



FACULTAD DE INGENIERÍA Y COMPUTACIÓN

Implementación de un Sistema de Control de Variables por Sensores para Mejorar la Productividad de las Lechugas Hidropónicas de la Empresa FAGSOL S.A.C

Presentado por:

Jose Carlos Linares Valderrama

Carlos Eduardo Zuñiga Torreblanca

Para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO INDUSTRIAL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Asesor: Ing. Felipe Eladio Valencia Rivera

Arequipa, diciembre de 2019

DEDICATORIA

El presente proyecto de mejora está dedicado para todas las personas y amigos que han contribuido en nuestro desarrollo profesional, desde nuestros queridos profesores en la universidad, cuyo aporte teórico fue fundamental para la realización de este trabajo, hasta el cariño y apoyo de nuestros amigos y familiares, especialmente el de nuestros padres, que depositaron su fe en nosotros, y darían toda su vida para vernos triunfar.

Finalmente, nos dedicamos este trabajo mutuamente, y a Dios, por todo el esfuerzo que hemos venido desarrollando a lo largo de estos años.

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer la culminación de este proyecto principalmente a Dios, por darnos la fortaleza y las condiciones necesarias para poder esforzarnos y cumplir nuestros sueños.

De la misma forma, queremos agradecer a nuestros padres por su cariño, amor, entendimiento, y sobre todo por ser una fuente de inspiración infinita para nosotros. A todos nuestros familiares, aquellas personas que están unidos a nosotros, ya sea por un vínculo consanguíneo o un vínculo espiritual, ya sean hermanos directos, o ya sean amigos, compañeros o hermanos del alma. Gracias por acompañarnos en este camino y gracias por brindarnos su apoyo en todo el sentido de la palabra.

A la Universidad Católica San Pablo, que además de darnos una formación espiritual, nos dio una formación profesional de primer nivel.

Finalmente damos las gracias a nuestro asesor de tesis, quien con su experiencia y conocimientos del tema, pudo guiarnos hacia la culminación de un trabajo de calidad profesional.

RESUMEN

El presente trabajo de mejora tiene por título: “Implementación de un sistema de control de variables por sensores para mejorar la productividad de las lechugas hidropónicas de la empresa FAGSOL S.A.C”.

La empresa FAGSOL SAC, se dedica a diversas áreas agrícolas y metodológicas, entre las que destaca el cultivo de lechugas hidropónicas. Al realizar el diagnóstico, se evidenció que esta actividad requería de una cantidad considerable de recursos (principalmente tiempo) en la toma de lectura de variables de entorno, fundamentales en el cultivo, crecimiento y cosecha; lo que generaba una problemática en la productividad de la empresa.

El objetivo fue mitigar este problema al implementar un sistema de control de variables (pH, temperatura, humedad) por sensores, para optimizar la productividad de las lechugas. Se optó por un diseño no experimental, ya que no existía manipulación de variables, más sí un almacenamiento de datos, los cuales fueron analizados de acuerdo a las necesidades del proyecto.

Se evaluó la situación de la empresa y su productividad, observando que los tiempos que tardaban en medir estas variables eran considerablemente altos (aproximadamente 190.31 minutos, equivalente a 3.17 horas; y con un recorrido de alrededor 323 metros).

Sin embargo, luego de la implementación del sistema de control, se encontraron mejoras significativas en la empresa. La más resaltante es la optimización de la productividad, ya que el tiempo dedicado a esta actividad se redujo favorablemente de 3.17 horas a tan solo 10 minutos aproximadamente. Así mismo, hubo un mejoramiento en la cantidad y calidad del cultivo (aumento de 10% de productividad apenas implementado el sistema), porque al regular las variables, las lechugas aseguraron un entorno óptimo de desarrollo.

Considerando la inversión económica empleada para esta implementación, se estimó que el proyecto es viable y trae consigo mejoras significativas en la productividad y calidad.

Palabras clave: Lechugas hidropónicas, variables, sistema de sensores, productividad.

ABSTRACT

The research work is entitled: "Implementation of a system of control of variables by sensors to improve the productivity of hydroponic lettuces of the company FAGSOL S.A.C".

The company FAGSOL SAC, is dedicated to various agricultural and methodological areas, among which the cultivation of hydroponic lettuce. When making the diagnosis, it was evident that this activity requested a considerable amount of resources (mainly time) in the reading of fundamental environment variables in the cultivation, growth and harvest, which generates a problem in the productivity of the company.

The objective was to mitigate this problem by implementing a variable control system (pH, temperature, humidity) by sensors, to optimize the productivity of lettuce. A non-experimental design was chosen, since there is no manipulation of variables, but there is data storage, which was analyzed according to the needs of the project.

The situation of the company and its productivity were evaluated by observing that the time it took to measure these variables is relatively high (approximately 190.31 minutes, equivalent to 3.17 hours; and with a distance of about 323 meters).

However, after the implementation of the control system, we found improvements in the company. The most outstanding one is the optimization of productivity, since the time dedicated to this activity was reduced favorably from 3.17 hours to just 10 minutes. Likewise, there was an improvement in the quantity and quality of the crop (10% productivity improvement as soon as the system was implemented), because by regulating the variables, the lettuces ensure an optimal development environment.

Considering the economic investment used for this implementation, it is estimated that the project is viable and brings improvements in terms of productivity and quality.

Keywords: Hydroponic lettuce, variables, sensor system, productivity.

INTRODUCCIÓN

La agricultura es un área que no escapa de los avances tecnológicos, siendo el área de la hidroponía una de las que más se actualiza en cuanto a tecnología se refiere, para optimizar constantemente la producción.

La empresa FAGSOL SAC, es una empresa dedicada a diversas áreas agrícolas y metodológicas, entre la que se destaca el cultivo de lechugas hidropónicas. Este cultivo requiere de un cuidadoso manejo de variables en su entorno, ya que éstas logran impactar en el crecimiento de las mismas. Por consiguiente, se hace necesario el control, lectura y manejo de estas variables.

Uno de los principales problemas de la empresa radica en esta toma de lecturas de variables (pH, temperatura, humedad), ya que esta toma se realiza de manera manual, haciendo que el trabajo demande una gran cantidad de tiempo y por consiguiente, recursos para la empresa.

En vista de esta problemática, se ha decidido realizar este trabajo, donde se pretende implementar un sistema de control de variables por sensores, para mejorar la productividad de las lechugas de la empresa FAGSOL SAC. Con ello se pretende una variación positiva en la productividad, y por consiguiente también una variación económica positiva. Para ello, se tendrá que realizar un diagnóstico de la empresa; principalmente, determinar las ventajas y desventajas que conllevará la implementación de un sistema de sensores, performance actual de la empresa, viabilidad de la implementación, y finalmente determinar el impacto económico en la empresa.

Empezaremos planteando teóricamente el proyecto, desde antecedentes de la empresa en donde se desarrollará la implementación, hasta la justificación y planteamiento de objetivos generales y específicos de la tesis. Con esta parte, queremos dar un enfoque para no sobreextender la información brindada y tener en claro los objetivos principales de esta tesis.

Seguidamente, procederemos a definir el marco teórico necesario para llevar a cabo este proyecto. Aquí podremos observar antecedentes del tema, es decir, la información disponible hasta el momento sobre el tema a desarrollar, y también se procederá a definir todos los conceptos necesarios para elaborar la tesis. Observaremos principalmente las aplicaciones de la hidroponía, tecnologías emergentes agrícolas, entre ellas la NFT,

telemetría, variables a estudiar de las lechugas, etc. La idea es enriquecer al lector para que pueda entender teóricamente de qué estamos hablando y qué queremos implementar.

Procederemos con el planteamiento operacional, es decir, la definición de los aspectos metodológicos que usaremos. En ella podremos definir nuestras hipótesis y también qué herramientas utilizaremos para desarrollar o sustentar la misma.

A continuación, realizaremos el análisis de la implementación del proyecto, es decir, la aplicación de todas las herramientas que definimos anteriormente, su desarrollo, análisis y estudio. La idea de este punto es reunir la suficiente información para demostrar cuál es la performance actual de la empresa y cuáles serían las mejoras significativas que la implementación de este proyecto conlleva. Estos análisis serán cuantitativos y posteriormente estudiados e interpretados para obtener una conclusión cualitativa.

Finalmente, estableceremos las conclusiones del estudio y las recomendaciones que al desarrollar este proyecto han venido resaltando para una mejor performance. Con estos puntos queremos concluir y enfatizar los principales resultados que nuestro análisis arroja. De esta forma, leyendo estos puntos, uno puede darse cuenta de cuál fue el resultado final obtenido.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---------------------------------------------------------------------------|-------------|
| <i>DEDICATORIA</i> | <i>ii</i> |
| <i>AGRADECIMIENTOS</i> | <i>iii</i> |
| <i>RESUMEN</i> | <i>iv</i> |
| <i>ABSTRACT</i> | <i>v</i> |
| <i>INTRODUCCIÓN</i> | <i>vi</i> |
| <i>ÍNDICE GENERAL</i> | <i>viii</i> |
| <i>ÍNDICE DE FIGURAS</i> | <i>xii</i> |
| <i>ÍNDICE DE TABLAS</i> | <i>xiv</i> |
| 1 <i>CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO TEÓRICO OBJETIVO</i> | 1 |
| 1.1 <i>Antecedentes Generales de la Organización</i> | 1 |
| 1.1.1 <i>Antecedentes y Condiciones Actuales de la Organización</i> | 1 |
| 1.1.2 <i>Sector y Actividad Económica</i> | 2 |
| 1.1.3 <i>Misión, Visión y Valores</i> | 2 |
| 1.1.4 <i>Política de la Organización</i> | 4 |
| 1.1.5 <i>Organización</i> | 4 |
| 1.1.6 <i>Principales Procesos y Operaciones Post Cultivo</i> | 5 |
| 1.2 <i>Planteamiento del Problema</i> | 6 |
| 1.2.1 <i>Descripción del Problema</i> | 6 |
| 1.2.2 <i>Formulación del Problema</i> | 7 |
| 1.2.3 <i>Sistematización del Problema</i> | 8 |
| 1.3 <i>Objetivos</i> | 8 |
| 1.3.1 <i>Objetivo General</i> | 8 |
| 1.3.2 <i>Objetivos Específicos</i> | 8 |
| 1.4 <i>Justificación del Proyecto</i> | 9 |
| 1.4.1 <i>Justificación Práctica</i> | 9 |
| 1.4.2 <i>Justificación Política, Económica y/o Social</i> | 9 |
| 1.4.3 <i>Justificación Profesional, Académica y/o Personal</i> | 10 |
| 1.5 <i>Delimitaciones del Proyecto</i> | 11 |
| 1.5.1 <i>Temático</i> | 11 |

| | | |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.5.2 | <i>Espacial</i> | 11 |
| 1.5.3 | <i>Temporal</i> | 11 |
| 1.6 | <i>Viabilidad del Proyecto</i> | 12 |
| 2 | CAPITULO II: MARCO DE REFERENCIA | 13 |
| 2.1 | <i>Antecedentes de Investigación sobre el Tema</i> | 13 |
| 2.1.1 | <i>Antecedentes Internacionales</i> | 13 |
| 2.1.2 | <i>Antecedentes Nacionales</i> | 15 |
| 2.1.3 | <i>Antecedentes Locales</i> | 16 |
| 2.2 | <i>Marco de Referencia Teórico</i> | 17 |
| 2.2.1 | <i>Hidroponía</i> | 17 |
| 2.2.2 | <i>Técnica de la Solución Nutritiva Recirculante (NFT)</i> | 19 |
| 2.2.3 | <i>Componentes y Materiales del Sistema NFT</i> | 20 |
| 2.2.4 | <i>Variables Influyentes en el Crecimiento de las Lechugas Hidropónicas</i> | 25 |
| 2.2.5 | <i>Selección de dispositivos</i> | 31 |
| 2.2.6 | <i>Telemetría</i> | 35 |
| 2.2.7 | <i>Técnicas de registro y análisis</i> | 40 |
| 3 | CAPITULO III. PLANTEAMIENTO OPERACIONAL | 50 |
| 3.1 | <i>Aspectos metodológicos</i> | 50 |
| 3.1.1 | <i>Diseño del Trabajo</i> | 50 |
| 3.1.2 | <i>Metodología del Trabajo</i> | 50 |
| 3.2 | <i>Hipótesis</i> | 51 |
| 3.2.1 | <i>Hipótesis General</i> | 51 |
| 3.2.2 | <i>Hipótesis específicas</i> | 51 |
| 3.3 | <i>Operacionalización de variables – Matriz de consistencia</i> | 52 |
| 3.4 | <i>Aspectos metodológicos para la propuesta de mejora</i> | 54 |
| 3.4.1 | <i>Métodos de ingeniería a aplicarse y/o técnicas de ingeniería aplicarse</i> | 54 |
| 3.4.2 | <i>Herramientas de Análisis, planificación, desarrollo y evaluación</i> | 54 |
| 4 | CAPÍTULO IV: IMPLEMENTACION DE SISTEMA DE CONTROL DE VARIABLES | 55 |

