OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN PARA LA LÍNEA DE GOTEO INTER 161 DE AGRIFIM DE COLOMBIA SAS

LINA MARÍA OLIVEROS ORJUELA
MARIO ESTEBAN ZÁRATE DÍAZ

UNIVERSIDAD DISTRITAL, FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

FACULTAD TECNOLÓGICA

PROYECTO CURRICULAR: INGENIERÍA DE PRODUCCIÓN POR CICLOS PROPEDÉUTICOS

BOGOTÁ D.C., NOVIEMBRE DE 2025

OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN PARA LA LÍNEA DE GOTEO INTER 161 DE "AGRIFIM DE COLOMBIA SAS

Lina María Oliveros Orjuela (20242377039)
Mario Esteban Zárate Díaz (20242377015)

DIRECTOR
Ing. Manuel Alfonso Mayorga Morato

MODALIDAD, PASANTÍA LÍNEA: 2: Gestión de la producción y las operaciones.
Tema 205: Planeación, Programación y Control de la producción

Universidad Distrital, Francisco José De Caldas
Facultad Tecnológica
Proyecto curricular: Ingeniería de producción por ciclos propedéuticos
Bogotá D.C, noviembre de 2025

firma del Director

firma del tutor delegado

firma del jurado

DEDICATORIA.

En este documento quiero destacar, y a sí mismo dar gratitud a mis padres, ya que fueron pieza clave en este ciclo profesional que está llegando su fin, A mi maestro y amigo, Sergio Eusse por seguir siendo esa guía incondicional que a pesar de la distancia sigue estando presente en las letras, poesía y una que otra canción.

A Gerard Way, por ayudarme a cerrar ciclos y a recordar a cierta persona 10.000 veces en menos de 5 minutos mientras sonaba **"i don't love you"** , tkm mi emo precioso XOXO.

-Mario Esteban Zárate Díaz

Quiero dedicar este proyecto de grado y agradecer, primeramente a Dios por permitirme tener salud y vida para cumplir con todo lo que me he propuesto, por no soltarme de su mano y acompañarme en cada situación positiva y negativa que se me ha cruzado en el camino para llegar hasta aquí. A mi mamá, Rocio Orjuela y a mi papá, Mario García, quienes han estado para mi en todo momento brindándome las fuerzas, consejos y esperanzas necesarias para no desfallecer, dándome todo su amor y compañía a lo largo de mi vida. A mi abuela Tulia Alfonso, quien me ha visto como a una de sus hijas, me ha cuidado y me ha dado todo su amor. A mi madrina, Monica Orjuela, quien me ha brindado su apoyo incondicional. A mi hermano, Miguel Garcia, amigos y familia que han caminado a mi lado, aportando su apoyo y compañía en todo momento. Por último pero no menos importante, dedico este documento a Shaki, mi angelito perruno y Canela, quien aun me acompaña, por estar junto a mi todas las noches de estudio hasta la madrugada.

-Lina María Oliveros Orjuela

AGRADECIMIENTOS.

Queremos expresar nuestro sincero agradecimiento a todas las personas que contribuyeron de manera significativa a la realización de este proyecto de grado. Sus apoyos, orientaciones y estímulos fueron fundamentales para alcanzar este importante logro en nuestra vida académica.

En primer lugar, queremos agradecer a nuestro director de tesis, Ingeniero Manuel Mayorga Morato, por su dedicación, paciencia y sabios consejos durante el desarrollo del proceso. Su experiencia y orientación fueron cruciales para dar forma a este proyecto y llevarlo a buen término.

Agradecemos también a nuestros profesores y docentes, cuyos conocimientos y enseñanzas han sido una fuente inagotable de inspiración y aprendizaje. Cada uno de ustedes ha dejado una huella indeleble en nuestra formación académica.

De igual manera, expresamos nuestro profundo agradecimiento a Agrifim de Colombia S.A.S., por abrirnos las puertas y permitirnos desarrollar este proyecto en su entorno empresarial. A su representante legal, Rosa Amalia Becerra Otalora quien brindó su apoyo institucional y facilitó los recursos necesarios para la ejecución del trabajo, y al tutor designado por la empresa, Jorge Mauricio Sanchez Campos por su valiosa guía técnica, disposición y acompañamiento durante el desarrollo de las actividades. Su compromiso y colaboración fueron determinantes para el éxito de este proyecto.

A nuestras familias, en especial a nuestros padres, les agradecemos por su amor incondicional, su apoyo constante y su fe en nosotros. Su sacrificio y dedicación han sido el motor que nos impulsó a seguir adelante.

Por último, queremos agradecer a cada persona que fue partícipe del estudio tecnológico y profesional aportando tiempo y conocimientos para que este proyecto tan importante fuera posible. Su colaboración fue esencial y muy apreciada.

Este logro es el resultado del esfuerzo colectivo de muchas personas, y aunque no podemos mencionar a todos, queremos que sepan que cada contribución fue un aporte significativo para nosotros. Gracias a cada uno de ustedes por ser parte de este viaje y por ayudarnos a llegar a uno de los destinos.

RESUMEN

La optimización de procesos industriales, en especial los referentes a los sistemas de producción, se ha convertido en un pilar fundamental para garantizar la eficiencia, eficacia, calidad y competitividad empresarial. Para el desarrollo del presente documento Agrifim de Colombia S.A.S., empresa dedicada a la fabricación de insumos para sistemas de riego inteligentes; la línea de goteo interline-161 (161-015,030) representa uno de sus productos más importantes y de mayor rotación dentro del mercado nacional, en especial en la Sabana y parques agroindustriales de Cundinamarca. Sin embargo, en los últimos años se han identificado diversas dificultades relacionadas con la variabilidad de los parámetros de producción, la ausencia de procedimientos estandarizados y la dependencia excesiva de la experiencia del operario, factores que afectan directamente la estabilidad del proceso y la calidad final del producto.

Durante el desarrollo de este trabajo se busca optimizar el proceso de producción de la línea de goteo Inter 161, a través de la integración y estandarización de los procesos de extrusión (producción de tubería lisa en polietileno) e inyección (fabricación de goteros), con el propósito de mejorar la productividad y reducir las pérdidas de material, reprocesos y tiempos improductivos.

Este proyecto se plantea como una propuesta de mejora continua fundamentada en metodologías de análisis de procesos, herramientas de control de calidad e indicadores de desempeño (KPI), que permitan medir en tiempo real la eficiencia operativa y garantizar la uniformidad de los productos.

En consecuencia, los resultados de este trabajo no solo buscan fortalecer la capacidad técnica y productiva de Agrifim de Colombia S.A.S., sino también aportar un modelo de referencia aplicable a otras empresas del sector manufacturero plástico que presenten problemáticas similares en sus líneas de producción. De esta forma, la investigación contribuye al desarrollo de prácticas industriales más eficientes, sostenibles y alineadas con los estándares de calidad exigidos en la industria agrícola nacional.

ABSTRACT

The optimization of industrial processes, especially those concerning production systems, has become a fundamental pillar to ensure efficiency, effectiveness, quality and business competitiveness. For the development of this document, Agrifim de Colombia S.A.S., a company dedicated to the manufacture of inputs for intelligent irrigation systems; the interline-161 (161-015,030) drip line represents one of its most important and rotational products within the national market, especially in the Savannah and agro-industrial parks of Cundinamarca. However, in recent years several difficulties have been identified related to the variability of production parameters, the absence of standardized procedures and excessive reliance on operator experience, factors directly affecting process stability and final product quality. During the development of this work, the aim is to optimize the production process of the Inter 161 drip line through the integration and standardization of extrusion processes (production of plain polyethylene pipe) and injection (manufacture of drills), in order to improve productivity and reduce material losses, reprocesses and idle times.

This project is presented as a proposal for continuous improvement based on process analysis methodologies, quality control tools and performance indicators (KPI), which allow to measure in real time the operational efficiency and ensure product uniformity.

Consequently, the results of this work not only seek to strengthen the technical and productive capacity of Agrifim de Colombia S.A.S., also provide a reference model applicable to other companies in the plastic manufacturing sector that present similar problems in their production lines. In this way, research contributes to the development of more efficient and sustainable industrial practices aligned with the quality standards required in the national agricultural industry.

ÍNDICEs

INTRODUCCIÓN..... 13

JUSTIFICACIÓN..... 15

1. GENERALIDADES..... 17

1.1. PROBLEMA..... 17

1.1.1. Descripción:..... 17

1.1.2. Formulación:..... 18

1.2. OBJETIVOS..... 18

1.2.1. General:..... 18

1.2.2. Específicos:..... 18

1.3. DELIMITACIÓN O ALCANCE..... 19

1.4. METODOLOGÍA..... 19

1.4.1. Cronograma..... 21

2. MARCO REFERENCIAL..... 22

2.1. MARCO HISTÓRICO..... 22

2.1.1. Sector económico CIIU 2821, fabricación de maquinaria agrícola y forestal:..... 22

2.1.2. AGRIFIM DE COLOMBIA S.A.S:..... 22

2.1.3. Antecedentes..... 23

2.2. MARCO TEÓRICO..... 26

2.2.1. Optimización..... 26

2.2.2. Indicadores KPI..... 26

2.2.3. Mantenimiento industrial..... 27

2.2.4. Gestión de inventarios..... 27

2.2.5. Control de calidad..... 28

2.2.6. Mejora continua..... 28

2.3. MARCO LEGAL..... 29

2.3.1 Normas Técnicas y de Calidad en la Industria del Plástico..... 29

3. SITUACIÓN ACTUAL.....31
3.1. PLATAFORMA ESTRATÉGICA:.....31
3.1.1. Misión.....31
3.1.2. Visión.....31
3.1.3. Valores.....32
3.1.4. Política de calidad.....32
3.1.5. Objetivos de la calidad.....32
3.2. ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL:.....33
3.2.1. Distribución de planta actual.....34
3.3. PORTAFOLIO:.....37
3.4. PROCESOS.....41
3.5. RECURSOS.....50
3.5.1. Recurso humano.....50
3.5.2. Maquinaria.....51
4. PROPUESTA.....52
4.1. DIAGNÓSTICO.....52
4.2. INDICADORES KPI.....53
4.2.1. KPI de producción para inyectora.....54
4.2.2. KPI de producción para extrusora.....58
4.2.3. KPI de registro de datos para calidad.....62
4.2.4. Implementación de indicadores.....63
4.3. CALIDAD.....69
4.4. NORMA ISO 9261:2004.....78
4.5. SIMULACIÓN.....80
4.6. IMPLEMENTACIÓN.....89
CONCLUSIONES.....91
RECOMENDACIONES.....92

BIBLIOGRAFÍA..... 93

ANEXOS.....97

CUADROS

Cuadro 1 Metodología..... **21**

Cuadro 2 Antecedentes del proyecto..... **25**

Cuadro 3 Nivel de importancia de mayor a menor de los productos de la empresa..... **41**

Cuadro 4 Lista de maquinaria..... **52**

Cuadro 5 Datos teóricos máquina inyectora..... **56**

Cuadro 6 Costeo del proceso de inyección..... **58**

Cuadro 7 Datos teóricos máquina extrusora..... **59**

Cuadro 8 Costeo del proceso de extrusión..... **62**

FIGURAS

Figura 1 Cronograma del proyecto..... **22**

Figura 2 Organigrama general de la empresa..... **34**

Figura 3 Distribución de planta actual..... **36**

Figura 4 Distribución de planta actual acotado..... **37**

Figura 5 Diagrama de ishikawa inyectoras..... **43**

Figura 6 Diagrama de ishikawa extrusoras..... **43**

Figura 7 Flujograma de la línea de goteo Interline 161..... **44**

Figura 8 Diagrama de ishikawa de la empresa..... **46**

Figura 9 Matriz de vester..... **47**

Figura 10 Gráfico de criticidad de problemas..... **47**

Figura 11 Formato KPI de producción para la inyectora..... **57**

Figura 12 Formato KPI de producción para la extrusora..... **60**

Figura 13 Formato KPI de registro de datos para calidad..... **64**

Figura 14 Formato con el registro del indicador IPI..... **66**

Figura 15 Formato con el registro del indicador IPE..... **67**

Figura 16 Formato con el registro del indicador IDC..... **70**

Figura 17 Diagrama de flujo de proceso de pruebas de calidad..... **72**

Figura 18 Formato para pruebas de presión vs caudal..... **74**

Figura 19 Formato para pruebas de presión vs caudal digital..... **75**

Figura 20 Tabla resumen de formato para pruebas de presión vs caudal digital..... **76**

Figura 21 Ficha con gráfica caudal vs presión..... **77**

Figura 22 Banco de pruebas automático..... **79**

Figura 23 Histogramas para análisis de distribución de datos..... **82**

Figura 24 Cadenas markovianas..... **84**

Figura 25 Regresión lineal..... **86**

Figura 26 Regresión tipo Anova..... **89**

Figura 27 Cronograma propuesta de implementación.....**91**

ANEXOS

ANEXO A. FORMATO DE INDICADORES DE DESEMPEÑO.....99

ANEXO B. FORMATO DIGITAL PRUEBAS DE CALIDAD.....99

ANEXO C. BASE DE DATOS FORMULADA PARA SIMULACIÓN.....99

INTRODUCCIÓN

En el contexto industrial actual, cuyas características principales son la globalización, la innovación tecnológica y la creciente competitividad de los mercados; las empresas manufactureras se enfrentan al reto constante de optimizar sus procesos productivos con el fin de garantizar eficiencia, calidad y sostenibilidad. Por lo tanto, la mejora continua y la gestión eficiente de la producción se han convertido en elementos claves para el desarrollo empresarial. Específicamente y para fines de este documento, en sectores como el agrícola, donde la precisión y la confiabilidad de los productos e insumos utilizados para el correcto funcionamiento de los sistemas de riego determinan el éxito en el campo.

Agrifim de Colombia S.A.S., empresa con 50 años de trayectoria en la fabricación de diferentes sistemas y accesorios para riego, ha consolidado su presencia en el mercado nacional e internacional mediante la producción de líneas de goteo de alta calidad. Sin embargo, el crecimiento de la demanda, el poco personal en la planta, y la necesidad de mantener estándares que permitan la competitividad han evidenciado diversos desafíos dentro de su proceso productivo, particularmente en la línea de goteo Inter 161, una de las más representativas y de mayor rotación de la organización.

La presente pasantía se enfoca en el análisis preliminar, diagnóstico y optimización del proceso de producción de dicha línea, abarcando las etapas de extrusión de la tubería e inyección de goteros, con el propósito de identificar puntos críticos, diseñar indicadores de desempeño y establecer mecanismos de estandarización que permitan mejorar la productividad. Este trabajo, además de contribuir al fortalecimiento técnico/operativo de la empresa, busca consolidar herramientas y estrategias de mejora aplicables a otros procesos de manufactura similares dentro del sector plástico y agroindustrial.

Durante el desarrollo de este documento se abordarán los fundamentos teóricos, metodológicos y prácticos que sustentan la propuesta de optimización, con base en los conocimientos adquiridos en la ingeniería de producción de la universidad distrital Francisco José De Caldas; así como los resultados obtenidos y las recomendaciones del estudio. La investigación pretende no solo generar un impacto positivo en la gestión interna y operativa de Agrifim de Colombia S.A.S., sino también aportar al conocimiento académico en el campo de la ingeniería, fomentando el uso de herramientas analíticas y de control orientadas a la eficiencia y la mejora continua.

De esta manera, esta pasantía se convierte en una oportunidad para demostrar cómo la integración de la teoría con la práctica puede traducirse en soluciones reales, sostenibles y estratégicamente relevantes para el desarrollo productivo del país.

JUSTIFICACIÓN

La investigación propuesta en torno a la línea de goteo inter 161 de Agrifim de Colombia S.A.S. tiene relevancia a raíz de la necesidad urgente de mejorar la eficiencia, la estandarización y la confiabilidad del proceso productivo, el cual actualmente presenta variabilidad en parámetros de calidad como lo son dimensional en la tubería y caudal irregular en los goteros, afectando tanto la calidad final del producto como la competitividad de la empresa. Resolver este problema resulta fundamental no solo a nivel interno, sino también en el contexto del sector agrícola colombiano, donde los sistemas de riego por goteo cumplen un papel clave en la productividad y sostenibilidad de los cultivos.

Desde el aspecto teórico, la investigación se apoya en el control estadístico de procesos e ingeniería de producción, que han demostrado su efectividad en la estandarización y mejora continua de procesos industriales. De esta manera, los conocimientos generados contribuirán al cuerpo académico y podrán ser utilizados como referencia por futuros investigadores en temas de control de calidad y optimización de procesos en la industria de plásticos y sistemas de riego.

En el plano práctico, la estandarización de procedimientos, la implementación de indicadores en tiempo real y la integración de los procesos de extrusión e inyección representan una solución aplicable y replicable, con impacto inmediato en la reducción de desperdicios de materia prima, reprocesos y tiempos de inactividad no programada. Estos avances no solo fortalecerán la capacidad de Agrifim de Colombia S.A.S. para cumplir con las especificaciones técnicas, sino que también permitirán entregar un producto más confiable al mercado agrícola, generando valor para los clientes y ventajas competitivas para la empresa.

En el plano metodológico, la investigación valida la aplicación de herramientas de control de procesos, indicadores de gestión y protocolos de integración operacional, lo que constituye un aporte significativo en la práctica de gestión de calidad dentro del sector manufacturero. Los datos obtenidos servirán de base para la toma de decisiones estratégicas en cuanto a inversiones en instrumentación, capacitación del personal y optimización de flujos de producción, asegurando un enfoque sustentado en evidencia objetiva y no en la experiencia empírica del operario.

El impacto esperado tras la implementación de la propuesta es múltiple: en el área problémica, se espera encontrar el foco principal en cuanto a la variabilidad en las medidas del producto, disminución del desperdicio de material y mayor estabilidad en el caudal de los

goteros; en el entorno empresarial, se proyecta un aumento en la productividad, cumplimiento más confiable de los cronogramas de entrega y reducción de costos operativos; y por último, en el contexto regional y sectorial, la mejora en los sistemas de riego producidos por Agrifim de Colombia S.A.S. fortalecerá la competitividad del sector agrícola, contribuyendo a una producción más eficiente y sostenible en Colombia.

1. GENERALIDADES

1.1. PROBLEMA.

1.1.1. Descripción:

En Agrifim de Colombia S.A.S. Una empresa dedicada a la fabricación de sistemas y accesorios de riego, la producción de la línea de goteo inter 161 se fundamenta en dos procesos clave: la extrusión de la tubería de polietileno de alta densidad (PEBD) y la inyección de goteros interline. Actualmente, se evidencian síntomas claros de ineficiencia y falta de estandarización que afectan la calidad final del producto y la capacidad de respuesta frente a la demanda.

A raíz de la reciente alianza hecha con Irritec SAP, representado en Colombia por Irritec Colombia SAS, una de las empresas líderes en el mercado del riego a nivel mundial, se requiere optimizar, dicho proceso, como punto focal en la producción de la empresa, ya que este es el producto que mayor rotación tiene dentro del mercado de Agrifim de Colombia S.A.S.

Los hechos relevantes observados en la operación son la variabilidad en el diámetro y espesor de la tubería, así como inconsistencias en el caudal de los goteros inyectados. Estos problemas derivan en pérdidas de material, reprocesos y mayor dependencia de la experiencia del operario, lo cual limita la productividad.

Los factores causales principales están asociados a la desactualización de procedimientos documentados y estandarizados, la falta de indicadores técnicos que miden eficiencia y control de calidad en tiempo real, y la débil integración entre las fases de extrusión e inyección a causa de diversos problemas entre la capacidad de las máquinas, y su producción real. De esta forma, el flujo de producción no garantiza uniformidad en los parámetros críticos de proceso.

Los efectos de esta situación se reflejan en paradas no programadas, defectos en productos terminados, sobrecostos y reprocesos. Esto repercute directamente en la competitividad de la empresa frente a otros fabricantes de sistemas de riego.

En cuanto a la determinación de variables:

- **Cuando**: los problemas se presentan con mayor frecuencia durante los cambios de lote.
- **Cómo**: se manifiestan en desviaciones de medidas, caudal irregular en los goteros y desperdicio de material.

- **Cuánto**: Se estima que las pérdidas representan una reducción significativa en la eficiencia global del proceso y un aumento considerable de los costos de operación.

La relación circunstancia–problema radica en que, aunque la línea de goteo inter 161 tiene estructurado su proceso en función de la norma ISO 9261, la falta de estructuración y estandarización del proceso productivo limita su aprovechamiento.

1.1.2. Formulación:

¿Cómo optimizar el proceso de producción de la línea de goteo inter 161 en Agrifim de Colombia S.A.S., garantizando la integración y estandarización entre los procesos de extrusión e inyección, dentro de los límites de aplicación de la planta de producción durante el periodo de pasantía?

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. General:

Optimizar el proceso de producción para la línea de goteo inter 161 de Agrifim de Colombia S.A.S. generando mayor aprovechamiento en los procesos de fabricación mediante la aplicación de una integración entre inyección y extrusión.

1.2.2. Específicos:

- Realizar un estudio y análisis que funcionen como diagnóstico de la estructuración y procesos de la empresa para tener un punto claro de inicio.
- Establecer los puntos críticos y/o cuellos de botella del proceso de fabricación actual que reducen la productividad y generan los reprocesos.
- Diseñar indicadores, estrategias y mecanismos de estandarización permitiendo controlar la eficiencia y productividad.
- Elaborar un plan piloto de implementación y aplicación de la estructuración y estandarización elaborada.

1.3. DELIMITACIÓN O ALCANCE

El desarrollo del presente trabajo se limita a la planta de producción de Agrifim de Colombia S.A.S., ubicada en el barrio “El Ortezal”, zona industrial de puente Aranda, de la ciudad de Bogotá D.C. De acuerdo con lo anterior se pretende, mediante diversos métodos de recolección de datos, determinar el estado actual de la planta enfocando el proceso de producción para la línea de goteo, inter 161. La propuesta estará limitada al aporte de herramientas y estrategias de optimización las cuales se enfocarán en procesos afines al flujo de producción, siendo de apoyo investigaciones y estudios realizados en otras organizaciones que presentan una problemática de igual o similar comportamiento y en las cuales se ha contribuido al crecimiento y desarrollo de las mismas. El cuál está planificado a desarrollarse en el transcurso de 4 meses, teniendo su culminación en finales del presente año 2025.

1.4. METODOLOGÍA

La metodología que se utilizará para el desarrollo del proyecto es mediante los objetivos específicos enunciados anteriormente donde se tendrán diferentes acciones que van a permitir adentrarse en todos los aspectos que se requiere estudiar y analizar sin dejar a un lado la idea principal y el enfoque general, esto permite del mismo modo, tener una serie de pasos a seguir para entender y dar a conocer la propuesta de una forma organizada, concreta y clara, cada acción se ejecutará mediante diferentes estrategias donde se tiene en cuenta el entorno y las condiciones actuales de la empresa.

Por ejemplo, el primer objetivo se enfoca en realizar un estudio de los parámetros y condiciones actuales de la empresa que servirán para saber por dónde empezar a plantear la propuesta de optimización, la acción que se ejecutará es reunir toda la información y datos en la medida de lo posible, mediante la observación del funcionamiento de las diferentes áreas y preguntas tanto verbales como escritas a los empleados de las mismas; y así sucesivamente con los objetivos restantes como se observa en el Cuadro 1.

Cuadro 1

Metodología.

OBJETIVO ESPECÍFICO	ACCIONES	ESTRATEGIAS
1. Realizar un estudio y análisis que funcionen como diagnóstico de la estructuración y procesos de la empresa para tener un punto claro de inicio.	1.1 Reunir la información y datos necesarios.	Observación del funcionamiento de las diferentes áreas. Preguntas a empleados de forma verbal o escrita.
2. Establecer los puntos críticos y/o cuellos de botella del proceso de fabricación actual que reducen la productividad y generan los reprocesos.	2.1. Analizar los datos adquiridos	Diagramas específicos Cuadros de control
3. Diseñar indicadores, estrategias y mecanismos de estandarización permitiendo controlar la eficiencia y productividad.	3.1 Determinación de KPI´s 3.2 Documentación de procesos 3.3 Determinación de variables control	Cuadros de control Capacitación de empleados
4. Elaborar un plan piloto de implementación y aplicación de la estructuración y estandarización elaborada	4.1 Plan de acción 4.2 Prueba piloto 4.3 Evaluación de la implementación	Evaluación Entrevistas

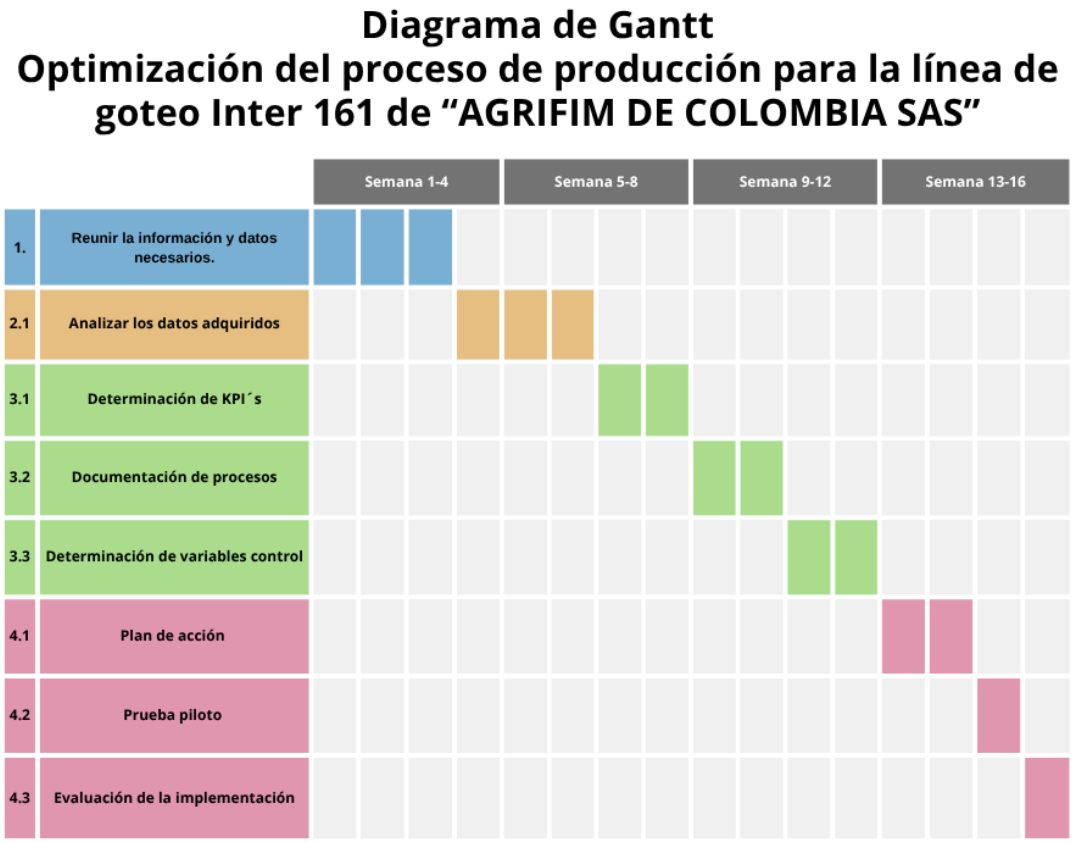
Nota. Las acciones que se muestran en tabla están implícitas en los objetivos estratégicos que se muestran en el cronograma, 2025.

1.4.1. Cronograma

Para el desarrollo de la pasantía y el documento final se plantea un cronograma de 16 semanas el cual será dividido teniendo en cuenta tanto los objetivos específicos detallados anteriormente, como las acciones y estrategias descritas en la metodología del trabajo, según la complejidad de las mismas se asignan las semanas que se consideran necesarias para el cumplimiento sin retrasos, como se observa en la Figura 1.

Figura 1

Cronograma del proyecto.



Nota. Cronograma realizado a partir de los objetivos específicos del proyecto, 2025.

2. MARCO REFERENCIAL

2.1. MARCO HISTÓRICO

2.1.1. Sector económico CIIU *2821, fabricación de maquinaria agrícola y forestal*:

En el marco de normatividad de Colombia, la actividad económica de Agrifim de Colombia S.A.S. se encuentra clasificada bajo el código CIIU 2821: Fabricación de maquinaria agropecuaria y forestal, establecido por el Dane como referencia para la estandarización y caracterización de actividades productivas. Esta categoría abarca la fabricación de equipos destinados a la mecanización agrícola, entre ellos sistemas de riego y aspersores, dentro de los cuales se enmarca la producción de líneas de goteo, tuberías y goteros para irrigación localizada. La adscripción de Agrifim de Colombia S.A.S. a esta clasificación respalda legalmente la pertinencia de su objeto social y asegura su alineación con los parámetros oficiales de identificación y control tributario, estadístico y comercial. Así mismo, ubica a la empresa dentro de un sector estratégico para el desarrollo agroindustrial del país, donde la innovación en procesos de riego tecnificado contribuye directamente a la sostenibilidad productiva y al uso eficiente de los recursos hídricos en la agricultura colombiana.

2.1.2. *AGRIFIM DE COLOMBIA S.A.S*:

Es una empresa dedicada a la fabricación, diseño, comercialización e instalación de sistemas integrales de riego, desde 1978. La planta está ubicada en la Carrera 44 # 20A-68, en la zona industrial de puente Aranda, Bogotá D.C.

El nombre de Agrifim, como compañía de riego, nació en Colombia, de la fusión de dos empresas: una Americana llamada Agriplas y una Israelí llamada Netafim. En un principio, la compañía, se dedicó a comercializar productos para el sector de floricultura, sin embargo, con el tiempo, se implementó la fabricación de partes y piezas para sistemas de riego así como el diseño y la comercialización de filtros, válvulas, sistemas de bombeo, automatización y control ambiental. El propósito fundamental de la organización es: más que un riego, un equipo de soporte total en el manejo inteligente del agua.

Como empresa de servicios en el campo de la irrigación, se han desarrollado diferentes productos y tecnología para los sectores floricultor y agricultor no sólo en Colombia sino en Latinoamérica y Estados Unidos.

Productos y servicios ofrecidos:

- Fabricación de equipos y accesorios para irrigación en floricultura y agricultura.
- Comercialización de filtros, válvulas, sistemas de bombeo, automatización y control ambiental.
- Diseño, instalación, montaje y mantenimiento de sistemas de riego.

En el exterior se ha incursionado en el mercado de los sectores de floricultura y agricultura especialmente en cultivos de melón, manzana, espárragos y mango en Ecuador, comercialización piezas y partes de equipos de irrigación en Estados Unidos y minería en Chile. Para entrar en el mercado internacional, se diseñó un departamento de ingeniería especializado en algunos proyectos especiales como de flujo turbulento de gran caudal, goteros autocompensados y microaspersores con dosificación de fertilizantes, equipos de aplicación para horticultura especialmente en Estados Unidos, así mismo algunos diseños de aplicaciones especiales para control ambiental.

2.1.3. Antecedentes

En la actualidad, existe gran variedad de herramientas en el campo industrial que permiten implementar nuevas mejoras en los diferentes procesos y actividades de las compañías, esto debido a la evolución constante con la que cuenta la sociedad hoy en día, todos los sectores productivos cuentan con procesos y métodos similares a la competencia, lo que los hace ser preferidos por los clientes es el factor diferencial que tienen unos de otros, por lo que es importante realizar un análisis a las diferentes implementaciones que se han dado a lo largo de los años bien sea referente al sector de agricultura y sistemas de riego como al sector de plásticos, puesto que si bien no es el mismo producto si es la misma materia prima.

Esto con el fin de conocer casos similares que permitan brindar un respaldo al desarrollo y efectividad de la presente propuesta en caso de ser implementada por la empresa, garantizando que las herramientas y estrategias que serán utilizadas son claves para la mejora continua y optimización de los procesos, las cuales van a mostrar resultados reales y se pueden adaptar o modificar según sea necesario a los cambios que desee hacer la compañía. Teniendo en cuenta esto se eligieron cinco trabajos de investigación que se consideran pertinentes, donde en un breve y concreto resumen se argumenta su elección, como se muestra en el Cuadro 2, a continuación:

Cuadro 2

Antecedentes del proyecto.

