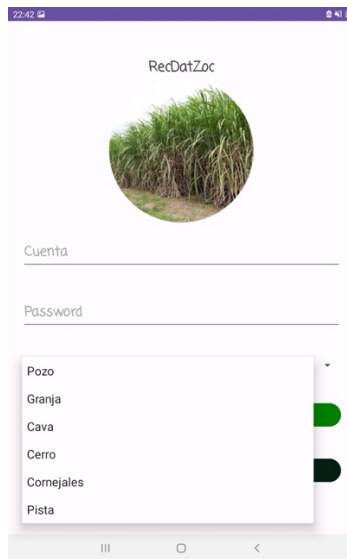


Ilustración 27 Menú principal del sistema con módulos ZOCA por zona de cultivo.

#### **1.14.14 Pantallas de ejecución operativa: decisiones guiadas y evidencia digital**

Las pantallas de registro operativo representan uno de los resultados más importantes del desarrollo, ya que materializan los diagramas de flujo en acciones concretas. Por ejemplo, se presentan preguntas técnicas como: “¿El corte es uniforme y parejo?”, acompañadas de botones de decisión Sí/No, opciones para capturar evidencia fotográfica y controles para iniciar o finalizar la actividad.

Este diseño permite:

- Guiar al trabajador paso a paso en la ejecución del proceso
- Registrar decisiones técnicas en tiempo real
- Generar evidencia objetiva del estado del cultivo
- Facilitar la supervisión remota por parte del encargado

Desde la ingeniería industrial, este enfoque fortalece el control del proceso, la estandarización del trabajo y la trazabilidad de las operaciones, principios fundamentales para garantizar calidad y eficiencia productiva (Deming, 1986; Shingo, 1989).

Asimismo, desde la gestión del conocimiento, estas pantallas permiten transformar actividades agrícolas en información estructurada que alimenta el SGC, facilitando análisis posteriores, retroalimentación y mejora continua.

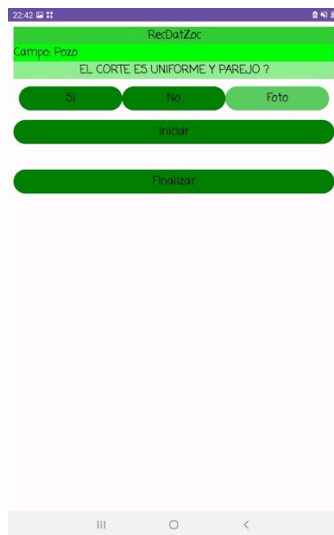


Ilustración 28 Pantalla de evaluación operativa con decisiones binarias y registro fotográfico de evidencias.

## **1.15 Internalización (aplicación práctica del conocimiento)**

### **1.15.1 Valor técnico del prototipo como resultado de investigación aplicada**

En conjunto, las interfaces obtenidas demuestran que el Sistema de Gestión del Conocimiento no se quedó en un nivel conceptual, sino que fue implementado en una herramienta tecnológica real, funcional y adaptable al entorno agrícola. El prototipo evidencia:

- Integración de modelos de gestión del conocimiento
- Aplicación de estandarización de procesos industriales al campo
- Digitalización del control productivo
- Comunicación remota efectiva
- Generación de datos para mejora continua

Este resultado confirma que es posible modernizar la gestión agrícola mediante el uso de tecnologías accesibles, convirtiendo procesos empíricos en sistemas estructurados, controlados y orientados a la productividad sostenible.



Ilustración 29 Pantalla App Inventor

### **1.15.2 Resultado central: comunicación remota y órdenes sin presencia física**

Uno de los resultados más significativos del desarrollo e implementación del Sistema de Gestión del Conocimiento aplicado al cultivo de caña de azúcar CP-722086 fue la creación de un mecanismo de comunicación remota estructurada que permite al encargado dirigir, supervisar y estandarizar las labores agrícolas sin necesidad de estar físicamente presente en las zonas de cultivo. Este resultado responde directamente al problema diagnosticado al inicio del proyecto, donde la ausencia constante del administrador generaba descoordinación, errores operativos y uso ineficiente de recursos.

A diferencia de los métodos tradicionales de supervisión informal o comunicación verbal, el sistema desarrollado transforma las instrucciones técnicas en flujos de trabajo digitalizados que guían de forma precisa la ejecución de cada actividad agrícola. Esto convierte al SGC en una herramienta de coordinación operativa continua, alineada con principios de control de procesos de la ingeniería industrial.