| | | |
|--------|---------------------------------------------------------------------|----|
| 4.1 | <i>Estudio del proceso productivo de FAGSOL SAC</i> | 55 |
| 4.1.1 | <i>Procedimiento para la producción lechugas hidropónicas</i> | 55 |
| 4.2 | <i>Plan de implementación.</i> | 61 |
| 4.3 | <i>Diseño de implementación</i> | 62 |
| 4.3.1 | <i>Etapa I. Implementación de un sistema de medida</i> | 62 |
| 4.3.2 | <i>Etapa II. Implementación del sistema de control</i> | 62 |
| 4.3.3 | <i>Etapa III. Implementar la base de datos</i> | 62 |
| 4.3.4 | <i>Etapa IV. Diseño de consulta, gráficas y descargas</i> | 63 |
| 4.3.5 | <i>Etapa V. Consideraciones post-implementación</i> | 63 |
| 5 | CAPITULO V: ANALISIS DE LA IMPLEMENTACION | 64 |
| 5.1 | <i>Recopilación de Datos del Problema.</i> | 64 |
| 5.1.1 | <i>Etapa 1. Recojo de la muestra:</i> | 64 |
| 5.1.2 | <i>Etapa 2. Análisis de variables de la muestra</i> | 64 |
| 5.1.3 | <i>Etapa 3. Devolver la muestra</i> | 64 |
| 5.2 | <i>Diagrama de recorrido</i> | 65 |
| 5.3 | <i>Cartas de Control de Proceso.</i> | 66 |
| 5.4 | <i>Cartas de Control para Medición de Variables</i> | 74 |
| 5.5 | <i>Análisis de Causa Raíz</i> | 77 |
| 5.6 | <i>Diagrama de Análisis del Proceso Actual y Propuesto:</i> | 78 |
| 5.7 | <i>Planteamiento de mejoras.</i> | 80 |
| 5.8 | <i>Estudio de la Productividad</i> | 81 |
| 5.9 | <i>Análisis de la Demanda</i> | 85 |
| 5.10 | <i>Indicadores de Productividad</i> | 86 |
| 5.11 | <i>Elaboración de la propuesta costo-beneficio</i> | 88 |
| 5.11.1 | <i>Costos de los equipos</i> | 88 |
| 5.11.2 | <i>Costos directos</i> | 89 |
| 5.11.3 | <i>Costos indirectos</i> | 89 |
| 5.11.4 | <i>Inversión de capital total</i> | 90 |
| 5.11.5 | <i>Depreciación</i> | 90 |
| 5.11.6 | <i>Ingresos</i> | 91 |

| | | |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.11.7 | <i>Egresos y Rentabilidad</i> | 91 |
| 5.12 | <i>Ventajas y desventajas de la implementación</i> | 99 |
| 6 | <i>CAPITULO VI: CONCLUSIONES, COMENTARIOS FINALES Y RECOMENDACIONES</i> | 100 |
| 6.1 | <i>Conclusiones</i> | 100 |
| 6.2 | <i>Comentarios Finales</i> | 101 |
| 6.3 | <i>Recomendaciones</i> | 102 |
| 7 | <i>Bibliografía</i> | 103 |
| | <i>GLOSARIO</i> | 105 |
| | <i>ACRÓNIMOS</i> | 108 |
| | <i>FÓRMULAS</i> | 110 |
| | <i>ANEXOS</i> | 111 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Figura 1. Organigrama de la empresa FAGSOL SAC</i> | 4 |
| <i>Figura 2. Sistemas hidropónicos</i> | 18 |
| <i>Figura 3. Tanque de abastecimiento de los NFT</i> | 20 |
| <i>Figura 4. Tubos para canaletas de NFT</i> | 21 |
| <i>Figura 5. Bomba de agua para el sistema “NFT”</i> | 22 |
| <i>Figura 6. Sistema hidropónico “NFT”</i> | 25 |
| <i>Figura 7. Escala de pH</i> | 27 |
| <i>Figura 8. Tipos de Radiación Ultravioleta</i> | 30 |
| <i>Figura 9. Placa Arduino</i> | 31 |
| <i>Figura 10. Sensor de Temperatura y de Humedad relativa</i> | 33 |
| <i>Figura 11. Sensor de temperatura</i> | 34 |
| <i>Figura 12. Sensor de pH0-14</i> | 35 |
| <i>Figura 13. Diagrama de bloques tradicional de un sistema de transmisión de datos</i> ... | 36 |
| <i>Figura 14. Esquema general de bloques de un sistema de Telemetría</i> | 37 |
| <i>Figura 15. Esquema de un sistema de telemetría: (a) Captura y transmisión de datos (b) Medio de Transmisión (c) Equipo receptor de monitoreo</i> | 38 |
| <i>Figura 16. Características técnicas Módulo Inalámbrico</i> | 40 |
| <i>Figura 17. Pasos para realizar un diagrama de Gantt</i> | 41 |
| <i>Figura 18. Modelo de Diagrama de Gantt</i> | 42 |
| <i>Figura 19. Pasos para realizar un diagrama Ishikawa</i> | 43 |
| <i>Figura 20. Pasos para realizar un diagrama Ishikawa</i> | 43 |
| <i>Figura 21. Representación de las actividades de operación y proceso</i> | 45 |
| <i>Figura 22. Representación de actividades de transporte</i> | 45 |
| <i>Figura 23. Representación de las actividades de inspección</i> | 46 |
| <i>Figura 24. Representación de las actividades de inspección de espera</i> | 46 |
| <i>Figura 25. Representación de las actividades de inspección de almacenaje</i> | 46 |
| <i>Figura 26. Representación de las actividades de operación-inspección</i> | 47 |
| <i>Figura 27. Límites de control</i> | 48 |
| <i>Figura 28. Acondicionamiento de la arena para las marqueras</i> | 55 |
| <i>Figura 29. Siembra de semillas</i> | 56 |
| <i>Figura 30. Germinación de las lechugas</i> | 56 |
| <i>Figura 31. Sistema flotante</i> | 57 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Figura 32. Trasplante a los reactores NFT</i> | 57 |
| <i>Figura 33. Lechugas listas para su cosecha</i> | 58 |
| <i>Figura 34. Apariencia de una lechuga cosechada</i> | 59 |
| <i>Figura 35 Diagrama DOP de la producción de lechugas hidropónicas</i> | 60 |
| <i>Figura 36 Diagrama de bloques del Sistema de Control</i> | 61 |
| <i>Figura 37. Central de monitoreo</i> | 62 |
| <i>Figura 38. Diagrama de Recorrido</i> | 65 |
| <i>Figura 39. Tiempo empleado en diferentes etapas del recojo de las variables</i> | 67 |
| <i>Figura 40. Gráfico de control del tiempo empleado en la etapa de recojo de muestra.</i> | 69 |
| <i>Figura 41. Gráfico de control del tiempo empleado en la etapa de análisis</i> | 71 |
| <i>Figura 42 Gráfico de control del tiempo empleado en la etapa de devolución</i> | 73 |
| <i>Figura 43. Gráfico de Control para de la Variable pH</i> | 75 |
| <i>Figura 44. Gráfico de Control para de la Variable Temperatura</i> | 76 |
| <i>Figura 45. Gráfico de Control para de la Variable Humedad</i> | 76 |
| <i>Figura 46. Diagrama ISHIKAWA de la empresa FAGSOL</i> | 77 |
| <i>Figura 47. Diagrama DAP del proceso de Recolección de Información de Variables</i> . | 79 |
| <i>Figura 48. Diagrama de análisis de Procesos de Estudio de Variables Post-Implementación</i> | 80 |
| <i>Figura 49. Producción de lechugas por docena, años 2016 - 2019</i> | 83 |
| <i>Figura 50. Evolución del Ingreso anual en soles, años 2016 - 2019</i> | 85 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Tabla 1. Valor de venta de lechuga hidropónica.....</i> | 5 |
| <i>Tabla 2. Componentes de Arduino</i> | 32 |
| <i>Tabla 3. Matriz de consistencia.....</i> | 53 |
| <i>Tabla 4. Tiempo empleado en diferentes etapas del recojo de las variables en estudio</i> | 66 |
| <i>Tabla 5. Estadística descriptiva para la etapa recojo de muestras.....</i> | 67 |
| <i>Tabla 6. Tiempos empleados en la etapa de recojo de muestra</i> | 69 |
| <i>Tabla 7. Estadística descriptiva para la etapa análisis de variables.....</i> | 70 |
| <i>Tabla 8. Tiempos empleados en la etapa de análisis de variables.....</i> | 71 |
| <i>Tabla 9. Estadística descriptiva para la etapa devolver la muestra</i> | 72 |
| <i>Tabla 10 Tiempos empleados en la etapa de devolución de la muestra.....</i> | 73 |
| <i>Tabla 11 Promedios de Valores de Variables – Agosto 2019</i> | 74 |
| <i>Tabla 12. Estadística descriptiva para variables de medición.....</i> | 75 |
| <i>Tabla 13. Producción de lechugas por docena, años 2016 – 2019.....</i> | 82 |
| <i>Tabla 14 Evolución del Ingreso por docena, años 2016 – 2019.....</i> | 84 |
| <i>Tabla 15 Consumo promedio per cápita anual de Lechugas</i> | 86 |
| <i>Tabla 16. Costos de los equipos</i> | 88 |
| <i>Tabla 17. Estimación de costos directos</i> | 89 |
| <i>Tabla 18. Estimación de costos indirectos</i> | 89 |
| <i>Tabla 19. Estimación de la inversión del capital total en función del costo de equipo</i> | 90 |
| <i>Tabla 20. Estimación de la depreciación de la inversión.....</i> | 90 |
| <i>Tabla 21. Costos directos totales - Egresos</i> | 92 |
| <i>Tabla 22. Materiales y Suministros Indirectos.....</i> | 92 |
| <i>Tabla 23. Costos de Mantenimiento</i> | 93 |
| <i>Tabla 24. Costos Indirectos de Material</i> | 93 |
| <i>Tabla 25. Total de presupuesto de egresos.....</i> | 93 |
| <i>Tabla 26. Flujo de Caja descontado en 5 años</i> | 94 |
| <i>Tabla 27. Tiempo de retorno de capital.</i> | 96 |
| <i>Tabla 28. Análisis de sensibilidad respecto al VAN.....</i> | 97 |
| <i>Tabla 29. Análisis de escenarios optimista, pesimista y moderado con respecto al volumen de producción.....</i> | 98 |

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO TEÓRICO OBJETIVO

1.1 Antecedentes Generales de la Organización

1.1.1 Antecedentes y Condiciones Actuales de la Organización

1.1.1.1 Antecedentes

Para situarnos adecuadamente en los antecedentes de la organización, es necesario primero ubicar el rubro e hitos importantes de la empresa en donde se ha llevado a cabo este estudio. Es por esto que, a continuación se detallará cronológicamente los principales hitos del mismo.

FAGSOL SAC inicia sus actividades en Octubre de 2011, con fines de apoyar a los pequeños empresarios, instruyéndolos y capacitándolos en proyectos que pueden concluir en negocios rentables para ellos. En mayor detalle, empieza como una empresa multidisciplinaria que ofrece el servicio de asesoría y capacitación empresarial, y al público en general, en las diferentes ramas de la ingeniería, tales como procesos u operaciones industriales y mineras, mantenimiento de plantas, operación de equipos industriales y maquinaria pesada, entre otros temas.

En Julio del 2013, inicia sus actividades como fabricante de equipos, complementando la etapa inicial de la empresa, ya que ahora podrían también brindar a los clientes equipos diseñados y elaborados que se ajusten a sus ideales. En los años siguientes continúa asesorando y capacitando a personal de empresas para que laboren con mayor efectividad.

En enero de 2015, inicia las investigaciones tanto de producción y en estudios de mercado sobre productos hidropónicos, desarrollando cultivos en especias como rocoto, tomates cherry, fresas y lechugas.

En enero de 2016, FAGSOL SAC, empieza a construir el primer módulo para la producción de lechugas hidropónicas, las cuales ofertará al mercado. El módulo tendría un área total de 288m² con una producción aproximada de 75 docenas semanales de lechugas hidropónicas para la venta, y en febrero del 2017 concluye con duplicar el primer módulo, alcanzando a la actualidad una capacidad de producción aproximada de hasta 150 docenas semanales de lechugas hidropónicas.

A inicios del 2018, se planeó iniciar la construcción del tercer módulo, esperando seguir aumentando la capacidad de producción de las lechugas. Esta construcción aún está en desarrollo.

En conclusión, FAGSOL SAC, es una empresa que se dedica a brindar un apoyo teórico a empresas pequeñas y medianas; y últimamente, se abrió campo en el rubro de cultivo de productos hidropónicos.