ÁVILA VALDEZ, Kendra Yasmin. Optimización de la producción de fabricación de tapas de plástico en la empresa Asaplast EIRL, empleando la distribución de planta y SMED [en línea]. Trabajo de investigación Bachiller en Ingeniería Industrial. Lima. Universidad Privada del Norte. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería. 2019. 26 p. [Consultado: 01 de septiembre de 2025]. Disponible en: Repositorio Institucional UPN. https://hdl.handle.net/11537/26340. Es un trabajo de investigación que tiene como objetivo optimizar la producción de la fabricación de tapas de plástico en ASAPLAST EIRL haciendo uso del método SMED y distribución de planta, en el que se consultaron diferentes artículos científicos que funcionen como argumento de efectividad de estos métodos para la optimización, el resultado de está investigación es que se encontraron 10 artículos donde los autores expresan que estos métodos si son de ayuda para mejorar la productividad minimizando costos y tiempos, con la distribución de planta se reduce hasta un 40% los recorridos durante el proceso y con SMED la eficiencia de máquinas en un trimestres puede incrementar hasta un 20%.
CABANILLAS CABANILLAS, Frank Fernando. Propuesta de mejora de la optimización del proceso productivo para mejorar el tiempo de entregas aplicando Lean Manufacturing en el sector plástico [en línea]. Trabajo de suficiencia profesional Ingeniero Industrial. Lima. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería. 2024. 172 p. [Consultado: 01 de septiembre de 2025]. Disponible en: Repositorio Académico UPC. http://hdl.handle.net/10757/683928 Es un trabajo de investigación que propone optimizar el proceso productivo en OPPFILM PERÚ S.A. para mejorar o disminuir el tiempo de entregas de los pedidos a los clientes mediante herramientas como Kanban, 5s´s y el trabajo de normalización, obteniendo como resultado que estos métodos se pueden aplicar a 3 principales causas o motivos de las demoras que son movimientos innecesarios, paradas no programadas y reprocesos obteniendo como resultados la reducción en un 30% de los movimientos innecesarios gracias al método de las 5s´s, las paradas no programadas que son ocasionadas por compras de material incorrectas se reducen en un 14% mediante Kanban y el reproceso en el plan de moldeado del área de confección disminuye un 6% debido a un medio de labor estandarizado.
ESPÍN ÁLVAREZ, Hernán Alejandro y JARAMILLO CAMACHO, Edwin Rafael. Optimización de procesos para la empresa de reciclaje “Plásticos Navarrete” de la ciudad de Latacunga [en línea]. Proyecto de Investigación Ingeniero Industrial. Latacunga. Universidad Técnica de Cotopaxi. Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas. Departamento de Ingeniería Industrial, 2018. 79 p. [Consultado: 01 de septiembre de 2025]. Disponible en: Repositorio UTC. http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/4704

Es un trabajo de investigación enfocado en optimizar el proceso productivo que consiste en transformar bolsas plásticas recicladas en pellets de PLÁSTICOS NAVARRETE S.A. buscando generar una mayor productividad y reducción de tiempos a partir de un proceso mejor estructurado y una distribución de las instalaciones acorde al mismo. Mediante un estudio, toma de tiempos y el desarrollo de algunos diagramas necesarios se obtienen como resultado un plan con las mejoras propuestas para dar solución a la problemática, al implementar este plan se obtiene como resultado que el aumento de la producción es de un 10 % teniendo en cuenta nuevos tiempos estándar en el proceso que fueron determinados teniendo en cuenta las capacidades de cada sección.
ZARATE BLAS, Gabriela Wendy. Mejora del proceso de extrusión-soplado de una empresa de manufactura de envases de plástico, aplicando herramientas de Lean Manufacturing [en línea]. Proyecto de Investigación Ingeniero Industrial. Lima. Pontificia Universidad Católica del Perú. Facultad de Ciencias e Ingeniería. Departamento de Ingeniería Industrial, 2022. [Consultado: 01 de noviembre de 2025]. Disponible en: Repositorio PUCP. http://hdl.handle.net/20.500.12404/23599 Es un trabajo de investigación enfocado en optimizar los recursos y proceso de producción de extrusión-soplado de una empresa de envases plástico buscando mejorar aspectos de orden, organización y seguridad de los puestos de trabajo por medio de herramientas lean como 5´s, mantenimiento autónomo y SMED y la automatización del proceso productivo. Se obtiene como resultado un incremento en la producción del 9.51%, una reducción de envases defectuosos de 30.000 a 24.350 envases por mes, una disminución del tiempo de cambio de molde del 54.14%, reducción de las paradas de máquinas que son generadas a causa de fallas imprevistas en un 55.56% y las paradas de máquinas a causa de mantenimiento tiene una disminución del 25%.
CHIRIBOGA TOLEDO, Luis Daniel. Propuesta de optimización de indicadores de productividad del proceso de inyección de elementos plásticos en la empresa Metacons de la ciudad de Cuenca [en línea]. Proyecto de Titulación con Componentes de investigación aplicada y/o de desarrollo. Cuenca. Universidad Politécnica Salesiana. Departamento de Posgrados, 2024. 60 p. [Consultado: 01 de noviembre de 2025]. Disponible en: Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana. http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/29424 Es un trabajo de investigación enfocado en buscar los indicadores de desempeño más relevantes al momento de medir la productividad en el proceso productivo de inyección de plásticos de la empresa Metacons con la meta de mejorarlos mediante análisis de modo y efecto de falla AMEF y herramientas de Lean Manufacturing. Se obtuvo como resultado que los indicadores más utilizados en la industria son eficiencia global de los equipos (OEE), calidad del producto y tiempo de ciclo. Se propone hacer la implementación de indicadores como disponibilidad, rendimiento y calidad para abordar problemas como la calidad del elemento inyectado, reprocesos y demoliciones, distribución de planta y tiempos muertos, cantidad de elementos inyectados con calidad, entre otros.

Nota. Los antecedentes se obtuvieron teniendo en cuenta trabajos de investigación realizados anteriormente sobre temas similares al que se abarca en este proyecto, 2025.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Optimización

Es un proceso de mejora continua que consiste en realizar una actividad o proceso de la forma más eficiente posible, es decir, cumpliendo el fin u objetivo con la menor cantidad de recursos posibles minimizando costos, maximizando la productividad y rendimiento en un tiempo menor y sin sobrepasar límites o restricciones. Esto puede generar grandes beneficios como la disminución de riesgos, mejoras en los productos terminados dando mayor satisfacción al cliente, tener una capacidad alta al momento de resolución de problemas, entre otros.

Este proceso se puede realizar de diferentes formas, una de ellas puede ser mediante seis etapas: iniciando con una definición del objetivo o la meta que se quiere alcanzar haciendo una revisión de los procesos que necesitan una mejora; realizar un mapeo de los procesos actuales con los que cuenta la empresa para comprender en qué punto está el problema; eliminar las etapas o actividades de los procesos que no sean necesarias para obtener el producto final; en los procesos que son estrictamente necesarios se debe analizar si el proceso está siendo ejecutado de la forma correcta o se pueden hacer de un mejor forma; la etapa anterior va de la mano con la implementación de automatización para disminuir más tiempos y desperdicios; por último, se debe supervisar cada etapa y los resultados obtenidos donde se puede hacer una retroalimentación identificando correcciones de ser necesarias.

2.2.2. Indicadores KPI

Los indicadores KPI también conocidos como (Key Performance Indicators) en inglés, son criterios clave que permiten medir y evaluar el grado de desempeño de los objetivos cuantificables de la organización. Implementar estos criterios pueden permitir que los empleados trabajen con un objetivo claro y en común mejorando la motivación con la que ejecutan sus actividades, por lo que se debe establecer una conexión entre la minions y los KPIs.

Para definir un KPI se debe tener en cuenta aspectos relevantes sin importar el área para el cual van a ser diseñados, debe ser medible y alcanzable, debe ser relevantes para con las acciones estratégicas de la empresa ya que no es muy útil tener un KPI que se puede medir pero

no se puede aplicar si es diferente a lo que realiza la empresa, deben tener la posibilidad de ser revisados en diferentes tiempos establecidos para poder realizar ajustes y mejoras de ser necesarios y por último debe contribuir al momento de tomar decisiones que permitan llevar a la empresa por el camino correcto y más eficiente con resultados de calidad.

2.2.3. Mantenimiento industrial

Es un conjunto de acciones y/o actividades que se enfocan en la seguridad y funcionamiento óptimo de los equipos e instalaciones que hacen parte de un proceso productivo previniendo fallos y dando tratamiento o corrección a los deterioros ya presentes. Existen diferentes beneficios que se pueden obtener de este conjunto de actividades como disminuir costos de reparaciones ya que se pueden prevenir distintos tipos de fallos, como los equipos permanecen un tiempo considerable en buen estado debido al punto anterior esto permite el trabajo constante sin interrupciones de gravedad, permite una reducción de riesgos laborales resguardando la salud de los empleados, entre otros.

Existen diferentes tipos de mantenimiento que son clasificados por el momento en que son realizados y el objetivo que se quiere alcanzar, como el correctivo que se aplica cuando el fallo ya ocurrió, el preventivo se implementa con diferentes acciones y revisiones cada determinado tiempo con el fin de evitar que el fallo ocurra, el predictivo hace uso de diferentes medios tecnológicos como sensores que permiten la obtención y análisis de datos relevantes para saber más o menos cuando va a ocurrir un fallo, y por último, está el proactivo que analiza el origen de cada falla para eliminarlo de raíz.

2.2.4. Gestión de inventarios

Es un proceso en el que se busca dar un control a todos los materiales o productos que se almacenan en la organización, logrando garantizar la disponibilidad de los mismos en el momento y lugar indicados con el objetivo de satisfacer los requerimientos de cada cliente.Este proceso tiene características esenciales como seguimiento que permite saber en qué lugar de la cadena de suministro se encuentra el inventario, elaboracion de analisis con informes de los procesos respecto a su demanda para poder estar preparados para las ventas que se realizarán a futuro, crear y gestionar órdenes de compra, reducir retrasos en entregas o evita que los productos sean entregados de forma incorrecta.

Existen diferentes métodos de gestión de inventarios en los que se puede encontrar JIT o Justo a Tiempo que permite almacenar solo el inventario que se necesita para fabricar y enviar los productos en el justo cuando son demandados, MRP o Planificación de requerimientos de materiales el cual tiene como base las ventas de tiempo atras para asi poder saber con tiempo que necesitan en inventario para producir y poder pedirlo a los proveedores sin percances, y EOQ o Cantidad económica de pedido permite saber el tamaño de lote ideal con las unidades que se deben producir al tiempo y así disminuir costos de inventario.

2.2.5. Control de calidad

Es un conjunto de acciones y actividades que permiten verificar y evaluar si los productos terminados o los diferentes procesos cumplen con los estándares mínimos de calidad, logrando del mismo modo identificar si existe algún inconveniente tanto con el producto como con los procesos. Los beneficios que se obtiene de la implementación de este conjunto de actividades son la reducción o eliminación de defectos en el producto que se le va a entregar al cliente, disminuyendo del mismo modo las quejas y reclamos del usuario, reduce diferentes costos del proceso logrando que los recursos sean utilizados de la forma más rentable posible, permite disminuir los desperdicios y mejorar la eficiencia de los procesos disminuyendo los procesos existentes.

Existen algunas etapas generales que se deben tener en cuenta al momento de implementar estas actividades como realizar un estudio y análisis de los procesos de los cuales depende la calidad del producto para así determinar su prioridad teniendo en cuenta el valor que le proporcionan al resultado final, definir la forma de trabajo a partir de la información recolectada en el punto anterior, al tener lo resultados de las mejoras que se deben implementar se deben realizar capacitaciones a las personas encargadas, complementando el punto anterior se debe tener medios de comunicación como reuniones de equipo para hacer seguimiento y poder reaccionar si se presentan inconsistencias, por último, hay que tener presente que es importante contar con la opinión del consumidor.

2.2.6. Mejora continua

Es una estrategia también conocida como el método Kaizen, la cual busca optimizar los procesos que generan un valor agregado a los productos que se van a entregar a cada cliente

mejorando continuamente y eliminando desperdicios. Hay 3 pilares esenciales que dirigen esta práctica, el primero es la continuidad lo que busca reconocer que los procesos en las empresas muchas veces tienen errores y no son perfectos por lo que es necesario ser constantes en la búsqueda de mejoras, el segundo la cultura que se debe conocer y aplicar por todo el equipo desde la alta dirección hasta la planta de producción, por último, debe ser beneficioso para todas las áreas de la empresa.

Para aplicar esta estrategia se debe iniciar con la identificación y localización de los procesos que se deben mejorar tanto productivos como administrativos entendiendo si generan un impacto importante, después de esto es ideal crear o estandarizar los procesos y llevar un seguimiento de los mismos para saber si las mejoras son efectivas o se debe seguir trabajando en ellas. Todo esto para obtener beneficios como disminución de pasos innecesarios durante el proceso, reducción de retrasos y costos, aumenta la capacidad de adaptarse a las exigencias de mercado y crea más valor para el consumidor.

2.3. MARCO LEGAL

2.3.1 Normas Técnicas y de Calidad en la Industria del Plástico

- **NTC 4585 (ICONTEC)**:

  Esta norma se refiere a las especificaciones para tubos de polietileno utilizadas para flujo de agua que pueden ser aplicados a sistemas de riego agrícola, que regulan dimensiones, tolerancias y propiedades físicas, que se pueden aplicar a la línea de goteo inter 161.

- **ISO 9001:2015**:

  Es una norma internacional de gestión de calidad que promueve la estandarización de procesos y mejora continua, lo que permite que sea una base para la estandarización en extrusión e inyección.

- **ISO 9261**

  La ISO 9261:2004 es una norma internacional vigente, confirmada en junio de 2025, que se enfoca en los requisitos mecánicos y funcionales de los emisores y tuberías

emisoras (incluidas mangueras tipo “tapes” y similares) utilizados en sistemas de riego agrícola, así como sus accesorios. También define métodos de prueba y especifica los datos que el fabricante debe proporcionar para una correcta instalación y funcionamiento.

3. SITUACIÓN ACTUAL

3.1. PLATAFORMA ESTRATÉGICA*:*

3.1.1. Misión

De acuerdo a la información actual de la empresa su misión es:

Suministrar productos y soluciones integrales de fertirrigación para la agricultura agrupados en 5 áreas principales:

- Fabricación y comercialización de productos y partes para sistemas de riego;
- Diseño, instalación, montaje y mantenimiento de sistemas de riego;
- Asesoría y capacitación técnica en irrigación;
- Fabricación propia de la línea de transmisión de señal, con decodificadores que permiten a través de señales eléctricas la apertura de válvulas en campo según el diseño;
- Mantenerse al día y ofrecer a sus clientes acceso a las nuevas tecnologías para manejo inteligente de cultivo.

Estamos comprometidos en ofrecer a nuestro cliente soluciones en el campo de la irrigación por medio de sistemas y tecnologías avanzados, confiables y adecuados para que logre los resultados esperados y le permita mejorar la productividad de sus cultivos, conservar recursos y preservar el medio ambiente.

Con nuestra actitud orientada al éxito, AGRIFIM DE COLOMBIA S.A.S. seguirá demostrando sentido de responsabilidad, seriedad y compromiso para conservar el respeto y lealtad de nuestros clientes, empleados y accionistas. (Inicio | Agrifim de Colombia S.A.S., s. f.)

3.1.2. Visión

De acuerdo a la información actual de la empresa su visión es:

Consolidar el reconocimiento internacional de la calidad de los productos, el servicio y el cumplimiento, al ofrecer soluciones integrales en el campo de la irrigación; comprometiéndose con sus clientes a desarrollar e innovar productos de alto rendimiento.

Mantener un espacio productivo y rentable para el desarrollo y beneficio de sus trabajadores y accionistas, promoviendo el respeto por el medio ambiente. (Inicio | Agrifim de Colombia S.A.S., s. f.)

3.1.3. Valores

De acuerdo a la información actual sus valores son:

Suministrar productos y soluciones integrales de fertirrigación para la agricultura agrupados en 4 áreas principales.

- Conscientes de nuestro aporte a la agricultura, asumimos nuestro trabajo con seriedad y compromiso.
- Servicio es agregar valor al producto. Servir bien no basta: hay que hacerlo en forma extraordinaria.
- Fortalecemos día a día lazos de transparencia y lealtad con nuestros clientes y proveedores, promoviendo espacios de mutua confianza.
- Somos una empresa de oportunidades, de esta manera, asumimos con responsabilidad la formación integral de nuestro equipo de trabajo, orientados hacia la excelencia. (Inicio | Agrifim de Colombia S.A.S., s. f.)

3.1.4. Política de calidad

De acuerdo a la información actual la política de calidad es:

Agrifim de Colombia S.A.S. se compromete a fabricar, diseñar, comercializar e instalar sistemas de riego, acordes con las necesidades de sus clientes, a través de un equipo de trabajo, idóneo y competente enmarcado en el mejoramiento continuo de la eficacia del sistema de gestión de calidad. (Agrifim de Colombia S.A.S., s. f.)

3.1.5. Objetivos de la calidad

De acuerdo a la información actual sus valores son:

- Mantener un alto nivel de satisfacción de los clientes;
- Entregar oportunamente los productos y servicios;
- Atender y dar respuesta oportuna y eficaz a las quejas y reclamos del cliente;

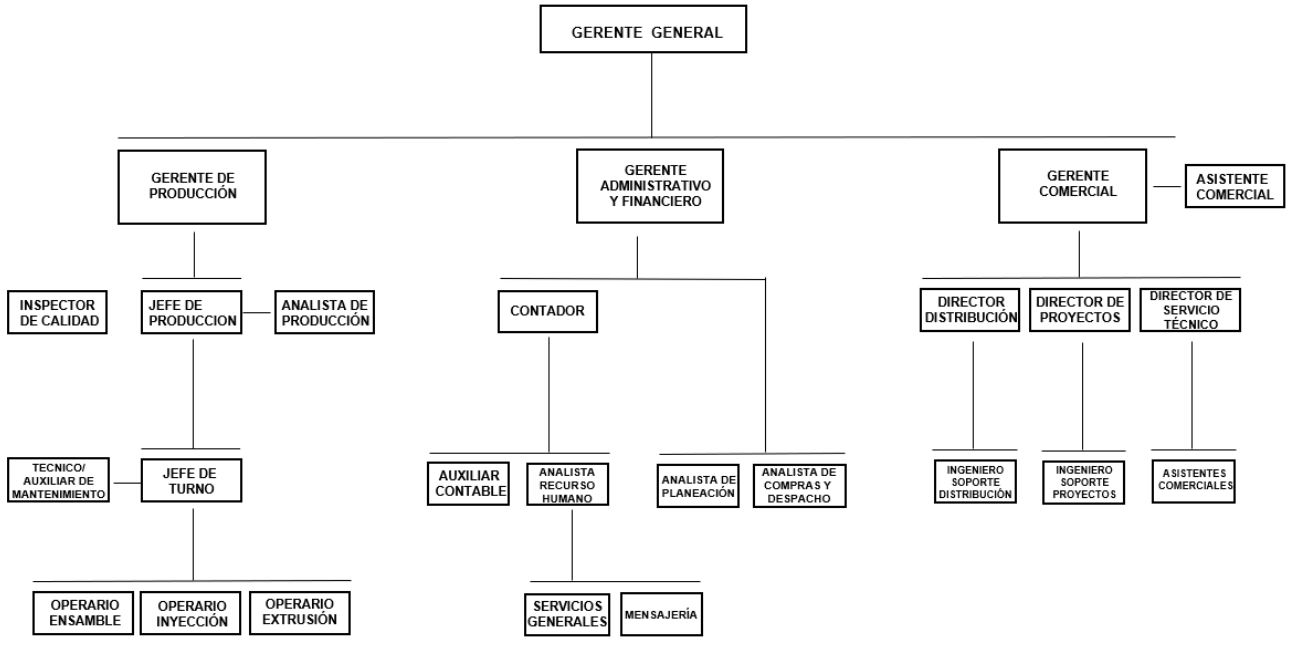
- Cumplir con las especificaciones técnicas del producto y del servicio;
- Mantener la competencia y la motivación del personal hacia el trabajo;
- Promover el uso adecuado de los recursos;
- Cumplir las metas de los indicadores de gestión de los procesos;
- Asegurar el mejoramiento continuo de los procesos. (Inicio | Agrifim de Colombia S.A.S., s. f.)

3.2. ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL:

La empresa cuenta con una estructura organizacional que inicia desde gerencia y se divide en 3 partes, gerencia de producción, gerencia administrativa y financiera, y gerencia comercial; donde cada una tiene diferentes áreas con sus respectivos empleados designados como se muestra en el organigrama de la Figura 2, aunque el área objetivo es la de producción también es importantes conocer todas las áreas que componen la empresa:

Figura 2

Organigrama general de la empresa.



Nota. El diagrama fue realizado a partir de información suministrada por la empresa, 2025.

3.2.1. Distribución de planta actual

Teniendo en cuenta la organización de la empresa, se realizó el plano de distribución de planta, esto en función tanto de la cantidad de maquinaria como de los procesos para todas las referencias que se fabrican en la empresa, como se muestra en la figura 4, en el primer piso, en la esquina superior izquierda se encuentran las escaleras para dirigirse al segundo piso, se tiene la zona de mantenimiento, seguido de la zona de molino donde se llevan las piezas que no pasan la pruebas de calidad y así poder hacer uso de esta materia prima nuevamente, en la esquina superior derecha se tiene la zona de bombeo de agua y refrigeración.

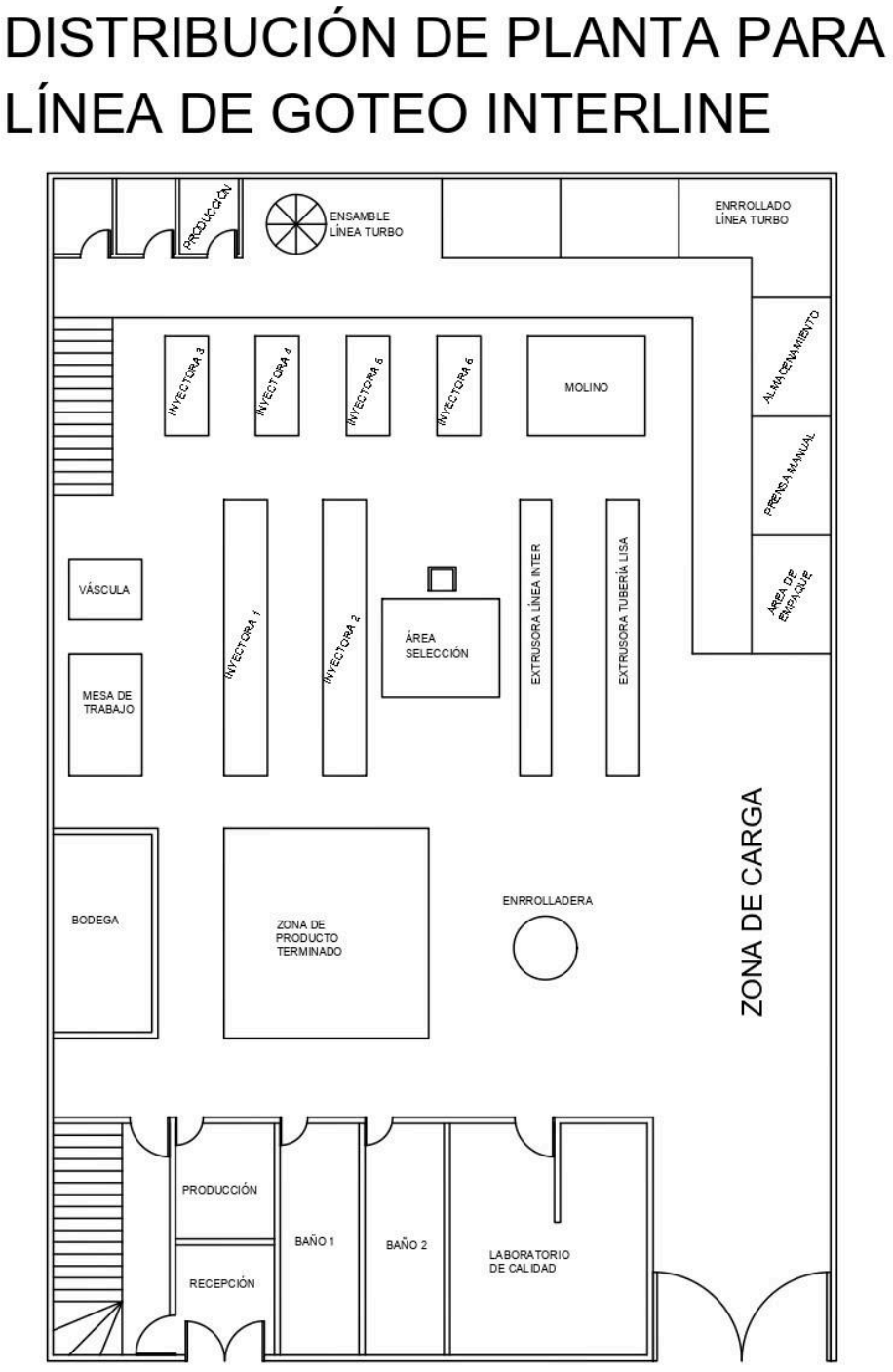
En la parte central, en el lateral izquierdo se tiene una báscula, una mesa de trabajo y la bodega interna de la empresa. En la zona central se encuentran las inyectoras, la extrusora de la línea interline con el mecanismo de inserción, un área de selección, el área de producto terminado y la enrolladora tanto de las líneas interline como de las tuberías lisas. En el lateral derecho se encuentra la extrusora de las tuberías lisas, un puller y una parte de la zona de descarga o también zona de parqueo.

En la parte frontal de la planta, es decir, parte inferior del plano, en la esquina izquierda se encuentran las escaleras para dirigirse al segundo, tercer y cuarto piso de la empresa donde se encuentra el área comercial, el área administrativa y gerencial, y el almacén respectivamente. seguido de la oficina del analista de producción, los baños, el área de calidad y por último la zona restante de descarga o parqueo.

Por último, como se muestra en la Figura 3, la planta cuenta con un segundo piso en forma de corredor en L donde se encuentra la zona de almuerzo, la oficina del jefe de producción, el área de ensamble de la línea turboline, el área de enrollado de la linea turbo, una prensa manual y por último un área de ensamble. La forma de este corredor permite que exista una mejor visualización de los diferentes procesos que se están llevando a cabo en la planta y así mismo, una mejor comunicación en caso de ser necesario.

Figura 3

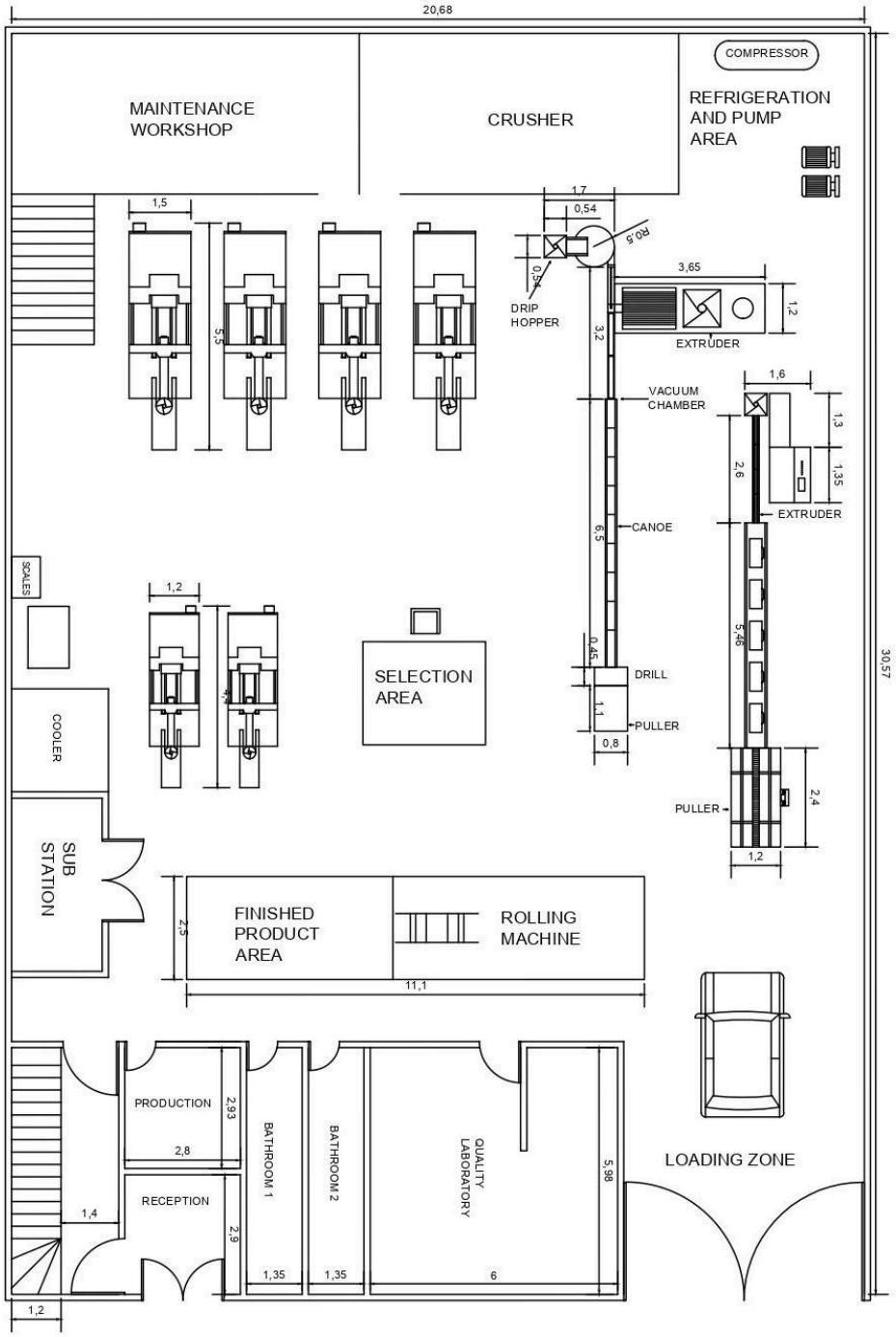
Distribución de planta actual.



Nota. Plano de distribución de planta actual para la línea de goteo interline, 2025.

Figura 4

Distribución de planta actual acotado.



Nota. Plano acotado de distribución de planta actual para la línea de goteo interline, 2025.

3.3. PORTAFOLIO:

Este trabajo se va a enfocar en uno de los productos que maneja la empresa el cual es la línea de goteo Interline 161, esta línea tiene goteros de flujo turbulento que son insertados en el proceso de extrusión de la misma, por lo que permite que se pueda tensar o hallar sin tener daño alguno y brinda uniformidad en el flujo de agua por el laberinto del goteo. Esto debido a que es el producto que tiene un nivel de rotación alto por lo que optimizar su proceso de producción puede generar una mejora significativa en la productividad de la empresa, reducción de pérdidas de material, reducción o eliminación de reprocesos y tiempos improductivos.

La empresa maneja otros productos y servicios con un enfoque principal hacia el riego agrícola y sistemas de fertirrigación como goteros tipo botón, líneas de goteo, tuberías, cintas de goteo, microaspersión, filtros, válvulas y otros accesorios. En cada categoría existen diferentes tipos de productos según los diferentes cultivos o aplicaciones para los que son solicitados por el cliente. Adicionalmente la empresa cuenta con servicios como diseño de sistemas de riego, instalación y puesta en marcha, servicio técnico, mantenimiento, auditaje y capacitación.

Goteros tipo botón: estos goteros se usan para insertar o colocar en una tubería de polietileno de 6 mm, van ubicados en diversos intervalos de distancia y pueden ser de presión compensada, es decir siempre van a tener el mismo flujo de recurso hídrico sin importar la presión que se le aplique. Existen 7 tipos de goteros tipo botón, 6 se fabrican en la planta de Colombia y 1 se importa de Irritec:

- Acuaflo: genera un alto grado de turbulencia, minimiza el riesgo de taponamiento y brinda un flujo uniforme.
- Miniline: esta diseñado para ser ubicado sobre varias plantas que se encuentren colocadas en serie.
- PCT: tiene un diafragma que permite combinar el flujo turbulento con la regulación de la presión, lo que permite entregar un caudal constante en terrenos inclinados.
- Monoflo: su aplicación ideal es para el agua directa sobre la zona de raíces, una de sus desventajas es que es susceptible a ataque de hormigas.
- Isoflo: es un gotero autocompensado que se puede usar insertado sobre o en uno de los extremos de una tubería de 5 mm.