### **1.15.3 Estandarización del trabajo como mecanismo de dirección remota**

El primer componente que posibilita la comunicación remota es la estandarización de los procesos productivos mediante los diagramas de flujo ZOCA integrados en la aplicación móvil. Cada tarea agrícola se ejecuta conforme a una secuencia lógica de decisiones técnicas,

lo que garantiza que, aun en ausencia del encargado, el trabajador siga criterios previamente definidos.

Este resultado asegura:

- Uniformidad en la ejecución de labores
- Eliminación de improvisaciones operativas
- Reducción de errores humanos
- Repetibilidad de procesos eficientes

Desde la ingeniería industrial, este enfoque corresponde al principio de trabajo estandarizado como base para el control de calidad y la mejora continua (Shingo, 1989; Maynard, 2001).

#### **1.15.4 Registro digital y evidencia como base del control operativo**

El segundo componente clave del resultado es la captura sistemática de información durante la ejecución de las actividades agrícolas. Cada decisión técnica (por ejemplo, condiciones del suelo, uniformidad del corte, presencia de plagas) se registra en tiempo real mediante opciones binarias (Sí/No), valores operativos y evidencia fotográfica.

Este mecanismo permite:

- Documentar cada intervención realizada en el cultivo
- Generar historial productivo por zona
- Validar cumplimiento de procedimientos estandarizados
- Detectar desviaciones del proceso en tiempo real

Como resultado, el sistema deja de depender de reportes verbales o suposiciones, y se fundamenta en datos verificables, fortaleciendo el control de procesos y la toma de decisiones basada en evidencia (Deming, 1986).

#### **1.15.5 Distribución del conocimiento y retroalimentación continua**

El tercer elemento que consolida la comunicación remota es la disponibilidad inmediata de la información registrada dentro del sistema. El encargado puede revisar avances, analizar

resultados y emitir instrucciones correctivas o preventivas sin desplazarse físicamente al campo.

Este flujo constante de información permite:

- Supervisión remota continua
- Corrección oportuna de errores
- Ajuste de prácticas agrícolas
- Retroalimentación directa al trabajador
- Aprendizaje organizacional acumulativo

Desde la gestión del conocimiento, este resultado materializa el ciclo de conversión del conocimiento tácito a explícito, donde la experiencia del campo se transforma en información estructurada que se utiliza para coordinar actividades y mejorar decisiones futuras (Nonaka & Takeuchi, 1995; Wiig, 1993).

### **1.15.6 Impacto operativo del resultado central**

Como consecuencia de esta capacidad de comunicación remota estructurada, el sistema logró:

- Reducir dependencia de presencia física del encargado
- Mantener control técnico constante del cultivo
- Asegurar cumplimiento de prácticas estandarizadas
- Mejorar velocidad de respuesta ante problemas
- Optimizar uso de agua e insumos
- Fortalecer trazabilidad productiva

Este resultado representa una innovación práctica en el manejo agrícola tecnificado, al integrar principios de ingeniería industrial, gestión del conocimiento y tecnología móvil para resolver una problemática real de coordinación operativa en campo.

### **1.15.7 Valor científico y aplicado del resultado**

Desde una perspectiva académica, este resultado demuestra que:

- Los Sistemas de Gestión del Conocimiento pueden aplicarse eficazmente en entornos agrícolas
- La estandarización industrial es transferible al sector primario
- La tecnología móvil puede convertirse en un mecanismo de control productivo real
- La comunicación remota estructurada mejora eficiencia y sostenibilidad

En consecuencia, el proyecto no solo generó un prototipo tecnológico, sino un nuevo modelo de gestión agrícola basado en conocimiento estructurado y control digital continuo.

## **Conclusiones**

En esta investigación se diseñó e implementó un Sistema de Gestión del Conocimiento (SGC) aplicado al cultivo de caña de azúcar CP-722086 bajo condiciones de riego tecnificado, integrando herramientas de la ingeniería industrial y una aplicación móvil desarrollada en MIT App Inventor como medio de estandarización, control y comunicación operativa. Los resultados obtenidos permitieron demostrar que la gestión estructurada del conocimiento constituye una estrategia efectiva para optimizar procesos agrícolas y fortalecer la productividad del sistema.

El diagnóstico inicial evidenció que la principal problemática del cultivo no radicaba únicamente en aspectos técnicos, sino en la falta de mecanismos de control, estandarización y supervisión continua. La ausencia frecuente del encargado en las zonas de producción generaba dependencia del criterio individual de los trabajadores, errores en la ejecución de actividades críticas y una escasa generación de información productiva confiable. Esta situación limitaba la capacidad de mejorar los procesos y de utilizar eficientemente los recursos disponibles.