1.1.1.2 Condiciones Actuales de la Organización

Actualmente, FAGSOL SAC, sigue siendo una empresa consultora dedicada a ofrecer el servicio de asesoría y capacitación a empresas en las áreas de procesos y operaciones siguiendo las normas de seguridad vigentes. Además FAGSOL SAC, como empresa en la actualidad, posee áreas en las que se dedica a la fabricación de equipos de acuerdo a solicitud de cliente, y en otra área produce “lechugas hidropónicas”, las cuales oferta al mercado para consumo. Entre los proyectos principales a futuro, se tiene como objetivo crecer de manera eficiente en la producción de productos hidropónicos.

1.1.2 Sector y Actividad Económica

1.1.2.1 Sector

La empresa FAGSOL SAC pertenece al sector productivo y educacional.

1.1.2.2 Actividad Económica

La empresa FAGSOL SAC tiene como actividad económica principal el asesoramiento empresarial, junto a la producción agrícola de lechugas hidropónicas.

1.1.3 Misión, Visión y Valores

Debido a que la empresa en la actualidad se ha ido adentrando en el rubro agrícola, se presenta una misión, visión y valores para este rubro en especial.

1.1.3.1 Misión

“FAGSOL SAC, es una empresa orientada hacia la participación en los procesos de desarrollo ofreciendo la asesoría y capacitación a través de actividades tales como cursos prácticos, talleres, seminarios, y además en material como manuales, guías, e información virtual; destinados para generar mayores oportunidades a personas emprendedoras o pequeños empresarios.”

1.1.3.1.1 Misión FAGSOL – “Lechugas hidropónicas”

"Producir lechugas hidropónicas de calidad para el consumo humano, libres de patógenos, y alto valor nutritivo, brindando a nuestros clientes un producto saludable que ayuda en la alimentación"

1.1.3.2 Visión FAGSOL SAC

“Ser la mayor y mejor fuente abastecedora de conocimiento y gestora de soluciones prácticas en los diferentes campos de la industria.”

1.1.3.2.1 Visión FAGSOL – “Lechugas hidropónicas”

"Ser la empresa productora de lechugas hidropónicas preferida por el cliente por la calidad de nuestro producto"

1.1.3.3 Valores de la Empresa FAGSOL SAC

- a) Compromiso:** Tener en cuenta la importancia del trabajo y cumplir con responsabilidad.
- b) Confidencialidad:** Estamos comprometidos a guardar información relevante de los proyectos que desarrollemos.
- c) Transparencia:** Realizamos nuestro trabajo de forma objetiva, clara y verificable.
- d) Calidad:** Entrega de servicios o producto a tiempo y cumpliendo en su totalidad con las expectativas del cliente.

Dentro del área de producción de lechugas hidropónicas, la empresa FAGSOL SAC, cuenta con los siguientes valores.

1.1.3.3.1 Valores FAGSOL – “Lechugas hidropónicas”

- a) Calidad:** Buscamos que nuestros productos sean de calidad.
- b) Honestidad:** Promovemos la sinceridad brindándoles confianza a nuestros clientes.
- c) Originalidad:** Buscamos ser innovadores.
- d) Responsabilidad Ambiental:** Apoyamos al cuidado del medio ambiente evitando el uso de insecticidas y sustancias que sean tóxicas para el medio ambiente.

1.1.4 Política de la Organización

Somos una empresa especializada en la producción de lechugas hidropónicas y su comercialización.

Nuestros compromisos se basan en:

- Satisfacer las necesidades de nuestros clientes.
- Optimizar permanentemente el desempeño y eficacia de los procesos
- Prevenir, controlar y reducir los riesgos en seguridad y salud ocupacional.
- Garantizar la participación activa de nuestro equipo de trabajo en los procesos productivos de la empresa.

1.1.5 Organización

La empresa FAGSOL SAC, tiene actualmente la siguiente estructura organizacional. En la figura 1 se detalla el organigrama de la organización.

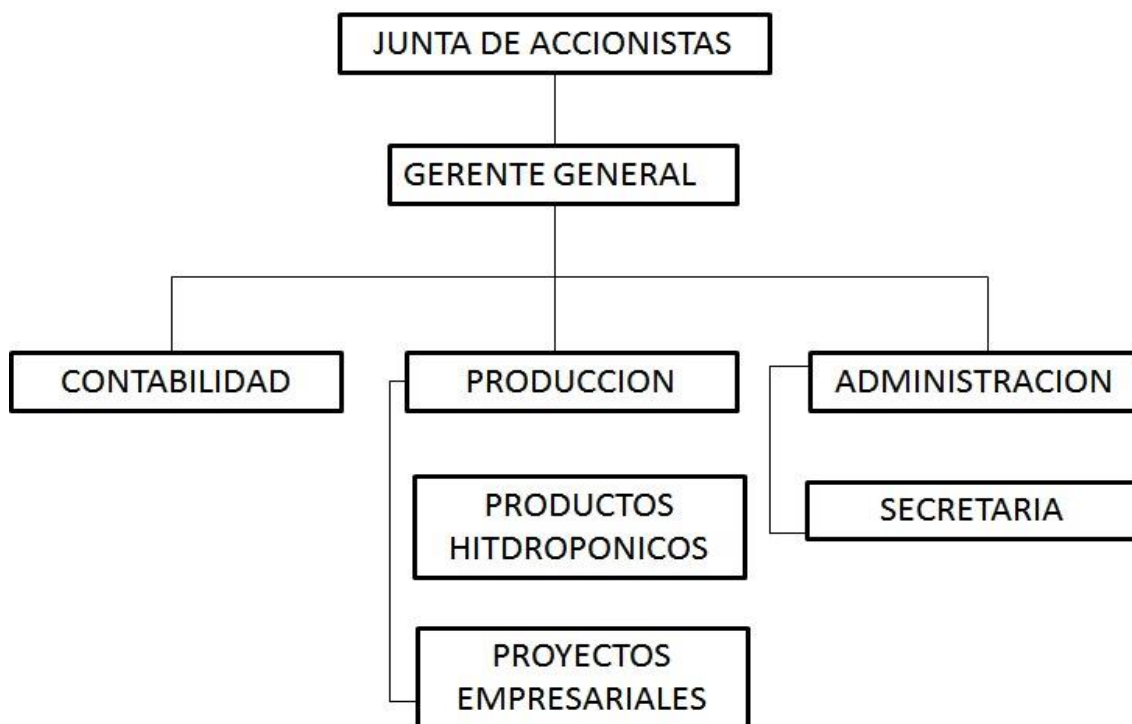


Figura 1. Organigrama de la empresa FAGSOL SAC

Fuente: (FAGSOL, 2018)

1.1.6 Principales Procesos y Operaciones Post Cultivo

Antes de adentrarnos a la problemática de este proyecto, es necesario entender un poco más sobre el proceso que sigue esta producción de lechugas post cultivo. Los procesos anteriores al mismo, se explicarán a mayor detalle más adelante debido que en ellos se centran las oportunidades de mejora.

a) Cosecha, Envasado y Apilado

Las lechugas en su etapa adulta son cosechadas y observadas para ser evaluadas y para que pasen el respectivo control de calidad. Posteriormente, son enjuagadas en agua y se les quita las hojas amarillas que puedan tener por su crecimiento (generalmente son las hojas más viejas); además se le hace un corte de la raíz para que no sea muy extensa. Todo esto para mejorar la presentación de la lechuga y poder ser envasadas. Posteriormente, son embolsadas y apiladas en cajas por docenas, dejando todo listo para el transporte de las mismas a su destino.

b) Transporte

Las lechugas son transportadas a los diferentes puntos de venta, ubicados en:

- Tienda de abarrotes “Viky” en el mercado de San Martín de Socabaya.
- Señoras de abasto en el mercado de Productores en el Cercado de Arequipa.

c) Venta

Los precios de venta varían de acuerdo a la cantidad: si es por docena el precio es menor, tal cual muestra en la tabla 1.

| Producto | Cantidad | Valor de venta (S/.) |
|---------------------|----------|----------------------|
| Lechuga hidropónica | 1 | 2 |
| Lechuga hidropónica | 12 | 17 |

Tabla 1. Valor de venta de lechuga hidropónica

Fuente: FAGSOL SAC

1.2 Planteamiento del Problema

El cultivo en hidroponía requiere de condiciones favorables, tanto ambientales como de nutrición. Estas condiciones obligan a realizar un control de ciertas variables para tener una producción óptima.

Este control se traduce en un problema debido a que se ve necesario manejar parámetros importantes en un ambiente controlado, donde las condiciones del agua y características particulares del medio ambiente son determinantes en el crecimiento de los cultivos.

Las principales variables a controlar en el cultivo de lechugas son la temperatura del ambiente, temperatura del agua, pH y la humedad. Estas variables que influyen en el crecimiento de la lechuga, son críticas para una buena productividad; y la toma de lectura de los mismos, demanda una cantidad de tiempo considerable ya que los equipos de hidroponía son independientes y deben controlarse por separado, es decir, se debe tomar la lectura de cada variable. Esta toma de lectura puede llegar a tardar 3 horas todas las mañanas, e inclusive algunos días realizar dos veces esta lectura.

Estos parámetros tienen rangos establecidos de control propuestos por la empresa. En caso de que alguna variable esté fuera del rango permitido, se debe regular lo más pronto posible, pues afectaría en el crecimiento y en el peor de los casos conllevaría a la pérdida del producto que se desea producir. Es de vital importancia para el éxito del proyecto que estas variables críticas sean monitoreadas y controladas.

En vista de lo expuesto anteriormente surge la siguiente interrogante: ¿Cómo mejorar la productividad de la empresa FAGSOL? ¿Se puede mejorar esta productividad a través de la implementación de un sistema de sensores de control de variables?

1.2.1 Descripción del Problema

De forma rápida y sencilla, podemos decir que el problema encontrado es el tiempo que demanda la lectura de los parámetros básicos de crecimiento (pH, temperatura del agua, humedad, y temperatura de ambiente) que es realizado por el personal a cargo. Este problema se ve intensificado debido a que el personal debe tomarse más tiempo en calibrar los equipos de medición antes de tomar lectura de cada batería de cultivo. De no hacerlo, podrían estar tomando datos erróneos y que perjudicarán el normal crecimiento de las lechugas hidropónicas.

La toma de la lectura de los parámetros involucrados se debe realizar desde la siembra hasta la cosecha. Desde el inicio o siembra de la planta se deben hacer las lecturas de los siguientes parámetros: pH, temperatura del agua, humedad, y temperatura de ambiente, de manera manual. Esta labor es realizada en la planta de cultivo. Aproximadamente son 2000 plantas de lechuga (en todo el proceso), en un tiempo de 3 horas de trabajo – hombre. Actualmente, esta actividad es realizada a las primeras horas de la mañana y con una frecuencia diaria, aunque a veces por motivos extraordinarios se realizaba dos veces al día.

En el presente proyecto, se pretende dar el énfasis que dicha función toma un tiempo considerable, y de ser el caso, se deben corregir las condiciones cuando las variables salen del rango permitido para la lechuga, generando más tiempo en la evaluación de variables. Si no se corrigen dichas condiciones, éstas pueden perjudicar el normal crecimiento de las lechugas, influenciando negativamente en su calidad durante la cosecha de las mismas. Si no se lleva el control de variables, se puede observar una disminución de la calidad de las lechugas, y por consiguiente una pérdida total del producto al no ser apta. Para el registro, ya se ha presentado anteriormente ocasiones en que se perdió una batería de 200 lechugas, ya que uno de los parámetros a controlar varió (pH).

Es por esto que surge la siguiente interrogante ¿Cómo mejorar la productividad de la empresa FAGSOL, a través de la implementación de un sistema de sensores de control de variables? Es por ello que se propone, en el presente estudio, un sistema de control de variables, que automatice la lectura de las mismas, a través de un software que genere reportes con los valores de las variables críticas del crecimiento de las lechugas en un tiempo mucho menor al realizarlo manualmente.

En resumen, el problema es el tiempo y recursos que se necesitan para elaborar el estudio y control de variables de crecimiento de las lechugas. Al ser de forma manual, toma una gran cantidad de tiempo, sin considerar que a veces las herramientas tienen que ser calibradas, y extraordinariamente, se realiza más de un control diario.

1.2.2 Formulación del Problema

¿Cómo mejorar la productividad de la empresa FAGSOL, a través de la implementación de un sistema de sensores de control de variables?