- Omniflo: regula el flujo de forma autocompensada lo que permite controlar el caudal de agua independiente de la presión.
- Idrop (Irritec): goteros de flujo turbulento y autocompensante adecuado para aplicaciones que requieran de un caudal con variaciones mínimas.

Líneas de goteo: son tuberías o mangueras que tienen diferentes tipos de goteros insertados, cuentan con características como el diámetro y espesor de pared, distancia entre goteros y caudal nominal que dependen del tipo, suelo ciclo de vida del cultivo entre otras condiciones, esta linea viene en rollos. Existen 4 tipos de línea que se fabrican en la planta de Colombia y 6 que se importan de Irritec:

- Turboline: su diseño permite brindar uniformidad en el flujo de descarga del agua, tiene una vida útil mayor debido a que el laberinto es más grande, se puede limpiar y reemplazar periódicamente.
- Capless: su diseño permite generar un flujo turbulento por lo que evita el taponamiento por partículas propias del agua que está siendo utilizada.
- Inter PC: tienen un gotero de flujo turbulento y autocompensado.
- P0 (Irritec): es un producto nuevo conocido como cinta de goteo ligero que contiene un gotero plano con dimensiones reducidas.
- P1 (Irritec): esta línea se utiliza para riego por goteo de alta precisión, cuenta con resistencia a la presión, es de fácil instalación por lo que su mantenimiento también resulta sencillo y mínimo.
- P5 (Irritec): es una manguera con gotero plano y laberinto largo que es liviana, es ideal para grandes volúmenes de agua en poco tiempo.
- M5 y M7 (Irritec): son cintas de goteo medianas con gotero plano garantizando uniformidad, reducción de la sensibilidad a la presión y tiene un mayor efecto de autolimpieza debido a un nivel alto de turbulencia.
- D5 y D7 (Irritec): son cintas de goteo clásicas que comparten las características de la M5 y M7.

Tuberías lisas: son fabricadas teniendo en cuenta normas de calidad como ISO y ASTM, con diámetros desde 6 mm hasta 50 mm.

Cintas de goteo: son mangueras más delgadas y flexibles de alta calidad que proporcionan un riego eficiente y uniforme. Existe una cinta fabricada en la planta de Colombia y 2 importadas de Irritec:

- Cinta de goteo: los emisores de agua son conformados durante la fabricación o algunas veces son adheridos en el interior y cuenta con espesores de pared más delgados, estas son más económicas y su vida útil es menor.
- Irritectape (Irritec): es una cinta con gran capacidad de filtración, laberinto continuo adaptable a diferentes cultivos y excelente uniformidad en el flujo de agua y fertilizantes.
- Extreme tape (Irritec): es una cinta con doble filtro continuo brindando una resistencia al taponamiento más alta.

Microaspersión: los microaspersores son dispositivos diseñados para distribuir el agua lanzándola al aire en forma de gotas pequeñas, esto permite tener un rango de alcance más alto mojando una parte más grande del área, son diseñados para diferentes tipos de cultivo y condiciones ambientales. Existen 5 tipos de microaspersores:

- Monojet y Agrijet: es un micro aspersor compacto que proporciona una descarga en forma dirigida.
- Agriaspersor: es fabricado en un material resistente a la luz ultravioleta, al desgaste y la intemperie permitiendo que sea utilizado para aplicar químicos y fertilizantes en los cultivos.
- Nebulizador: es resistente a la erosión y fuerzas de impacto debido a la alta presión de descarga, igual que el anterior permite que sea utilizado para aplicar químicos y fertilizantes en los cultivos.
- Rotoflo: es un microaspersor autocompensado con 3 caudales diferentes y presión entre 10 y 40 psi.

Filtros: son dispositivos que se importan de Irritec utilizados para eliminar impurezas del agua, garantizando que esté limpia logrando resguardar la vida útil de los emisores. Existe el Rotofilters (Irritec) que permite su instalación en línea y en ángulo; y la iFiltersTM (Irritec) que es una línea de filtros para diversas necesidades.

Válvulas: son dispositivos importados de Irritec que controlan la cantidad de líquido que pasa incluyendo solución para alivio de aire y una limpieza automática que se conocen como Reflush valve.

Accesorios: son elementos que sirven para complementar la conexión de los sistemas de riego fabricados con diversos diámetros y geometrías. Los accesorios de conexión son diseñados para resistir presiones superiores a las que utilizan las tuberías mencionadas anteriormente, los bujes de compresión son resistentes a químicos y fertilizantes que tienen una alta durabilidad y por último, están los accesorios de conexión importados de Irritec que brindan soluciones más completas.

Todos los productos que maneja la empresa generan valor a la empresa pero es de conocimiento general que existen algunos que presentan un mayor grado de relevancia e importancia debido a sus costos de fabricación, precios de venta y preferencia por el consumidor. En el Cuadro 3 se muestra el orden de importancia para cada categoría desde el nivel 1 hasta el nivel 8, siendo el nivel 1 el de mayor importancia y el nivel 8 el de menor importancia.

Cuadro 3

Nivel de importancia de mayor a menor de los productos de la empresa.

Nivel de importancia de productos	
1	Líneas de goteo
2	Tuberías
3	Goteros tipo botón
4	Microaspersión
5	Filtros
6	Válvulas
7	Cintas de goteo
8	Accesorios

Nota. Todos los productos son valorados por la empresa pero los primeros niveles son los que generan más ingresos y rotación en la compañía, 2025.

3.4. PROCESOS

Para los goteros se utiliza como materia prima principal polietileno de alta densidad para inyección “ALATHON 5618”. Como material complementario, se usa pigmento “MASTER”, para esta referencia de gotero, rojo.

Se configura la máquina inyectora (alimentada por energía eléctrica a 220 W), la cual es alimentada por una tolva con capacidad para 100 kilos de mezcla que está compuesta por 50 % polietileno puro, 48 % de polietileno reciclado que se obtiene mediante la molienda de los goteros y otros compuestos de polietileno no conformes y un 2 % de pigmento; de los cuales se van realizando sistemáticamente cargas de aproximadamente entre 3 y 5 kilos cada media hora que se van calentando progresivamente hasta alcanzar homogeneidad. Los parámetros a tener en cuenta para esta operación serán, temperatura y tiempo de ciclo; para la temperatura se va a trabajar a un nivel de calor entre 190 °C y 210 °C, y para los ciclos se va a tener en cuenta que se realizarán 2 ciclos por minuto. Finalmente, se retira el material producido y un operario se encarga de la selección de productos conformes.

Luego de obtener los goteros conformes se almacenan en una tolva alimentadora para luego integrarlos en la tubería. Cuando la tolva está cargada se inicia el proceso de extrusión de la tubería donde se funde el polietileno y cuando va saliendo se va formando la línea de goteo. A medida que la tubería aún está caliente, los goteros se insertan a intervalos específicos (según el requerimiento del cliente) mediante un sistema de inserción sincronizado que coloca los goteros en el interior de la tubería en el punto adecuado.

Después de esto se perfora un orificio pequeño sobre cada gotero, permitiendo que el agua fluya desde el tubo hacia el exterior. La tubería pasa por un tanque de enfriamiento para solidificarse. Luego pasa por un puller que va halando la tubería evitando que se enrede. Cada 100 o 200 mts se van tomando muestras de forma manual de la línea de goteo para verificar que el diámetro, espesor, caudal y presión sean los indicados. Por último la tubería pasa por una enrolladora, se embala y etiqueta para su distribución.

Como se puede evidenciar el proceso cuenta con sub procesos de inyección y extrusión en los que se revisó las condiciones actuales de las máquinas donde se obtuvo que existe baja producción y disminución de la calidad tanto de los goteros como de la tubería, debido a diferentes aspectos donde algunas cavidades de los moldes de las inyectoras están desgastados, cuando se le realiza mantenimiento a alguna máquina se tiene un tiempo improductivo bastante alto ya que la máquina está parada, dependencia excesiva del operario de mantenimiento, entre otros como se observa en las Figuras 5 y 6 con diagramas de ishikawa para las máquinas:

Figura 5

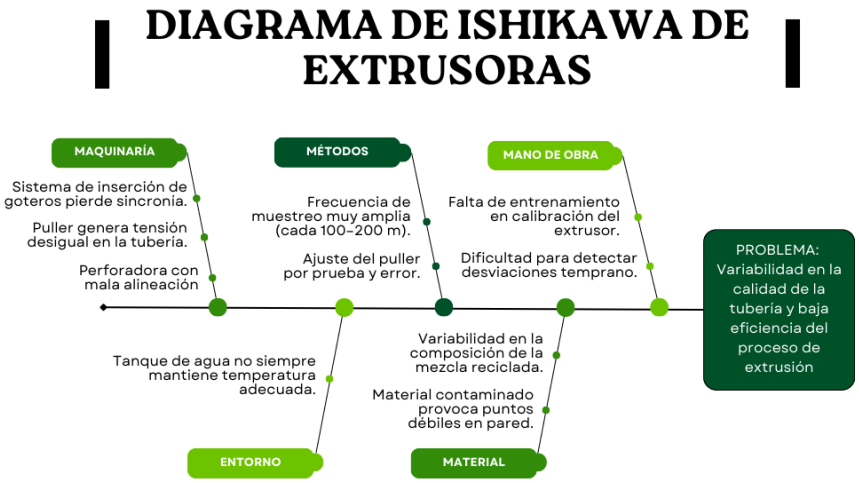
Diagrama de ishikawa inyectoras.



Nota. El diagrama de ishikawa se realizó a partir de las causas observadas en el proceso durante la visita a la empresa, 2025.

Figura 6

Diagrama de ishikawa extrusoras.



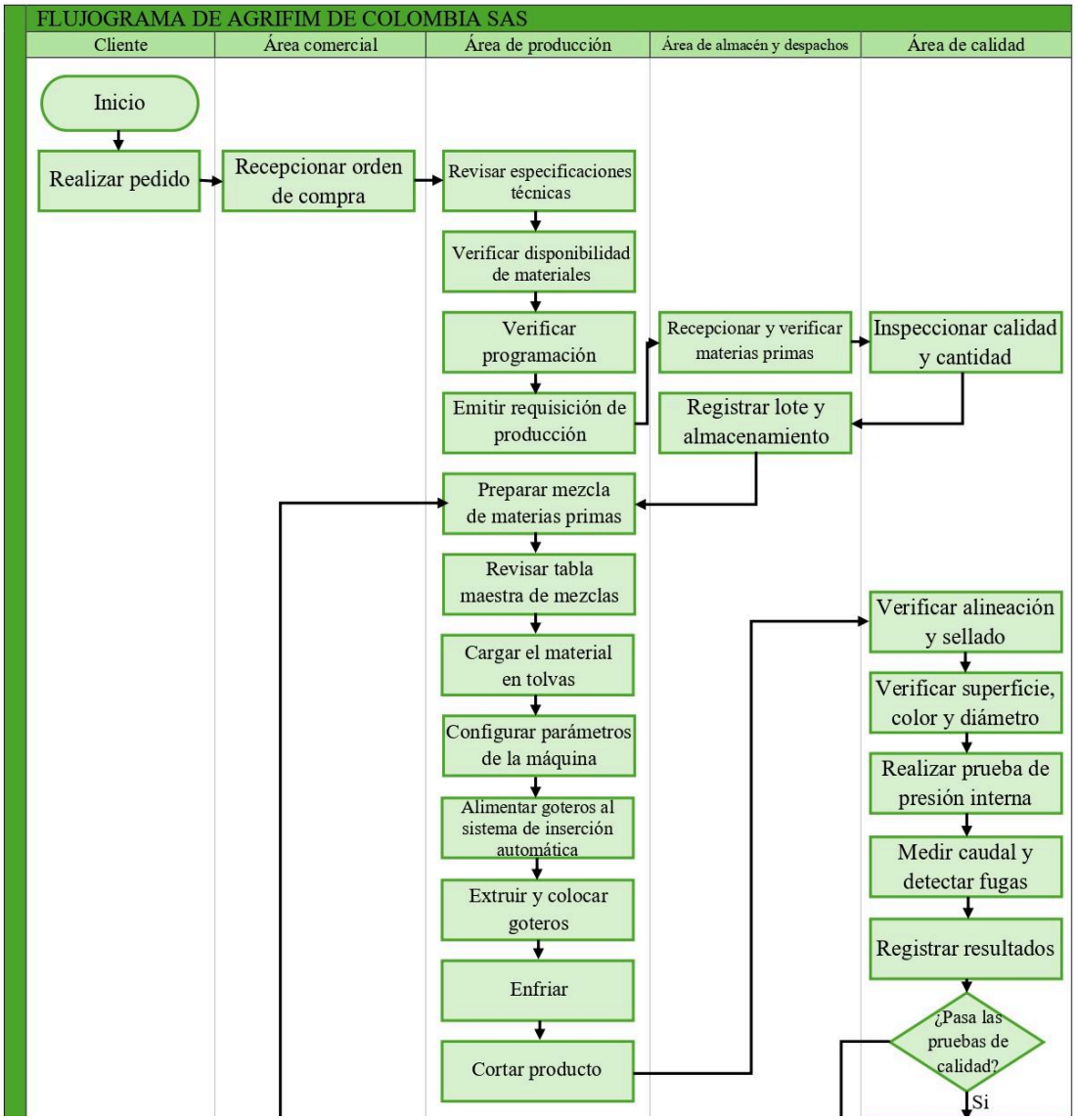
Nota. El diagrama de ishikawa se realizó a partir de las causas observadas en el proceso durante la visita a la empresa, 2025.

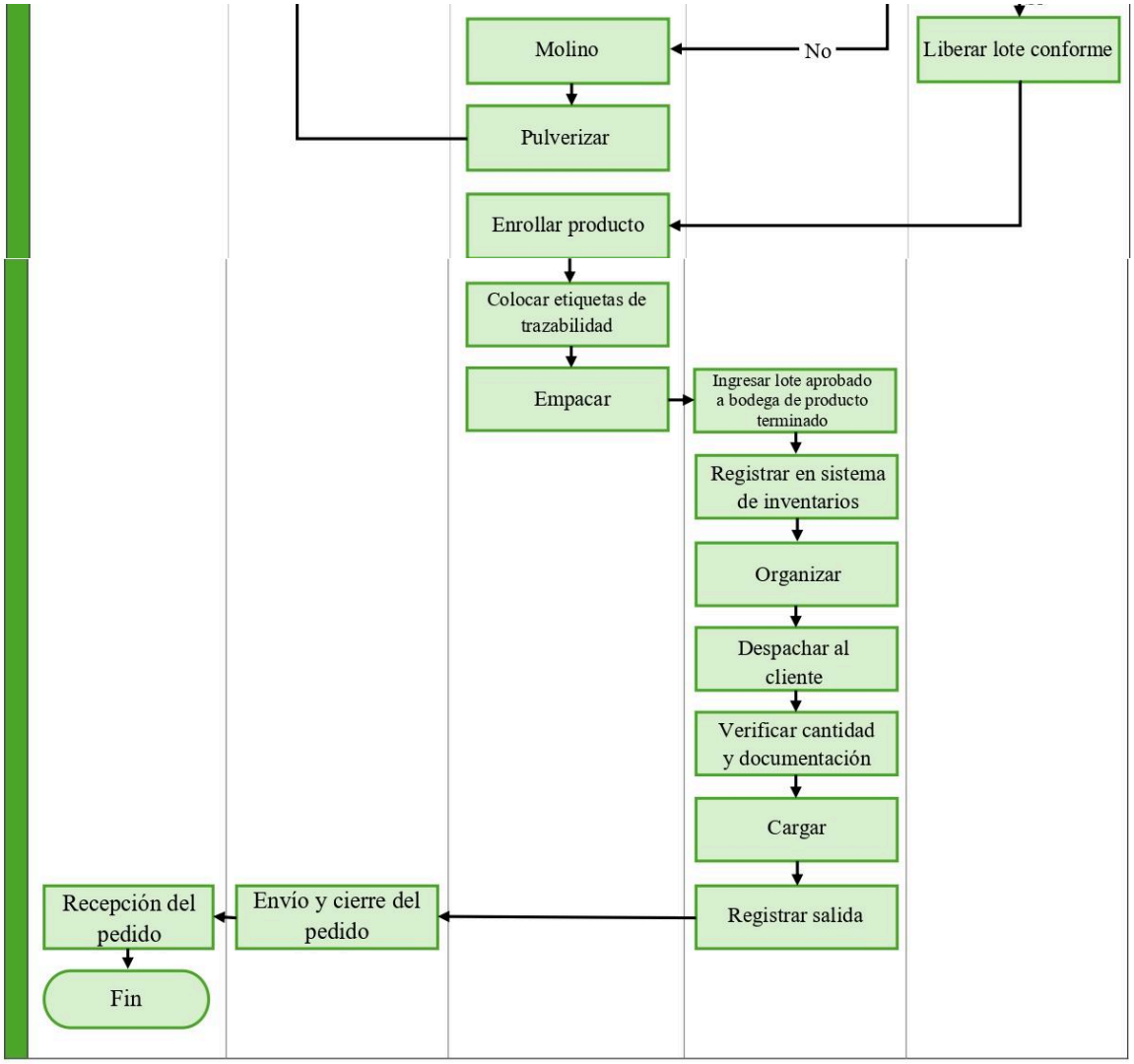
Para una mejor visualización de los diagramas ingresar a los siguiente enlaces: https://drive.google.com/file/d/1AebuZlKH7GEX3dX5f0E0P-nJ724aUR6n/view?usp=sharing

Teniendo en cuenta la descripción anterior y la visita realizada a la empresa también se desarrolló el flujograma del proceso como se muestra en la Figura 7 desde que el cliente realiza el pedido hasta que lo recibe para entender mejor los puntos claves que se deben mejorar para lograr la optimización del proceso:

Figura 7

Flujograma de la línea de goteo Interline 161.





Nota. Diagrama generado a partir de las visitas realizadas a la empresa, 2025.

Para una mejor visualización del diagrama ingresar al siguiente enlace: https://drive.google.com/file/d/1l4iKV-9pCGYPovUKrhkpg7w84GvydNzo/view?usp=sharing

Del mismo modo se puede evidenciar que, los controles de calidad se realizan de forma manual lo que influye en que se le deba invertir más tiempo del indicado a la toma de datos y el cálculo respectivo del coeficiente de variación y el caudal promedio, entre otros aspectos que se enuncian en el diagrama de ishikawa de la empresa que se encuentra en la Figura 8:

Figura 8

Diagrama de ishikawa de la empresa.



Nota. El diagrama de ishikawa se realizó a partir de las causas observadas en el proceso durante la visita a la empresa, 2025.

Para una mejor visualización de los diagramas ingresar al siguiente enlace: https://www.canva.com/design/DAG3L1C8iK8/W_bzllqUF0c4zSgcyaGiiw/edit?utm_content=DAG3L1C8iK8&utm_campaign=designshare&utm_medium=link2&utm_source=sharebutton

Al determinar las incongruencias dentro del proceso de producción de la línea goteo se busca conocer el nivel de criticidad de cada una con el fin de entender cuales requieren de una atención más urgente para la optimización del proceso, esto se realiza mediante una matriz de vester como se puede ver en la Figura 9, en la cual se dan valores que representan la intensidad o relación entre dos problemáticas, para este caso se utilizan números enteros positivos de 1 a 5, siendo 1 el menor grado de relación y 5 el mayor grado de relación. La matriz arroja un gráfico

de criticidad donde ubica cada item según el resultado de la valoración como se puede ver en la Figura 10.

Figura 9

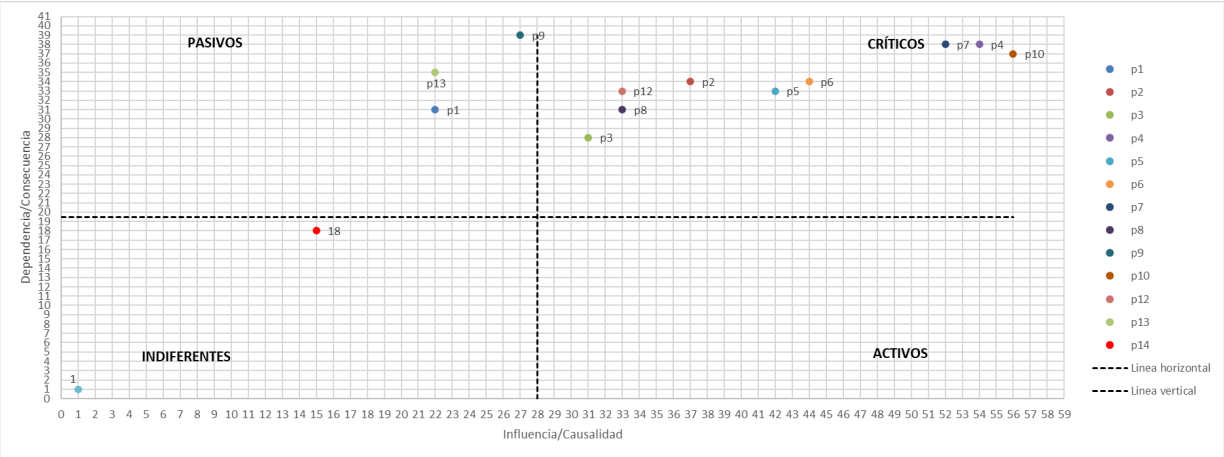
Matriz de vester.

Situación problemática																
BAJA EFICIENCIA Y FALTA DE ESTANDARIZACIÓN DE PROCESOS DE PRODUCCUÓN (L.INT/161)																
Código	**Variable**	**P1**	**P2**	**P3**	**P4**	**P5**	**P6**	**P7**	**P8**	**P9**	**P10**	**P11**	**P12**	**P13**	**P14**	**INFLUENCIA / ACTIVAS**
p1	Desgaste de equipos de extrusión e inyección (moldes)	0	3	2	3	2	2	2	1	2	1	1	1	1	1	22
p2	Falta de mantenimiento preventivo o correctivo programado	3	0	3	4	3	3	3	2	3	3	3	2	3	2	37
p3	Variaciones de temperatura o presión en extrusoras e inyectoras	2	3	0	3	3	2	2	2	3	2	3	2	3	1	31
p4	Falta de procedimientos estandarizados para la operación y control de parámetros.	4	4	4	0	5	4	5	4	5	5	4	4	4	2	54
p5	Dependencia excesiva de la experiencia del operario	3	3	3	4	0	4	4	3	4	4	3	3	3	1	42
p6	Control de calidad realizado de forma manual o discontinua, sin registro digital	2	3	2	4	4	0	4	3	4	4	4	4	4	2	44
p7	Nula implementación de TIC´s en la formación técnica en control estadístico de pro	4	4	3	5	4	4	0	4	5	5	4	4	4	2	52
p8	Poca disponibilidad de personal calificado por bajo número de operarios	2	2	2	3	3	3	3	0	3	3	3	2	3	1	33
p9	Desconocimiento del impacto de las desviaciones en parámetros crítico	4	4	2	1	1	1	5	4	0	1	1	1	1	1	27
p10	Ausencia de indicadores de desempeño (KPI) en tiempo real.	4	4	3	5	4	5	5	4	5	0	5	5	5	2	56
p12	Registros inconsistentes o no digitalizados que dificultan el análisis histórico	1	2	2	3	2	3	3	2	3	4	4	0	3	1	33
p13	Falta de trazabilidad entre lotes de materia prima y producto terminad	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4	3	4	0	2	22
p14	Deficiente almacenamiento de materia prima (afectación por temperatura o humed.	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	0	15
DEPENDENCIA / PASIVAS		31	34	28	38	33	34	38	31	39	37	39	33	35	18	

Nota. La información para alimentar la matriz se tomó del diagrama de ishikawa, 2025.

Figura 10

Gráfico de criticidad de problemas.



Nota. Gráfico generado a partir de la matriz de vester, 2025.

Teniendo en cuenta el análisis de los resultados obtenidos, se determina que existen 14 puntos clasificados de la siguiente manera: 2 indiferentes, 3 pasivos y 9 críticos, los cuales son los puntos que se encontraron en el diagrama de ishikawa general de la empresa y se describen a continuación:

- **P1: Desgaste de equipos de extrusión e inyección (moldes).**

  El uso continuo y las altas temperaturas generan desgaste acelerado en moldes y componentes críticos, afectando la precisión en cuanto a las dimensiones del producto aumentando la variabilidad en el producto terminado.

- **P2: Falta de mantenimiento preventivo o correctivo programado.**

  La ausencia de un plan estructurado de mantenimiento genera fallas imprevistas, disminuye la vida útil de la maquinaria y reduce la disponibilidad operativa de extrusoras e inyectoras.

- **P3: Variaciones de temperatura o presión en extrusoras e inyectoras.**

  Las fluctuaciones en los parámetros críticos del proceso alteran la calidad del polímero fundido, afectando la uniformidad del goteo, las propiedades mecánicas y la estabilidad dimensional de la línea.

- **P4: Falta de procedimientos estandarizados para la operación y control de parámetros.**

  La operación depende de criterios individuales y no de protocolos definidos, generando inconsistencia entre turnos y aumentando la probabilidad de errores en el ajuste de máquinas.

- **P5: Dependencia excesiva de la experiencia del operario.**

  Las decisiones operativas se basan en conocimientos empíricos, lo que limita la repetibilidad del proceso, dificulta la capacitación y aumenta la variabilidad en la producción.

- **P6: Control de calidad realizado de forma manual o discontinua, sin registro digital.**

  La inspección no sistematizada dificulta la trazabilidad, aumenta la probabilidad de errores humanos y limita la capacidad de realizar análisis históricos o detectar patrones de fallas.

- **P7: Nula implementación de TIC´s en la formación técnica en control estadístico de procesos.**

  La ausencia de herramientas digitales para capacitación y monitoreo estadístico limita la adopción de SPC, reduciendo la capacidad de controlar variaciones y detectar desviaciones a tiempo.

- **P8: Poca disponibilidad de personal calificado por bajo número de operarios.**

  El déficit de personal especializado genera sobrecarga de funciones, ralentiza la operación y aumenta el riesgo de errores por fatiga o falta de supervisión.

- **P9: Desconocimiento del impacto de las desviaciones en parámetros críticos.**

  Los operarios y supervisores no siempre identifican las consecuencias de variaciones en temperatura, presión, velocidad o torque, lo que incrementa el riesgo de producir lotes defectuosos.

- **P10: Ausencia de indicadores de desempeño (KPI) en tiempo real.**

  La falta de monitoreo inmediato impide tomar decisiones correctivas rápidas, afecta la productividad y dificulta identificar cuellos de botella o desviaciones críticas dentro del proceso.

- **P11: Registros inconsistentes o no digitalizados que dificultan el análisis histórico.**

  La información se almacena de forma manual, dispersa o incompleta, lo que reduce la confiabilidad de los datos y limita los análisis comparativos, la trazabilidad y la toma de decisiones basada en evidencia.

- **P12: Falta de trazabilidad entre lotes de materia prima y producto terminado.**

  La inexistencia de un sistema de seguimiento por lote impide identificar rápidamente la causa de no conformidades, afectando auditorías, control de calidad y capacidad de respuesta ante reclamos.

- **P13: Deficiente almacenamiento de materia prima (afectación por temperatura o humedad).**

  Las condiciones inadecuadas de almacenamiento deterioran las propiedades del polietileno y de los insumos, generando variaciones en el proceso de extrusión y afectando la calidad del producto final.

Al conocer la descripción de cada problema se toma la decisión de dar prioridad a los puntos más críticos que a su vez pueden tener relación con otros de los que fueron mencionados tratando de ofrecer una mejora lo más completa posible, en primera instancia se eligen los 3 siguientes puntos para implementar en la optimización:

- **P4: Falta de estandarización en los procesos productivos**

Este problema afecta directamente la eficiencia operativa, genera variabilidad en los resultados y aumenta el riesgo de errores durante la fabricación, ensamble y pruebas en los sistemas de riego. Además, influye en otros factores como reprocesos, aumento del lead time, desperdicios y fallos en la calidad del producto final.

- **P7: Nula implementación de TIC's en la formación técnica en control estadístico de procesos**

La ausencia de herramientas digitales (software SPC, hojas de control automatizadas, sistemas de captura de datos en planta) dificulta la toma de decisiones, impide un monitoreo estadístico adecuado y limita la capacidad de detectar desviaciones en tiempo real.
Además, obstaculiza la transferencia de conocimiento técnico y afecta la cultura de mejora continua dentro de la empresa.

- **P8: Registros inconsistentes o no digitalizados que dificultan el análisis histórico**

La información operativa, de calidad y mantenimiento se encuentra dispersa, incompleta o manejada de forma manual. Esto impide generar trazabilidad confiable, dificulta los análisis de tendencias, aumenta el riesgo de errores y limita la capacidad de identificar causas raíz. Este problema posee alta dependencia, ya que empeora cuando fallan la estandarización y las TIC's, pero también alimenta la ineficiencia general.

3.5. RECURSOS

3.5.1. Recurso humano

El Departamento de Producción está estructurado de manera jerárquica y funcional para garantizar la coordinación eficiente de los procesos operativos. Como se evidencia en el organigrama del área de producción en la parte superior se encuentra la gerencia de producción, responsable de la planificación estratégica, supervisión general y toma de decisiones clave dentro del área.

Bajo esta se ubica el jefe de producción, encargado de coordinar directamente las actividades operativas, garantizar el cumplimiento de la programación productiva y servir como enlace entre la gerencia y los diferentes equipos de trabajo. Este cargo trabaja en conjunto con dos áreas de apoyo fundamentales como lo son: el área de calidad, responsable del control y aseguramiento de la calidad de los productos durante todo el proceso; y análisis de Producción, quien es el encargado del seguimiento de indicadores, optimización de procesos y gestión de información productiva.

En el nivel operativo, el jefe de turno dirige las actividades diarias de cada jornada laboral, asegurando la continuidad del proceso productivo y gestionando al personal a su cargo. El personal operativo se divide en tres grupos según su función dentro del proceso como lo son: operarios de ensamble, encargados del armado final de los productos; operarios de inyección, responsables de la operación de máquinas de moldeo por inyección y, operarios de extrusión, dedicados al manejo de equipos de extrusión para la fabricación de componentes plásticos.

De manera transversal, el departamento cuenta también con el técnico o auxiliar de mantenimiento, quien realiza labores preventivas y correctivas para garantizar el adecuado funcionamiento de la maquinaria y evitar paradas no programadas. Esta estructura permite una

distribución clara de responsabilidades y asegura el flujo continuo del proceso productivo, integrando áreas de control, análisis, operación y soporte técnico.

3.5.2. Maquinaria

Como se evidenció en la distribución de la planta la empresa cuenta con diferentes equipos que son utilizados tanto para el proceso de producción de la línea de goteo interline 161 como para los demás productos de la empresa, en el Cuadro 4 se enuncia cada equipo y la cantidad que existe actualmente.

Cuadro 4

Lista de maquinaria.

ÁREA	EQUIPOS PRINCIPALES	CANTIDAD
Trituración	Molino triturador	1
Alimentación	Tolva inserción	1
Extrusión	Extrusoras de polietileno	2
Calibración	Cámara de vacío	1
Enfriamiento	Tanque de enfriamiento	1
Tracción	Pullers (haladores)	2
Enrollado	Rolling machine	1
Inyección	Máquinas inyectoras	6
Refrigeración y bombas	Sistema de agua y chiller	1
Compresor	Compresor de aire	1
ÁREA	**EQUIPOS PRINCIPALES**	**CANTIDAD**
Laboratorio	Equipos de medición y prueba de presión	1 set
Subestación	Sistema eléctrico de distribución	1

Nota. Cuadro generado a partir de la matriz de vester y la distribución de la planta, 2025.