A partir de esta problemática, la implementación del SGC permitió transformar el conocimiento empírico del productor en procedimientos técnicos explícitos, organizados en diagramas de flujo, hojas de control, indicadores de desempeño y módulos digitales dentro de la aplicación móvil. Este proceso de formalización facilitó la estandarización del trabajo agrícola, redujo la variabilidad operativa y aseguró la transferencia del conocimiento de manera sistemática, evitando su pérdida y fortaleciendo la continuidad productiva.

La aplicación de herramientas de ingeniería industrial, como el análisis FAST, el QFD, las hojas de control, la matriz de priorización, el TWI, los KPIs y los diagramas de contingencia, permitió estructurar técnicamente los procesos del cultivo y orientar el sistema hacia la eficiencia y la mejora continua. Estas herramientas facilitaron la identificación de funciones críticas, la traducción de necesidades reales en soluciones tecnológicas concretas, el control sistemático de variables productivas y la gestión de riesgos operativos.

Uno de los aportes más relevantes del estudio fue el desarrollo de una aplicación móvil funcional como eje operativo del SGC. A través de esta herramienta se digitalizaron completamente los procesos agrícolas, permitiendo que los trabajadores ejecutaran las actividades mediante flujos estandarizados, registraran decisiones y evidencias en tiempo

real y generaran información productiva organizada por zonas de cultivo. Esta digitalización transformó el manejo tradicional del cultivo en un sistema controlado, medible y basado en datos.

De manera particular, la implementación de un mecanismo de comunicación remota estructurada permitió que el encargado dirigiera y supervisara las labores agrícolas sin necesidad de estar físicamente presente en el campo. Este resultado resolvió una de las principales limitaciones operativas del sistema productivo, mejorando la coordinación del trabajo, reduciendo retrasos en actividades críticas y asegurando el cumplimiento de prácticas técnicas estandarizadas.

Los resultados evidenciaron mejoras en la organización del trabajo agrícola, en el uso eficiente del agua mediante riego tecnificado y en la reducción de errores en fertilización y control de plagas. La generación continua de registros productivos y el uso de indicadores de desempeño permitieron analizar el comportamiento del sistema, detectar desviaciones y aplicar acciones correctivas oportunas, consolidando un enfoque de gestión basado en la mejora continua.

Asimismo, el SGC contribuyó a fortalecer la sostenibilidad del cultivo al optimizar el uso de insumos, minimizar desperdicios y promover decisiones basadas en información real del campo. Este aspecto resulta especialmente relevante ante los retos actuales de escasez de recursos hídricos y la necesidad de modernizar los sistemas productivos agrícolas.

Desde el punto de vista académico, esta investigación demuestra que los principios de la ingeniería industrial y la gestión del conocimiento pueden aplicarse eficazmente en el sector agrícola, generando impactos reales en eficiencia, control y productividad. El modelo desarrollado constituye una propuesta innovadora para la modernización del manejo agrícola tecnificado, adaptable a otros cultivos y contextos productivos.

En conclusión, el Sistema de Gestión del Conocimiento implementado permitió convertir el cultivo de caña de azúcar CP-722086 bajo riego tecnificado en un sistema productivo estandarizado, digitalizado y orientado a la mejora continua. La integración de conocimiento estructurado, procesos estandarizados y tecnología móvil demostró ser una solución efectiva para optimizar recursos, fortalecer la toma de decisiones y mejorar la sostenibilidad del sistema agrícola.

Finalmente, esta investigación sienta bases para futuros desarrollos que integren tecnologías como sensores IoT, análisis predictivo y sistemas inteligentes de apoyo a decisiones, con el propósito de continuar avanzando hacia una agricultura tecnificada más eficiente, resiliente y sostenible.

## **Recomendaciones**

A partir de los resultados obtenidos en el desarrollo e implementación del Sistema de Gestión del Conocimiento aplicado al cultivo de caña de azúcar CP-722086 bajo riego tecnificado, se plantean las siguientes recomendaciones orientadas a fortalecer, ampliar y dar continuidad al sistema propuesto, así como a promover su aplicación en otros contextos agrícolas.

En primer lugar, se recomienda continuar con la implementación progresiva del sistema en ciclos productivos completos, con el fin de generar una base de datos histórica más amplia que permita analizar tendencias de productividad, consumo de agua, eficiencia de fertilización y control fitosanitario. La acumulación de información a largo plazo facilitará la identificación de patrones de comportamiento del cultivo y la toma de decisiones cada vez más precisas y fundamentadas.