1.2.3 Sistematización del Problema

1. ¿Cuáles son las variables críticas que afectan la productividad actual de la empresa FAGSOL SAC?
2. ¿Cuáles son las ventajas y desventajas de la implementación del sistema de control de variables para la producción en la empresa FAGSOL SAC?
3. ¿Cómo instalaríamos los sensores y el software para la recepción y almacenamiento de datos en la empresa FAGSOL SAC?
4. ¿Cuáles serían las variables de medición de la productividad actual y posterior a la implementación del sistema en la empresa FAGSOL SAC?
5. ¿Cuál sería el impacto económico de la variación de la productividad por la implementación del sistema de control de variables en la empresa FAGSOL SAC?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Implementar un sistema de control de variables (pH, temperatura, humedad) por sensores para mejorar la productividad de las lechugas de la empresa FAGSOL SAC.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Describir la situación actual de la empresa FAGSOL SAC en cuanto a su productividad identificando las variables críticas dentro del proceso.
2. Encontrar las ventajas y desventajas, por la implementación de un sistema de control de variables para mejorar la producción de la empresa FAGSOL SAC.
3. Describir cómo se instalará los sensores y software para recepción de datos en la empresa FAGSOL SAC.
4. Identificar variables de medición de la productividad actual y posterior a la implementación del sistema en la empresa FAGSOL SAC.
5. Determinar el impacto económico de la variación de la productividad por la implementación del sistema en la empresa FAGSOL SAC.

1.4 Justificación del Proyecto

1.4.1 Justificación Práctica

Este proyecto se realiza porque existe la necesidad de mejorar el nivel de desempeño de producción en las lechugas hidropónicas, reemplazando la mano de obra por tecnología; donde se podrán aplicar herramientas tecnológicas con sensores, logrando experiencia y aprendizaje.

Así mismo, tenemos la hipótesis que al implementar dicho sistema de variables, habrá una mejora en el proceso productivo de la empresa FAGSOL SAC, incrementando la productividad y con ello el margen económico actual.

1.4.2 Justificación Política, Económica y/o Social

1.4.2.1 Política

No existe una razón o justificación política para el presente proyecto ya que se trata de una implementación a la empresa FAGSOL SAC.

1.4.2.2 Económica

La inversión económica por la implementación de sensores que miden variables es relativamente baja si la comparamos con las ganancias futuras (se detallará esta conclusión más adelante), y existen varias empresas que se encargan de proporcionar dichos sensores a público en general, siendo accesibles. Por otro lado, la inversión económica traerá ganancias significativas hacia la operación.

Cabe resaltar que esta justificación será demostrada al momento de desarrollar las herramientas de análisis económico, tales como el análisis de costo-beneficio, el análisis de valor actual neto y de tasa interna de retorno.

La idea de la implementación del sistema de variables es estudiar la factibilidad de este proyecto, al validar si la inversión inicial es menor que las ganancias significativas que traerá posteriormente el proyecto.

1.4.2.3 Social

No existe una razón o justificación social directa por la implementación del sistema de control de variables pues traerá beneficio tan solo a la productividad de la empresa.

Sin embargo, la implementación del sistema de control de variables mediante sensores podría servir como modelo para nuevos emprendedores que pretendan desarrollar una tecnología similar.

Al ser el sector hidropónico un rubro no tan industrializado en nuestro país (principalmente en las medianas y pequeñas empresas), el sector social puede beneficiarse al estudiar cómo fue implementado este sistema de variables, qué factores positivos y negativos trajo consigo, y así mismo poder ver si el proyecto fue viable o no. Con esta información, el sector puede evaluar implementar estas mejoras, y así mejorar su productividad. Esto conlleva a un movimiento económico social, a una dinamización de la economía y a mejorar la calidad de vida de los trabajadores de este sector.

1.4.3 Justificación Profesional, Académica y/o Personal

1.4.3.1 Profesional

Se pone en práctica los conocimientos adquiridos por la suma de profesionales que participan en la implementación, desarrollando un trabajo en equipo para lograr el objetivo de la implementación y los estudios de impacto que generará a la empresa FAGSOL SAC.

Gracias a este proyecto, podremos utilizar los conocimientos que en la universidad nos enseñaron, tales como las herramientas de análisis. Al poder corroborar que estos conocimientos teóricos funcionan en la práctica, enriquecemos nuestra vida profesional.

1.4.3.2 Académico

Existe una justificación académica, debido a que al estudiar si la implementación de un sistema de variables es un proyecto viable, podremos aportar al sector académico información representativa de este tipo de proyectos.

Así mismo, mientras la empresa FAGSOL SAC, tenga dentro de su misión el aporte a la formación estudiantil, permitirá el acceso a las instalaciones mediante programas de visitas técnicas por parte de entidades educativas. El sistema de control de variables a implementar permitirá contribuir en la formación de nuevos profesionales, mostrando la aplicación tecnológica en empresas de producción y en este caso de lechugas hidropónicas.

1.4.3.3 Personal

La implementación del sistema de control de variables por sensores es una excelente oportunidad para crecer en nuestra profesión, ya que adquiriremos conocimientos de diseño, programación, automatización y control, aplicando tecnología, y así mismo complementando los estudios de formación que hemos adquirido en Ingeniería Industrial. Así mismo, el estudio de este proyecto junto a su elaboración, pueden ser sustentados de tal manera que nos puedan brindar las herramientas necesarias para poder graduarnos y cumplir nuestras metas personales.

1.5 Delimitaciones del Proyecto

1.5.1 Temático

La realización del presente proyecto busca la implementación de un sistema de control por sensores para mejorar la productividad de las lechugas hidropónicas de la empresa FAGSOL SAC.

El proyecto se centrará y se enfocará principalmente en verificar la viabilidad del proyecto, al comparar la situación de la empresa anterior y posterior a la implementación.

1.5.2 Espacial

El proyecto de implementación se desarrollará en las instalaciones hidropónicas de la empresa FAGSOL SAC, que se encuentra ubicada en la urb. El Trébol de Santa Clara F-4, en San Martín de Socabaya-Arequipa.

Queda demás decir que estas instalaciones se encuentran en la ciudad de Arequipa, pero la implementación de este proyecto puede ser realizado en cualquier cultivo de cualquier empresa del sector.

1.5.3 Temporal

El proyecto de implementación y evaluación del impacto del mismo se desarrollará entre los años 2018-2019. Se tiene pensado que la elaboración del plan de tesis se realice hasta antes del 2019. El estudio y la implementación de proyecto a lo largo del 2019, mientras se realiza el borrador de tesis final, para ser presentado por los meses de Octubre a Noviembre.

1.6 Viabilidad del Proyecto

La viabilidad del proyecto se centrará en si la inversión económica del mismo es menor que las ganancias significativas que esta implementación conllevará. Estas ganancias se verán reflejadas en el aumento de productividad y calidad del producto. Este estudio puede ser desarrollado a través de herramientas de análisis económico.

Para ello, hay que primero realizar un estudio de todos los ingresos que conllevará la implementación de este sistema. Luego diferenciarlo de los gastos de esta implementación y gastos generales de la empresa para su producción. De esta forma tendremos flujos de caja que podremos someterlos a estudios de análisis económico. Con ello, podremos saber si la implementación es viable o no.

Además, respecto a la empresa en la que se desarrollará la implementación, este proyecto será viable ya que la empresa FAGSOL SAC tiene la capacidad para generar utilidades y mantenerse en el tiempo. Además con esta implementación se garantizará el funcionamiento y el crecimiento económico en el tiempo de la empresa.

CAPITULO II: MARCO DE REFERENCIA

2.1 Antecedentes de Investigación sobre el Tema

2.1.1 Antecedentes Internacionales

(Cardona, Zulaydi, & Lozano, 2017), en su investigación proponen desarrollar un sistema automatizado para un ambiente artificial que simule un invernadero hidropónico. En el mismo, se realizará el estudio y control de las principales variables de crecimiento a controlar y fijadas por él, tales como la humedad, luminosidad, temperatura, CO₂ y pH; para ello se utilizará una placa de Arduino que es una placa que se encargará de archivar los resultados de las variables y que es ideal para este tipo de proyectos; esta placa estará conectada con los sensores y actuará de forma reactiva junto a un sistema automatizado que funcionarán bajo un programa diseñado según los requerimientos del invernadero. La implementación de la electrónica y en este caso un sistema de control de variables automatizado, plantea una alternativa para la automatización y la tecnificación del control de variables de un invernadero, y esto se reflejará en un beneficio para la comunidad en general, no solo productores, también comerciantes y consumidores, sin olvidar que es amigable con el medio ambiente al facilitar el ahorro de agua y agro-insumos. Esta placa de arduino será considerada como la base para la implementación de presente proyecto.

Con este proyecto, pretendemos primero saber que es necesario controlar las variables del ambiente en donde desarrollaremos el cultivo de nuestras lechugas hidropónicas. Para ello, en la investigación afirman que es necesario usar un invernadero, para de esta forma mitigar la variable de radiación. En segundo lugar, concluimos que nuestras variables de estudio son las mismas que las que propone Cardona. Y en tercer lugar, concluimos que el uso de esta placa es apropiada para esta implementación.

(Perea, 2016) en su investigación indica que su proyecto “pretende desarrollar un sistema que permita el reporte de las condiciones internas dentro de un invernadero y que a su vez éstas puedan ser corregidas automáticamente mediante el uso de micro-controladores, sensores y actuadores”. Esto genera una base de datos que dará a conocer las condiciones internas conforme el tiempo vaya pasando durante el año. Las variables a medir serán tanto la temperatura, humedad relativa, luminosidad y humedad del suelo, que serán medidas en todo el desarrollo del crecimiento del cultivo. Las mediciones se lograron gracias al uso de diferentes tipos de sensores que fueron calibrados para reportar las variables de interés. Los sensores están conectados al micro controlador que es similar a

la placa de Arduino. Éste los recibirá y los mandará a través de Ethernet hacia un servidor, que luego establecerá conexión con la aplicación PHP, y almacenados en una base SQL. La información recolectada será revisada en el Excel para realizar la estadística necesaria.

Gracias a esta investigación, podemos concluir también que la placa de arduino, o los micro-controladores, pueden ayudar a generar una base de datos que podrá luego ser almacenada como datos históricos y poder ser estudiada para mejoras posteriores. Así mismo, en esta investigación, ya hace uso de la herramienta Ethernet que envía estos datos hacia un servidor. Finalmente, también concluye que las variables a estudiar son las mismas que nosotros proponemos.

(Cajo Curay, 2016) , en su tesis tuvo como objetivo controlar y observar la producción de los productos hidropónicos, en especial de la lechuga, en base a tres variedades del mismo (*Lactuca sativa*), y bajo la técnica del uso del sistema NFT (Nutriente Film Technique), utilizando tres soluciones nutritivas diferentes para poder observar la variabilidad y el aprovechamiento de mismo según la variedad de lechuga. El diseño experimental que se utilizó fue de parcelas divididas en tres subparcelas, cada una con nutrientes diferentes. Las variables medidas fueron el número de hojas, longitud de las hojas y altura de la planta; luego de 80 días se obtuvo que las variables peso y rendimiento estuvieron influenciados más por la calidad nutritiva que tenía la solución S2. Así mismo, se determinó que la variedad de lechugas V3 Salad Bowl es la que tuvo mejor rendimiento respecto a su crecimiento. Esto lo podemos atribuir a las características genéticas que son propias de esta variedad. Gracias a esta referencia, podemos observar que el uso de la técnica NFT es viable, y el estudio de estas variables se vuelve importante.

Gracias a esta investigación, encontramos el uso de la técnica NFT, el cual consiste en pasar una película de nutrientes al cultivo, a través de un tanque que distribuye este nutriente por canaletas. Concluimos de esta manera de que la técnica que se viene utilizando en FAGSOL SAC, es competente y hay que potenciarla con la implementación del sistema de estudio de variables.

2.1.2 Antecedentes Nacionales

(Allcca, 2017) tuvo como objetivo el de ver cómo era el comportamiento de diferentes concentraciones para nutrir a las lechugas, en base al nitrato de calcio. La metodología fue de tipo experimental, donde se pusieron a prueba el rendimiento de 3 concentraciones diferentes de nutrientes. Estas concentraciones fueron aplicadas a 70 plantas divididas en sub parcelas. Se aplicó ANOVA de 3 tratamientos y un grupo control. En los resultados se pudo observar que los cultivo que tenían mayor concentración de calcio, ya que fortalece la elasticidad en el tejido y estructura de las paredes de las hojas.

Gracias a esta investigación, podemos observar que en el Perú ya se ha comenzado a utilizar el término de NFT, y que uno de los nutrientes que más impacto tuvo en el crecimiento de sus plantas fue el calcio. Así mismo, observamos que para el estudio de estas variables, utiliza métodos estadísticos. Estos métodos estadísticos serán utilizados a mayor detalle en la parte de aplicación de la tesis más adelante.