4. PROPUESTA

4.1. DIAGNÓSTICO

El análisis del proceso productivo de la línea de goteo interline 161 en Agrifim de Colombia S.A.S. evidencia que, aunque la empresa dispone de la infraestructura, maquinaria y conocimiento técnico necesarios para cumplir con los requisitos del producto, existen debilidades en la estandarización, control e integración de los procesos de inyección, extrusión y control de calidad. Estas debilidades limitan el aprovechamiento real de la capacidad instalada y generan pérdidas de eficiencia, reprocesos y variabilidad en la calidad del producto final.

En el proceso de inyección de goteros se evidenciaron pérdidas asociadas a cavidades desgastadas o fuera de servicio lo que genera piezas no conformes por defectos dimensionales y paradas no programadas por ajustes, mantenimiento o espera de insumos. Adicionalmente, se observó que el ajuste de parámetros depende en su mayoría de la experiencia del operario, sin un criterio técnico estandarizado de fácil visualización que permita evaluar objetivamente el desempeño de la máquina. Esta situación genera subutilización de la capacidad instalada, dificulta la planificación de la producción y aumenta el desperdicio de material, lo que justifica la implementación de un KPI de producción para inyectora (IPI) que permita comparar de manera continua la producción real frente a la producción teórica.

El proceso de extrusión, es crítico para la calidad del producto, ya que define características como diámetro, espesor y uniformidad de la línea de goteo. Se observó variabilidad en los metros producidos por turno, pérdidas de material por desviaciones dimensionales, arranques y paradas frecuentes, así como ajustes manuales que no quedan documentados. La ausencia de un indicador que relacione la producción real con la capacidad teórica de la extrusora dificulta el control del proceso, incrementa el desperdicio y genera tiempos muertos. En este contexto, se hace necesaria la implementación de un KPI de producción para extrusora (IPE) que permita medir la eficiencia del proceso y mejorar su estabilidad operativa.

Del mismo modo, se evidenció una débil sincronización entre la producción de goteros y la disponibilidad de tubería extruida, lo que ocasiona acumulaciones de material o desabastecimientos internos. Esta situación responde a la falta de indicadores consolidados que permitan una planificación integrada de ambos procesos, generando cuellos de botella y

desbalances operativos. La integración de los KPI de inyección y extrusión permitiría mejorar la coordinación entre procesos y optimizar el flujo productivo.

Por último, el área de calidad realiza la mayoría de sus registros de forma manual, lo que genera reprocesos administrativos, mayor probabilidad de errores y baja trazabilidad de la información. Esta situación limita el análisis histórico y comparativo de los datos, retrasa la toma de decisiones y reduce la confiabilidad de la información disponible. La implementación de indicadores asociados al registro y análisis de datos permitiría fortalecer el control del proceso y mejorar la gestión de la calidad.

Agrifim cuenta con la capacidad técnica y operativa para cumplir con los requerimientos de la línea Interline 161; sin embargo, la falta de medición objetiva, estandarización e integración de los procesos impide un aprovechamiento óptimo de dicha capacidad. La implementación de KPI de producción y control se constituye en una herramienta clave para mejorar la eficiencia operativa, reducir desperdicios, fortalecer la planificación y garantizar la calidad del producto final.

4.2. INDICADORES KPI

Existen diferentes formas de medir de manera objetiva el comportamiento de las operaciones que se llevan a cabo en una empresa frente a los parámetros que se tienen establecidos como los ideales de funcionamiento, para este caso se va a hacer uso de los indicadores de desempeño KPI. Los procesos de inyección y extrusión de la línea de goteo interline 161 presentan dependencia en algunos aspectos como variables técnicas, experiencia del operario y condiciones operativas, por lo que la implementación de indicadores KPI se convierte en una gran ayuda para para identificar desviaciones, pérdidas de eficiencia y oportunidades de mejora.

Esto permite evaluar el desempeño tanto de las máquinas como de los diferentes procesos proporcionando información confiable y certera que aporta objetividad al análisis del proceso, logrando así una toma de decisiones encaminada a la mejora continua; del mismo modo, la reducción de desperdicio de materia prima.

Teniendo en cuenta los puntos más críticos a evaluar se propone el diseño e implementación de tres indicadores, uno para las inyectoras, uno para las extrusoras y uno para el área de calidad.

4.2.1. KPI de producción para inyectora

Con este indicador se busca observar la eficiencia de la inyectora que se utiliza en el proceso de producción de los goteros que se utilizan para la línea de goteo interline 161 respecto a la producción real que se tiene en los diferentes turnos laborales y la producción teórica que se debería obtener teniendo en cuenta los parámetros ideales de las máquinas. Donde se plantea la siguiente fórmula para obtener el dato en porcentaje:

$$IPI = \frac{Producción\ real}{Producción\ teórica} \times 100$$

La producción real es la cantidad de gotero producidos en el turno o tiempo en que se quiere realizar la evaluación del desempeño, aquí es importante tener en cuenta que se descuentan las piezas no conformes que se descartan después de realizar las pruebas correspondientes, las piezas que se pierden por las cavidades que están dañadas o desgastadas y los paros que tiene la maquina por situaciones como mantenimiento, espera de repuestos, entre otros. Esta se puede obtener mediante la siguiente fórmula:

$$Pr = Total\ de\ piezas\ producidas - Total\ de\ piezas\ rechazadas$$

La producción teórica se refiere al producido que se espera obtener según los parámetros técnicos ideales de la máquina, para saber cual es este dato se tienen en cuenta los ciclos por minuto y el número de piezas que se elaboran en los mismos teniendo como referencia la cantidad de cavidades que tiene el molde, con estos datos se puede obtener mediante la siguiente fórmula:

$$Pt = ciclos\ por\ minuto \times piezas\ por\ ciclo \times 60\ min$$

Si no se tiene el dato exacto de la cantidad de piezas se puede hallar según las cavidades del molde, es decir, cada cavidad representa un gotero. La empresa tiene destinada la inyectora número 6 de marca LIENYUEUROINJ modelo 2005 para la producción de los goteros, con los parámetros teóricos como se evidencia en el Cuadro 5.

Cuadro 5

Datos teóricos máquina inyectora.

INYECTORA	
Ciclos por minuto	1.65 ciclos
Cavidades por molde	16 cavidades

Nota. Los datos fueron adquiridos durante la visita a la empresa, 2025.

Teniendo en cuenta los datos anteriores se puede obtener que la producción teórica es

$$Pt = ciclos\ por\ minutos \times piezas\ por\ ciclo \times 60\ min$$

$$Pt = 1.65\ ciclos \times 16\ goteros \times 60\ min$$

$$Pt = 1.584\ piezas\ por\ hora$$

La empresa maneja turnos laborales de 8 horas, por lo que la producción teórica da como resultado:

$$Pt = 12.672\ piezas\ por\ turno$$

La empresa maneja la gran mayoría de los registros de sus procesos de forma manual por lo que se propone un formato digital donde se pueda calcular este indicador generando reducir el tiempo que se gasta en digitalizar todos los datos o eliminar un reproceso donde en vez de tomar los datos y hacer los cálculos de forma manual para después tener que digitalizarlos, ya se podría hacer directamente digital.

Este formato como se puede ver en la Figura 11, cuenta con datos relevantes que permiten la trazabilidad de los goteros que se obtienen para la línea de goteo como: la fecha en la que se realiza la producción, el turno en el que se encuentra el proceso, la duración de cada turno laboral, la máquina establecida para el mismo, la cantidad de cavidades que tiene el molde, los ciclos por minuto de la máquina, la producción teórica, la producción total de cada turno, los rechazos o unidades que se descartan porque no cumplen con los parámetros de calidad, la producción real después de descontar los rechazos, el porcentaje que nos indica el desempeño de

la máquina y por último una casilla para observaciones donde se debe consignar si la máquina estuvo detenida y cuál fue su causa, la cantidad de cavidades disponibles, entre otras.

Figura 11

Formato KPI de producción para la inyectora.

FECHA	TURNO	DURACIÓN TURNO	MÁQUINA	CAVIDADES	CICLOS POR MINUTO	PRODUCCIÓN TEORICA	TOTAL PRODUCIDO	RECHAZOS	PRODUCCIÓN REAL	IPI (%)	OBSERVACIONES
				16	1,65	1584			0	0,00	
				16	1,65	1584			0	0,00	
				16	1,65	1584			0	0,00	
				16	1,65	1584			0	0,00	
				16	1,65	1584			0	0,00	

Nota. Formato generado a partir de las necesidades observadas en la vista a la empresa, 2025.

El índice de eficiencia estará acompañado de unos iconos los cuales muestran como esta el desempeño registrado, el icono verde representa que el desempeño de la máquina fue excelente, el icono amarillo representa que la producción fue aceptable pero podría mejorar y el icono rojo muestra que se algo en el proceso estan fallando y requiere acción para poder solucionarlo.

Cada icono está formulado teniendo en cuenta unos rangos de valoración donde:

- Icono verde: cuando el porcentaje de producción es >= 90 %.
- Icono amarillo: cuando el porcentaje de producción es < 90 % y >= 80 %.
- Icono rojo: cuando el porcentaje de producción es < 80%.

A petición de la empresa se realizó un pequeño costeo de inyección teniendo en cuenta las capacidades de la empresa y la cantidad de materia prima que se necesita para cada proceso, el peso de cada gotero se divide en la cantidad de materia prima que cada uno contiene y estos valores se multiplican por el costo de cada materia prima, por último, se suma los costos de cada componente y se obtiene el costo total de cada gotero. Para obtener el costo de producción se toma el costo total de cada gotero y se multiplica por la cantidad de goteros que se producen por hora, este valor se multiplica por la cantidad de horas que tiene la jornada y por último, el valor obtenido se multiplica por la cantidad de jornadas que tiene el dia como se evidencia en el Cuadro 6.

Cuadro 6

Costeo del proceso de inyección.

INYECCIÓN		
Material	**Cantidad**	**Costo**
Polietileno	98%	$6.176/kg
Pigmento	2%	$17.500/kg
COSTEO		
Peso aproximado de un gotero		0.0033 Kg
Cantidad de polietileno/ gotero en kilos		0.003234 kg
Cantidad de pigmento/ gotero en kilos:		0.000066 kg
Costo del polietileno		$ 19.97
Costo del pigmento		$1.16
COSTO TOTAL		**$ 21.13 x Gotero**
COSTO TOTAL DE PRODUCCIÓN HORA/JORNADA/DÍA		
Hora		$ 33.469,92/hora
Jornada		$ 267.759,36/ Jornada
Día		$ 803.278,08/ Día

Nota. La empresa compra las materias primas por kilos para reducir costos, y el costo de producción se obtiene teniendo en cuenta los parámetros teóricos de las máquinas, 2025.

4.2.2. KPI de producción para extrusora

Este indicador es similar al anterior pero se va a enfocar en la extrusora que se utiliza para el proceso de producción de la línea de goteo interline 161, buscando observar la eficiencia respecto a la producción real que se tiene en los diferentes turnos laborales y la producción teórica que se debería obtener teniendo en cuenta los parámetros ideales de la máquina, mediante la siguiente fórmula para obtener el dato en porcentaje:

$$IPE = \frac{Producción\ real}{Producción\ teórica} \times 100$$

La producción real similar al otro indicador es la cantidad de metros de línea de goteo producidos en el turno, descontando los metros no conformes que se descartan porque no cumplen con los parámetros de calidad. Esta se puede obtener mediante la siguiente fórmula:

$$Pr = Total\ de\ metros\ producidos - Total\ de\ metros\ rechazados$$

La producción teórica se refiere al producido máximo que se espera obtener según los parámetros técnicos ideales de la máquina, para saber cual es este dato se tienen en cuenta la velocidad nominal y el tiempo disponible, mediante la siguiente fórmula:

$$Pt = velocidad\ nominal \times Tiempo\ efectivo\ del\ turno$$

La empresa tiene destinada la extrusora de marca DAVIS STNDARD para la producción de la línea de goteo interline 161, con los parámetros teóricos que se muestran en el Cuadro 7.

Cuadro 7

Datos teóricos máquina extrusora.

EXTRUSORA	
Velocidad nominal	20 m/min
Tiempo efectivo del turno	480 min

Nota. Los datos fueron adquiridos durante la visita a la empresa, 2025.

Teniendo en cuenta los datos anteriores se puede obtener que la producción teórica es

$$Pt = velocidad\ nominal \times Tiempo\ efectivo\ del\ turno$$

$$Pt = 20\ m/min \times 480\ min$$

$$Pt = 9.600\ m/turno$$

Del mismo modo que el indicador anterior, como se puede evidenciar en la Figura 12 se propone un formato digital donde se pueda calcular y obtener los porcentajes de una forma más eficiente, este formato cuenta con una estructura similar que permite la trazabilidad de la línea de goteo como: la fecha en la que se realiza la producción, el turno en el que se encuentra el proceso, la línea de goteo que se está produciendo, la máquina que se está utilizando, la velocidad nominal de la máquina, el tiempo efectivo del turno, la producción teórica, la producción total de cada turno, los metros rechazados, la producción real después de descontar los rechazos, el porcentaje que nos indica el desempeño de la máquina y por último una casilla para observaciones.

Figura 12

Formato KPI de producción para la extrusora.

FECHA	TURNO	LINEA DE GOTEO	MÁQUINA	VELOCIDAD NOMINAL (m/min)	TIEMPO EFECTIVO (min)	PRODUCCIÓN TEORICA (m)	PRODUCCIÓN TOTAL (m)	RECHAZOS (m)	PRODUCCIÓN REAL	IPE (%)	OBSERVACIONES
				20	480	9600			0	0,00	
				20	480	9600			0	0,00	
				20	480	9600			0	0,00	
				20	480	9600			0	0,00	
				20	480	9600			0	0,00	

Nota. Formato generado a partir de las necesidades observadas en la vista a la empresa, 2025.

Los iconos del indice de eficiencia muestran el desempeño registrado, el icono verde representa un proceso eficiente, el icono amarillo representa que la producción fue aceptable pero podría mejorar con algunos ajustes menores y el icono rojo muestra que el desempeño es critico debido a que algo en el proceso estan fallando y requiere acción para poder solucionarlo.

Cada icono está formulado teniendo en cuenta unos rangos de valoración donde:

- Icono verde: cuando el porcentaje de producción es >= 90 %.
- Icono amarillo: cuando el porcentaje de producción es < 90 % y >= 80 %.
- Icono rojo: cuando el porcentaje de producción es < 80 %.

Es importante anotar que la empresa tienen la capacidad de cumplir con la producción teórica, sin embargo, es necesario tener en cuenta al departamento de ventas ya que se debe analizar si se tiene la capacidad de vender lo que la empresa es capaz de producir logrando así realizar una planeación de producción más acertada y completa, esto se puede estudiar mediante otro indicador, donde se evalúe la relación entre el volumen de ventas de un período en específico y la capacidad de producción en el mismo período, esto mediante la siguiente fórmula:

$$Ipv = \frac{Ventas\ del\ período}{Capacidad\ real} \times 100$$

Para obtener estos datos se puede pedir al departamento de ventas suministrar esta información y con el indicador de producción tanto de la inyectora como de la extrusora se puede obtener la capacidad real.

A modo de comprensión del análisis se plantean tres rangos de evaluación del indicador donde:

- Ventas cumplen o superan la capacidad de producción: cuando el porcentaje del indicador es >= 90%.
- Balance entre ventas y producción: cuando el porcentaje de producción es < 90 % y >= 80 %.

- Ventas bajas y no cumplen frente a la capacidad de producción: cuando el porcentaje de producción es < 80 %.

Para este indicador también se realizó un pequeño costeo de extrusión donde se tiene en cuenta el espaciamiento de cada gotero en la línea de goteo y la longitud de cada rollo. Para saber la cantidad de goteros por metro se divide un metro en la medida del espaciamiento de cada gotero, para el costo de goteros por metro de línea se multiplica la cantidad de

goteros/metro por el costo unitario de cada gotero, para el costo de goteros por rollo se divide la cantidad de metros que tiene cada rollo en la medida del espaciamiento de cada gotero y para el costo total del rollo se multiplica la cantidad de goteros/rollo por el costo unitario de cada gotero, para calcular la producción de rollos por turno se calcula dividiendo la capacidad teórica de la extrusora en la cantidad de metros/rollo, para calcular el costo total por turno se multiplica el costo de producción de rollos/turno por el costo total del rollo.

Para obtener el costo de producción/hora se multiplica la producción teórica/hora por los 60 minutos de cada hora, para calcular el costo por hora se multiplica la producción/h por costo de goteros por metro de línea, este valor se multiplica por la cantidad de horas que tiene la jornada y por último, el valor obtenido se multiplica por la cantidad de jornadas que tiene el dia como se evidencia en el Cuadro 8.

Cuadro 8

Costeo del proceso de extrusión.

EXTRUSIÓN			
Espaciamiento de goteros	0.30 m	**Longitud del rollo**	500 m
Costo unitario del gotero		$21,13	
Producción teórica extrusora:		9.600 m/turno	
COSTEO			
Costo de goteros por metro de línea		$70.42	
Costo por rollo (500 m)		$35.222/rollo	
Rollos por turno		19.2 rollos/turno	
COSTO TOTAL DE PRODUCCIÓN HORA/JORNADA/DÍA			
Hora		$84.504/h	

Jornada	$676.262/turno
Día	$2.028.096/día

Nota. El costo de producción se obtiene teniendo en cuenta los parámetros teóricos de las máquinas, 2025.

4.2.3. KPI de registro de datos para calidad

Como se mencionó anteriormente la empresa maneja el registro de los datos de sus procesos en su mayoría de forma manual lo que genera reprocesos a la hora de tener que digitalizar todo y tiempo desperdiciado, esto se hace un poco más notorio en el área de calidad por lo que se propone este indicador con el fin de observar la eficiencia respecto al registro de datos al momento de realizar la pruebas necesarias para verificar la calidad de la línea de goteo interline 161 haciendo una comparación entre el tiempo y la confiabilidad del registro manual frente al digital. Donde se plantea la siguiente fórmula para obtener el dato en porcentaje:

$$Idc = \frac{Tiempo\ estándar\ de\ registro\ digital}{Tiempo\ real\ de\ registro\ (manual)} \times 100$$

El tiempo estándar de registro digital es el tiempo esperado usando un sistema o formato digital diseñado a partir de los formatos que existen actualmente en la empresa con algunas modificaciones y mediante una prueba de toma de datos donde se cronometra el tiempo utilizado; el tiempo real de registro es el tiempo actual que se toma el encargado de calidad a la hora de hacer tanto el registro como los cálculos de los datos, el cual también se puede obtener cronometrando el proceso.

Del mismo modo si se quiere tener un dato con un grado mayor de confiabilidad se puede evaluar la cantidad de datos correctamente registrados, ninguna persona está exenta de cometer errores por lo que puede existir la posibilidad de anotar un dato incorrecto debido a factores como cansancio, estrés, falta de legibilidad en las herramientas de medición entre otros, mediante la siguiente fórmula:

$$Cfd = \frac{Datos\ correctamente\ registrados}{Datos\ totales\ registrados} \times 100$$

Como se puede ver en la Figura 13 se propone un formato digital donde se pueda registrar estos datos y tomar decisiones estratégicas frente al proceso, donde se registren datos como la fecha en la que se realiza la prueba de calidad, el turno, producto al que se le realiza la prueba, tiempo de prueba, tiempo del registro manual en minutos, tiempo del registro digital en minutos, el porcentaje de desempeño, y dentro del mismo formato se puede incluir la totalidad de datos registrados, los datos erróneos que se detectaron, el porcentaje de confiabilidad y observaciones evidenciadas dentro de las pruebas.

Figura 13

Formato KPI de registro de datos para calidad.

FECHA	TURNO	PRODUCTO	TIPO DE PRUEBA	TIEMPO REGISTRADO MANUAL (min)	TIEMPO REGISTRADO DIGITAL (min)	IPV (%)	DATOS REGISTRADOS	ERRORES DETECTADOS	DATOS CORRECTAMENTE REGISTRADOS	CFD (%)	OBSERVACIONES
						#¡DIV/0!			0	#¡DIV/0!	
						#¡DIV/0!			0	#¡DIV/0!	
						#¡DIV/0!			0	#¡DIV/0!	
						#¡DIV/0!			0	#¡DIV/0!	
						#¡DIV/0!			0	#¡DIV/0!	

Nota. Formato generado a partir de las necesidades observadas en la vista a la empresa, 2025.

Cada indice esta acompañado esta acompañado de iconos los cuales muestran el desempeño registrado, el icono verde representa que el registro es optimo, el icono amarillo representa un registro aceptable con posibles mejoras y el icono rojo muestra un registro ineficiente.

Cada icono está formulado teniendo en cuenta unos rangos de valoración donde:

- Icono verde: cuando el porcentaje de registro es >= 90 %.
- Icono amarillo: cuando el porcentaje de registro es < 90 % y >= 85 %.
- Icono rojo: cuando el porcentaje de producción es < 85 %.

4.2.4. Implementación de indicadores

Todos los indicadores tienen el formato formulado para el registro de los datos que se mostró anteriormente lo que permite que el cálculo sea mucho más sencillo, sin embargo se va a realizar el ejemplo de cómo se calcularía paso a paso a continuación:

- Indicador IPI

Actualmente la empresa cuenta con once cavidades disponibles ya que las cinco restantes presentan desgaste debido a falta de mantenimiento, producir con los parámetros inadecuados, entre otros; teniendo esto en cuenta se puede obtener el total de piezas producidas de la siguiente manera:

$$Tpp = 1.65\ ciclos/min \times 11\ cavidades\ disponibles \times 60\ min$$

$$Tpp = 1.089\ piezas/hora$$

$$Tpp = 1.089\ piezas/hora \times 8\ horas\ laborales$$

$$Tpp = 8.712\ piezas\ por\ turno$$

La cantidad de piezas rechazadas o no conformes para el turno 1 es de un 15 % del total de piezas producidas, por lo general este valor no siempre es el mismo, por lo que la capacidad real de producción es:

$$Pr = Total\ de\ piezas\ producidas - Total\ de\ piezas\ rechazadas$$

$$Pr = 8.712\ piezas/turno - 1.306\ piezas\ no\ conformes$$

$$Pr = 7.405\ piezas/turno$$

Teniendo en cuenta el cálculo de la producción teórica realizado anteriormente se procede a hacer uso del indicador para obtener el desempeño del turno 1:

$$IPI = \frac{Pr}{Pt} \times 100$$

$$IPI = \frac{7.405\ piezas/turno}{12.672\ piezas/turno} \times 100$$

$$IPI = 58.44\ \%$$

Como se puede ver en la figura 14 el formato formulado se evidenciaría de la siguiente manera:

Figura 14

Formato con el registro del indicador IPI.

FECHA	TURNO	DURACIÓN TURNO	MÁQUINA	CAVIDADES	CICLOS POR MINUTO	PRODUCCIÓN TEORICA	CAVIDADES DISPONIBLES	TOTAL PRODUCIDO	RECHAZOS	PRODUCCIÓN REAL	IPI (%)	OBSERVACIONES
11/12/2025	1	480 minutos	Inyectora 6	16	1,65	12672	11	8712	1306,8	7405,2	58,44	5 cavidades no disponibles por mantenimiento
				16	1,65	12672		0	0,0	0,0	0,00	
				16	1,65	12672		0	0,0	0,0	0,00	
				16	1,65	12672		0	0,0	0,0	0,00	
				16	1,65	12672		0	0,0	0,0	0,00	

Nota. Formato registrado a partir de los datos del ejemplo, 2025.

El resultado obtenido para el indicador IPI del turno 1, con un valor de 58,44 %, evidencia un bajo nivel de eficiencia en el proceso de inyección de goteros frente a la capacidad teórica de la máquina. Esta desviación se explica principalmente por la reducción en el número de cavidades operativas del molde, debido al desgaste y la falta de mantenimiento, así como por el porcentaje significativo de piezas no conformes generadas durante el turno. El valor del indicador se ubica en un rango crítico, lo que refleja una subutilización de la capacidad instalada y la necesidad de intervenir el proceso mediante acciones correctivas como el mantenimiento de las cavidades averiadas y la estandarización de parámetros de operación.

- Indicador IPE

Para poder calcular este indicador se pide el dato de producción real al operario encargado del turno al que se le desea evaluar el desempeño, el cual para este caso es 6.666 metros por turno. La cantidad de metros rechazados o no conformes para el turno 1 es de un 0.5 % del total de metros producidos, por lo general este valor no siempre es el mismo aunque su variación es mínima, por lo que la capacidad real de producción es:

$$Pr = Total\ de\ metros\ producidos - Total\ de\ metros\ rechazados$$

$$Pr = 6.666\ metros/turno - 33\ metros\ no\ conformes$$

$$Pr = 6.632\ metros/turno$$

Teniendo en cuenta el cálculo de la producción teórica realizado anteriormente se procede a hacer uso del indicador para obtener el desempeño del turno 1:

$$IPE = \frac{Pr}{Pt} \times 100$$

$$IPE = \frac{6.632\ metros/turno}{9.600\ metros/turno} \times 100$$

$$IPE = 69.09\ \%$$

Como se puede ver en la Figura 15 el formato formulado se evidenciaría de la siguiente manera:

Figura 15

Formato con el registro del indicador IPE

FECHA	TURNO	LINEA DE GOTEO	MÁQUINA	VELOCIDAD NOMINAL (m/min)	TIEMPO EFECTIVO (min)	PRODUCCIÓN TEORICA (m)	PRODUCCIÓN TOTAL (m)	RECHAZOS (m)	PRODUCCIÓN REAL	IPE (%)	OBSERVACIONES
11/12/2025	1	INTER 161-015	EXTRUSORA	20	480	9600	6666	33,3	6632,7	69,09	Parada por cambio de referencia a producir
				20	480	9600		0,0	0,0	0,00	
				20	480	9600		0,0	0,0	0,00	
				20	480	9600		0,0	0,0	0,00	
				20	480	9600		0,0	0,0	0,00	

Nota. Formato registrado a partir de los datos del ejemplo, 2025.

Como se mencionó anteriormente es importante ver el desempeño del departamento de ventas ya que debe existir una relación para no vender más de lo que se puede producir o viceversa ya que esto generaría sobrecostos o incumplimiento de pedidos por nombrar algunas consecuencias generales. Para este cálculo se tiene en cuenta la capacidad real tomada del indicador de producción para la extrusora ya que es aquí donde se obtiene la línea de goteo con los goteros que se obtienen mediante inyección ya insertados y el dato de ventas se pide al colaborador encargado de manejar esta información el cual para este caso es 374.550 metros vendidos en el año 2025.

Como el indicador solicita el dato de ventas anual es necesario tener la capacidad real anual, es importante tener presente que la empresa cuenta con turnos de 8 horas laborales por lo que al día son 3 turnos, se labora de lunes a sábado (medio día), obteniendo un total de 270 días laborables por año. A partir de esta información se puede obtener la capacidad real anual de la siguiente manera:

$$Pr_{diaria} = capacidad\ turno \times turnos\ laborales\ al\ día$$

$$Pr_{diaria} = 6.633\ metros/turno \times 3\ turnos/día$$

$$Pr_{diaria} = 19.899\ metros/día$$

$$Cr_{anual} = Pr_{diaria} \times días\ laborales\ en\ el\ año$$

$$Cr_{anual} = 19.899\ metros/día \times 270\ días/año$$

$$Cr_{anual} = 5.372.730\ metros/año$$

Teniendo en cuenta el cálculo de la capacidad real anual realizado anteriormente se procede a hacer uso del indicador:

$$Ipv = \frac{Ventas\ del\ período}{Capacidad\ real} \times 100$$

$$Ipv = \frac{374.550\ metros/año}{5.372.730\ metros/año} \times 100$$

$$Ipv = 6.97\ \%$$

El resultado del indicador evidencia una desalineación entre la capacidad real de producción de la extrusora y el volumen de ventas registrado para el período analizado. Con una capacidad real anual estimada de 5.372.730 metros y unas ventas de 374.550 metros en el año 2025, el IPV del 6,97 % indica que la empresa está utilizando una fracción muy reducida de su capacidad instalada. Esta situación no representa un problema de sobreventa, sino una subutilización significativa del sistema productivo, lo que puede traducirse en mayores costos unitarios, baja eficiencia operativa y pérdida de competitividad. El análisis del indicador resalta la necesidad de una mejor articulación entre las áreas de producción y ventas, permitiendo ajustar estrategias comerciales, planificación de la demanda y programación de la producción con base en información objetiva y realista.

- Indicador IDC

Este indicador se calcula a partir de una toma de datos donde se hace uso de un cronómetro para conocer el tiempo que se toma el operario de calidad a la hora de registrar los valores que arrojan las pruebas de calidad para verificar que el producto cumpla con los parámetros de calidad requeridos.

La toma de datos se realiza indicando al operario de calidad en que momento puede iniciar con la prueba para así mismo dar inicio al cronómetro tomando el tiempo que se tarda en finalizar la prueba, registrar el dato y realizar los cálculos necesarios como cv y presión. El dato obtenido es 42 minutos. Después de esto se pide al auxiliar de producción que realice el mismo registro de datos pero esta vez en el formato formulado para obtener los cálculos de forma automática donde se obtiene que el dato es 20.5 minutos.

Teniendo en cuenta los datos obtenidos se procede a hacer uso del indicador para obtener el desempeño de registro de datos:

$$Idc = \frac{Tiempo\ estándar\ de\ registro\ digital}{Tiempo\ real\ de\ registro\ (manual)} \times 100$$

$$Idc = \frac{20.5\ minutos}{42\ minutos} \times 100$$

$$Idc = 48.80\ \%$$

Para tener mayor confiabilidad en el uso del indicador se cuenta la cantidad de datos tanto correctos como incorrectos registrados:

$$Cfd = \frac{Datos\ correctamente\ registrados}{Datos\ totales\ registrados} \times 100$$

$$Cfd = \frac{108}{108} \times 100$$

$$Cfd = 100\ \%$$

Como se puede ver en la Figura 16 el formato formulado se evidenciaría de la siguiente manera:

Figura 16

Formato con el registro del indicador IDC.

FECHA	TURNO	PRODUCTO	TIEMPO REGISTRADO MANUAL (min)	TIEMPO REGISTRADO DIGITAL (min)	IPV (%)	DATOS REGISTRADOS	ERRORES DETECTADOS	DATOS CORRECTAMENTE REGISTRADOS	CFD (%)	OBSERVACIONES
11/12/2025	1	INTERLINE 161-015	42	20,5	48,8	108	0	108	100	
			42		0,00	108		108	100	
			42		0,00	108		108	100	
			42		0,00	108		108	100	
			42		0,00	108		108	100	

Nota. Formato registrado a partir de los datos del ejemplo, 2025.

El análisis del indicador IDC muestra que el proceso de registro manual de datos en el área de calidad presenta una baja eficiencia en términos de tiempo, reflejada en un desempeño del 48,80 %, lo que evidencia un alto consumo de tiempo operativo en actividades administrativas que no agregan valor directo al producto. Aunque el indicador de confiabilidad de datos (CFD) arroja un resultado del 100 %, lo que indica que los registros fueron correctos, el tiempo requerido para obtenerlos demuestra que el método manual no es eficiente ni sostenible a largo plazo. Estos resultados justifican la implementación de formatos digitales, ya que permiten reducir significativamente los tiempos de registro y cálculo, mejorar la trazabilidad de la información y liberar recursos del área de calidad para actividades de mayor impacto, fortaleciendo el control del proceso y la toma de decisiones.

4.3. CALIDAD

El gotero está diseñado para una presión de 1 bar lo que corresponde a 14.5 psi, sin embargo, las pruebas se realizan a 10, 15, 20, 25, 30 y 35 psi. Como se evidencia en la Figura 17 el proceso para la toma de pruebas de calidad para la línea de goteo interline 161 se realiza de forma manual desde el tomar el tramo de línea que se va a utilizar hasta realizar los cálculos de los datos obtenidos. El operario encargado de la máquina extrusora en el turno corta un tramo de línea de goteo de 16 a 20 cada 500 mts de producción para llevarlo al área de calidad.

El operario de calidad recibe el tramo para después ubicarlo en un banco de pruebas donde se tienen unas probetas según la cantidad de goteros, enciende el banco, ajusta la presión del agua a 10 psi, ubica las probetas debajo de cada gotero para recibir el agua que se suministra y acto seguido activa el cronómetro para contar 3 minutos que es el tiempo estándar de prueba.