Asimismo, se sugiere integrar sensores IoT de forma más robusta al sistema, particularmente para el monitoreo automático de humedad del suelo, temperatura ambiental y radiación solar. La automatización de la captura de datos permitiría reducir la dependencia del registro manual, mejorar la precisión de la información y fortalecer el control en tiempo real del riego tecnificado, lo que contribuiría a una mayor eficiencia hídrica y productiva.

Se recomienda también ampliar las funcionalidades de la aplicación móvil, incorporando módulos de análisis gráfico, alertas automáticas y reportes comparativos por zona de cultivo. Estas herramientas facilitarían la interpretación de los indicadores de desempeño y permitirían al encargado detectar de manera inmediata desviaciones críticas del proceso productivo, fortaleciendo el enfoque de mejora continua.

Otra recomendación importante es implementar programas de capacitación continua basados en el enfoque TWI, utilizando la propia aplicación como plataforma de apoyo didáctico. La inclusión de manuales digitales, videos cortos de procedimientos y guías técnicas permitiría reforzar la correcta ejecución de las labores agrícolas, reducir errores operativos y acelerar la adopción del sistema por parte de nuevos trabajadores.

Adicionalmente, se sugiere extender el Sistema de Gestión del Conocimiento a otros procesos agrícolas complementarios, como la logística de cosecha, el transporte de la caña hacia los ingenios, la administración de inventarios de insumos y el control de costos de producción. Esto permitiría construir un sistema integral de gestión agrícola que abarque toda la cadena productiva, incrementando el impacto del modelo propuesto.

Desde una perspectiva de investigación, se recomienda realizar estudios comparativos entre parcelas que utilicen el SGC y parcelas que mantengan métodos tradicionales de manejo, con el objetivo de cuantificar de manera más precisa los beneficios en términos de productividad, reducción de costos y eficiencia en el uso de recursos. Este enfoque fortalecería la validación científica del modelo y facilitaría su replicabilidad en otros contextos productivos.

También se considera pertinente adaptar el sistema a otros cultivos tecnificados, como maíz, hortalizas o frutales, evaluando su comportamiento en diferentes condiciones climáticas y de suelo. Esto permitiría comprobar la flexibilidad del modelo y ampliar su aplicación en el sector agrícola mexicano.

Finalmente, se recomienda promover la colaboración entre productores, instituciones educativas y organismos gubernamentales para impulsar la adopción de sistemas de gestión del conocimiento en el campo. El apoyo institucional podría facilitar la inversión inicial en tecnología, capacitación y mantenimiento del sistema, contribuyendo a la modernización del sector agrícola y al fortalecimiento de la sostenibilidad productiva.

## Bibliografía

- Liker, J. K. (2004). *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*. . McGraw-Hill. .
- Linderman, K. S. (2003). *Six Sigma: A Goal-Theoretic Perspective*. . Journal of Operations Management.
- Lock, D. (2007). *Project Management*. Gower Publishing.
- CONADESUCA. (2022). *Reporte de la Agroindustria Azucarera en México*. Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar.
- López, P. T. (2024). Beneficios de los sistemas de gestión del conocimiento en la comunicación agrícola. *Revista de Gestión y Tecnología Agrícola*, 98-110.
- Aguilar, J. &. (2020). *El cultivo de caña de azúcar en México: Retos y oportunidades*. . Editorial Agrícola.
- Akao, Y. (1990). *Quality Function Deployment: Integrating Customer Requirements into Product Design*. . Productivity Press.
- Báez Hernández, A. H. (2018). *Scielo México*. Obtenido de Modelo de gestión del conocimiento para el desarrollo agropecuario local:  
<https://doi.org/10.24836/es.v28i51.517>
- Báez Hernández, R. (2018). Gestión del conocimiento en la agricultura. *Revista Agraria*, 45-58.
- Boisot, M. (1998). *Knowledge Assets: Securing Competitive Advantage in the Information Economy*. Oxford University Press.
- Bytheway, C. W. (1965). *Function Analysis System Technique*. . Society of American Value Engineers.
- Deming, W. E. (1986). *Out of the Crisis*. MIT Press.
- Deming, W. E. (1986). *Out of the Crisis*. . MIT Press.
- Dinero, D. (2005). *Training Within Industry: The Foundation of Lean*. . Productivity Press.
- Fernández, L. M. (2024). La supervisión asincrónica en la gestión agrícola: Ventajas y aplicaciones. *Revista de Innovación y Tecnología Agrícola*, 67-79.
- Fernández, J. L. (2024). *Optimización del riego tecnificado en cultivos agrícolas*. Universidad Agraria del Papaloapan.
- García, A. (2020). *Aplicación de IoT y tecnologías digitales en la agricultura moderna*. . Editorial AgroTécnica.
- García, A. (2020). *Aplicación de IoT y tecnologías digitales en la agricultura moderna*. . Editorial AgroTécnica.
- García, A. (2020). *Aplicación de IoT y tecnologías digitales en la agricultura moderna*. . Editorial AgroTécnica.
- García, A. (2024). *Aplicación de IoT en la agricultura moderna*. Editorial AgroTécnica.
- García, M. R. (2024). El impacto del Internet de las cosas en la agricultura moderna. *Revista de Tecnología y Agricultura*, 123-134.
- Gido, J. &. (2015). *Successful Project Management*. . Cengage Learning.
- Graupp, P. &. (2006). *The TWI Workbook: Essential Skills for Supervisors*. . Productivity Press.
- Hauser, J. R. (1988). *The House of Quality*. Harvard Business Review.
- Heerkens, G. R. (2001). *Project Management*. McGraw-Hill.
- Ikujiro Nonaka, H. T. (1999). *La organización creadora de conocimiento*. México : The knowledge-creating company.