(Reyna, Huamán, Tafur, & Lima, 2015), indica que la siembra dentro de climas controlados, como es dentro de un invernadero, resguarda y protegen el normal desarrollo de los cultivos frente a los agentes climáticos atmosféricos. Los invernaderos pueden ser instalados por el agricultor y manejados por este mismo, pero puede llevarse el control a otro nivel donde se pueda registrar las condiciones internas e inclusive controlarlas mediante el uso de sensores y actuadores que facilitaran el trabajo de monitorear el ambiente interno y garantizar las mejores condiciones de vida de los cultivos. El trabajo desarrolla el diseño de un sistema automatizado para el control y monitoreo de la humedad dentro del invernadero, que es instalado en el departamento de Ancash en el distrito de Abelardo Pardo. El proyecto incluye un algoritmo para encender o apagar, para las etapas de humidificación y deshumidificación, que son reportados por el sensor de humedad. Se aplica sensores de humedad DHT22 con su rango de trabajo de 0 a 100% y con una incertidumbre de +/-2%. Y con respecto a los actuadores, éstos encenderán bombas para transportar agua la cual pasará por unos nebulizadores para lograr aumentar la humedad del medio dentro del invernadero. Si se detecta mayor humedad los actuadores encenderán ventiladores para expulsar parte del aire húmedo hacia el exterior del invernadero. Para una mejor observación, el proyecto incluye el desarrollo de una interfaz para pc, para el monitoreo de las condiciones dentro del invernadero. Dentro de los resultados encuentra la autonomía al invernadero respecto a controlar las condiciones

ambientales de humedad para los cultivos. Esta tecnología será de base para la implementación del proyecto.

Gracias a esta investigación, podemos concluir que el uso de invernaderos, es fundamental. Así mismo, entramos a un siguiente nivel de automatización, debido a que ya implementa sensores de control, cuya función es hacer una lectura de las variables, pero también controlarlas en el caso de que se salgan de control. Esta tecnología sería la más conveniente para nosotros debido a que la automatización de este proceso aumentaría mucho más la productividad. Sin embargo, hay que estudiar también la inversión y las ganancias que este factor extra puede conllevar.

(Sánchez Inca, 2013), tuvo como objetivo el diseño de un prototipo que automatice el control de cultivos que usan la técnica de NFT, es decir diseñar un sistema de control automático, teniendo resultados inmediatos luego de la implementación del sistema automatizado, donde se garantiza que las plantas no sufrirán de estrés alimenticio. Esto se refleja en el aumento en la producción de lechugas.

Gracias a esta investigación, concluimos nuevamente que el uso del sistema NFT es el adecuado para aumentar la productividad. Así mismo se observó que las plantas no sufrían de estrés por el uso de esta técnica, y que se observó un incremento de la producción instantáneamente. Si combinamos este aumento de la producción, junto a la mayor rapidez de control de las variables, obtendremos una productividad mucho mayor.

2.1.3 Antecedentes Locales

(Isaac & Choque, 2015) tuvieron como objetivo estudiar qué variedad de lechugas es la que más aprovecha el sistema de nutrición NFT bajo invernadero, se realizó un diseño de experimento con 6 tratamientos y 5 repeticiones. Se concluye que la variedad Waldmans Green consiguió una altura de 19,95 cm, la variedad Bonita con 16,32 cm y la variedad Hardy obtuvo la menor altura que fue de 16,30 cm. Luego del análisis de todas las variables en estudio se puede concluir que la mayor rentabilidad neta se obtuvo en la variedad la Bonita que alcanzo 0,66 g. (66%).

Gracias a esta investigación, obtenemos que el uso de la técnica NFT tiene un impacto en la calidad de las plantas. Así mismo, propone una variedad de lechuga que aprovecha más esta técnica. Esta información puede ayudar a la empresa FAGSOL SAC, a poder aumentar un poco más su productividad en el caso de utilizar esta variedad.

(Chávez, 2013), en su tesis tuvo como objetivo diseñar e instalar un sistema de lechuga hidropónica NFT doble nivel en las condiciones de Chiguata, para evaluar el crecimiento, desarrollo y producción de lechuga hidropónica con la Tecnología EMTM. Se aplicó un diseño de Bloques Completamente al Azar (BCA) con 2 tratamientos y 4 repeticiones, luego se aplicó ANOVA, a fin de comparar los promedios con la prueba de rango múltiple de Tukey con un nivel de significancia del 5%. Las variables utilizadas fueron: diámetro de planta, altura de planta, número de hojas, longitud de raíz y peso de planta. Se demostró que es eficiente el sistema doble nivel ya que en una misma área se puede lograr aumentar la producción del 50% de lechugas con características casi similares.

Con esta investigación, nuevamente comprobamos el valor de la técnica NFT, y así mismo, logra calcular un aumento de la producción del hasta el 50%. Este valor puede ser referente para saber hasta qué punto puede la producción crecer. Nuevamente se utiliza un método estadístico para obtener resultados.

(Roldán, 2012) utilizó un diseño experimental 3X3, con tres tratamientos y tres repeticiones. Las variables estudiadas fueron la altura de las plantas, longitud de las raíces, peso en verde y peso en seco. Se llegó a la conclusión que el tratamiento 2 de la variedad Waldmanns Green fue la que tuvo mejor respuesta en las variables estudiadas.

Esta investigación en la ciudad de Arequipa concluye en que una variedad de lechuga supo aprovechar más la técnica NFT, y controlando sus variables.

2.2 Marco de Referencia Teórico

2.2.1 Hidroponía

Para (Marulanda & Izquierdo, 2003) la palabra hidroponía parte de la combinación de “dos palabras griegas, Hydro que es agua y Ponos” que se puede entender como el trabajo o la labor. Por lo que podemos entender en pocas palabras este término como el cultivo sin suelo y que la reemplaza por agua.

Según (Beltrano & Gimenez, 2015) la hidroponía también se puede entender como las “técnicas que permiten un cultivo sin la necesidad de suelo” (p. 10).

Otros autores definen a la hidroponía como medios de cultivo que no usan la tierra o suelo como base para el crecimiento de vegetales, sino que se basan en el crecimiento sobre superficies solidas absorbentes (tienen la capacidad de retener humedad en su estructura), conocido como sustrato, las cuales son preparadas para lograr una mayor oxigenación en

la raíces de los vegetales y una retención de las soluciones nutritivas (las soluciones nutritivas están compuestas por agua y sales nutrientes), que aportarán los elementos que necesitan los vegetales para su crecimiento.

En otras palabras la hidroponía es una forma de cultivar plantas que difiere a la tradicional por no tener tierra, sino agua. Este método funciona solo con ciertos productos agrícolas, y a veces se ve incrementado su productividad con este método. Este método tiene diferentes sistemas de aplicación. Los sistemas descritos se pueden observar en la Figura 2.

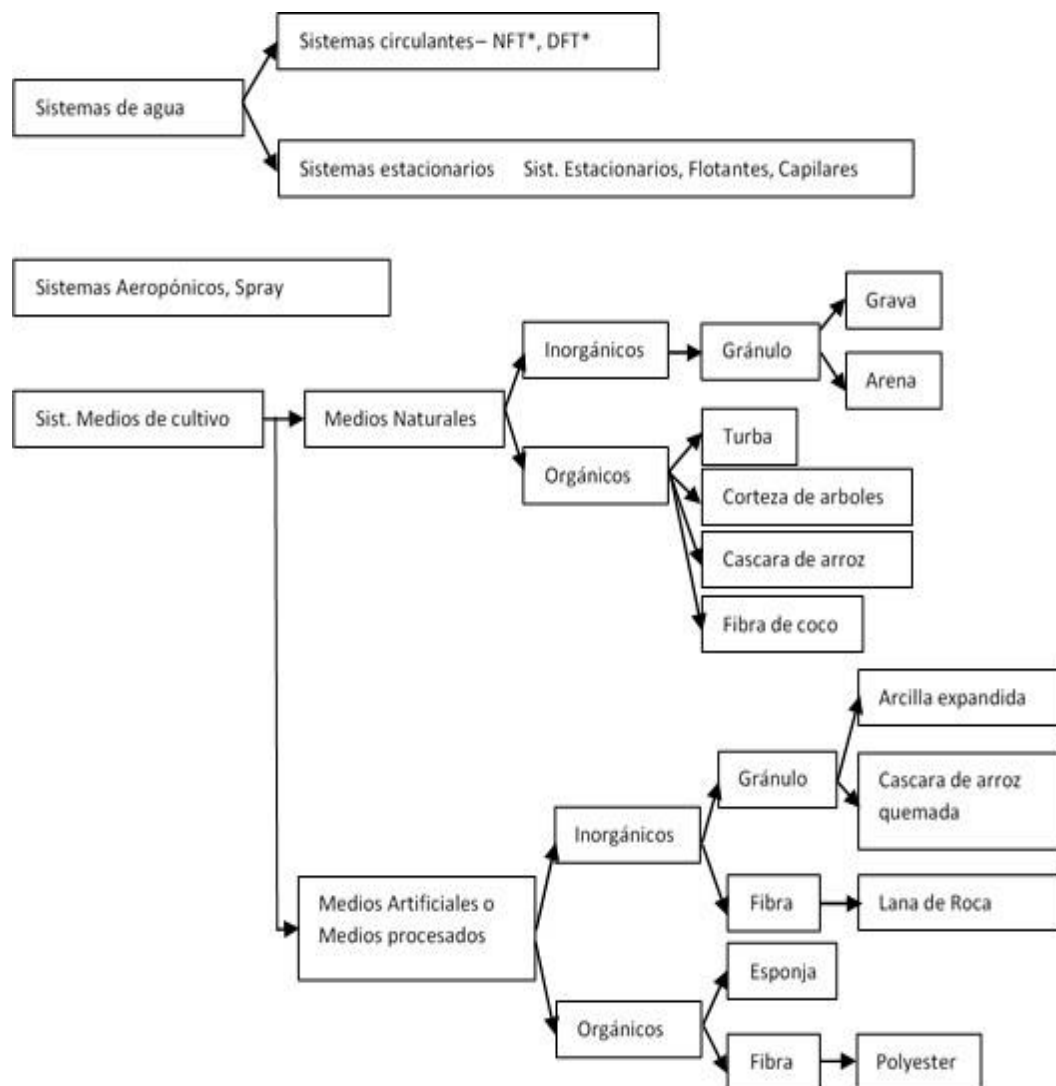


Figura 2. *Sistemas hidropónicos*

Fuente: (Osaka, 1998)

* **NFT:** Nutrient Film Technique

** **DFT:** Deep Flow Technique

En conclusión, podemos entender por hidroponía a una técnica moderna de suministrar adecuadamente los nutrientes y cantidad de agua necesaria para que los vegetales puedan desarrollarse sin ningún problema, con las condiciones óptimas para su desarrollo. El medio de cultivo hidropónico puede estar dado sobre fase líquida para algunos vegetales tales como lechuga, acelga, entre otros, y en fase sólida sobre sustratos preparados que ayudan a la oxigenación de las raíces, para ejemplares como el cultivo de rocoto, tomates, entre otros.

2.2.2 Técnica de la Solución Nutritiva Recirculante (NFT)

La técnica de la Solución Recirculante más conocida como NFT, fue estudiada a detalle en la región de Sudamérica por Carrasco e Izquierdo, considerándose así los pioneros en dicho tema respecto a antecedentes teóricos. Es por ello que, pese a la antigüedad de su material bibliográfico, se tomará como referencia para el presente proyecto y se utilizarán sus conceptos como línea base.

El sistema de recirculación de solución nutritiva "NFT" -Nutrient Film Technique-, “fue desarrollado en el Glasshouse Crop Research Institute, Inglaterra, en la década de los sesenta” (Carrasco & Izquierdo, 1996, pág 10.).

El sistema de recirculación NFT es una técnica en hidroponía basada en el contacto de las raíces con soluciones nutritivas preparadas. Dicha solución es preparada y suministrada a un tanque de abastecimiento, y posteriormente por un mecanismo de bombeo es conducido hacia canaletas en donde se encuentran los vegetales para ser nutridos.

En conclusión, el sistema de recirculación NFT es el circuito de una lámina de nutrientes que puede ser recirculada para mantener a la planta nutrida y asegurar su mayor capacidad de crecimiento.

NOTA:

- La solución nutritiva luego de tener contacto con los vegetales perderá sus propiedades al retornar al tanque de abastecimiento.
- Las raíces de los vegetales no pueden quedarse sin tener contacto con líquido.
- El mecanismo de bombeo se enciende con tiempos programados, para renovar solución nutritiva en las canaletas y además evita el estancamiento de líquidos (en otras palabras, evita el crecimiento de algas y oxigena la solución nutritiva).

- El sistema NFT permite un mayor control de la nutrición suministrada a los vegetales, por lo que el resultado del crecimiento de los vegetales será efectivo.

2.2.3 Componentes y Materiales del Sistema NFT

El sistema “NFT” se constituye de cinco elementos básicos:

2.2.3.1 Tanque Colector

El Tanque colector es aquel recipiente que contendrá la solución nutritiva a través del período de cultivo. Existe una gran gama de tipos de contenedores que pueden utilizarse como estanques colectores de solución nutritiva. Sin embargo, su elección debiera estar basada en el tipo de material.

Es vital observar si ocurre algún tipo de corrosión en el tanque y un cambio de color de éste o de la solución. Hay que tener en cuenta también lo mencionado en relación “a la elección de este material según la reacción con la solución nutritiva que se pretende usar” (Carrasco & Izquierdo, 1996, pág 14.)