Terminado el tiempo apaga el banco, retira las probetas, anota manualmente los datos en ml arrojados por cada una de ellas, vierte el agua de cada una en el banco, enciende nuevamente el banco, ajusta la presión a 15 psi, ubica las probetas debajo de cada gotero, activa el cronómetro y mientras se está realizando la prueba hace la conversión de los datos adquiridos anteriormente a litros por hora para así poder hacer el cálculo del caudal promedio y la desviación estándar de la muestra de 10 psi. Este proceso lo repite sucesivamente con las presiones faltantes para así poder entregar los datos al analista de producción y obtener la gráfica de caudal vs presión.

El caudal promedio es la cantidad media de agua que se obtiene teniendo en cuenta los datos individuales de las pruebas a cada gotero según tiempo y presión, evaluando el flujo hidráulico de cada gotero y el cumplimiento de las especificaciones técnicas del mismo. Permitiendo controles de calidad donde se puede verificar que tan uniforme es el flujo, detectar si existen fallos en la fabricación y poder tomar las decisiones necesarias para la eficiencia del sistema. Esto se calcula de la siguiente manera:

$$Cp = \frac{sumatoria\ de\ datos\ por\ presión}{cantidad\ de\ muestras}$$

La desviación estándar indica la dispersión o variabilidad de los datos respecto al valor promedio, es decir, que tanto se alejan los caudales individuales del caudal promedio, si este valor es bajo existe un flujo uniforme y si es alto es todo lo contrario por lo que se debe verificar si existe algún problema en la fabricación para evitar que el producto llegue al cliente con ineficiencia en los cultivos. Este dato se puede calcular con la siguiente fórmula:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\Sigma(x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

Donde:

- σ, es la desviación estándar del caudal.
- Σ, es una sumatoria.
- x_i, es el caudal de cada gotero.
- $\bar{x}$, caudal promedio de todos los goteros.
- n, número total de goteros a los que se le realizó la prueba.

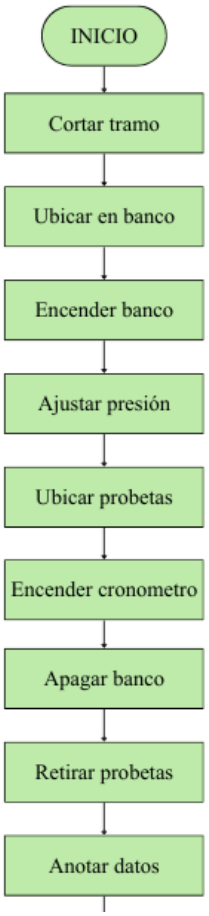
El coeficiente de variabilidad se utiliza para conocer cuál es la variación de los caudales respecto al caudal promedio, expresado generalmente en porcentaje. Esto permite nuevamente verificar que tan uniforme es el flujo de agua y si se está cumpliendo con las especificaciones técnicas y de calidad. Este se puede calcular a partir de la siguiente fórmula:

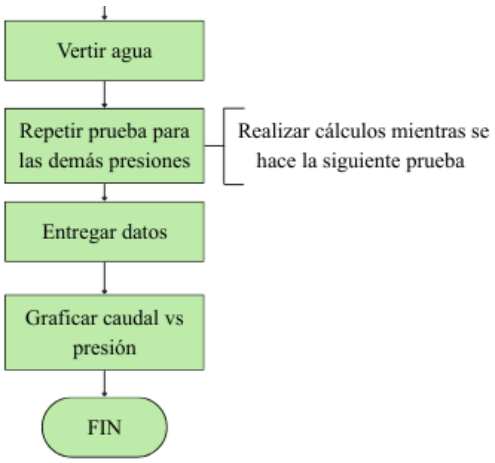
$$Cv = \frac{Caudal\ promedio\ en\ ml}{desviación\ estándar} \times 100$$

Para obtener un solo valor de coeficiente de variación se suman los cv de cada presión y después se divide entre la cantidad de presiones que para este caso es 6.

Figura 17

Diagrama de flujo de proceso de pruebas de calidad.



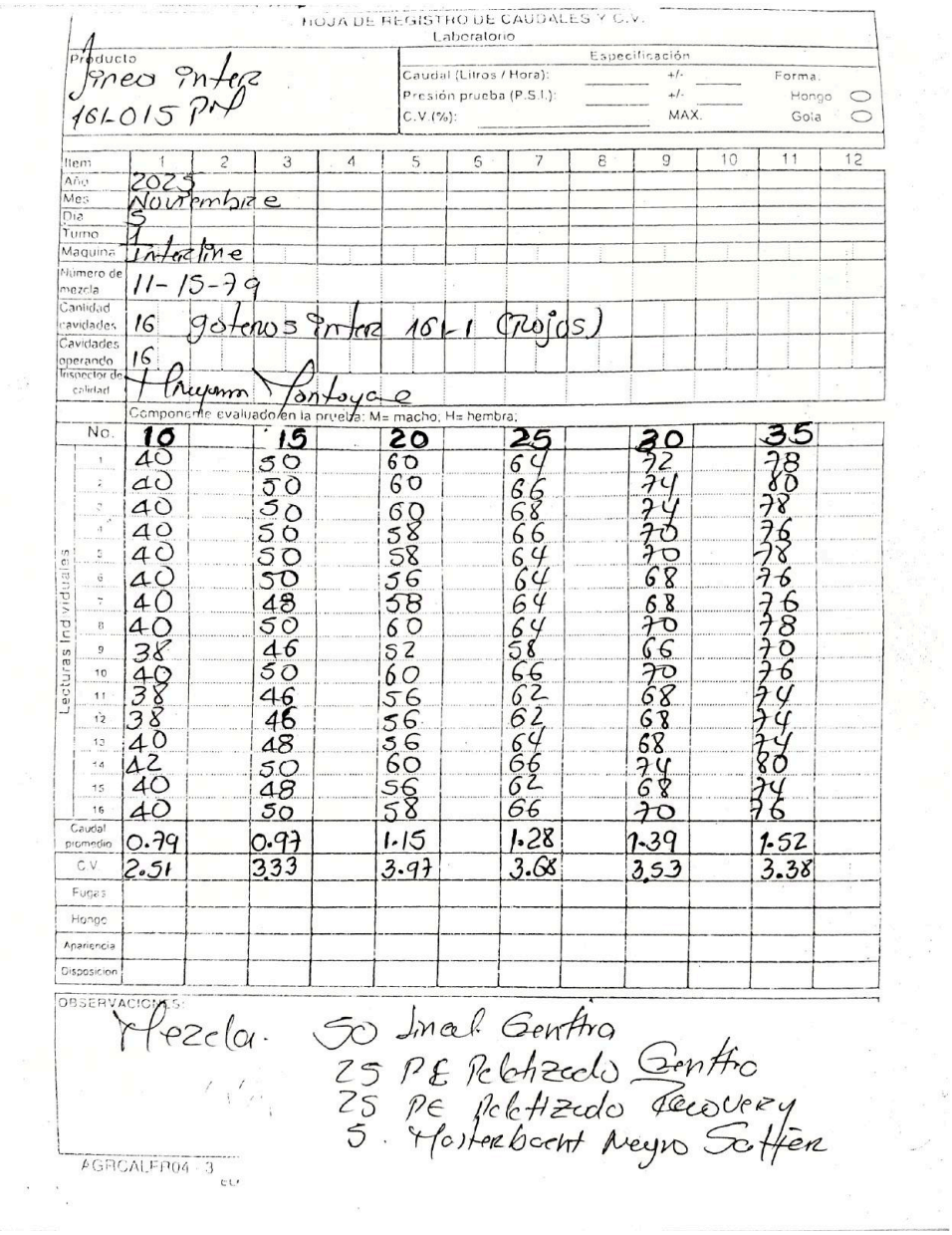


Nota. El diagrama de flujo de proceso de pruebas de calidad se realizó a partir de la visita a la empresa, 2025.

Como se puede ver en la Figura 18 los datos calculados se registran en un formato impreso que cuenta con un encabezado donde se registra el nombre del producto, las especificaciones tattoo del producto como de la prueba que se va a realizar, la fecha, el turno, la máquina, número de mezcla con la que se fabricó el producto, cantidad total de cavidades y cantidad de cavidades disponibles, el inspector de calidad o la persona que está encargada del desarrollo de la prueba. Seguido a esto se tiene el espacio donde se registran los valores individuales de cada gotero según las diferentes presiones a las que se somete, caudal promedio, coeficiente de variación; también cuenta con un espacio para determinar si existen fugas, hongo, como esta la apariencia y la disposición del producto, y por último, una casilla para observaciones de ser necesarias.

Figura 18

Formato para pruebas de presión vs caudal.



HOJA DE REGISTRO DE CAUDALES Y C.V.
Laboratorio

Producto: Jireh Inter 16L015 PM

Especificación
Caudal (Litros / Hora): _____ +/- _____ Forma:
Presión prueba (P.S.I.): _____ +/- _____ Hongo ○
C.V.(%): _____ MAX. Gota ○

Item	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Año	2025											
Mes	Noviembre											
Dia	5											
Turno	1											
Maquina	Interline											
Numero de mezcla	11-15-79											
Cantidad cavidades	16 goteros Inter 16L1 (Rojos)											
Cavidades operando	16											
Inspector de calidad	Thayana Pantoja C.											

Componente evaluado en la prueba: M= macho; H= hembra;

No.	10	15	20	25	30	35
Lecturas Individuales 1	40	50	60	64	72	78
2	40	50	60	66	74	80
3	40	50	60	68	74	78
4	40	50	58	66	70	76
5	40	50	58	64	70	78
6	40	50	56	64	68	76
7	40	48	58	64	68	76
8	40	50	60	64	70	78
9	38	46	52	58	66	70
10	40	50	60	66	70	76
11	38	46	56	62	68	74
12	38	46	56	62	68	74
13	40	48	56	64	68	74
14	42	50	60	66	74	80
15	40	48	56	62	68	74
16	40	50	58	66	70	76
Caudal promedio	0.79	0.97	1.15	1.28	1.39	1.52
C.V.	2.51	3.33	3.97	3.68	3.53	3.38
Fugas						
Hongo						
Apariencia						
Disposicion						

OBSERVACIONES:
Mezcla. 50 Inrah Gentro
25 PE Reciclado Gentro
25 PE Reciclado Recovery
5. Masterbatch Negro Soffer

AGRICALFR04 - 3

Nota. Formato suministrado por la empresa, 2025.

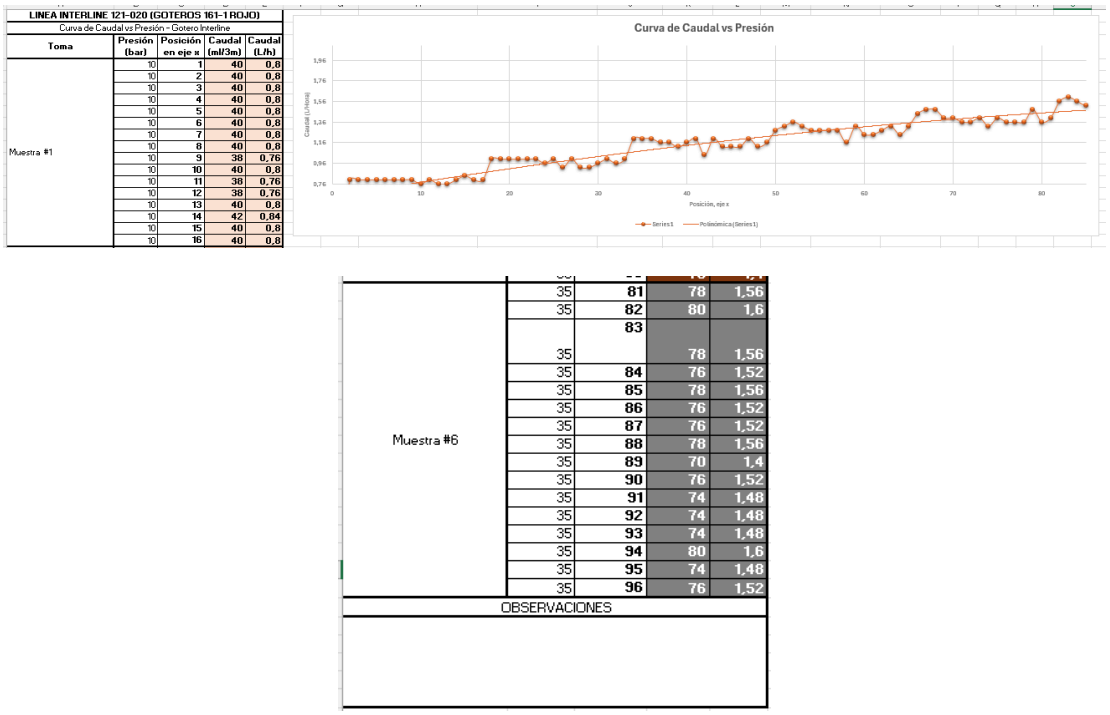
Con el fin de cumplir con el requerimiento de la empresa respecto a digitalizar los procesos necesarios para avanzar cada vez más en las tecnologías que demanda el mercado actualmente, se propone un formato digital formulado con el objetivo de disminuir tiempos tanto a la hora de registrar los datos como de hacer los cálculos y evitar reprocesos referente a pasar a

digital los documentos que están en físico cuando se puede hacer directamente en el formato digital.

El formato fue diseñado con el fin de automatizar los cálculos, es decir a medida que se van registrando los datos en las casillas se va actualizando el valor del caudal promedio, la desviación estándar y el coeficiente de variación, así como también la gráfica de la curva presión vs caudal. Como se puede ver en la Figura 19 en primera instancia se tiene la una sección donde se registran todos los datos obtenidos en la prueba, con un encabezado donde se puede evidenciar el nombre del producto, el nombre de la prueba, las tomas realizadas, la presión de cada toma, la posición de cada dato en la curva, caudal en milímetros por 3 minutos, caudal en litros por hora, observaciones y la gráfica de todos los datos.

Figura 19

Formato para pruebas de presión vs caudal digital.



LINEA INTERLINE 121-020 (GOTEROS 161-1 ROJO)

Curva de Caudal vs Presión - Gotero Interline

Toma	Presión (bar)	Posición en eje x	Caudal (ml/3m)	Caudal (L/h)
Muestra #1	10	1	40	0,8
	10	2	40	0,8
	10	3	40	0,8
	10	4	40	0,8
	10	5	40	0,8
	10	6	40	0,8
	10	7	40	0,8
	10	8	40	0,8
	10	9	38	0,76
	10	10	40	0,8
	10	11	38	0,76
	10	12	38	0,76
	10	13	40	0,8
	10	14	42	0,84
	10	15	40	0,8
	10	16	40	0,8

Muestra #6	35	81	78	1,56
	35	82	80	1,6
	35	83	78	1,56
	35	84	76	1,52
	35	85	78	1,56
	35	86	76	1,52
	35	87	76	1,52
	35	88	78	1,56
	35	89	70	1,4
	35	90	76	1,52
	35	91	74	1,48
	35	92	74	1,48
	35	93	74	1,48
	35	94	80	1,6
	35	95	74	1,48
	35	96	76	1,52

OBSERVACIONES

Nota. Formato actualizado registrado a partir de datos suministrados por la empresa, cada casilla se debe llenar para las 6 muestras, 2025.

Para tener más facilidad a la hora de formular los cálculos finales se realizó una tabla resumen como la que se tiene en el formato físico como se puede ver en la Figura 20.

Figura 20

Tabla resumen de formato para pruebas de presión vs caudal digital.

Muestras	Rollo1 (10 P.S.I)	Rollo 2 (15 P.S.I)	Rollo3 (20 P.S.I)	Rollo4 (25 P.S.I)	Rollo5 (30 P.S.I)	Rollo6(35 P.S.I)
1	40	50	60	64	72	78
2	40	50	60	66	74	80
3	40	50	60	68	74	78
4	40	50	58	66	70	76
5	40	50	58	64	70	78
6	40	50	56	64	68	76
7	40	48	58	64	68	76
8	40	50	60	64	70	78
9	38	46	52	58	66	70
10	40	50	60	66	70	76
11	38	46	56	62	68	74
12	38	46	56	62	68	74
13	40	48	56	64	68	74
14	42	50	60	66	74	80
15	40	48	56	62	68	74
16	40	50	58	66	70	76

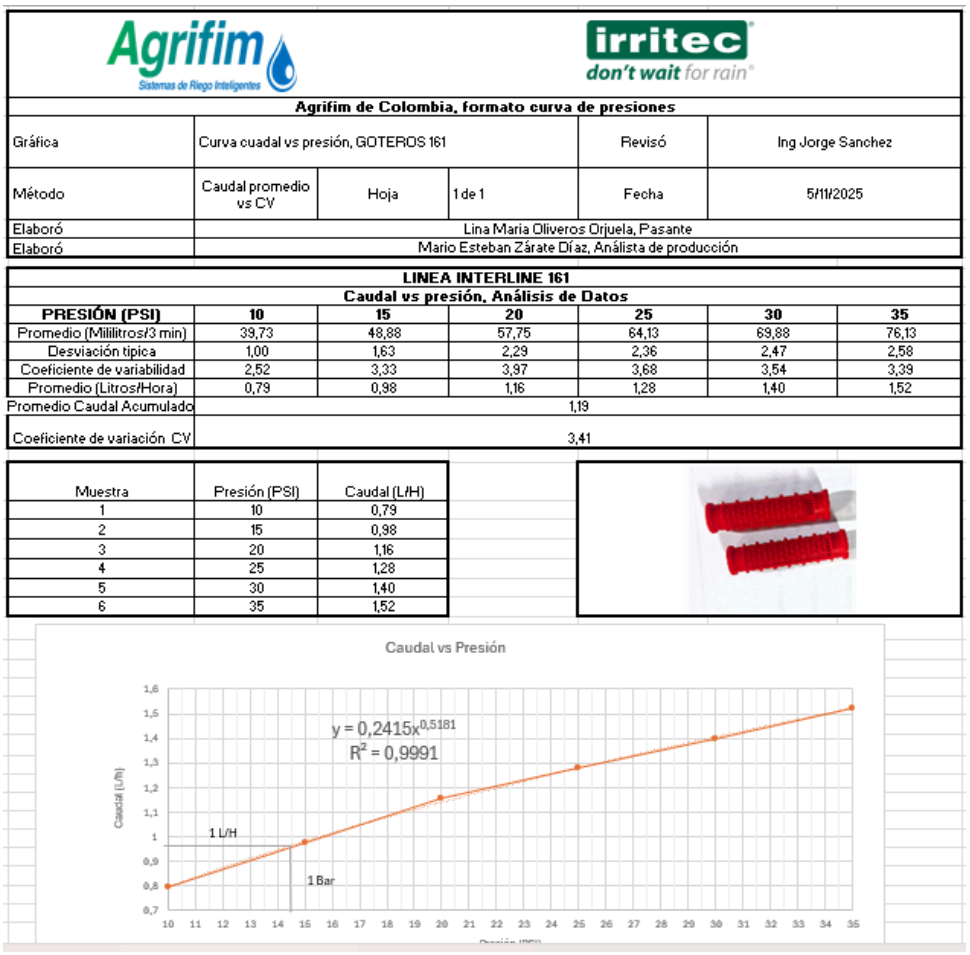
Nota. Formato actualizado registrado a partir de datos suministrados por la empresa, 2025.

En la siguiente sección se tiene la ficha que se entrega bien sea al cliente cuando lo requiere para ver el comportamiento de los goteros en el cultivo o al departamento de gerencia para dar seguimiento a la producción. Esta ficha tiene en su encabezado el logo de la empresa, nombre de la empresa y título de la ficha, nombre de la gráfica, la persona encargada de revisar y aprobar, método, número de hoja, fecha y nombre de las personas encargadas de elaborar la ficha.

Después de esto se tiene el caudal promedio para cada presión en mililitros por 3 minutos, desviación estándar, coeficiente de variabilidad, caudal promedio para cada presión el litros por hora, caudal promedio acumulado y coeficiente de variación acumulado. Por último se muestra la gráfica de la curva caudal vs presión promedio como se puede ver en la Figura 21.

Figura 21

Ficha con gráfica caudal vs presión.



Agrifim de Colombia, formato curva de presiones

Gráfica	Curva cuadal vs presión, GOTEROS 161			Revisó	Ing Jorge Sanchez
Método	Caudal promedio vs CV	Hoja	1 de 1	Fecha	5/11/2025
Elaboró	Lina Maria Oliveros Orjuela, Pasante				
Elaboró	Mario Esteban Zárate Díaz, Análista de producción				

LINEA INTERLINE 161
Caudal vs presión, Análisis de Datos

PRESIÓN (PSI)	10	15	20	25	30	35
Promedio (Mililitros/3 min)	39,73	48,88	57,75	64,13	69,88	76,13
Desviación tipica	1,00	1,63	2,29	2,36	2,47	2,58
Coeficiente de variabilidad	2,52	3,33	3,97	3,68	3,54	3,39
Promedio (Litros/Hora)	0,79	0,98	1,16	1,28	1,40	1,52
Promedio Caudal Acumulado	1,19					
Coeficiente de variación CV	3,41					

Muestra	Presión (PSI)	Caudal (L/H)
1	10	0,79
2	15	0,98
3	20	1,16
4	25	1,28
5	30	1,40
6	35	1,52

Nota. Ficha como parte del formato actualizado registrado a partir de datos suministrados por la empresa, 2025.

Como las pruebas se realizan de forma manual se propone adquirir un banco de pruebas automático como se puede ver en la Figura 22 para realizar las pruebas de caudal vs presión permitiendo estandarizar, automatizar y asegurar la confiabilidad de los resultados de calidad en la línea de goteo Interline 161. El proceso manual depende en gran medida de la intervención del operario al momento de tomar los tiempos con el cronómetro, la toma de datos, la conversión de unidades y el cálculo estadístico, lo que incrementa la probabilidad de errores humanos, reprocesos y variabilidad en los resultados. Un banco de pruebas automatizado elimina estas fuentes de error al integrar control preciso de presión, medición directa del volumen mediante

básculas de alta resolución y cálculo automático de indicadores clave como caudal promedio, desviación estándar y coeficiente de variación, garantizando resultados repetibles y comparables entre turnos y lotes de producción.

Adicionalmente, este tipo de banco de pruebas reduce significativamente los tiempos de operación y análisis, ya que permite evaluar múltiples goteros de manera simultánea y obtener todos los resultados necesarios al finalizar cada ensayo, incluyendo la curva presión vs caudal. Esto libera tiempo del personal de calidad para actividades de mayor valor agregado, mejora la trazabilidad de la información y facilita la toma de decisiones oportunas frente a desviaciones del proceso. Asimismo, el uso de un sistema digital con registro automático de datos fortalece el control documental, permite el almacenamiento histórico de resultados y mejora la comunicación entre calidad, producción y gerencia. En conjunto, la implementación del banco de pruebas automático contribuye directamente al aseguramiento de la calidad del producto, al cumplimiento de las especificaciones técnicas y a la mejora continua del proceso productivo.

El banco de pruebas automático ToronDripBench es un equipo especializado para la evaluación completa de emisores de riego por goteo y tuberías relacionadas, diseñado para automatizar ensayos que hoy se realizan de forma manual y que son críticos para la calidad del producto. Este sistema es capaz de ejecutar múltiples pruebas sin intervención continua del operario, incluyendo resistencia hidrostática a presión ambiente y elevada, uniformidad de caudal, análisis de las características de presión vs caudal, pruebas de fuga y ensayos de incremento o disminución de presión según estándares ISO 9260 y 9261, lo cual permite cubrir las necesidades de control de calidad de la línea de goteo Interline 161 de forma estandarizada y repetible.

Técnicamente, el equipo integra un controlador PLC programable con una PC superior, que coordina la ejecución de pruebas y la recolección precisa de datos, con presión ajustable desde 0 hasta 1000 kPa y una resolución de presión de 1 kPa, lo que es suficiente para ensayar emisores diseñados alrededor de 1 bar (~100 kPa) y superiores sin perder precisión. El control de presión se realiza mediante un transmisor de alta precisión combinado con regulación PID de 12 bits que mantiene gradientes de presión menores a 1 kPa, garantizando estabilidad y repetibilidad en cada condición de prueba.

En cuanto a la captura de datos, el banco cuenta con 5 estaciones de prueba que soportan hasta 25 emisores simultáneos, utilizando módulos de pesaje inalámbricos de alta precisión

(resolución 0,1 g) para medir el volumen de agua de cada gotero con una precisión ≤ 0,5 % del rango completo. Los datos se sincronizan con el sistema y se registran con una precisión de tiempo de ± 0,1 s, lo que permite obtener mediciones de caudal en rango típicos de emisores (0,2 – 7,50 l/h) con alta fidelidad y consistencia.

El software integrado analiza automáticamente cada prueba para calcular caudal promedio, desviación estándar, coeficiente de variación, desviación respecto al caudal nominal, curva de presión vs caudal y estado de flujo, mostrando y almacenando estas curvas clave al finalizar cada ensayo. Además, estos datos pueden exportarse en formatos PDF o Excel, generando automáticamente informes de pruebas detallados que hoy requerirían horas de procesamiento manual.

Frente al proceso manual actual donde se requiere cronometrar, registrar volúmenes en mL, convertir unidades y calcular estadísticas mientras se realizan múltiples presiones, este equipo reduce drásticamente el tiempo de operación, elimina errores por transcripción, asegura uniformidad en la ejecución de ensayos y proporciona trazabilidad histórica de los resultados que es esencial para la toma de decisiones y la mejora continua de la calidad. En conjunto, la automatización del banco de pruebas representa un avance técnico significativo al proporcionar datos confiables, repetibles y directamente exportables, apoyando los mecanismos de control de calidad y fortaleciendo el cumplimiento de especificaciones técnicas en la línea de riego Interline 161.

4.4. NORMA ISO 9261:2004

ISO son las siglas de la Organización Internacional de Normalización la cual se encarga de crear y publicar normas internacionales con los parámetros o especificaciones que son necesarios para que las empresas aseguren la eficiencia, seguridad y calidad de los diferentes productos o servicios que ofertan.

La empresa se acoge a la norma ISO 9261:2004 donde establece lo siguiente:

> Los requisitos mecánicos y funcionales para emisores y tuberías de riego agrícola, y, cuando corresponda, sus accesorios, y proporciona métodos para comprobar la conformidad con dichos requisitos. También especifica los datos que debe proporcionar el fabricante para permitir una información, instalación y operación correctas en el campo. (ISO, 2004, p 1)

Esta norma es aplicable a emisores de recurso hídrico, tuberías emisoras y de goteo, mangueras, cintas, tuberías las cuales tienen las unidades emisoras como parte integral de las mismas, emisores y unidades emisoras sin y con regulación de la presión con la que fluye el recurso, productos con caudales $\leq$ 24 L/H por salida y accesorios destinados a la conexión de tuberías. La empresa produce y distribuye la mayoría de estas aplicaciones por lo que esta norma es la que utilizan para asegurar la calidad de sus productos.

La línea de goteo interline 161 según la norma se clasifica como reutilizable, su tipo de regulación de presión es no regulado, su tipo de operación a baja presión es regular, el tipo de conexión del emisor a la tubería es integrado en la tubería y en cuanto al tipo de emisor de múltiples salidas no aplica ya que el emisor cuenta con una única salida.

El nombre del producto se refiere la una tubería con goteros de 16 milímetros de diámetro y caudal de 1 litro por hora (161) integrados, dependiendo de la distancia entre goteros según el requerimiento del cliente se hace la anotación después del 161, por ejemplo si el cliente quiere que la distancia entre los goteros sea de 15 mm entonces el nombre de la tubería es: Línea de goteo interline 161-015.

Este producto se embala en rollos de 500 mts vinipelado y con una etiqueta en cada rollo que contiene fecha y año de fabricación; referencia del producto con el diámetro nominal, caudal nominal y espaciamiento entre goteros en metros; número de la mezcla que fue utilizada para la fabricación; el número de rollo y la cantidad de metros que contiene el rollo.

La empresa siempre específica tanto el diámetro interior como el exterior de la línea y sus componentes, el espesor de pared, caudal nominal entre otros aspectos en el momento en que se hace el pedido para confirmar los requerimientos del cliente y a la hora de la entrega del mismo para dar seguridad de que se está entregando lo que se pidió inicialmente. Las materias primas utilizadas con este proceso cuentan con capacidad de resistencia a fertilizantes o productos químicos que el cliente desee agregar a su cultivo, de soportar las diferentes condiciones del clima y las presiones de operación que puede alcanzar determinadas por la empresa.

En las condiciones de ensayo o de las pruebas de calidad se puede evidenciar que se realizan a los goteros completos dentro del tramo de tubería seleccionado, el agua que se utiliza es limpia más no potable y recircula gracias a una motobomba para así disminuir el desperdicio de la misma. Todos los instrumentos de medición fueron calibrados recientemente para asegurar que todas las pruebas se realicen con un porcentaje de exactitud conforme.

Las pruebas de caudal se realizan a tramos de tubería con 16 o 20 goteros donde se busca que el coeficiente de variación no exceda el 5 % según lo establecido por la empresa y el 10 % según lo establecido por la norma. Este caudal se mide a 6 presiones diferentes: 10 psi, 15 psi, 20 psi, 25 psi, 30 psi y 35 psi permitiendo ver la curva de caudal vs presión. Esto también permite corroborar que la tubería no presenta fugas, deformaciones, cortes, entre otros.

El cliente a parte de los servicionales adicionales que tiene como opción bien sea instalación o mantenimiento, puede solicitar asesoría y cualquier tipo de información relacionada al producto que se le entrega, como tipo de emisor y tubería, caudal nominal, rango de presiones a las que se puede someter el producto, espaciamiento entre cada gotero, instrucciones de instalación y operación, y las limitaciones de sus uso.

4.5. SIMULACIÓN

El análisis de datos en una organización es importante puesto que permite conocer el estado de los procesos y de la compañía en general, saber tanto si existen fallas en los planteamientos actuales que tiene la empresa como si es necesario realizar algún tipo de mejoras para situaciones futuras. Es por esto que se realizó documento de Excel con diferentes modelos de análisis de datos basados en regresiones que busca analizar los datos históricos que tienen Agrifim de Colombia S.A.S. con el fin de plantear las posibles situaciones futuras que se pueden presentar. El formato de excel se entrega totalmente formulado permitiendo que solo sea necesario tener los datos para suministrarlos en el archivo.

- **Serie de tiempo: Suavización exponencial**

Se analizó la longitud de rollo/producción durante el periodo evaluado con el fin de identificar el comportamiento temporal de la producción y medir la estabilidad del proceso. Esta variable refleja directamente la continuidad operativa y la eficiencia de la línea de extrusión. Se aplicó un modelo de suavización exponencial simple con un factor de suavización $\alpha = 0.2$, que permitió dar mayor peso a los valores recientes sin perder la tendencia general del proceso. Los indicadores de error obtenidos fueron: error medio (ME) de 0.23 y error medio absoluto (MAE) de 35.9.

El análisis mostró una tendencia levemente creciente en la longitud de rollo, lo que sugiere una mejora progresiva en la operación. Se observaron fluctuaciones moderadas en ciertos

periodos, asociadas a detenciones o variaciones en el desempeño del equipo, pero sin rupturas significativas del patrón productivo. Esto muestra que el proceso mantiene una constancia operacional tolerable y sirve a la par, para predecir las cantidades de producción futuras a la par que detectar variaciones inesperadas derivadas por paradas de máquina factores externos.