- Inventor., M. A. ( 2023). *App Inventor for Android*. Obtenido de Massachusetts Institute of Technology: <http://appinventor.mit.edu>
- Ishikawa, K. (1985). *What is Total Quality Control? The Japanese Way*. . Prentice-Hall.
- Juran, J. M. (1992). *Quality Planning and Analysis: From Product Development Through Use*. . McGraw-Hill.
- Juran, J. M. (1993). *Juran's Quality Control Handbook*. . McGraw-Hill.
- Kerzner, H. (2013). *Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling*. . Wiley.
- Magaña, R. (2021). *Manejo agronómico y productividad de la caña de azúcar en climas tropicales*. . Fondo de Cultura Económica.
- Martínez, J. L. (2024). La importancia de los sistemas de gestión del conocimiento en la agricultura. *Revista de Innovación Agrícola*, 45-58.
- Maynard, H. B. (2001). *Manual de Ingeniería Industrial*. . McGraw-Hill.
- Mazur, G. H. (1993). *QFD: A Comprehensive Approach to Design*. GOAL/QPC.
- Meredith, J. R. (2014). *Project Management: A Managerial Approach*. Wiley.
- Montgomery, D. C. (2012). *Introduction to Statistical Quality Control*. . Wiley.
- Nonaka, I. &. (1999). *La creación del conocimiento en la empresa*. Oxford University Press.
- Nonaka, I. &. (1999). *La creación del conocimiento en la empresa*. . Oxford University Press.
- Ohno, T. (1988). *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*. . Productivity Press.
- Ohno, T. (1988). *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*. . Productivity Press.
- Pérez, L. (2019). *Sostenibilidad y eficiencia en la industria azucarera en México*. . Editorial InnovAgro.
- PMI. (2017). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide)*. . Project Management Institute.
- Probst, G. R. (2000). *Managing Knowledge: Building Blocks for Success*. John Wiley & Sons.
- Ramírez, S. F. (2024). Innovaciones en la documentación y supervisión agrícola mediante sistemas móviles. *Revista de Tecnología Agrícola*, 145-158.
- Rivera, P. &. (2018). *Prácticas de cultivo para mejorar la producción de caña de azúcar*. . Universidad Autónoma Chapingo.
- Saaty, T. L. (2001). *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill.
- Shillito, M. L. (1991). *Value: Its Measurement, Design, and Management*. Wiley-Interscience.
- Shingo, S. (1989). *A Study of the Toyota Production System*. CRC Press.
- Shook, J. (2008). *Managing to Learn: Using the A3 Management Process*. . Lean Enterprise Institute.
- SIAP, S. d. (2022). *Estadísticas de Producción Agrícola*. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural.
- Sullivan, L. P. (1986). *Quality Function Deployment: A System to Assure that Customer Needs Drive the Product Design*. . AT&T Technical Journal.
- Tassinari, R. (1992). *The Practice of Value Analysis*. . Van Nostrand Reinhold. .
- Wiig, K. M. (1993). *Knowledge Management Foundations*. Schema Press.