La capacidad del tanque colector para las baterías, de aproximadamente 200 lechugas, de la empresa FAGSOL es de 200 litros, y la solución nutritiva es preparada, almacenada en dicho tanque, la cual durante el día, en un periodo de tiempo de 6 horas por medio de las bombas, es conducida para renovar las aguas de las baterías y de esta manera nutrir a dichas lechugas.

Para efectos prácticos, podemos utilizar un tinaco, o depósito de polietileno, y de esta forma tener un recipiente grande con la capacidad de almacenar una gran cantidad de líquido. Este tanque generalmente se utiliza para el abastecimiento de agua en viviendas, pero podemos también utilizarlo para estos fines.



Figura 3. Tanque de abastecimiento de los NFT

Fuente: Rotoplas (2019)

Este recipiente será considerado como el tanque que abastece a las canaletas de solución nutritiva, esto quiere decir que en este mismo recipiente se preparará la solución nutritiva adicionando agua y mezclando las sales nutrientes que pasaran a diluirse luego de la mezcla (Figura 3).

2.2.3.2 Canales de Cultivo

(Carrasco & Izquierdo, 1996) afirman que “el sistema NFT se caracteriza por no utilizar ningún tipo de sustrato, sino por el contrario, es un sistema estrictamente hidropónico, o sea, se cultiva directamente en agua con sales minerales disueltas” (pág. 18)



Figura 4. Tubos para canaletas de NFT

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4 se observan las canaletas. Éstas están fabricadas a base de plástico PVC (Policloruro de Vinilo) con protección UV, para soportar adecuadamente los pesos de los cultivos y no permitir la entrada de luz ultravioleta al interior, tienen un diámetro de 4 pulgadas de diámetro, con perforaciones cada 25 centímetros para mantener una distancia adecuada entre cultivos.

La idea de estas canaletas es hacer uso del sistema de recirculación de nutrientes NFT. De esta forma, cada orificio puede funcionar como un espacio para una o más plantas, que pueden ser alimentadas continuamente.

NOTA:

- Las canaletas siempre deberán contener líquido (solución nutritiva), debido a que las raíces se secarían y los vegetales a cultivar morirían.
- Las soluciones nutritivas permanecerán dentro de las canaletas por un determinado tiempo y luego deberán ser renovadas a través de los mecanismos de bombeo. Como

ya se mencionó anteriormente, evita los líquidos estancados y ayuda a oxigenar las raíces.

- De acuerdo a un programa periódico, las canaletas deberán de ser limpiadas, ya que por el mismo hecho de circular agua y más aún si posee nutrientes pueden contaminarse con el crecimiento de algas o moho, y éstos retardan el crecimiento de los vegetales a cultivar en las canaletas. Para la limpieza de las canaletas se aplica un desinfectante (hipoclorito de sodio).
- Los tubos están ubicados a un metro de altura del suelo.

2.2.3.3 Bomba

La función de la bomba es “llevar la solución nutritiva de los tanques hacia los canales de cultivo, en donde estarán las lechugas creciendo” (Carrasco & Izquierdo, 1996, pág. 22). Esta función es capaz debido a la capacidad de impulsar fluidos. Ahora bien, debido a que esta función de la bomba es crítica, es necesario tener un mecanismo de alarma que pueda prevenir la interrupción de esta función, ya que de ser el caso este hecho puede desencadenar la pérdida total de la producción.

La bomba usada es eléctrica de tipo centrífuga de medio caballo de fuerza, como se menciona en el párrafo anterior para impulsar la solución nutritiva del tanque colector hacia los canales de cultivo. El trabajo que realiza la bomba es por etapas; cada 6 horas se enciende y cambia la solución de las canaletas de cultivo. Este trabajo debe ser controlado, por lo que las bombas se encienden a través de un contador de tiempo electrónico.



Figura 5. Bomba de agua para el sistema “NFT”

Fuente: Sodimac (2019)

Para el cálculo de la potencia teórica necesaria de la bomba se realiza la siguiente fórmula:

$$P_{B(hp)} = \frac{Q * \rho * g * h_B}{746 * e}$$

Fórmula N°1: Potencia

Dónde:

- P_B = Potencia de la bomba (hp)
- ρ = Densidad del agua (kg. /m³)
- h_B = Cabeza de la bomba (m)
- e = Eficiencia de la bomba
- 746w = 1hp

La empresa FAGSOL SAC, tiene experiencia en trabajos hidropónicos de este tipo, realizando pruebas de rendimiento y factibilidad de potencia. En el presente cultivo de lechugas hidropónicas, se indica que la potencia de las bombas que les ha funcionado son las de ½ Hp.

Las bombas de ½ HP, tienen un alcance mínimo de 9 metros y un máximo de 22 metros. El voltaje que utiliza es de 220V con una frecuencia de 60 Hz. Tiene un caudal promedio de 80 L/min. La velocidad del motor es de 3450 RPM.

NOTA:

- En el mercado existe todo tipo de bombas. Es aconsejable revisar la intensidad de corriente que llega al lugar donde se instalaran los sistemas hidropónicos, para la selección de la bomba.
- En la instalación de la bomba se debe asegurar que no haya fugas, y es aconsejable que el mecanismo eléctrico (motor), esté algo alejado de fuentes de humedad para su cuidado.
- Se ha visto, por recomendación del proveedor, que las bombas de marca italiana son de buena calidad y tienen mayor tiempo de vida útil.

2.2.3.4 Red de Distribución de Nutrientes.

Es importante definir y estandarizar los principios básicos de la red de distribución de los nutrientes que tendrá el cultivo. (Carrasco & Izquierdo, 1996) afirman que “la solución

nutritiva es distribuida a través de tuberías y mangueras de PVC o goma desde la bomba impulsora hacia la parte superior de los canales de cultivo (pág. 24).

Se debe conectar las canaletas con la bomba y el tanque de abastecimiento por medio de mangueras especiales para hidroponía, las cuales configuran la red de alimentación y distribución de la solución nutritiva a las canaletas.

Hay que tener en cuenta que estas redes de distribución deben ser bien colocadas y selladas para evitar pérdidas de solución, además que evitaría también la propagación de hongos en los puntos mal sellados.

En conclusión, la idea de esta red de distribución, es mantener continuamente alimentadas a las plantas, y reutilizar el solvente nutritivo cuantas veces podamos para no tener una pérdida en el proceso. Ahora bien, este solvente irá perdiendo sus propiedades poco a poco, y es allí donde entra el sistema de control de variables.

2.2.3.5 Tubería Colectora

Se dice que (Carrasco & Izquierdo, 1996, pág. 24) “la tubería colectora recoge la solución nutritiva desde los canales de cultivo y la lleva de retorno hacia el estanque”. Es por esto que Carrasco considera que la localización de esta tubería debería estar un nivel inferior que la de las tuberías distribuidoras, para que de esta forma, la solución nutritiva pueda desplazarse con ayuda de la gravedad, y así oxigenarse en el trayecto. Al final de ésta, se requiere colocar un codo de PVC recubierto con material aislante (polietileno) para facilitar su caída.

Es de suma importancia que las tuberías colectoras estén selladas y con ángulo de inclinación para que puedan recolectar la solución desgastada de las canaletas de cultivo evitando el crecimiento de hongos en las uniones de tuberías y llevando de retorno al tanque colector sin acumulación la solución.

Los tubos que recolectarán el agua de recirculación para dirigirlos nuevamente al tanque de almacenamiento, normalmente son tubos de PVC de 2 pulgadas de diámetro colocado perpendicularmente a los tubos de canaleta. La distribución mencionada teóricamente está representada en la Figura 6.

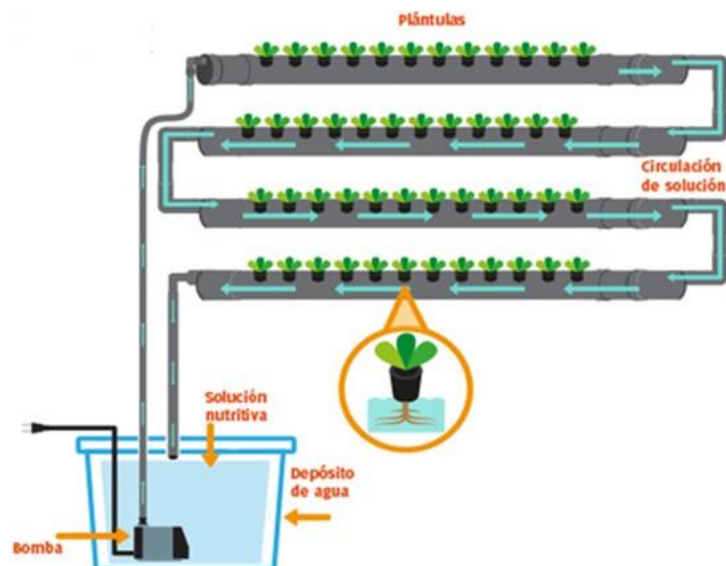


Figura 6. Sistema hidropónico “NFT”

Fuente: (Carrasco & Izquierdo, 1996)

En conclusión, para el sistema de recirculación de nutrientes NFT, es necesario utilizar estas tuberías de PVC, ya que así tendrán un recorrido sobre todas nuestras plantas. Estas tuberías deben estar controladas y con una pendiente para utilizar la fuerza de la gravedad y ayude a la recirculación. Así mismo deben tener un mantenimiento debido al posible crecimiento de microorganismos.

FAGSOL SAC, posee varios sistemas hidropónicos a base de reactores NFT, los que ha construido para el cultivo de lechugas hidropónicas, viendo por conveniente los materiales necesarios para la construcción de los sistemas.

2.2.4 Variables Influyentes en el Crecimiento de las Lechugas Hidropónicas

Hay que tener en cuenta que hay una serie de variables que pueden influir en el crecimiento de las lechugas hidropónicas o de un cultivo hidropónico. Estas variables pueden ser más o menos importantes dependiendo del producto hidropónico debido a sus características inherentes.

En el marco teórico de antecedentes de investigación, observamos a muchos autores que concentran para el caso de lechugas hidropónicas las variables de temperatura, radiación, humedad y pH. Sin embargo, puede haber más variables que afecten el crecimiento de un cultivo. Ahora bien, la significancia y la criticidad de controlar estas variables pueden variar, y dependerá de la empresa que cultiva ver qué variables controlar y qué variables obviar.

Según (Campillo, 2013) los “factores que inciden en el crecimiento de un cultivo hidropónico que propone son el tipo de cultivo, técnica, porcentaje de germinación, envoltura, tipo de sustrato, sustancia de riego, número de riegos, reciclaje de sustancia de riego, exposición luz solar, temperatura” (pág. 4). Según estas variables, podemos observar que toma un énfasis en la temperatura, en el sustrato (condiciones tales pH), radiación, e indirectamente la humedad del cultivo.

En la empresa FAGSOL SAC, debido a su experiencia y a su know-how, enfocan su control de estas variables a sólo unas cuantas variables debido a ser más críticas y a conllevar un mayor impacto en el crecimiento de las lechugas. El estudio de todas las variables podría conllevar un sobre costo con mejoras no significativas en la producción. Entre las principales variables controladas tenemos la acidez-basicidad, la temperatura, humedad y radiación.

2.2.4.1 Acidez – Basicidad (pH)

Esta es la primera variable influyente en el crecimiento de lechugas hidropónicas.

(Chang, 2006) afirma que “el potencial Hidrógeno (pH) es una forma convencional y muy conveniente de expresar según una escala numérica adimensional, el grado de acidez o basicidad de soluciones acuosas diluidas. Es en realidad una medida de la actividad de los iones hidrógeno en una solución electrolítica. Y los métodos para medir el pH.” (pág. 605)

El pH de una solución puede medirse de distintas maneras y usando distintos instrumentos. Entre ellos encontramos:

- **Papel indicador:** Chang (2006) afirma que “también conocido como papel tornasol, es el método más barato e inexacto respecto a los demás. El más conocido es el papel tornasol o papel de litmus” (pág. 668) Este papel está compuesto por un indicador que al ser introducido a la muestra a analizar, cambia de color y en base a este color, se puede verificar en un diagrama de colores para obtener el valor aproximado de pH de la solución.
- **Uso de sustancias químicas:** Chang (2006) afirma que “estas sustancias adquieren un color distinto a cada valor diferente de pH. Es por ello que estas sustancias se agregan a las soluciones de pH desconocidos, para luego compararlas con soluciones estándar de pH conocidos que también han sido afectadas por este indicador químico. Se usan frecuentemente el naranja de metilo y la fenolftaleína” (pág. 668)

- **pH-metro:** Chang (2006) afirma que “es un sensor que realiza internamente una medida de la diferencia de potencial entre dos electrodos, uno de referencia (generalmente 7) y otro de medida (externo). Por lo tanto, se tiene un preciso valor de diferencia de potencial y con un amplificador se puede obtener la medida exacta del valor de pH de una solución” (pág. 668). Ver Figura 7

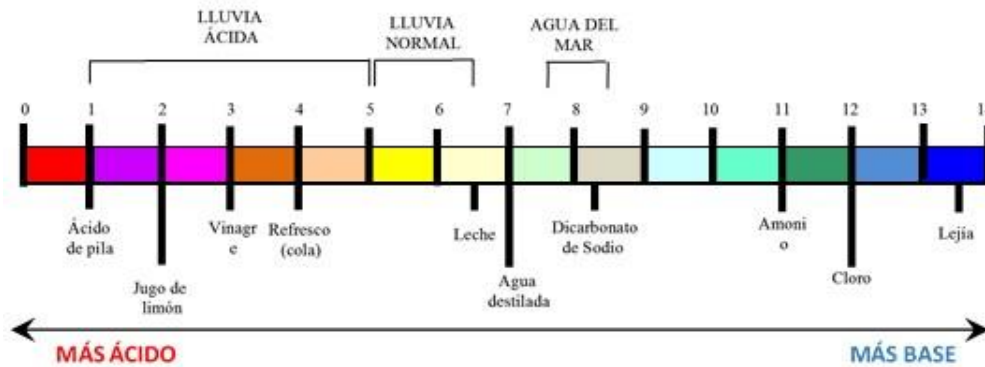


Figura 7. Escala de pH

Fuente: Chang (2006)

En el cultivo hidropónico la variable pH (medición de la acidez o basicidad de alguna sustancia), es indispensable de controlar, pues debido al consumo de las sales nutrientes por los vegetales a consumir, el pH tiende a variar, y existen rangos permisibles en los que los cultivos crecerán con normalidad. De lo contrario, si se encuentra el pH fuera de los rangos, se observa una reacción inmediata en los vegetales que, si no es atendido o regulada a tiempo, pueden llevar a la pérdida del cultivo.