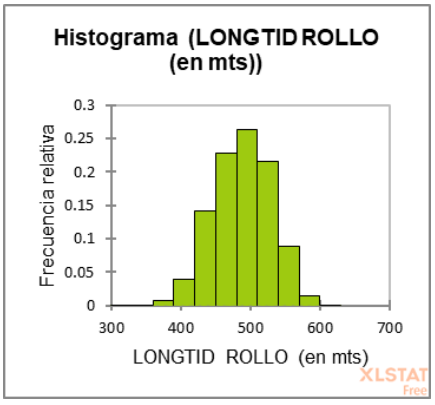
- **Análisis de distribución de datos: Histogramas**

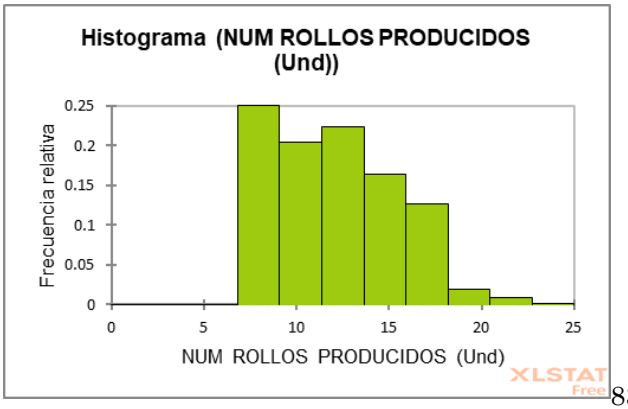
Se realizó el análisis de distribución mediante la metodología de histogramas para observar la distribución y variabilidad de las variables del proceso de producción de la línea de goteo. El propósito fue determinar la estabilidad de la operación y la consistencia de los datos registrados durante el periodo analizado. Se construyeron los histogramas para las variables del proceso de producción: longitud del rollo, número de rollos producidos, materia prima usada, velocidad de producción, cantidad de goteros, defectos contados y tiempo de extrusora parada. Se calcularon medidas de tendencia central y dispersión para identificar patrones o anomalías en los datos como se puede ver en la Figura 23.

Figura 23

Histogramas para análisis de distribución de datos.

Variable	Observaciones	Obs. con datos perdidos	Obs. sin datos perdidos	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típica
LONGTID ROLLO (en mts)	1000	0	1000	356.600	627.200	488.085	41.204
NUM ROLLOS PRODUCIDOS (Und)	1000	0	1000	8.000	24.000	12.183	3.186
MATERIA PRIMA USADA (Kg)	1000	0	1000	190.810	1128.750	535.749	179.892
VELOCIDAD PRODUCCIÓN (Mts/Horas)	1000	0	1000	32.400	84.900	63.570	11.042
CANTIDAD DE GOTEROS (Und)	1000	0	1000	0.000	75250.000	28205.665	15972.098
DEFECTOS CONTADOS	1000	0	1000	0.000	15.000	1.406	1.829
TIEMPO EXTRUSORA PARADA (Min	1000	0	1000	0.000	45.000	7.327	10.116





Nota. El archivo de Excel formulado se puede modificar según las necesidades de la empresa, 2025.

Como resultados se obtuvo que la longitud del rollo (μ=488.085 ± 41.204) presenta un comportamiento estable, con leve concentración en torno a la media, indicando uniformidad en la calibración del proceso; el número de rollos producidos (μ=12.183 ± σ=3.186) presenta una ligera dispersión que podría asociarse a variaciones por turno o tipo de producto; la materia prima usada (μ=535.749 ± σ=179.892) muestra una alta variabilidad, posiblemente influenciada por los cambios de referencia o ajustes en los parámetros de máquina; la velocidad de producción (μ=63.570 ± σ=11.042) muestra una distribución moderadamente homogénea, reflejando consistencia operativa; la cantidad de goteros (μ=28,205 ± σ=15,972) presenta alta dispersión, reflejando diferencias de distanciamiento debido al cambio constante de referencias de producción; los defectos contados (μ=1.406 ± σ=1.829) en la mayoría de los registros se concentran en valores bajos, lo que indica buen control de calidad; el tiempo de extrusora parada (μ=7.327 ± σ=10.116) muestra que la mayor parte de paradas son cortas, aunque existen eventos atípicos por mantenimientos o ajustes de parámetros.

Los histogramas evidencian un buen desempeño general del proceso, con variables que mantienen una tendencia normal y controlada. Sin embargo, la amplia variación en la materia prima usada y en la cantidad de goteros sugiere la necesidad de mayor estandarización en los parámetros operativos y control sobre las condiciones de producción para optimizar la eficiencia y reducir el desperdicio, dado que en algunas ocasiones como es evidente en planta, la falta de programación y planeación da cabida a improvisaciones que derivan en los resultados evidenciados.

- **Cadena Markoviana**

Se desea conocer el comportamiento entre la longitud de los rollos producidos y el número de defectos registrados, con base en los datos registrados en el histórico del año 2023 y 2024 con el fin de identificar la estabilidad y el comportamiento probabilístico del proceso productivo con respecto a las variables enunciadas a lo largo del tiempo. Se aplicó el modelo de cadenas Markovianas como se puede ver en la Figura 24, donde cada estado representa el

número de defectos detectados, y las transiciones reflejan cómo varía la longitud de los rollos entre un estado y otro. Se construyó la matriz de transición a partir de los datos históricos, y posteriormente se determinó el estado estable (P5), en el cual las probabilidades permanecen constantes.

Figura 24

Cadenas markovianas.

P1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Total general
0	0.3339	0.3398	0.1640	0.0678	0.0514	0.0117	0.0055	-	-	0.0090	0.0059	0.0051	0.0030	-	-	0.0029	1.0000
1	0.3322	0.2824	0.1855	0.1288	0.0312	0.0135	-	0.0037	0.0034	0.0033	-	0.0034	0.0094	0.0032	-	-	1.0000
2	0.3346	0.3069	0.1761	0.1053	0.0595	0.0177	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.0000
3	0.3645	0.2957	0.2156	0.0990	0.0082	-	0.0079	-	-	-	-	-	0.0092	-	-	-	1.0000
4	0.3653	0.2912	0.0769	0.1683	0.0233	0.0259	0.0219	-	-	-	-	-	-	-	0.0272	-	1.0000
5	0.7817	0.0672	-	-	0.0724	0.0788	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.0000
6	0.4985	0.2578	0.2437	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.0000
7	-	1.0000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.0000
8	1.0000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.0000
9	0.2662	0.7338	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.0000
10	-	0.5315	0.4685	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.0000
11	0.3648	0.3377	-	0.2974	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.0000
12	0.4110	0.3778	-	0.2113	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.0000
13	-	1.0000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.0000
14	1.0000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.0000
15	-	-	-	1.0000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.0000
Total genera	0.3442	0.3086	0.1703	0.1008	0.0401	0.0133	0.0036	0.0011	0.0010	0.0041	0.0020	0.0028	0.0049	0.0010	0.0011	0.0010	1.0000

P5	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
0	0.3443	0.3087	0.1703	0.1006	0.0402	0.0133	0.0036	0.0011	0.0010	0.0041	0.0020	0.0028	0.0049	0.0010	0.0011	0.0010	1.0000
1	0.3443	0.3087	0.1703	0.1006	0.0402	0.0133	0.0036	0.0011	0.0010	0.0041	0.0020	0.0028	0.0049	0.0010	0.0011	0.0010	1.0000
2	0.3443	0.3087	0.1703	0.1006	0.0402	0.0133	0.0036	0.0011	0.0010	0.0041	0.0020	0.0028	0.0049	0.0010	0.0011	0.0010	1.0000
3	0.3443	0.3087	0.1703	0.1006	0.0402	0.0133	0.0036	0.0011	0.0010	0.0041	0.0020	0.0028	0.0049	0.0010	0.0011	0.0010	1.0000
4	0.3443	0.3087	0.1703	0.1006	0.0402	0.0133	0.0036	0.0011	0.0010	0.0041	0.0020	0.0028	0.0049	0.0010	0.0011	0.0010	1.0000
5	0.3443	0.3087	0.1703	0.1006	0.0402	0.0133	0.0036	0.0011	0.0010	0.0041	0.0020	0.0028	0.0049	0.0010	0.0011	0.0010	1.0000
6	0.3443	0.3087	0.1703	0.1006	0.0402	0.0133	0.0036	0.0011	0.0010	0.0041	0.0020	0.0028	0.0049	0.0010	0.0011	0.0010	1.0000
7	0.3443	0.3087	0.1703	0.1006	0.0402	0.0133	0.0036	0.0011	0.0010	0.0041	0.0020	0.0028	0.0049	0.0010	0.0011	0.0010	1.0000
8	0.3443	0.3087	0.1703	0.1006	0.0402	0.0133	0.0036	0.0011	0.0010	0.0041	0.0020	0.0028	0.0049	0.0010	0.0011	0.0010	1.0000
9	0.3443	0.3087	0.1703	0.1006	0.0402	0.0133	0.0036	0.0011	0.0010	0.0041	0.0020	0.0028	0.0049	0.0010	0.0011	0.0010	1.0000
10	0.3443	0.3087	0.1703	0.1006	0.0402	0.0133	0.0036	0.0011	0.0010	0.0041	0.0020	0.0028	0.0049	0.0010	0.0011	0.0010	1.0000
11	0.3443	0.3087	0.1703	0.1006	0.0402	0.0133	0.0036	0.0011	0.0010	0.0041	0.0020	0.0028	0.0049	0.0010	0.0011	0.0010	1.0000
12	0.3443	0.3087	0.1703	0.1006	0.0402	0.0133	0.0036	0.0011	0.0010	0.0041	0.0020	0.0028	0.0049	0.0010	0.0011	0.0010	1.0000
13	0.3443	0.3087	0.1703	0.1006	0.0402	0.0133	0.0036	0.0011	0.0010	0.0041	0.0020	0.0028	0.0049	0.0010	0.0011	0.0010	1.0000
14	0.3443	0.3087	0.1703	0.1006	0.0402	0.0133	0.0036	0.0011	0.0010	0.0041	0.0020	0.0028	0.0049	0.0010	0.0011	0.0010	1.0000
15	0.3443	0.3087	0.1703	0.1006	0.0402	0.0133	0.0036	0.0011	0.0010	0.0041	0.0020	0.0028	0.0049	0.0010	0.0011	0.0010	1.0000

Nota. El archivo de Excel formulado se puede modificar según las necesidades de la empresa, 2025.

En la matriz inicial (P1) se observó una alta dispersión de probabilidades, indicando que el sistema presentaba variabilidad en la relación entre defectos y longitud. Sin embargo, al alcanzar la iteración P5, las probabilidades se estabilizan alrededor de valores constantes: 0.3443 para el estado 0,0.3087 para el estado 1, 0.1703 para el estado 2, 0.1006 % para el estado 3 y 0.0402 para el estado 4 mientras que los demás estados tienen probabilidades inferiores al 2 %.

El sistema alcanza una condición estable, lo que sugiere que el proceso tiende a mantener un nivel bajo y controlado de defectos, sin depender de manera significativa de la longitud del rollo. Esto evidencia una consistencia en la calidad del proceso productivo, donde las

fluctuaciones iniciales se reducen y el comportamiento de la producción se vuelve predecible y confiable.

Regresión

Se tiene como propósito evaluar cómo los factores operativos (X) como lo son turnos de trabajo, tipo de tubería y espaciamiento de goteros influyen sobre los principales resultados productivos en la fabricación de la línea de goteo. Las variables dependientes (Y) consideradas fueron: longitud del rollo, número de rollos producidos, materia prima usada, velocidad de producción, cantidad de goteros, defectos contados y tiempo de parada de la extrusora. Se aplicó un modelo de regresión lineal múltiple como se puede ver en la Figura 24, el cual permite estudiar la relación entre varias variables al mismo tiempo. En este caso, se buscó predecir el comportamiento de las variables productivas a partir de las condiciones operativas.

Figura 25

Regresión lineal.

	LONGTID ROLLO (en mts)	NUM ROLLOS PRODUCIDOS (Und)	MATERIA PRIMA USADA (Kg)	VELOCIDAD PRODUCCIÓN (Mts/Horas)	CANTIDAD DE GOTEROS (Und)	DEFECTOS CONTADOS	TIEMPO EXTRUSORA PARADA (Min)
B0	-5206.63	8.93	-1167.60	113.16	-7471.49	0.24	15.16
T.MAÑANA	6983.51	23.70	2670.26	89.66	43242.73	2.38	15.01
T.TARDE	6955.51	23.01	2640.11	22.03	8980.02	3.31	14.63
TUBERÍA EN POLI	0.66	-0.19	-12.46	-0.37	-371.55	-0.11	-1.25
GOTEROS A 15 CM	-37.29	0.10	-27.43	0.85	39741.62	0.32	-1.11
GOTEROS A 20 CM	-41.63	-0.14	-49.11	0.01	28969.09	0.11	-0.43
X'Y	488085.1	12183	535749.26	63570.2	28205665	1406	7327
	266179.7	6611	291176.7	34543.9	15251289	772	3966
	221905.4	5572	244572.56	29026.3	12954376	634	3361
	223688.7	5534	242283.5	29027.2	12839345	617	3048
	180504.8	4593	201879.87	23907.4	14821610	581	2549
	221577.8	5575	240031.13	29227.1	13384055	621	3467
B0	-5206.631235	8.926151705	-1167.603119	113.1605253	-7471.491285	0.242603675	15.16306844
T.MAÑANA	6983.50967	23.6963046	2670.260684	89.65526411	43242.73365	2.384429624	15.01185278
T.TARDE	6955.506996	23.00550579	2640.106227	22.027004	8980.018532	3.309330609	14.62531759
TUBERÍA EN POLI	0.655793455	-0.189034004	-12.45609599	-0.373866968	-371.5453701	-0.107705944	-1.246719863
GOTEROS A 15 CM	-37.29229768	0.102966135	-27.42765306	0.853386525	39741.62358	0.321327238	-1.108971856
GOTEROS A 20 CM	-41.63142005	-0.144545267	-49.1139513	0.014906231	28969.08799	0.108543062	-0.433780557

	B0	MAÑANA	TARDE	TUBERIA POLI	GOTEROS A 15	GOTEROS A 20
B0	1000	546	454	458	373	462
T.MAÑANA	546	546	0	242	206	250
T.TARDE	454	0	454	216	167	212
TUBERÍA EN POLI	458	242	216	458	170	213
GOTEROS A 15 CM	373	206	167	170	373	0
GOTEROS A 20 CM	462	250	212	213	0	462

	B0	MAÑANA	TARDE	TUBERIA POLI	GOTEROS A 15	GOTEROS A 20
B0	-1.17281E+13	1.17281E+13	1.17281E+13	-0.000486886	-0.00112477	-0.001293875
T.MAÑANA	1.17281E+13	-1.17281E+13	-1.17281E+13	-0.001286628	-0.004945797	-0.004747525
T.TARDE	1.17281E+13	-1.17281E+13	-1.17281E+13	-0.001417708	-0.004918075	-0.004764158
TUBERÍA EN POLI	-0.00043768	-0.001335833	-0.001466913	0.00403281	-5.80899E-06	-2.56196E-05
GOTEROS A 15 CM	-0.004038363	-0.002032203	-0.002004481	-5.80899E-06	0.008741767	0.006060524
GOTEROS A 20 CM	-0.003319433	-0.002721967	-0.0027386	-2.56196E-05	0.006060524	0.008225347

Estadísticas de la regresión	
Coeficiente de correlación múltiple	0.361322302
Coeficiente de determinación R^2	0.130553806
R^2 ajustado	0.125048494
Error típico	38.49727499
Observaciones	1000

ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	*Suma de cuadrados*	*Promedio de los cuadrad*	*F*	*Valor crítico de F*
Regresión	6	221426.647	36904.44121	37.35166056	5.62955E-41
Residuos	995	1474629.98	1482.040182		
Total	1001	1696056.63			

	Coeficientes	*Error típico*	*Estadístico t*	*Probabilidad*	*Inferior 95%*	*Superior 95%*	*nferior 95.0%*	*uperior 95.0%*
Intercepción	520.3499383	3.37244344	154.2946374	519.5920487	513.7320204	526.967856	513.73202	526.967856
MAÑANA	69.83	2.43529884	65535	0.3051101	-3.321658569	6.82161891	-3.36285192	6.65416084
TARDE	69.55	2.44656902	0.52086912	0.60257384	-3.526684984	6.07536949	-3.52668498	6.07536949
TUBERÍA EN POLI	0.655793455	2.44474678	0.268245964	0.788565598	-4.141657897	5.45324481	-4.1416579	5.45324481
GOTEROS A 15 CM	-37.29229768	3.59939587	-10.36071024	5.87331E-24	-44.35557588	-30.2290195	-44.3555759	-30.2290195
GOTEROS A 20 CM	-41.63142005	3.49146018	-11.92378488	9.863E-31	-48.48289053	-34.7799496	-48.4828905	-34.7799496

Nota. El archivo de Excel formulado se puede modificar según las necesidades de la empresa, 2025.

Como resultado se obtuvo que el turno de la mañana presentó un efecto positivo sobre la longitud de rollo (+6383.51 m) y la velocidad de producción (+83.66 m/h), lo que refleja un mayor rendimiento operativo durante este periodo. En contraste, el turno de la tarde mostró valores más altos en consumo de materia prima (+2640.11 kg) y número de rollos (+23.01 und), lo que sugiere un ritmo de trabajo más intensivo, pero con menor eficiencia energética.

El uso de tubería en polietileno aportó positivamente a la velocidad (+83.65 m/h) y a la cantidad de goteros ensamblados (+43422 und), evidenciando una mayor eficiencia con este material. Los goteros a 15 cm mostraron coeficientes negativos moderados sobre la longitud del rollo (−37.29 m) y la cantidad de goteros (−371 und), mientras que los goteros a 20 cm reflejaron una reducción de −41.63 m en longitud promedio, indicando que la densidad del gotero afecta la estabilidad del proceso. En términos de control de calidad, los defectos contados tendieron a ser menores en las configuraciones con tubería en polietileno y en el turno de la mañana, con coeficientes de +0.24 a −0.32 en comparación con otras condiciones.

El modelo evidencia que el turno y el tipo de tubería son los factores con mayor influencia sobre el rendimiento de la línea de goteo. Las variaciones de espaciamiento entre goteros tienen impacto directo sobre la longitud y cantidad de producción, por lo que deben calibrarse cuidadosamente. La mayor productividad se alcanza con el turno de la mañana y con tubería en polietileno, condiciones que reducen tiempos muertos y defectos. La regresión lineal permitió cuantificar estos efectos de forma objetiva, sirviendo como base para optimizar la asignación de recursos y las condiciones operativas en la planta.

Doe Anova

Se desea conocer si los factores operativos en la producción de líneas de goteo, (turno de trabajo, tipo de tubería y distancia entre goteros) generan efectos significativos sobre la proporción y la cantidad de materia prima usada (Kg) utilizada durante el proceso. Este análisis forma parte del control de eficiencia del proceso, buscando reducir el consumo de insumo plástico sin comprometer la calidad del producto final. Para el presente documento se tomará como variable dependiente para la modelación la cantidad de materia prima, no obstante, en la base de datos en el documento d excel se encuentran los demás.

Como se puede ver en la Figura 25 se empleó un Diseño de Experimentos (DOE) con análisis de varianza de un modelo lineal general, donde la variable de respuesta fue la materia

prima usada, y los factores fueron: T. MAÑANA, T. TARDE, TUBERÍA EN POLI, GOTEROS A 15 cm, GOTEROS A 20 cm. El modelo ANOVA evalúa si las medias de consumo de materia prima difieren significativamente entre combinaciones de estos factores. Se utilizó una regresión con efectos fijos y una prueba F global para contrastar la hipótesis nula de igualdad de medias.

Como resultado se obtuvo que el modelo presenta un valor $F = 2.786$ con $p = 0.026$, lo que indica significancia estadística al 95% de confianza. Entre los factores, el más influyente fue la distancia entre goteros a 20 cm, con un $p = 0.003$, evidenciando un efecto negativo sobre el consumo de materia prima (reducción del uso de insumo). Los turnos de trabajo (mañana y tarde) no mostraron diferencias significativas, sugiriendo una operación estable entre jornadas. El R^2 ajustado es de 0.007, lo que indica que aunque el modelo explica una porción pequeña de la variabilidad total, las diferencias detectadas son estadísticamente relevantes para el control del proceso. Y los coeficientes estandarizados confirman que los goteros a 20 cm reducen más el consumo que los a 15 cm, favoreciendo la eficiencia del proceso.

El análisis DOE-ANOVA permitió identificar que la configuración de goteros a 20 cm es el principal factor asociado con la disminución del uso de materia prima en el proceso de extrusión. Aunque los factores de turno y tipo de tubería no fueron significativos, se observa que el ajuste en la distancia de los goteros puede ser una estrategia técnica viable para optimizar el rendimiento de materiales y reducir costos operativos sin afectar la producción.

Figura 26

Regresión tipo Anova

Regresión de la variable MATERIA PRIMA USADA (Kg):

Estadísticos de bondad del ajuste (MATERIA PRIMA USADA (Kg)):

Observaciones	1000
Suma de los pesos	1000
GL	995
R²	0.011
R² ajustado	0.007
MEC	32131.443
RMSE	179.252
MAPE	29.978
DW	1.889
Cp	5.000
AIC	10382.578
AICC	10382.638
SBC	10407.117
PC	0.999

Análisis de varianza (MATERIA PRIMA USADA (Kg)):

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Pr > F	p-values significatio n codes
Modelo	4.000	358068.982	89517.245	2.786	**0.026**	*
Error	995.000	31970786.092	32131.443			
Total corregido	999.000	32328855.073				

Calculado contra el modelo Y=Media(Y)

*Signification codes: 0 < *** < 0.001 < ** < 0.01 < * < 0.05 < . < 0.1 < ' < 1*

Parámetros del modelo (MATERIA PRIMA USADA (Kg)):

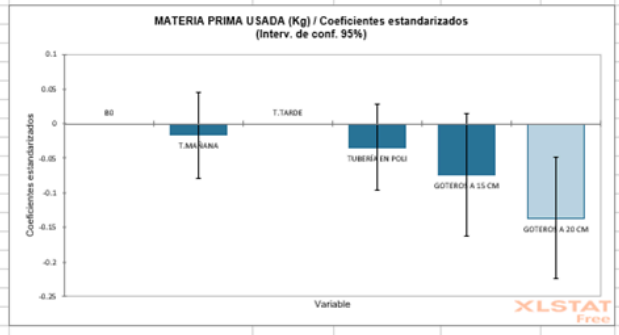
Fuente	Valor	Error estándar	t	Pr > |t|	Límite inferior (95%)	Límite superior (95%)	p-values significatio n codes
Intercepción	577.656	16.193	35.674	**<0.0001**	545.880	609.432	***
B0	0.000	0.000					
T.MAÑANA	-6.008	11.392	-0.527	0.598	-28.363	16.347	
T.TARDE	0.000	0.000					
TUBERÍA EN POLI	-12.456	11.383	-1.094	0.274	-34.794	9.882	
GOTEROS A 15 CM	-27.428	16.760	-1.637	0.102	-60.316	5.461	
GOTEROS A 20 CM	-43.114	16.257	-3.021	**0.003**	-81.016	-17.212	**

*Signification codes: 0 < *** < 0.001 < ** < 0.01 < * < 0.05 < . < 0.1 < ' < 1*

Coeficientes estandarizados (MATERIA PRIMA USADA (Kg)):

Fuente	Valor	Error estándar	t	Pr > |t|	Límite inferior (95%)	Límite superior (95%)	p-values significatio n codes
B0	0.000	0.000					
T.MAÑANA	-0.017	0.032	-0.527	0.598	-0.079	0.045	
T.TARDE	0.000	0.000					
TUBERÍA EN POLI	-0.035	0.032	-1.094	0.274	-0.096	0.027	
GOTEROS A 15 CM	-0.074	0.045	-1.637	0.102	-0.162	0.015	
GOTEROS A 20 CM	-0.136	0.045	-3.021	**0.003**	-0.225	-0.048	**

*Signification codes: 0 < *** < 0.001 < ** < 0.01 < * < 0.05 < . < 0.1 < ' < 1*



Nota. El archivo de Excel formulado se puede modificar según las necesidades de la empresa, 2025.

4.6. IMPLEMENTACIÓN

La empresa cuenta con colaboradores que pertenecen a diferentes rangos de edad, hay empleados desde los 20 a los 40 años quienes llevan una cantidad de tiempo en la compañía no tan alta, también hay empleados desde los 41 a los 60 años que llevan en la empresa entre 15 o 20 años quienes ocupan el 75% del equipo. Esto demuestra que hay existen muchos procesos que se manejan de la misma forma desde hace muchos años, dando como resultado que la adaptación al cambio sea un proceso más demorado y complejo.

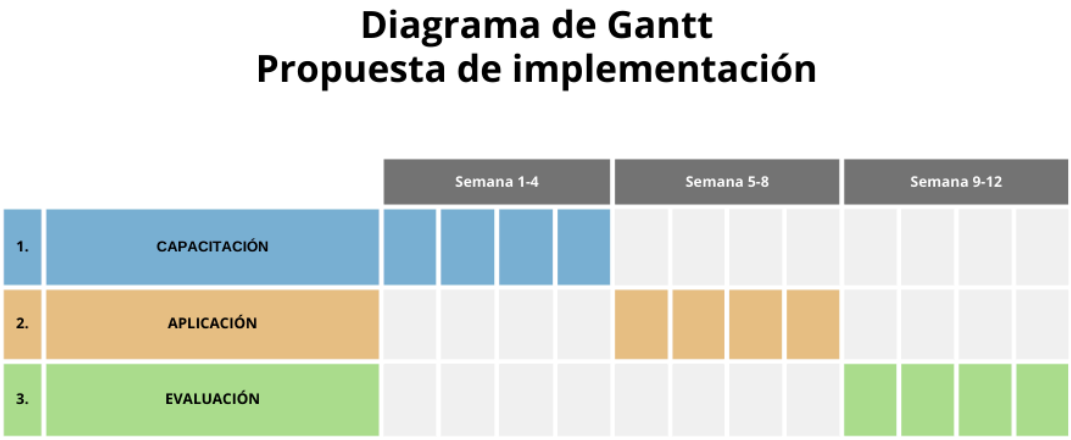
La empresa no puede parar su producción durante el tiempo de implementación de los diferentes formatos para el registro de los datos en las diferentes áreas y del manejo de la nueva máquina en caso de ser adquirida, por lo que se propone un lapso de 1 a 3 meses integrando la implementación con el desarrollo de las actividades habituales, donde se brinden capacitaciones a los empleados durante el primer mes dándoles a conocer los cambios que se van a realizar, como se van a hacer, el objetivo y la importancia de esto con el fin de permitirles entender poco a poco el proceso y realizar las dudas que esto les genere.

El segundo mes se dedicaría a la aplicación de la teoría que se les brindó a los empleados en las capacitaciones generando una familiarización práctica con los procesos y en el tercer mes se evaluaría el desempeño tanto de los empleados teniendo en cuenta cómo se desenvuelven con los nuevos procesos como de las máquinas observando si se generó una mejora en la eficiencia y producción de la línea de goteo interline 161. Es importante resaltar que los formatos se pueden utilizar para los diferentes productos que maneja la empresa, aunque están diseñados para un producto en específico se les puede hacer las modificaciones necesarias.

Inicialmente la implementación, prueba piloto y evaluación se habían planteado para ser desarrolladas en cuatro semanas, sin embargo, al ser este documento una propuesta de la empresa es libre de decidir si desea implementarla o no, por lo que se decidió utilizar las cuatro semanas planteadas en el cronograma del proyecto para plantear un cronograma de implementación con los tres meses que se consideran aptos para la aplicación como se puede ver en en la Figura 27.

Figura 27

Cronograma propuesta de implementación.



Nota. Diagrama desarrollado según el tiempo disponible de la empresa, 2025.

CONCLUSIONES

El desarrollo del presente trabajo permitió evidenciar que las principales limitaciones del proceso productivo de la línea de goteo Inter 161 no se originan únicamente en variables técnicas de maquinaria, sino en factores estructurales relacionados con la falta de estandarización, la ausencia de herramientas tecnológicas de control y la deficiente gestión de la información. Se identificaron como puntos críticos la inexistencia de procedimientos formalmente documentados, la carencia de indicadores de desempeño en tiempo real y la falta de digitalización de los registros operativos y de calidad, los cuales afectan directamente la estabilidad del proceso y la toma de decisiones.

A partir del diagnóstico realizado, se determinó que muchas de las irregularidades dimensionales previamente registradas en la tubería y en el comportamiento del caudal no corresponden exclusivamente a fallas de proceso, sino a la forma en que se están ejecutando y registrando las pruebas de calidad. La ejecución manual de los controles, así como el cálculo no sistematizado de variables críticas, generan inconsistencias en los datos y dificultan la trazabilidad, lo que incrementa la percepción de variabilidad e inestabilidad del proceso productivo. A raíz de esto se decidió darle prelación a la implementación de los KPI previamente mencionados en el presente documento.

Así mismo, se evidenció que la integración entre los procesos de inyección y extrusión requiere una articulación más sólida no solo a nivel operativo, sino también en términos de información compartida y coordinación interdepartamental. En este sentido, la relación con el departamento de ventas se identificó como un punto clave que debe consolidarse como un elemento estratégico, ya que la planeación de la producción, la definición de especificaciones y los tiempos de entrega dependen directamente de la claridad y precisión en la comunicación de los requerimientos del cliente. Se comprendió que la optimización del proceso productivo también implica fortalecer los flujos de información entre áreas para garantizar coherencia entre demanda, capacidad instalada y cumplimiento de estándares técnicos.

Finalmente, se concluye que la adquisición de un banco de pruebas automático debe analizarse desde una perspectiva estratégica como una inversión y no como un gasto operativo. Las demoras en la ejecución de pruebas manuales, la dependencia del criterio individual y la limitación en la capacidad de análisis estadístico generan tiempos improductivos y riesgos de decisiones tardías. La automatización del sistema de pruebas no solo permitiría mayor precisión,

repetibilidad y trazabilidad, sino que contribuiría directamente a la reducción de reprocesos, a la mejora en la confiabilidad del producto y al fortalecimiento de la competitividad de la empresa en el sector agrícola.

RECOMENDACIONES

Se recomendará a la dirección y al departamento de producción formalizar y documentar los procedimientos operativos estandarizados para los procesos de inyección y extrusión, asegurando su socialización y capacitación periódica al personal. La estandarización permitirá reducir la variabilidad entre turnos, disminuir la dependencia del criterio empírico del operario y garantizar la repetibilidad técnica del proceso productivo.

Se sugiere implementar de manera progresiva un sistema de indicadores de desempeño (KPI) en tiempo real que permita monitorear variables críticas como eficiencia, calidad, disponibilidad y productividad. La adopción de herramientas digitales para el registro y análisis de datos facilitará la toma de decisiones basada en evidencia objetiva, fortalecerá el control estadístico del proceso y permitirá identificar oportunamente desviaciones o cuellos de botella.

Se propondrá fortalecer la articulación entre el departamento de producción y el departamento de ventas, estableciendo canales formales de comunicación para la planeación de la demanda, la definición de especificaciones técnicas y la programación de entregas. Esta integración permitirá alinear la capacidad instalada con los requerimientos del mercado, reduciendo reprocesos, ajustes de último momento y retrasos en los cronogramas de producción. Se recomienda evaluar y gestionar la adquisición de un banco de pruebas automático como parte de una estrategia de inversión en tecnología productiva.

Finalmente, se sugiere promover una cultura organizacional orientada a la mejora continua, donde la capacitación en control estadístico de procesos, el uso de TIC’s y la apropiación de los indicadores de gestión formen parte del desarrollo permanente del talento humano. La consolidación de esta cultura permitirá garantizar la sostenibilidad de las mejoras implementadas y asegurar que la optimización del proceso de la línea Interline 161 se mantenga en el tiempo como una ventaja competitiva para la organización.

BIBLIOGRAFÍA

Aldana Ramírez, D. (2006). Optimización de procesos.

Ávila, KY (2019). Optimización de la producción de fabricación de tapas de plástico en la empresa Asaplast EIRL, empleando la distribución de planta y SMED (Trabajo de investigación). Repositorio de la Universidad Privada del Norte. Recuperado de https://hdl.handle.net/11537/26340

Cabanillas Cabanillas, F. F. (2024, 23 agosto). Propuesta de mejora de la optimización del proceso productivo para mejorar el tiempo de entregas aplicando Lean Manufacturing en el sector plástico. http://hdl.handle.net/10757/683928

Cedeño, C. (2022, 30 agosto). Línea de producción: qué es, proceso, tipos y ejemplos de líneas de ensamblaje (en serie, industrial. . .). Cinco Noticias. https://www.cinconoticias.com/linea-de-produccion/

Chain, R. E. S. (2023, 7 marzo). Manual de calidad: Especificaciones y estructura | EAE. Retos En Supply Chain | Blog Sobre Supply Chain de EAE Business School Barcelona. https://retos-operaciones-logistica.eae.es/especificaciones-estructura-manual-de-calidad/

Chavarría Briceño , R. (2025). El indicador clave de desempeño (KPI) . Revista FAECO Sapiens, 8(2), 254–264. https://doi.org/10.48204/j.faeco.v8n2.a7755

Chiriboga Toledo, P. C. R. (2024). Propuesta de optimización de indicadores de productividad del proceso de inyección de elementos plásticos en la empresa Metacons de la ciudad de Cuenca. https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/29424

Client challenge. (s. f.). *https://es.scribd.com/document/389384022/Problemas-de-Calidad-y-Las-Causas-de-La-Variabilidad-de-Los-Procesos*

Dami. (2023, 29 mayo). Requisitos legales para un producto de calidad. INFOREGLAMENTOS. *https://inforeglamentos.com.mx/requisitos-legales-para-un-producto-de-calidad//*

De, B. Z. J. I., & De Valladolid Escuela de Ingenierías Industriales, U. (2014). Control de Calidad en la Producción Industrial. Universidad de Valladolid. http://uvadoc.uva.es/handle/10324/13153

Drip irrigation - Irritec Corporate. (2025, 14 octubre). Irritec Corporate. https://irritec.com/drip-irrigation/

Espín Álvarez, HA (2018). Optimización de proceso para la empresa de reciclaje Plásticos Navarrete de la ciudad de Latacunga; Hernán Alejandro, Espín Álavarez; Edwin Rafael, Jaramillo Camacho. Ecuador: Universidad Técnica de Cotopaxi

Estrella Quispe , A. F., Segura Núñez , G. P., Martínez Rosas , C. E., Sánchez Chila, A. Y., & Bravo López, E. B. (2023). Sistemas de Gestión de Indicadores Clave de Despeño (KPIS) en procesos industriales. Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, 7(4), 125-141. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i4.6853

Extrusión de vaca. (2024, 26 marzo). ¿Cómo mejorar la eficiencia de extrusión y la calidad de la extrusora de tornillo? - Cowin Extrusion. Extrusión de vaca. *https://www.cowinextrusion.com/es/how-to-improve-the-extruding-efficiency-and-quality-of-screw-extruder//*

EXXTreme Tape - Irritec Mexico. (2024, 5 septiembre). Irritec Mexico. https://irritec.mx/producto/riego-por-goteo/exxtreme-tape/

García, M., Quispe, C., & Ráez, L. (2003). Mejora continua de la calidad en los procesos. Industrial data, 6(1), 89-94.

Gómez, E. (2025, 6 mayo). Diseño de Experimentos (DOE): La ciencia de la optimización de procesos. *https://es.linkedin.com/pulse/dise%C3%B1o-de-experimentos-doe-la-ciencia-optimizaci%C3%B3n-procesos-g%C3%B3mez-zqose/*

Goteros tipo botón | Agrifim de Colombia S.A.S. (s. f.). https://www.agrifim.net/goteros-tipo-boton.html

Inicio | Agrifim de Colombia S.A.S. (s. f.). https://www.agrifim.net/

ISO 9261:2004. (s. f.). ISO. https://www.iso.org/es/contents/data/standard/02/84/28459.html?browse=tc

Montes, J. L. (2014). UF0476-Gestión de inventarios. Editorial Elearning, SL.

*Mora García, L. A. (2008, agosto). I*ndicadores de la gestión logística - 2da edición. Google Books. https://books.google.com.pe/books?id=ItzDDQAAQBAJ&printsec=copyright#v=onepage&q&f=false

OpenAI. (2026). ChatGPT (versión 16 de febrero) [Modelo de lenguaje extenso]. https://chat.openai.com

Roncancio, G. (2025, 2 abril). Indicadores de Gestión (KPI's): Tipos y Ejemplos. Pensemos. https://gestion.pensemos.com/indicadores-de-gestion-tipos-y-ejemplos

Sosa, J. V. G., Quijada, J. L., Ontiveros, M. Á. L., Montoya, P. P., & Hernández, A. C. (2018). MANTENIMIENTO INDUSTRIAL EN MÁQUINAS HERRAMIENTAS POR MEDIO

DE AMFE. Revista Ingeniería Industrial, 17(3). https://doi.org/10.22320/s07179103/2018.12

Zarate Blas, Z. B. G. (2022, 19 octubre). Mejora del proceso de extrusión-soplado de una empresa de manufactura de envases de plástico, aplicando herramientas de Lean Manufacturing. http://hdl.handle.net/20.500.12404/23599

ANEXOS.

Todos los archivos diseñados durante el trabajo de pasantía se pueden visualizar mediante un link.

ANEXO A. FORMATO DE INDICADORES DE DESEMPEÑO.

https://docs.google.com/spreadsheets/d/1nAnclAUI6BbTt8NvzdW4n8gvV8Fojuwu/edit?usp=sharing&ouid=116088816661929561826&rtpof=true&sd=true

ANEXO B. FORMATO DIGITAL PRUEBAS DE CALIDAD.

https://docs.google.com/spreadsheets/d/1r5y15hL8f9k8x3ZO7irGV4bzvqGCd6j_/edit?usp=sharing&ouid=116088816661929561826&rtpof=true&sd=true

ANEXO C. BASE DE DATOS FORMULADA PARA SIMULACIÓN.

https://drive.google.com/file/d/1sxfnf1krw-wob96lpAs4tnxCbV_eWPGB/view?usp=sharing

ANEXO A. FORMATO DE INDICADORES DE DESEMPEÑO

INDICADOR DE DESEMPEÑO MÁQUINA DE INYECCIÓN												
FECHA	TURNO	DURACIÓN TURNO	MÁQUINA	CAVIDADES	CICLOS POR MINUTO	PRODUCCIÓN TEORICA	CAVIDADES DISPONIBLES	TOTAL PRODUCIDO	RECHAZOS	PRODUCCIÓN REAL	IPI (%)	OBSERVACIONES
11/12/2025	1	480 minutos	Inyectora 6	16	1,65	12672	11	8712	1306,8	7405,2	58,44	5 cavidades no disponibles por mantenimiento
				16	1,65	12672		0	0,0	0,0	0,00	
				16	1,65	12672		0	0,0	0,0	0,00	
				16	1,65	12672		0	0,0	0,0	0,00	
				16	1,65	12672		0	0,0	0,0	0,00	
				16	1,65	12672		0	0,0	0,0	0,00	
				16	1,65	12672		0	0,0	0,0	0,00	
				16	1,65	12672		0	0,0	0,0	0,00	
				16	1,65	12672		0	0,0	0,0	0,00	
				16	1,65	12672		0	0,0	0,0	0,00	
				16	1,65	12672		0	0,0	0,0	0,00	
				16	1,65	12672		0	0,0	0,0	0,00	
				16	1,65	12672		0	0,0	0,0	0,00	
				16	1,65	12672		0	0,0	0,0	0,00	
				16	1,65	12672		0	0,0	0,0	0,00	
				16	1,65	12672		0	0,0	0,0	0,00	
				16	1,65	12672		0	0,0	0,0	0,00	
				16	1,65	12672		0	0,0	0,0	0,00	
				16	1,65	12672		0	0,0	0,0	0,00	
				16	1,65	12672		0	0,0	0,0	0,00	
				16	1,65	12672		0	0,0	0,0	0,00	
				16	1,65	12672		0	0,0	0,0	0,00	
				16	1,65	12672		0	0,0	0,0	0,00	
				16	1,65	12672		0	0,0	0,0	0,00	
				16	1,65	12672		0	0,0	0,0	0,00	
				16	1,65	12672		0	0,0	0,0	0,00	
				16	1,65	12672		0	0,0	0,0	0,00	
				16	1,65	12672		0	0,0	0,0	0,00	
				16	1,65	12672		0	0,0	0,0	0,00	
				16	1,65	12672		0	0,0	0,0	0,00	
				16	1,65	12672		0	0,0	0,0	0,00	
				16	1,65	12672		0	0,0	0,0	0,00	
				16	1,65	12672		0	0,0	0,0	0,00	
				16	1,65	12672		0	0,0	0,0	0,00	
				16	1,65	12672		0	0,0	0,0	0,00	
				16	1,65	12672		0	0,0	0,0	0,00	
				16	1,65	12672		0	0,0	0,0	0,00	
				16	1,65	12672		0	0,0	0,0	0,00	
				16	1,65	12672		0	0,0	0,0	0,00	
				16	1,65	12672		0	0,0	0,0	0,00	

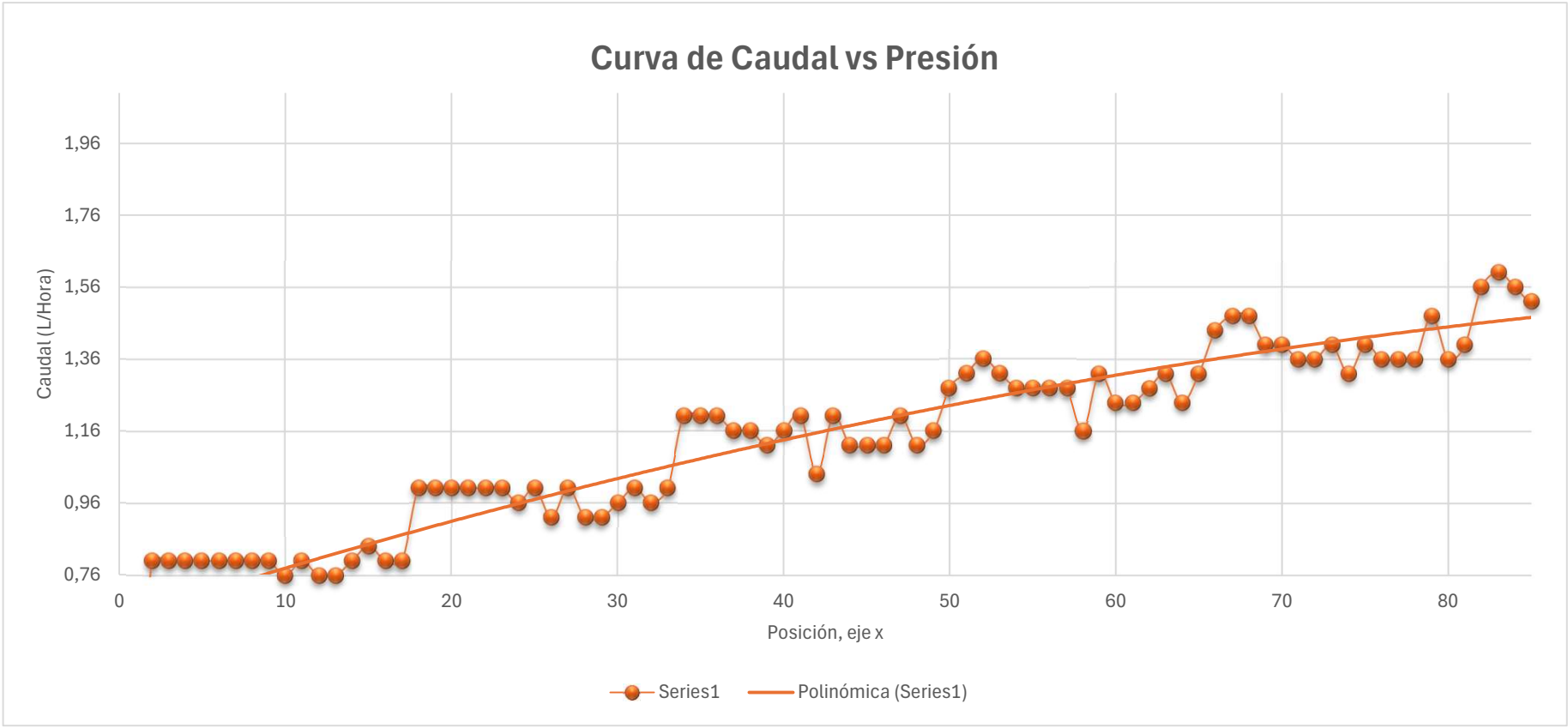
INDICADOR DE DESEMPEÑO MÁQUINA DE EXTRUSIÓN											
FECHA	**TURNO**	**LINEA DE GOTEO**	**MÁQUINA**	**VELOCIDAD NOMINAL (m/min)**	**TIEMPO EFECTIVO (min)**	**PRODUCCIÓN TEORICA (m)**	**PRODUCCIÓN TOTAL (m)**	**RECHAZOS (m)**	**PRODUCCIÓN REAL**	**IPE (%)**	**OBSERVACIONES**
11/12/2025	1	INTER 161-015	EXTRUSORA	20	480	9600	6666	33,3	6632,7	69,09	Parada por cambio de referencia a producir
				20	480	9600		0,0	0,0	0,00

INDICADOR DE DESEMPEÑO REGISTRO DE DATOS ÁREA DE CALIDAD											
FECHA	**TURNO**	**PRODUCTO**	**TIEMPO REGISTRADO MANUAL (min)**	**TIEMPO REGISTRADO DIGITAL (min)**		**IPV (%)**	**DATOS REGISTRADOS**	**ERRORES DETECTADOS**	**DATOS CORRECTAMENTE REGISTRADOS**		**CFD (%)**	**OBSERVACIONES**
11/12/2025	1	INTERLINE 161-015	42	20,5	❌	48,8	108	0	108	✅	100	
			42		❌	0,00	108

ANEXO B. FORMATO DIGITAL PRUEBAS DE CALIDAD

LINEA INTERLINE 121-020 (GOTEROS 161-1 ROJO)				
Curva de Caudal vs Presión – Gotero Interline				
Toma	**Presión (bar)**	**Posición en eje x**	**Caudal (ml/3m)**	**Caudal (L/h)**
Muestra #1				
Muestra #2				
muestra #3				

Muestra #4				
Muestra #5				
Muestra #6				

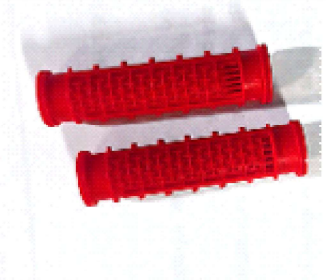

Curva de Caudal vs Presión
Caudal (L/Hora)
1,96
1,76
1,56
1,36
1,16
0,96
0,76
0
10
20
30
40
50
60
70
80
Posición, eje x
Series1
Polinómica (Series1)

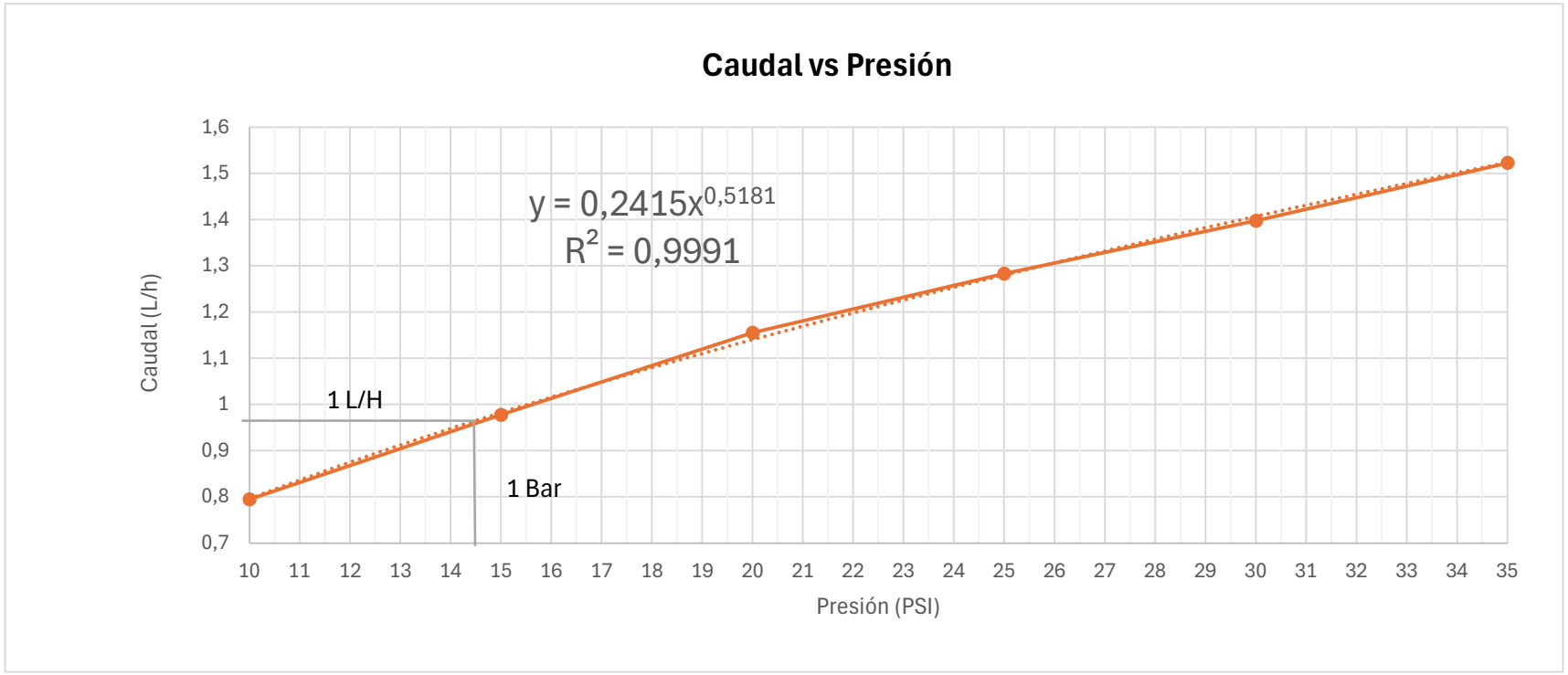
Muestras	Rollo1 (10 P.S.I)	Rollo 2 (15 P.S.I)	Rollo3 (20 P.S.I)	Rollo4 (25 P.S.I)	Rollo5 (30 P.S.I)	Rollo6 (35 P.S.I)
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0

Agrifim de Colombia, formato curva de presiones					
Gráfica	Curva cuadal vs presión, GOTEROS 161			Revisó	Ing Jorge Sanchez
Método	Caudal promedio vs CV	Hoja	1 de 1	Fecha	5/11/2025
Elaboró	Lina María Oliveros Orjuela, Pasante				
Elaboró	Mario Esteban Zárate Díaz, Análista de producción				

LINEA INTERLINE 161-020 (GOTEROS 161 ROJO)						
Caudal vs presión, Análisis de Datos						
PRESIÓN (PSI)	**10**	**15**	**20**	**25**	**30**	**35**
Promedio (Mililitros/3 min)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Desviación tipica	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Coeficiente de variabilidad	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!
Promedio (Litros/Hora)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Promedio Caudal Acumulado	0,00					
Coeficiente de variación CV	#¡DIV/0!					

Muestra	Presión (PSI)	Caudal (L/H)
1	10	0,00
2	15	0,00
3	20	0,00
4	25	0,00
5	30	0,00
6	35	0,00




Caudal vs Presión
y = 0,2415x^0,5181
R² = 0,9991
1 L/H
1 Bar
Caudal (L/h)
Presión (PSI)
1,6
1,5
1,4
1,3
1,2
1,1
1
0,9
0,8
0,7
10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35

ANEXO C. BASE DE DATOS FORMULADA PARA SIMULACIÓN.

BASE DE DATOS

FECHA	HORA	TURNO	LÍNEA DE PRODUCCIÓN	TIPO PRODUCTO	LONGTID ROLLO (en mts)	NUM ROLLOS PRODUCID	MATERIA PRIMA USADA (Kg)	VELOCIDAD PRODUCCIÓN (Mts/Horas)	CANTIDAD DE GOTEROS	DEFECTOS CONTADOS	TIEMPO EXTRUSORA PARADA	B0	T.MAÑANA	T.TARDE	TUBERÍA EN POLI	GOTEROS A 15 CM	GOTEROS A 20 CM
2024-02-16	06:39	Mañana	Tubería en PVC	Goteros 15 cm	436,6	9	405,39	54	26196	0	20	1	1	0	0	1	0
2024-02-11	07:25	Mañana	Tubería en polietileno	Goteros 20 cm	519,9	13	568,14	69,6	33794	1	4	1	1	0	1	0	1
2024-01-26	08:10	Mañana	Tubería en PVC	Goteros 15 cm	539,7	8	396,76	60	28784	3	15	1	1	0	0	1	0
2023-07-22	09:08	Mañana	Tubería en polietileno	Goteros 15 cm	454,4	10	334,87	53,2	30293	2	14	1	1	0	1	1	0
2023-02-27	16:41	Tarde	Tubería en polietileno	Tubería sin goteros	510,2	15	694,17	63,5	0	0	5	1	0	1	1	0	0
2023-09-12	12:56	Mañana	Tubería en polietileno	Goteros 20 cm	467,7	10	523,72	58,8	23385	1	0	1	1	0	1	0	1
2024-05-16	14:15	Tarde	Tubería en polietileno	Goteros 20 cm	542,9	12	501,39	65,2	32574	1	0	1	0	1	1	0	1
2023-11-19	12:48	Mañana	Tubería en polietileno	Goteros 20 cm	464,2	12	530,06	55,1	27852	1	28	1	1	0	1	0	1
2024-01-11	13:28	Mañana	Tubería en PVC	Goteros 20 cm	449,1	8	236,2	77,6	17964	4	5	1	1	0	0	0	1
2024-08-29	06:02	Mañana	Tubería en PVC	Goteros 20 cm	511,8	10	340,41	62,8	25590	1	9	1	1	0	0	0	1
2024-10-11	08:32	Mañana	Tubería en polietileno	Goteros 15 cm	463,9	10	474,56	83,4	30927	1	2	1	1	0	1	1	0
2024-10-09	12:30	Mañana	Tubería en PVC	Tubería sin goteros	516,2	10	423,66	78,6	0	1	3	1	1	0	0	0	0
2023-12-27	16:35	Tarde	Tubería en polietileno	Goteros 20 cm	464,5	12	463,15	53,5	27870	0	15	1	0	1	1	0	1
2024-06-14	10:44	Mañana	Tubería en polietileno	Goteros 15 cm	447,9	16	667,49	62,6	47776	0	13	1	1	0	1	1	0
2023-12-17	11:47	Mañana	Tubería en PVC	Goteros 20 cm	489,2	10	425,33	57,9	24460	1	4	1	1	0	0	0	1
2024-08-31	21:47	Tarde	Tubería en PVC	Goteros 15 cm	504,9	13	549,13	68	43758	0	12	1	0	1	0	1	0
2024-08-31	21:37	Tarde	Tubería en PVC	Goteros 15 cm	478,2	12	432,39	63,4	38256	1	0	1	0	1	0	1	0
2023-01-23	13:07	Mañana	Tubería en PVC	Tubería sin goteros	497,3	10	331,62	73,3	0	2	0	1	1	0	0	0	0
2023-10-30	19:06	Tarde	Tubería en polietileno	Goteros 15 cm	484,9	13	443,09	42,9	42025	0	21	1	0	1	1	1	0
2023-10-05	20:04	Tarde	Tubería en polietileno	Goteros 15 cm	458,7	11	365,07	49,5	33638	0	37	1	0	1	1	1	0
2024-10-06	17:54	Tarde	Tubería en PVC	Tubería sin goteros	477,6	13	447,55	75,8	0	5	4	1	0	1	0	0	0
2024-03-02	08:09	Mañana	Tubería en polietileno	Goteros 20 cm	404,9	10	410,75	76,5	20245	1	4	1	1	0	1	0	1
2024-07-31	20:37	Tarde	Tubería en PVC	Goteros 15 cm	472,6	8	242	70,4	25205	3	4	1	0	1	0	1	0
2023-08-07	13:52	Mañana	Tubería en PVC	Goteros 20 cm	546,9	10	428,3	60,5	27345	1	3	1	1	0	0	0	1
2023-07-19	10:15	Mañana	Tubería en polietileno	Goteros 20 cm	458	16	623,15	84,6	36640	2	0	1	1	0	1	0	1
2023-04-22	13:15	Mañana	Tubería en PVC	Goteros 20 cm	440,9	13	512,93	78,7	28658	1	0	1	1	0	0	0	1
2024-09-13	11:05	Mañana	Tubería en PVC	Tubería sin goteros	541,1	17	718,57	63,2	0	1	30	1	1	0	0	0	0
2023-01-29	14:49	Tarde	Tubería en PVC	Goteros 20 cm	456,1	11	355,76	51,2	25086	0	30	1	0	1	0	0	1
2023-02-10	15:06	Tarde	Tubería en PVC	Goteros 20 cm	503,2	9	466,18	43,4	22644	0	39	1	0	1	0	0	1
2024-07-12	13:15	Mañana	Tubería en polietileno	Goteros 20 cm	503,2	14	822,81	73,1	35224	1	13	1	1	0	1	0	1
2023-05-15	06:43	Mañana	Tubería en PVC	Goteros 20 cm	429,8	8	268,32	68	17192	3	7	1	1	0	0	0	1
2024-07-08	14:23	Tarde	Tubería en polietileno	Tubería sin goteros	503,4	12	520,51	60,4	0	3	0	1	0	1	1	0	0
2023-04-21	17:56	Tarde	Tubería en polietileno	Goteros 20 cm	490,2	9	482,49	61,3	22059	2	2	1	0	1	1	0	1
2023-05-30	09:15	Mañana	Tubería en polietileno	Goteros 20 cm	493,3	18	1033,58	74,5	44397	1	7	1	1	0	1	0	1
2023-10-11	22:58	Mañana	Tubería en polietileno	Goteros 20 cm	492,4	8	322,03	40,8	19696	12	40	1	1	0	1	0	1
2024-08-28	15:00	Tarde	Tubería en polietileno	Goteros 15 cm	409,9	12	361,67	70	32792	1	0	1	0	1	1	1	0
2023-09-28	08:44	Mañana	Tubería en PVC	Tubería sin goteros	517,6	17	860,99	55,9	0	1	11	1	1	0	0	0	0
2024-06-28	14:05	Tarde	Tubería en PVC	Goteros 20 cm	479,9	11	325,16	71,9	26394	2	15	1	0	1	0	0	1
2023-02-15	22:41	Mañana	Tubería en polietileno	Goteros 15 cm	462,1	18	693,57	63	55452	2	2	1	1	0	1	1	0
2023-10-02	22:25	Mañana	Tubería en PVC	Goteros 15 cm	520,4	13	489,58	59,2	45101	1	5	1	1	0	0	1	0
2023-05-18	13:23	Mañana	Tubería en polietileno	Goteros 15 cm	472,3	12	584,86	65,6	37784	0	4	1	1	0	1	1	0
2023-10-23	16:58	Tarde	Tubería en polietileno	Goteros 20 cm	548,2	8	358,97	66,3	21928	2	6	1	0	1	1	0	1
2023-08-22	20:55	Tarde	Tubería en polietileno	Goteros 20 cm	486,1	13	653,18	53	31596	0	0	1	0	1	1	0	1
2023-08-10	12:35	Mañana	Tubería en PVC	Goteros 20 cm	448,3	9	430,37	40,9	20174	0	34	1	1	0	0	0	1

SUAVIZACIÓN ESPONENCIAL (ST)

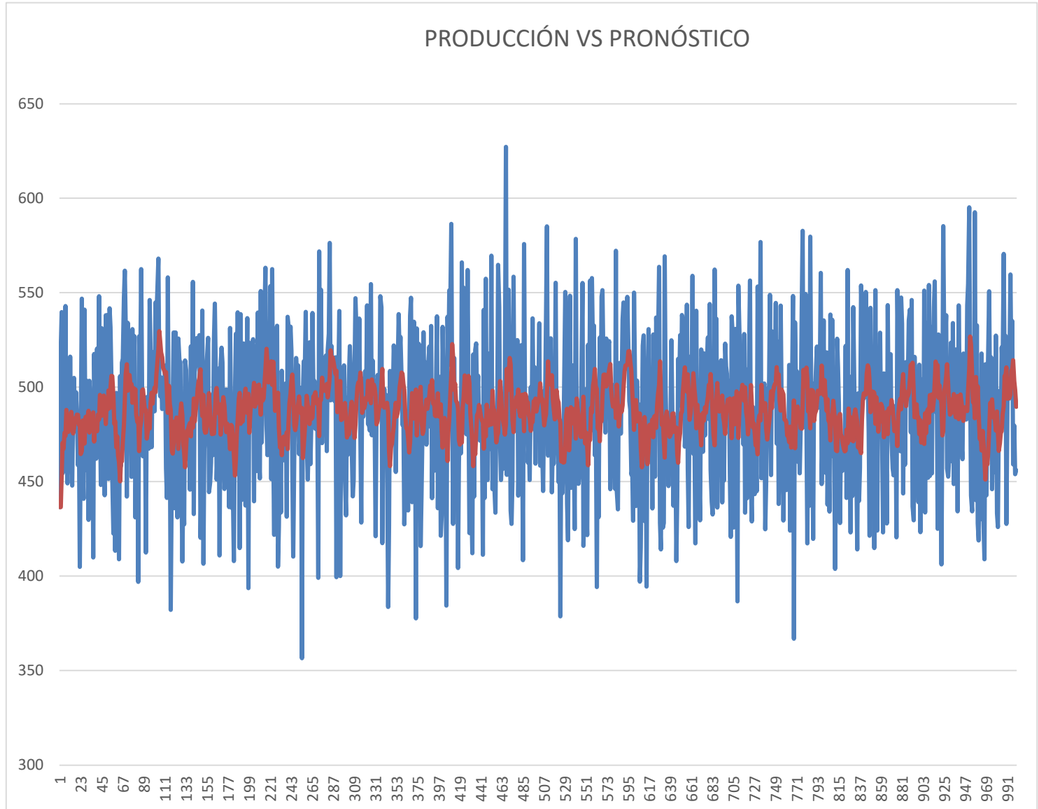
FECHA	LONGTID ROLLO/PRODUCCIÓN (en mts)
2024-02-16	436,6
2024-02-11	519,9
2024-01-26	539,7
2023-07-22	454,4
2023-02-27	510,2
2023-09-12	467,7
2024-05-16	542,9
2023-11-19	464,2
2024-01-11	449,1
2024-08-29	511,8
2024-10-11	463,9
2024-10-09	516,2
2023-12-27	464,5
2024-06-14	447,9
2023-12-17	489,2
2024-08-31	504,9
2024-08-31	478,2
2023-01-23	497,3
2023-10-30	484,9
2023-10-05	458,7
2024-10-06	477,6
2024-03-02	404,9
2024-07-31	472,6
2023-08-07	546,9
2023-07-19	458
2023-04-22	440,9
2024-09-13	541,1
2023-01-29	456,1
2023-02-10	503,2
2024-07-12	503,2
2023-05-15	429,8
2024-07-08	503,4
2023-04-21	490,2
2023-05-30	493,3
2023-10-11	492,4
2024-08-28	409,9
2023-09-28	517,6
2024-06-28	479,9
2023-02-15	462,1
2023-10-02	520,4
2023-05-18	472,3
2023-10-23	548,2
2023-08-22	486,1
2023-08-10	448,3
2023-11-11	531,2
2023-06-18	501,6

MES	Mts producidos Xt	pronóstico, producción $\widehat{xt}$	$e_t = x_{t-\widehat{xt}}$	Abs(et)
2	436,6	436,6		
2	519,9	436,6	83,3	83,3
1	539,7	453,26	86,44	86,44
7	454,4	470,548	-16,148	16,148
2	510,2	467,3184	42,8816	42,8816
9	467,7	475,89472	-8,19472	8,19472
5	542,9	474,255776	68,644224	68,644224
11	464,2	487,9846208	-23,784621	23,7846208
1	449,1	483,2276966	-34,127697	34,1276966
8	511,8	476,4021573	35,3978427	35,3978427
10	463,9	483,4817258	-19,581726	19,5817258
10	516,2	479,5653807	36,6346193	36,6346193
12	464,5	486,8923045	-22,392305	22,3923045
6	447,9	482,4138436	-34,513844	34,5138436
12	489,2	475,5110749	13,6889251	13,6889251
8	504,9	478,2488599	26,6511401	26,6511401
8	478,2	483,5790879	-5,3790879	5,37908794
1	497,3	482,5032704	14,7967296	14,7967296
10	484,9	485,4626163	-0,5626163	0,56261628
10	458,7	485,350093	-26,650093	26,650093
10	477,6	480,0200744	-2,4200744	2,42007442
3	404,9	479,5360595	-74,63606	74,6360595
7	472,6	464,6088476	7,99115237	7,99115237
8	546,9	466,2070781	80,6929219	80,6929219
7	458	482,3456625	-24,345662	24,3456625
4	440,9	477,47653	-36,57653	36,57653
9	541,1	470,161224	70,938776	70,938776
1	456,1	484,3489792	-28,248979	28,2489792
2	503,2	478,6991834	24,5008166	24,5008166
7	503,2	483,5993467	19,6006533	19,6006533
5	429,8	487,5194773	-57,719477	57,7194773
7	503,4	475,9755819	27,4244181	27,4244181
4	490,2	481,4604655	8,7395345	8,7395345
5	493,3	483,2083724	10,0916276	10,0916276
10	492,4	485,2266979	7,17330208	7,17330208
8	409,9	486,6613583	-76,761358	76,7613583
9	517,6	471,3090867	46,2909133	46,2909133
6	479,9	480,5672693	-0,6672693	0,66726934
2	462,1	480,4338155	-18,333815	18,3338155
10	520,4	476,7670524	43,6329476	43,6329476
5	472,3	485,4936419	-13,193642	13,1936419
10	548,2	482,8549135	65,3450865	65,3450865
8	486,1	495,9239308	-9,8239308	9,82393082
8	448,3	493,9591447	-45,659145	45,6591447

$$F_t = F_{t-1} + \alpha\left(A_{t-1} - F_{t-1}\right)$$

APLHA
0,2

	SUAVIZACIÓN EXPONENCIAL
ME=	0,231882553
MAE=	35,94941307



HISTOGRAMAS

Está utilizando la versión gratuita de XLSTAT. Compre una licencia para obtener acceso a 100 o más funciones adicionales.