En conclusión, la variable pH es crítica, debido a que está presente en la sustancia nutritiva que absorberán las lechugas. De ser el caso de que el pH no sea el adecuado, las plantas pueden estresarse y pueden morir, creando un impacto negativo a la productividad de la empresa.

NOTA:

- La medición sin la implementación del sensor de pH puede llevarse a cabo de forma manual con los pH-metros que sean más próximos a conseguir como es el caso de los papeles indicadores.
- Es recomendable tomar medida de pH diario en los tanques de abastecimiento.

La empresa FAGSOL ha venido cultivando lechugas hidropónicas y se realizaba un control diario de la variable, tomando muestra de los tanques de abastecimientos de todos sus sistemas hidropónicos, anotándolo en un cuaderno de apuntes para generar una data de dicha variable. Debido a esto, se usaban las cintas de papel indicador para la medición de dicha variable y se aceptaban valores menores a 7.

2.2.4.2 Temperatura

“La temperatura se considera como una medida de la mayor o menor agitación de las moléculas o átomos que constituyen un cuerpo” (Peña, 2007, pág. 1)

En otras palabras, es una magnitud que representa la cuantificación de la energía cinética de las moléculas. Con esto podemos decir, que un cuerpo que tiene mayor temperatura, tendrá una mayor agitación de las moléculas que las conforman.

Coloquialmente, la temperatura no es una medida de "calor en el cuerpo", la temperatura es una magnitud física que nos indica cuantitativamente, el estado de "caliente" o "frío".

La temperatura es otra variable de cuidado pues en ambientes de bajas o altas temperaturas, se retarda el crecimiento de los vegetales a cultivar, del mismo modo influye bastante en la calidad del producto cosecha.

NOTA:

- Es necesario saber que la temperatura a controlar es tanto la del ambiente dentro del invernadero como también la temperatura de la solución nutritiva que entrara en contacto directo con las raíces.
- Se usaron instrumentos de medición básicos como el termómetro.

La empresa FAGSOL, posee un termómetro en medio del invernadero para medir la temperatura ambiente. Si se observa que la temperatura aumenta dentro del invernadero, la solución para contrarrestarla, es la apertura de un lado del invernadero para el ingreso de aire y equilibrar la temperatura ambiente dentro del invernadero. Esta medida quizás no es la más efectiva pero ha venido funcionando correctamente a lo largo del tiempo.

En conclusión, la temperatura es crítica también al momento de cultivar y enfocar el crecimiento normal de las lechugas. Hay que controlar la temperatura del ambiente y también de la sustancia nutritiva. De no ser el caso, las plantas pueden estresarse y pueden hacerse perder, generando una disminución en la productividad de la empresa. La

temperatura no debe ser ni muy alta ni muy baja. Aquí es donde un invernadero ayuda a regular esta variable también.

2.2.4.3 Humedad Atmosférica

La humedad es una magnitud presente en nuestro ambiente debido a que el aire que nos rodea tiene como componentes el aire seco y el vapor de agua que la rodea. Es aquí donde se haya una relación entre ambos. “La humedad relativa se mide en tanto por ciento y está normalizada de forma que la humedad relativa máxima posible es el 100%” (Meruane & Garreaud, 2006, pág. 1)

La humedad atmosférica va dependiendo del lugar (ciudad) donde se encuentren las instalaciones hidropónicas. Si existe una influencia de esta variable en lugares cuya humedad en el medio es elevada, ayuda al crecimiento de organismos como el moho u otros, que estresan a los vegetales a cultivar ralentizando su crecimiento. Por otro lado lugares secos esto no ocurre y el crecimiento de los vegetales no se ve influenciado por esta variable.

En conclusión, la humedad puede ser considerada como la cantidad de vapor de agua en el aire. Esta variable es crítica para el crecimiento normal de las lechugas, debido al posible crecimiento de otros microorganismos dependiendo la humedad, y estresando a las lechugas. Este estrés puede terminar haciendo perder a la lechuga, y ocasionando un impacto negativo en la productividad de la empresa.

Para el presente proyecto, las instalaciones de la empresa FAGSOL SAC se encuentran en la ciudad de Arequipa y la humedad en el medio durante casi todo el año no es mucha por lo que no habría una influencia de la humedad atmosférica sobre las lechugas que produce la empresa; sólo en los meses de lluvia es donde las lechugas se ven estresadas en su crecimiento y en donde se debe tener un especial cuidado de esta variable.

2.2.4.4 Radiación Ultravioleta

Otra variable que puede ser controlada es la radiación que llega a la superficie terrestre proveniente del sol, como se observa en la figura 8, los tipos de penetración de radiación ultravioleta. Si es muy intensa, éste retarda el crecimiento de cultivos.

Se denomina radiación ultravioleta a la energía electromagnética emitida a longitudes de onda menores, entre 100 y 360 nm. Esta radiación es proveniente de las ondas de nuestro sol.

Es conocido que la exposición de esta variable a la piel puede terminar en una serie de enfermedades. “La exposición prolongada de la piel humana a los rayos ultravioletas predispone al desarrollo de cáncer de piel” (Hockberger, 2002).

El aire de la atmosfera absorbe parte de la radiación que llega del Sol, que posteriormente ayuda en la transformación de ésta mediante reacciones fotoquímicas, e impide que llegue a la corteza terrestre.

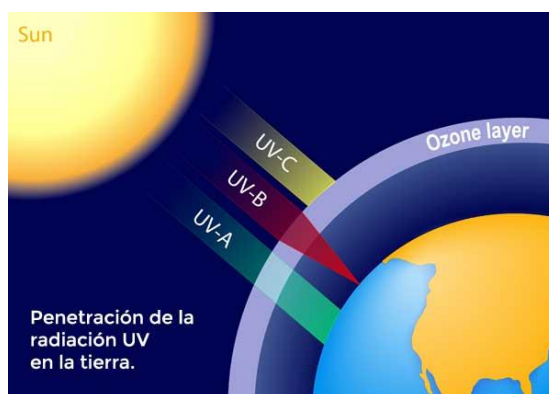


Figura 8. Tipos de Radiación Ultravioleta

Fuente: (Volkheimer & Scafati, 2000)

Para controlar el nivel de radiación se usa malla rashel para la construcción de invernaderos y esta misma filtre radiación, mejorando la condición de vida de las lechugas. En la ciudad de Arequipa la radiación es intensa por lo que es necesaria la construcción de los invernaderos con este tipo de malla para proteger a las lechugas.

En la empresa FAGSOL, tienen por experiencia que si las lechugas reciben directamente el sol no crecen; además el grosor de las hojas de lechuga aumenta. En otras palabras la calidad de la lechuga resultante no es la más apropiada para la venta en el mercado.

En conclusión, la radiación es un factor que puede perjudicar el crecimiento normal de las lechugas. El uso de una malla Rashel, mitiga este problema y permite el desenvolvimiento normal de las lechugas.

Como bien dijimos anteriormente, la radiación es controlada directamente con la infraestructura del invernadero, debido a esto, no es necesario involucrar esta variable en la implementación de software.

NOTA:

- Para la presente implementación, solamente se controlarán las variables de pH, temperatura y humedad atmosférica. Estas variables (junto a la radiación) son las más

críticas según la experiencia del personal a cargo, y según la programación del software y la inversión propuesta éstas serán las variables a estudiar.

- Los parámetros de las variables impuestas por la empresa FAGSOL S.A.C., son de carácter confidencial debido a ser parte del Know-how del negocio. Sin embargo, estos valores podrán ser estudiados más adelante para determinar límites máximos y mínimos de forma estadística.

2.2.5 Selección de dispositivos

Los sensores electrónicos son necesarios para determinar las variables a medir, tales como temperatura, pH, humedad. Éstos dispositivos fueron procesados utilizando placas Arduino y almacenados en una data. Esta decisión fue tomada por la experiencia teórica previa de parte de los antecedentes de investigación y los resultados positivos que éstos arrojaron. La elección de los controladores proviene de qué variables queremos controlar y cuáles no. En otras palabras, no es necesario comprar o controlar variables que no afectan significativamente el crecimiento de las lechugas.



Figura 9. Placa Arduino

2.2.5.1 Arduino

Para procesar las señales que enviarán los sensores de temperatura, humedad, pH, se ha seleccionado el Arduino. En la figura 9 se puede observar esta placa, la cual contiene un microprocesador que permite la comunicación a un computador u otros sistemas arduinos, dependiendo de los modelos o series.

La placa propuesta en esta investigación es el último modelo diseñado y distribuido por la comunidad Arduino. La placa tiene un tamaño de 75x53mm (ver figura 9). Su unidad de procesamiento consiste en un microcontrolador ATmega328. Puede ser alimentada mediante USB o alimentación externa y contiene pines tanto analógicos como digitales. La tabla 2 resume sus componentes:

| Componente | Característica |
|----------------------------------------|-----------------------|
| Microcontrolador | ATmega328 |
| Voltaje operativo | 5V |
| Voltaje de entrada | 7 - 12 V |
| Voltaje de entrada (límites) | 6 - 20V |
| Pines digitales E/S | 14 |
| Pines de entrada analógica | 6 |
| Corriente continua para pines E/S | 40 mA |
| Corriente continua para pines de 3.3 V | 50 mA |
| Memoria Flash | 32 KB |
| SRAM | 2KB (ATmega328) |
| EEPROM | 1 KB (ATmega328) |
| Velocidad de reloj | 16 MHz |

Tabla 2. Componentes de Arduino

Fuente: Elaboración propia.

2.2.5.2 Sensor de humedad

El sensor de humedad y temperatura ambiental que se utiliza en el proyecto es el AM2302. Como se observa en la figura 10, dicho sensor tiene un rango de -40°C hasta los 80°C y en cuanto a la humedad posee un rango entre el 0% y 90%.

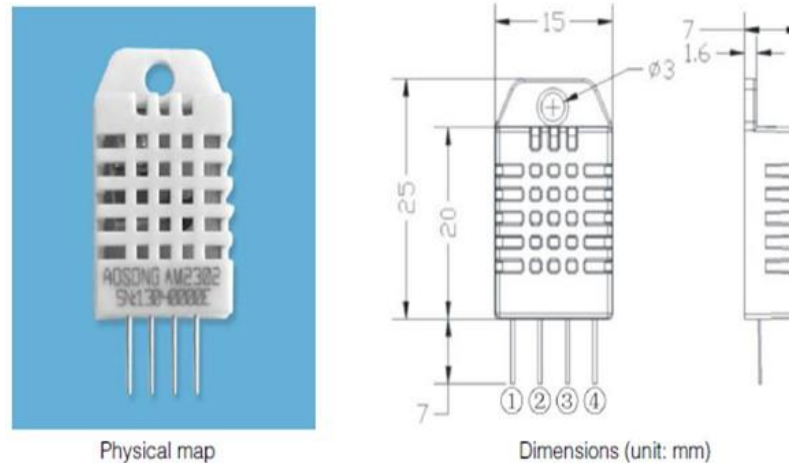


Figura 10. Sensor de Temperatura y de Humedad relativa

Entre las características principales del sensor de humedad se encuentran:

- Alimentación: 3 a 5V
- Consumo: 2.5mA max (en captura)
- Rango: 0-100% ($\pm 2-5\%$)
- Es capaz de leer temperaturas de -40 a 80°C ($\pm 0.5^{\circ}\text{C}$)
- Sample rate: No más de 0.5 Hz (1 vez cada 2 segundos)
- Dimensiones: 27x59x13.5mm
- 3 cables de 23cm

2.2.5.3 Sensor de temperatura sumergible

En la figura 11, se observa el sensor de temperatura. Éste es el modelo DS18B20, que utiliza un protocolo de comunicación 1-Wire. Dicho protocolo requiere solo de un pin de datos para la comunicación, y así mismo, permite la comunicación con varios sensores. El sensor se encuentra encapsulado dentro de un tubo de acero inoxidable, impermeable al agua. Cabe resaltar que este sensor está diseñado para poder medir temperaturas desde los -55°C , hasta los 125°C .