XLSTAT 2025.1.3.1431 - Histogramas - Comienzo: 19/10/2025 a las 19:46:26 / Final: 19/10/2025 a las 19:46:27

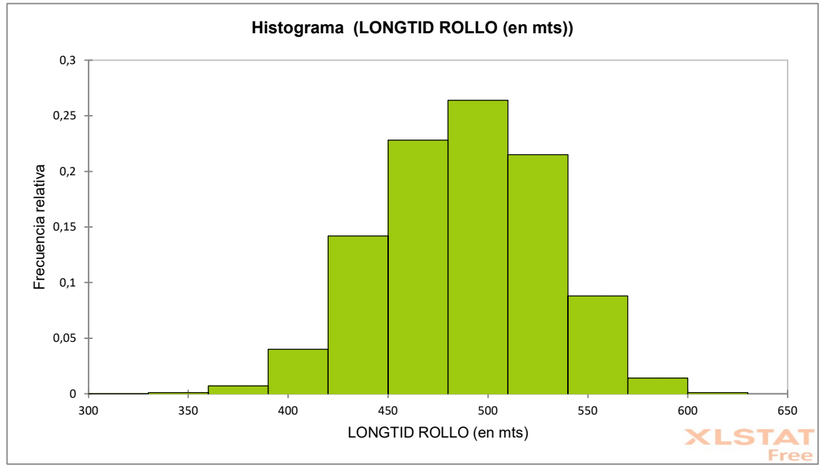
Estos resultados han sido generados usando la versión gratuita de XLSTAT. Puede beneficiarse de muchas otras herramientas y opciones con la versión completa.

Datos: Libro = AGRIFIM_Produccion_LineaGoteo (Anova).xlsx / Hoja = Base de datos / Rango = 'Base de datos'!$F$1:$L$1001 / 1000 filas y 7 columnas

Estadísticos descriptivos para los intervalos (NUM ROLLOS PRODUCIDOS (Und))

Estadísticos descriptivos:

Variable	Observaciones	Obs. con datos perdidos	Obs. sin datos perdidos	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típica
LONGTID ROLLO (en mts)	1000	0	1000	356,600	627,200	488,085	41,204
NUM ROLLOS PRODUCIDOS (Und)	1000	0	1000	8,000	24,000	12,183	3,186
MATERIA PRIMA USADA (Kg)	1000	0	1000	190,810	1128,750	535,749	179,892
VELOCIDAD PRODUCCIÓN (Mts/Horas)	1000	0	1000	32,400	84,900	63,570	11,042
CANTIDAD DE GOTEROS (Und)	1000	0	1000	0,000	75250,000	28205,665	15972,098
DEFECTOS CONTADOS	1000	0	1000	0,000	15,000	1,406	1,829
TIEMPO EXTRUSORA PARADA (Min)	1000	0	1000	0,000	45,000	7,327	10,116



Estadísticos descriptivos para los intervalos (LONGTID ROLLO (en mts)):

Límite inferior	Límite superior	Frecuencia	Frecuencia relativa	Densidad
300,000	330,000	0	0,000	0,000
330,000	360,000	1	0,001	0,000

DATOS (C.M.)

FECHA	HORA	TURNO	LÍNEA DE PRODUCCIÓN	TIPO PRODUCTO	LONGTID ROLLO (en mts)	NUM ROLLOS PRODUCIDOS (Und)	MATERIA PRIMA USADA (Kg)	VELOCIDAD PRODUCCIÓN (Mts/Horas)	CANTIDAD DE GOTEROS (Und)	DEFECTOS CONTADOS	TIEMPO EXTRUSORA PARADA	LONGTID ROLLO (en mts)	NUM ROLLOS PRODUCIDOS (Und)	MATERIA PRIMA USADA	VELOCIDAD PRODUCCIÓN (Mts/Horas)	CANTIDAD DE GOTEROS
2024-02-16	06:39	Mañana	Tubería en PVC	Goteros 15 cm	436,6	9	405,39	54	26196	0	20	436,6	9	405,39	54	26196
2024-02-11	07:25	Mañana	Tubería en polietileno	Goteros 20 cm	519,9	13	568,14	69,6	33794	1	4	519,9	13	568,14	69,6	33794
2024-01-26	08:10	Mañana	Tubería en PVC	Goteros 15 cm	539,7	8	396,76	60	28784	3	15	539,7	8	396,76	60	28784
2023-07-22	09:08	Mañana	Tubería en polietileno	Goteros 15 cm	454,4	10	334,87	53,2	30293	2	14	454,4	10	334,87	53,2	30293
2023-02-27	16:41	Tarde	Tubería en polietileno	Tubería sin goteros	510,2	15	694,17	63,5	0	0	5	510,2	15	694,17	63,5	0
2023-09-12	12:56	Mañana	Tubería en polietileno	Goteros 20 cm	467,7	10	523,72	58,8	23385	1	0	467,7	10	523,72	58,8	23385
2024-05-16	14:15	Tarde	Tubería en polietileno	Goteros 20 cm	542,9	12	501,39	65,2	32574	1	0	542,9	12	501,39	65,2	32574
2023-11-19	12:48	Mañana	Tubería en polietileno	Goteros 20 cm	464,2	12	530,06	55,1	27852	1	28	464,2	12	530,06	55,1	27852
2024-01-11	13:28	Mañana	Tubería en PVC	Goteros 20 cm	449,1	8	236,2	77,6	17964	4	5	449,1	8	236,2	77,6	17964
2024-08-29	06:02	Mañana	Tubería en PVC	Goteros 20 cm	511,8	10	340,41	62,8	25590	1	9	511,8	10	340,41	62,8	25590
2024-10-11	08:32	Mañana	Tubería en polietileno	Goteros 15 cm	463,9	10	474,56	83,4	30927	1	2	463,9	10	474,56	83,4	30927
2024-10-09	12:30	Mañana	Tubería en PVC	Tubería sin goteros	516,2	10	423,66	78,6	0	1	3	516,2	10	423,66	78,6	0
2023-12-27	16:35	Tarde	Tubería en polietileno	Goteros 20 cm	464,5	12	463,15	53,5	27870	0	15	464,5	12	463,15	53,5	27870
2024-06-14	10:44	Mañana	Tubería en polietileno	Goteros 15 cm	447,9	16	667,49	62,6	47776	0	13	447,9	16	667,49	62,6	47776
2023-12-17	11:47	Mañana	Tubería en PVC	Goteros 20 cm	489,2	10	425,33	57,9	24460	1	4	489,2	10	425,33	57,9	24460
2024-08-31	21:47	Tarde	Tubería en PVC	Goteros 15 cm	504,9	13	549,13	68	43758	0	12	504,9	13	549,13	68	43758
2024-08-31	21:37	Tarde	Tubería en PVC	Goteros 15 cm	478,2	12	432,39	63,4	38256	1	0	478,2	12	432,39	63,4	38256
2023-01-23	13:07	Mañana	Tubería en PVC	Tubería sin goteros	497,3	10	331,62	73,3	0	2	0	497,3	10	331,62	73,3	0
2023-10-30	19:06	Tarde	Tubería en polietileno	Goteros 15 cm	484,9	13	443,09	42,9	42025	0	21	484,9	13	443,09	42,9	42025
2023-10-05	20:04	Tarde	Tubería en polietileno	Goteros 15 cm	458,7	11	365,07	49,5	33638	0	37	458,7	11	365,07	49,5	33638
2024-10-06	17:54	Tarde	Tubería en PVC	Tubería sin goteros	477,6	13	447,55	75,8	0	5	4	477,6	13	447,55	75,8	0
2024-03-02	08:09	Mañana	Tubería en polietileno	Goteros 20 cm	404,9	10	410,75	76,5	20245	1	4	404,9	10	410,75	76,5	20245
2024-07-31	20:37	Tarde	Tubería en PVC	Goteros 15 cm	472,6	8	242	70,4	25205	3	4	472,6	8	242	70,4	25205
2023-08-07	13:52	Mañana	Tubería en PVC	Goteros 20 cm	546,9	10	428,3	60,5	27345	1	3	546,9	10	428,3	60,5	27345
2023-07-19	10:15	Mañana	Tubería en polietileno	Goteros 20 cm	458	16	623,15	84,6	36640	2	0	458	16	623,15	84,6	36640
2023-04-22	13:15	Mañana	Tubería en PVC	Goteros 20 cm	440,9	13	512,93	78,7	28658	1	0	440,9	13	512,93	78,7	28658
2024-09-13	11:05	Mañana	Tubería en PVC	Tubería sin goteros	541,1	17	718,57	63,2	0	1	30	541,1	17	718,57	63,2	0
2023-01-29	14:49	Tarde	Tubería en PVC	Goteros 20 cm	456,1	11	355,76	51,2	25086	0	30	456,1	11	355,76	51,2	25086
2023-02-10	15:06	Tarde	Tubería en PVC	Goteros 20 cm	503,2	9	466,18	43,4	22644	0	39	503,2	9	466,18	43,4	22644
2024-07-12	13:15	Mañana	Tubería en polietileno	Goteros 20 cm	503,2	14	822,81	73,1	35224	1	13	503,2	14	822,81	73,1	35224
2023-05-15	06:43	Mañana	Tubería en PVC	Goteros 20 cm	429,8	8	268,32	68	17192	3	7	429,8	8	268,32	68	17192
2024-07-08	14:23	Tarde	Tubería en polietileno	Tubería sin goteros	503,4	12	520,51	60,4	0	3	0	503,4	12	520,51	60,4	0
2023-04-21	17:56	Tarde	Tubería en polietileno	Goteros 20 cm	490,2	9	482,49	61,3	22059	2	2	490,2	9	482,49	61,3	22059
2023-05-30	09:15	Mañana	Tubería en polietileno	Goteros 20 cm	493,3	18	1033,58	74,5	44397	1	7	493,3	18	1033,58	74,5	44397
2023-10-11	22:58	Mañana	Tubería en polietileno	Goteros 20 cm	492,4	8	322,03	40,8	19696	12	40	492,4	8	322,03	40,8	19696
2024-08-28	15:00	Tarde	Tubería en polietileno	Goteros 15 cm	409,9	12	361,67	70	32792	1	0	409,9	12	361,67	70	32792
2023-09-28	08:44	Mañana	Tubería en PVC	Tubería sin goteros	517,6	17	860,99	55,9	0	1	11	517,6	17	860,99	55,9	0
2024-06-28	14:05	Tarde	Tubería en PVC	Goteros 20 cm	479,9	11	325,16	71,9	26394	2	15	479,9	11	325,16	71,9	26394
2023-02-15	22:41	Mañana	Tubería en polietileno	Goteros 15 cm	462,1	18	693,57	63	55452	2	2	462,1	18	693,57	63	55452
2023-10-02	22:25	Mañana	Tubería en PVC	Goteros 15 cm	520,4	13	489,58	59,2	45101	1	5	520,4	13	489,58	59,2	45101
2023-05-18	13:23	Mañana	Tubería en polietileno	Goteros 15 cm	472,3	12	584,86	65,6	37784	0	4	472,3	12	584,86	65,6	37784
2023-10-23	16:58	Tarde	Tubería en polietileno	Goteros 20 cm	548,2	8	358,97	66,3	21928	2	6	548,2	8	358,97	66,3	21928
2023-08-22	20:55	Tarde	Tubería en polietileno	Goteros 20 cm	486,1	13	653,18	53	31596	0	0	486,1	13	653,18	53	31596
2023-08-10	12:35	Mañana	Tubería en PVC	Goteros 20 cm	448,3	9	430,37	40,9	20174	0	34	448,3	9	430,37	40,9	20174

CADENAS MARKOVIANAS

Suma de LONGTID ROLLO (en mts)	Etiquetas de columna																
Etiquetas de fila	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Total general
0	55978,8	56966,1	27492	11360,3	8624	1963	920,1			1501	982,3	862,4	510,8			487,4	167647,7
1	50083	42570,5	27972,1	19420,7	4705	2032		550,9	511,9	494,2		511,9	1422	480			150753,5
2	27518,1	25238,7	14479,3	8660,7	4894	1455											82245,2
3	17951,5	14561,9	10617	4876,3	405		386,7						452,4				49250,8
4	7409,7	5907,8	1560,8	3414,3	472,6	525,8	443,4								550,8		20285,2
5	4918,7	422,6			455,6	495,7											6292,6
6	933,9	482,9	456,5														1873,3
7		451,7															451,7
8	439,1																439,1
9	521,5	1437,6															1959,1
10		511,5	450,9														962,4
11	548,9	508,1		447,5													1504,5
12	1034,9	951,3		532													2518,2
13		468,5															468,5
14	520,8																520,8
15				456,4													456,4
Total general	**167858,9**	**150479**	**83028,6**	**49168,2**	**19555**	**6471**	**1750**	**550,9**	**511,9**	**1995**	**982,3**	**1374**	**2385**	**480**	**550,8**	**487,4**	**487629**

Suma de LONGTID ROLLO (en mts)	Etiquetas de columna																
P1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Total general
0	33,39%	33,98%	16,40%	6,78%	5,14%	1,17%	0,55%	0,00%	0,00%	0,90%	0,59%	0,51%	0,30%	0,00%	0,00%	0,29%	100,00%
1	33,22%	28,24%	18,55%	12,88%	3,12%	1,35%	0,00%	0,37%	0,34%	0,33%	0,00%	0,34%	0,94%	0,32%	0,00%	0,00%	100,00%
2	33,46%	30,69%	17,61%	10,53%	5,95%	1,77%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%
3	36,45%	29,57%	21,56%	9,90%	0,82%	0,00%	0,79%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,92%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%
4	36,53%	29,12%	7,69%	16,83%	2,33%	2,59%	2,19%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	2,72%	0,00%	100,00%
5	78,17%	6,72%	0,00%	0,00%	7,24%	7,88%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%
6	49,85%	25,78%	24,37%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%
7	0,00%	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%
8	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%
9	26,62%	73,38%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%
10	0,00%	53,15%	46,85%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%
11	36,48%	33,77%	0,00%	29,74%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%
12	41,10%	37,78%	0,00%	21,13%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%
13	0,00%	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%
14	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%
15	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%
Total general	**34,42%**	**30,86%**	**17,03%**	**10,08%**	**4,01%**	**1,33%**	**0,36%**	**0,11%**	**0,10%**	**0,41%**	**0,20%**	**0,28%**	**0,49%**	**0,10%**	**0,11%**	**0,10%**	**100,00%**

P2	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
0	34,01%	30,95%	16,93%	10,41%	4,01%	1,36%	0,35%	0,12%	0,12%	0,41%	0,20%	0,29%	0,48%	0,11%	0,14%	0,10%	100,00%
1	34,51%	31,16%	16,97%	9,94%	3,97%	1,28%	0,35%	0,10%	0,10%	0,39%	0,19%	0,27%	0,49%	0,09%	0,08%	0,10%	100,00%
2	34,65%	30,40%	17,01%	10,12%	4,08%	1,41%	0,40%	0,11%	0,10%	0,40%	0,20%	0,28%	0,49%	0,10%	0,16%	0,10%	100,00%
3	33,88%	31,07%	17,65%	9,86%	4,18%	1,23%	0,30%	0,11%	0,10%	0,42%	0,21%	0,29%	0,48%	0,09%	0,02%	0,11%	100,00%
4	37,26%	29,39%	17,09%	9,10%	3,63%	1,22%	0,38%	0,11%	0,10%	0,42%	0,21%	0,29%	0,54%	0,09%	0,06%	0,11%	100,00%
5	37,13%	31,09%	14,62%	7,38%	4,97%	1,81%	0,59%	0,02%	0,02%	0,72%	0,46%	0,42%	0,30%	0,02%	0,20%	0,23%	100,00%
6	33,36%	31,70%	17,25%	9,27%	4,82%	1,36%	0,27%	0,09%	0,09%	0,53%	0,29%	0,34%	0,40%	0,08%	0,00%	0,14%	100,00%
7	33,22%	28,24%	18,55%	12,88%	3,12%	1,35%	0,00%	0,37%	0,34%	0,33%	0,00%	0,34%	0,94%	0,32%	0,00%	0,00%	100,00%
8	33,39%	33,98%	16,40%	6,78%	5,14%	1,17%	0,55%	0,00%	0,00%	0,90%	0,59%	0,51%	0,30%	0,00%	0,00%	0,29%	100,00%

DATOS (REGRESIÓN)

FECHA	HORA	TURNO	LÍNEA DE PRODUCCIÓN	TIPO PRODUCTO	LONGTID ROLLO (en mts)	NUM ROLLOS PRODUCIDOS (Und)	MATERIA PRIMA USADA (Kg)	VELOCIDAD PRODUCCIÓN (Mts/Horas)	CANTIDAD DE GOTEROS (Und)	DEFECTOS CONTADOS	TIEMPO EXTRUSORA PARADA (Min)	B0	T.MAÑANA	T.TARDE	TUBERÍA EN POLI	GOTEROS A 15 CM	GOTEROS A 20 CM
2024-02-16	06:39	Mañana	Tubería en PVC	Goteros 15 cm	436,6	9	405,39	54	26196	0	20	1	1	0	0	1	0
2024-02-11	07:25	Mañana	Tubería en polietileno	Goteros 20 cm	519,9	13	568,14	69,6	33794	1	4	1	1	0	1	0	1
2024-01-26	08:10	Mañana	Tubería en PVC	Goteros 15 cm	539,7	8	396,76	60	28784	3	15	1	1	0	0	1	0
2023-07-22	09:08	Mañana	Tubería en polietileno	Goteros 15 cm	454,4	10	334,87	53,2	30293	2	14	1	1	0	1	1	0
2023-02-27	16:41	Tarde	Tubería en polietileno	Tubería sin goteros	510,2	15	694,17	63,5	0	0	5	1	0	1	1	0	0
2023-09-12	12:56	Mañana	Tubería en polietileno	Goteros 20 cm	467,7	10	523,72	58,8	23385	1	0	1	1	0	1	0	1
2024-05-16	14:15	Tarde	Tubería en polietileno	Goteros 20 cm	542,9	12	501,39	65,2	32574	1	0	1	0	1	1	0	1
2023-11-19	12:48	Mañana	Tubería en polietileno	Goteros 20 cm	464,2	12	530,06	55,1	27852	1	28	1	1	0	1	0	1
2024-01-11	13:28	Mañana	Tubería en PVC	Goteros 20 cm	449,1	8	236,2	77,6	17964	4	5	1	1	0	0	0	1
2024-08-29	06:02	Mañana	Tubería en PVC	Goteros 20 cm	511,8	10	340,41	62,8	25590	1	9	1	1	0	0	0	1
2024-10-11	08:32	Mañana	Tubería en polietileno	Goteros 15 cm	463,9	10	474,56	83,4	30927	1	2	1	1	0	1	1	0
2024-10-09	12:30	Mañana	Tubería en PVC	Tubería sin goteros	516,2	10	423,66	78,6	0	1	3	1	1	0	0	0	0
2023-12-27	16:35	Tarde	Tubería en polietileno	Goteros 20 cm	464,5	12	463,15	53,5	27870	0	15	1	0	1	1	0	1
2024-06-14	10:44	Mañana	Tubería en polietileno	Goteros 15 cm	447,9	16	667,49	62,6	47776	0	13	1	1	0	1	1	0
2023-12-17	11:47	Mañana	Tubería en PVC	Goteros 20 cm	489,2	10	425,33	57,9	24460	1	4	1	1	0	0	0	1
2024-08-31	21:47	Tarde	Tubería en PVC	Goteros 15 cm	504,9	13	549,13	68	43758	0	12	1	0	1	0	1	0
2024-08-31	21:37	Tarde	Tubería en PVC	Goteros 15 cm	478,2	12	432,39	63,4	38256	1	0	1	0	1	0	1	0
2023-01-23	13:07	Mañana	Tubería en PVC	Tubería sin goteros	497,3	10	331,62	73,3	0	2	0	1	1	0	0	0	0
2023-10-30	19:06	Tarde	Tubería en polietileno	Goteros 15 cm	484,9	13	443,09	42,9	42025	0	21	1	0	1	1	1	0
2023-10-05	20:04	Tarde	Tubería en polietileno	Goteros 15 cm	458,7	11	365,07	49,5	33638	0	37	1	0	1	1	1	0
2024-10-06	17:54	Tarde	Tubería en PVC	Tubería sin goteros	477,6	13	447,55	75,8	0	5	4	1	0	1	0	0	0
2024-03-02	08:09	Mañana	Tubería en polietileno	Goteros 20 cm	404,9	10	410,75	76,5	20245	1	4	1	1	0	1	0	1
2024-07-31	20:37	Tarde	Tubería en PVC	Goteros 15 cm	472,6	8	242	70,4	25205	3	4	1	0	1	0	1	0
2023-08-07	13:52	Mañana	Tubería en PVC	Goteros 20 cm	546,9	10	428,3	60,5	27345	1	3	1	1	0	0	0	1
2023-07-19	10:15	Mañana	Tubería en polietileno	Goteros 20 cm	458	16	623,15	84,6	36640	2	0	1	1	0	1	0	1
2023-04-22	13:15	Mañana	Tubería en PVC	Goteros 20 cm	440,9	13	512,93	78,7	28658	1	0	1	1	0	0	0	1
2024-09-13	11:05	Mañana	Tubería en PVC	Tubería sin goteros	541,1	17	718,57	63,2	0	1	30	1	1	0	0	0	0
2023-01-29	14:49	Tarde	Tubería en PVC	Goteros 20 cm	456,1	11	355,76	51,2	25086	0	30	1	0	1	0	0	1
2023-02-10	15:06	Tarde	Tubería en PVC	Goteros 20 cm	503,2	9	466,18	43,4	22644	0	39	1	0	1	0	0	1
2024-07-12	13:15	Mañana	Tubería en polietileno	Goteros 20 cm	503,2	14	822,81	73,1	35224	1	13	1	1	0	1	0	1
2023-05-15	06:43	Mañana	Tubería en PVC	Goteros 20 cm	429,8	8	268,32	68	17192	3	7	1	1	0	0	0	1
2024-07-08	14:23	Tarde	Tubería en polietileno	Tubería sin goteros	503,4	12	520,51	60,4	0	3	0	1	0	1	1	0	0
2023-04-21	17:56	Tarde	Tubería en polietileno	Goteros 20 cm	490,2	9	482,49	61,3	22059	2	2	1	0	1	1	0	1
2023-05-30	09:15	Mañana	Tubería en polietileno	Goteros 20 cm	493,3	18	1033,58	74,5	44397	1	7	1	1	0	1	0	1
2023-10-11	22:58	Mañana	Tubería en polietileno	Goteros 20 cm	492,4	8	322,03	40,8	19696	12	40	1	1	0	1	0	1
2024-08-28	15:00	Tarde	Tubería en polietileno	Goteros 15 cm	409,9	12	361,67	70	32792	1	0	1	0	1	1	1	0
2023-09-28	08:44	Mañana	Tubería en PVC	Tubería sin goteros	517,6	17	860,99	55,9	0	1	11	1	1	0	0	0	0
2024-06-28	14:05	Tarde	Tubería en PVC	Goteros 20 cm	479,9	11	325,16	71,9	26394	2	15	1	0	1	0	0	1
2023-02-15	22:41	Mañana	Tubería en polietileno	Goteros 15 cm	462,1	18	693,57	63	55452	2	2	1	1	0	1	1	0
2023-10-02	22:25	Mañana	Tubería en PVC	Goteros 15 cm	520,4	13	489,58	59,2	45101	1	5	1	1	0	0	1	0
2023-05-18	13:23	Mañana	Tubería en polietileno	Goteros 15 cm	472,3	12	584,86	65,6	37784	0	4	1	1	0	1	1	0
2023-10-23	16:58	Tarde	Tubería en polietileno	Goteros 20 cm	548,2	8	358,97	66,3	21928	2	6	1	0	1	1	0	1
2023-08-22	20:55	Tarde	Tubería en polietileno	Goteros 20 cm	486,1	13	653,18	53	31596	0	0	1	0	1	1	0	1

R. ROLLOS

Resumen

Estadísticas de la regresión	
Coeficiente de correlación múltiple	0,361322302
Coeficiente de determinación R^2	0,130553806
R^2 ajustado	0,125048494
Error típico	38,49727499
Observaciones	1000

ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	*na de cuadrados*	*romedio de los cuadrado*	*F*	*Valor crítico de F*
Regresión	6	221426,647	36904,44121	37,35166056	5,62955E-41
Residuos	995	1474629,98	1482,040182		
Total	1001	1696056,63			

	Coeficientes	*Error típico*	*Estadístico t*	*Probabilidad*	*Inferior 95%*	*Superior 95%*	*nferior 95.0%*	*uperior 95.0%*
Intercepción	520,3499383	3,37244344	154,2946374	519,5920487	513,7320204	526,967856	513,73202	526,967856
MAÑANA	69,83	2,43529884	65535	0,3051101	-3,321658569	6,82161891	-3,3628519	6,65416084
TARDE	69,55	2,44656902	0,52086912	0,60257384	-3,526684984	6,07536949	-3,526685	6,07536949
TUBERÍA EN POLI	0,655793455	2,44474678	0,268245964	0,788565598	-4,141657897	5,45324481	-4,1416579	5,45324481
GOTEROS A 15 CM	-37,29229768	3,59939587	-10,36071024	5,87331E-24	-44,35557588	-30,229019	-44,355576	-30,229019
GOTEROS A 20 CM	-41,63142005	3,49146018	-11,92378488	9,863E-31	-48,48289053	-34,77995	-48,482891	-34,77995

ECUACIÓN

gf=520+69.83T.MAÑANA+69.55T.TARDE+0.6579 TUBERÍA POLÍ-37.29 GOTEROS A 15 CM -41.63 GOTEROS A 20 CM

ANOVA | Pedir

Está utilizando la versión gratuita de XLSTAT. Compre una licencia para obtener acceso a 100 o más funciones adicionales.

XLSTAT 2025.1.3.1431 - Regresión lineal - Comienzo: 19/10/2025 a las 17:15:27 / Final: 19/10/2025 a las 17:15:30

Estos resultados han sido generados usando la versión gratuita de XLSTAT. Puede beneficiarse de muchas otras herramientas y opciones con la versión completa.

Y / Variables dependientes: Libro = AGRIFIM_Produccion_LineaGoteo (Anova).xlsx / Hoja = Datos / Rango = 'Datos'!$F$1:$L$1001 / 1000 filas y 7 columnas

X / Cuantitativas: Libro = AGRIFIM_Produccion_LineaGoteo (Anova).xlsx / Hoja = Datos / Rango = 'Datos'!$N$1:$S$1001 / 1000 filas y 6 columnas

Estadísticos descriptivos

Estadísticos descriptivos:

Variable	Observaciones	Obs. con datos perdidos	Obs. sin datos perdidos	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típica
LONGTID ROLLO (en mts)	1000	0	1000	356,600	627,200	488,085	41,204
NUM ROLLOS PRODUCIDOS (Und)	1000	0	1000	8,000	24,000	12,183	3,186
MATERIA PRIMA USADA (Kg)	1000	0	1000	190,810	1128,750	535,749	179,892
VELOCIDAD PRODUCCIÓN (Mts/Horas)	1000	0	1000	32,400	84,900	63,570	11,042
CANTIDAD DE GOTEROS (Und)	1000	0	1000	0,000	75250,000	28205,665	15972,098
DEFECTOS CONTADOS	1000	0	1000	0,000	15,000	1,406	1,829
TIEMPO EXTRUSORA PARADA (Min)	1000	0	1000	0,000	45,000	7,327	10,116
B0	1000	0	1000	1,000	1,000	1,000	0,000
T.MAÑANA	1000	0	1000	0,000	1,000	0,546	0,498
T.TARDE	1000	0	1000	0,000	1,000	0,454	0,498
TUBERÍA EN POLI	1000	0	1000	0,000	1,000	0,458	0,498
GOTEROS A 15 CM	1000	0	1000	0,000	1,000	0,373	0,484
GOTEROS A 20 CM	1000	0	1000	0,000	1,000	0,462	0,499

Matriz de correlaciones:

	B0	T.MAÑANA	T.TARDE	TUBERÍA EN POLI	GOTEROS A 15 CM	GOTEROS A 20 CM	LONGTID ROLLO (en	NUM ROLLOS	MATERIA PRIMA	VELOCIDAD PRODUCCIÓ	CANTIDAD DE	DEFECTOS CONTADOS	TIEMPO EXTRUSORA
B0													
T.MAÑANA		**1**	-1,000	-0,033	0,010	-0,009	-0,015	-0,026	-0,015	-0,030	-0,019	0,005	-0,007
T.TARDE		-1,000	**1**	0,033	-0,010	0,009	0,015	0,026	0,015	0,030	0,019	-0,005	0,007
TUBERÍA EN POLI		-0,033	0,033	**1**	-0,003	0,006	0,007	-0,029	-0,034	-0,016	-0,010	-0,030	-0,061
GOTEROS A 15 CM		0,010	-0,010	-0,003	**1**	-0,715	-0,078	0,032	0,024	0,037	0,557	0,064	-0,038
GOTEROS A 20 CM		-0,009	0,009	0,006	-0,715	**1**	-0,191	-0,034	-0,083	-0,026	0,044	-0,031	0,016
LONGTID ROLLO (en mts)		-0,015	0,015	0,007	-0,078	-0,191	**1**	0,036	0,293	0,024	-0,109	-0,005	-0,009
NUM ROLLOS PRODUCIDOS (Und)		-0,026	0,026	-0,029	0,032	-0,034	0,036	**1**	0,766	0,026	0,469	-0,013	-0,038
MATERIA PRIMA USADA (Kg)		-0,015	0,015	-0,034	0,024	-0,083	0,293	0,766	**1**	0,059	0,347	0,002	-0,057
VELOCIDAD PRODUCCIÓN (Mts/Horas)		-0,030	0,030	-0,016	0,037	-0,026	0,024	0,026	0,059	**1**	0,051	0,326	-0,506
CANTIDAD DE GOTEROS (Und)		-0,019	0,019	-0,010	0,557	0,044	-0,109	0,469	0,347	0,051	**1**	0,047	-0,073
DEFECTOS CONTADOS		0,005	-0,005	-0,030	0,064	-0,031	-0,005	-0,013	0,002	0,326	0,047	**1**	-0,095
TIEMPO EXTRUSORA PARADA (Min)		-0,007	0,007	-0,061	-0,038	0,016	-0,009	-0,038	-0,057	-0,506	-0,073	-0,095	**1**