Figura 11. Sensor de temperatura

El sensor de temperatura sumergible tiene las siguientes características:

- Rango de temperatura: -55 a 125°C.
- Resolución: de 9 a 12 bits (configurable).
- Interfaz: 1-Wire (Puede funcionar con un solo pin).
- Identificador interno único de 64 bits.
- Múltiples sensores pueden compartir el mismo pin.
- Precisión: $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$.
- Tiempo de captura inferior a 750ms.
- Alimentación: 3.0V a 5.5V.

2.2.5.4 Sensor de pH

El modelo de sensor de pH que se utilizó es el PH0-14, que se caracteriza por medir el pH electroquímicamente. El electrodo es de vidrio, y posee un rango de medición de 0–14 PH. Dentro de los factores para la selección de este modelo, intervino el costo y la accesibilidad para adquirirlo. Se muestra el sensor en la figura 12.



Figura 12. Sensor de pH0-14

Características del sensor de PH:

- Alimentación: 5.00V
- Consumo: 5-10mA x hora.
- Rango de medición: 0-14 pH.
- Temperatura de medición: 0-80 °C.
- Precisión: ± 0.1 pH.
- Tiempo de respuesta: ≤ 5 s.
- Sonda de pH con conector BNC.
- Controlador pH 2.0 (3 pines).
- Ajuste de ganancia, indicador LED.

Nota: la cotización y costos estimados de estos elementos serán detallados más adelante y propuestos en catálogos del Anexo 2.

2.2.6 Telemetría

2.2.6.1 Definición

Los sistemas de telemetría son un conjunto especial de sistemas de comunicaciones. Básicamente se basa en la comunicación de los sensores por telemetría para la toma de datos de las variables, y de esta forma, poder ser enviadas para su manejo, almacenamiento o consulta del personal que lo requiera.

Para ello es importante comprender el término “telemetría”, que deriva del griego “tele” que significa remoto, y “metro” que significa medida. Para definir de mejor forma este término, podemos consultar la bibliografía de un Sistema de Telemetría. Ésta indica que “las variables censadas que son medidas en cierto lugar son tratadas como señales, las cuales requieren ser procesadas antes de ser transmitidas a distancia, ya sea usando un enlace cableado, aire (neumática) o un enlace de radio frecuencia (aire); y luego recibida en el receptor, termina por direccionarse, almacenarse y visualizarse. Esto es a lo que se denomina un Sistema de Telemetría” (Godínez Tello, 2011, pág. 16)

“El transductor convierte una magnitud física como la temperatura, presión o vibraciones, en una señal eléctrica correspondiente, que es transmitida a una distancia a efectos de medición y registro, en el que se pueden hacer diferentes desarrollos” (Giraldo, Giraldo, & Lozano, 2013).

Hay aplicaciones ocasionales en las que el valor medido debe ser transmitido en una distancia bastante grande. En otros casos, por ejemplo en la distribución de potencia eléctrica, la medición debe ser transmitida muchas millas de regreso al controlador.

En conclusión, telemetría es la tecnología usada para poder recopilar información de un sensor, y transmitirla a un lugar remoto para poder ser almacenada en una base de datos. Esta información, posteriormente puede ser estudiada y puede ser sometida a análisis estadísticos para encontrar oportunidades de mejora.

En la figura 13, se muestra el diagrama de bloques tradicional de un sistema de transmisión de datos.

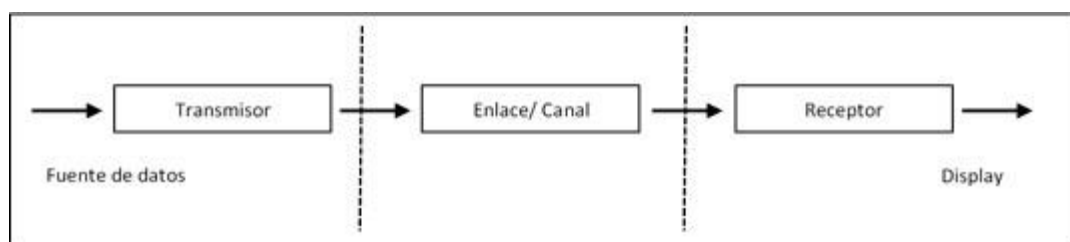


Figura 13. Diagrama de bloques tradicional de un sistema de transmisión de datos

Fuente: (Godínez Tello 2011)

Con la telemetría, recogeremos datos que son y podrán ser vistos en un módulo remoto y transmitirlos a otro donde puedan ser analizados.

En la figura 14, se muestra el esquema en bloques de un sistema de telemetría.

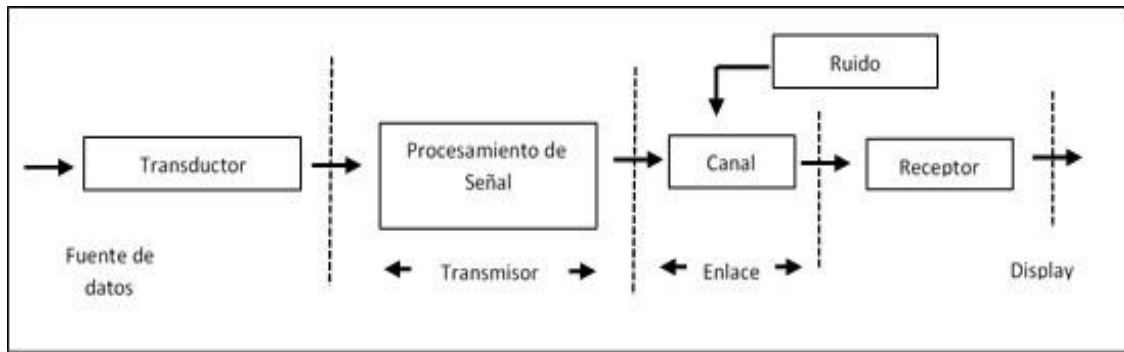


Figura 14. Esquema general de bloques de un sistema de Telemetría

Fuente: (Godínez Tello 2011)

Esta técnica utiliza comúnmente transmisión inalámbrica, aunque originalmente los sistemas de transmisión utilizados eran por cable.

Los usos más importantes de telemetría han sido la recopilación de datos del clima, supervisión de plantas de generación de energía y realizar el seguimiento de vuelos espaciales tripulados y no tripulados.

2.2.6.2 Estructura de un sistema de telemetría

Debido a que el presente trabajo es enfocado a una mejora de procesos y no a la investigación como tal de tecnologías, procederemos a resaltar las partes más importantes de la estructura del sistema de telemetría pero sin ahondar o profundizar en su explicación y funcionamiento.

La estructura general de los sistemas de telemetría mostrada en la figura 15 se compone de lo siguiente:

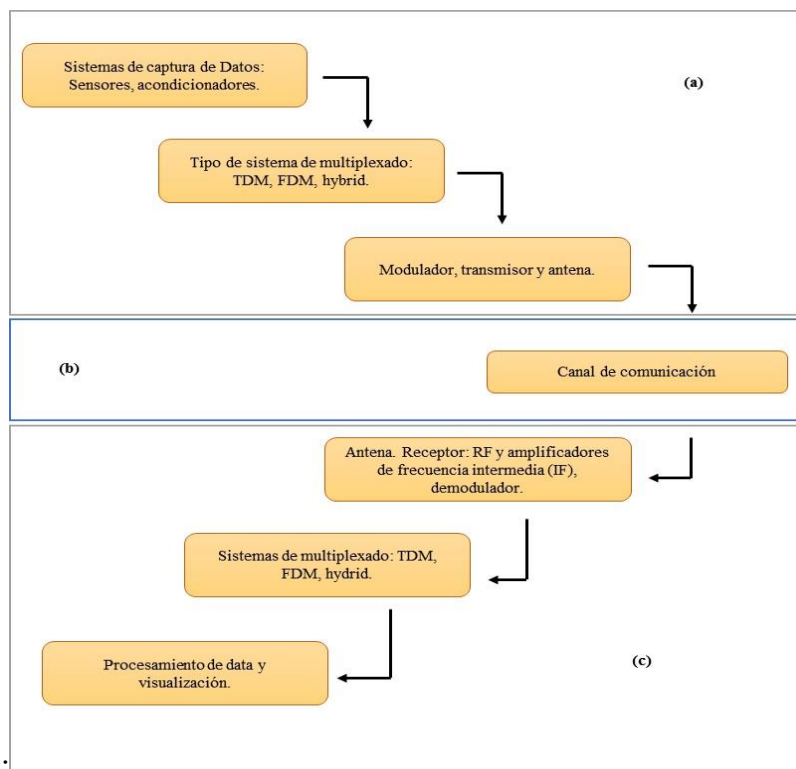


Figura 15. Esquema de un sistema de telemetría: (a) Captura y transmisión de datos (b) Medio de Transmisión (c) Equipo receptor de monitoreo

Fuente: (Godínez Tello, 2011)

- Sistema de recolección de datos.
- Sistemas de multiplexado:
 - Sistema de Multiplexado por División de Frecuencia.
 - Sistema de Multiplexado por División de Tiempo.
 - Sistema híbrido, el cual es la combinación del Multiplexado por División de Tiempo y otro de Frecuencia.
- Modulador, transmisor y antenna.
- Canal de comunicación.
- Antena, receptor de radio frecuencia, amplificador de frecuencia intermedia, demodulador.
- Demultiplexador, sistema de Multiplexado por División de Tiempo o Multiplexado por División de Frecuencia o sistema híbrido.
- Procesamiento de datos.

2.2.6.3 Modulo Inalámbrico HC-12 si4463 433 Mhz en modo transmisión

Se usará el Módulo inalámbrico HC-12 SI4463 para microcontrolador serie, 433 Mhz de largo alcance, con 1000 metros de alcance con antena para Bluetooth. El HC-11 no puede ser conectado para comunicarse con el HC-12, ya que funcionan de manera independiente, en parejas de Transmisor y receptor.

Características técnicas del módulo (Figura 16).

- Tensión de Alimentación 3.2 V ~ 5.5 V. (recomendable para trabajar en el módulo de lanzamiento durante un tiempo considerable. Se recomienda cuando la tensión de alimentación supera 4.5 V serie con un diodo 1N4007, para evitar el calentamiento del módulo integrado).
- Distancia de comunicación por defecto (prueba abierta): aprox. 600 m (ajustable para lograr la distancia máxima de comunicación de 1000 m, los 5000bps velocidad de transmisión de aire).
- El valor predeterminado de inactividad actual: 16 mA (módulos en corriente de funcionamiento de los diferentes modos de funcionamiento).
- Tamaño Del Módulo: 27.8mm × 14.4mm × 4mm.
- Rango de frecuencia de Funcionamiento (433.4-473.0 MHz, hasta 100 canales de comunicación) de potencia de transmisión Máxima de 100 mW (se puede ajustar)
- El módulo soporta actualizaciones de software.
- Configuración predeterminada de fábrica: velocidad 9600bps, canal de comunicación CH001 (433.4 M)



Figura 16. Características técnicas Módulo Inalámbrico

2.2.7 Técnicas de registro y análisis

2.2.7.1 Diagrama de Gantt

El gráfico de Gantt es un gráfico de barras que consiste en hacer una lista de actividades que conforma un programa, las cuales se van colocando en el gráfico verticalmente según el inicio y el tiempo determinado que toma cada una de estas actividades. En ella, se representa tanto la duración prevista como la verdadera de cada actividad, mediante una barra de longitud adecuada.

El gráfico indica, también, el inicio más temprano posible para cada actividad. Eso depende de si tiene que estar finalizada o no una actividad para ejecutar la siguiente.

Cuando se completa cada actividad (o parte de ella), se sombrea la barra correspondiente. Por lo tanto, esta herramienta ayuda a ver con claridad cuáles actividades están “en tiempo” y cuáles no.

“El gráfico de Gantt se usa, también, como un registro para llevar el seguimiento de la progresión en el tiempo de las actividades a ejecutar para cada proyecto” (Gallardo López, 2013).

Según (Daniele, 2007) en un diagrama de Gantt cada actividad “se representa mediante un bloque rectangular cuya longitud indica su duración”. Estos bloques indican el inicio y el fin que tiene una actividad propuesta en el gráfico.

Para realizar un diagrama de Gantt funcional y que se adapte a las necesidades del proyecto, es necesario que se cumplan los siguientes pasos:

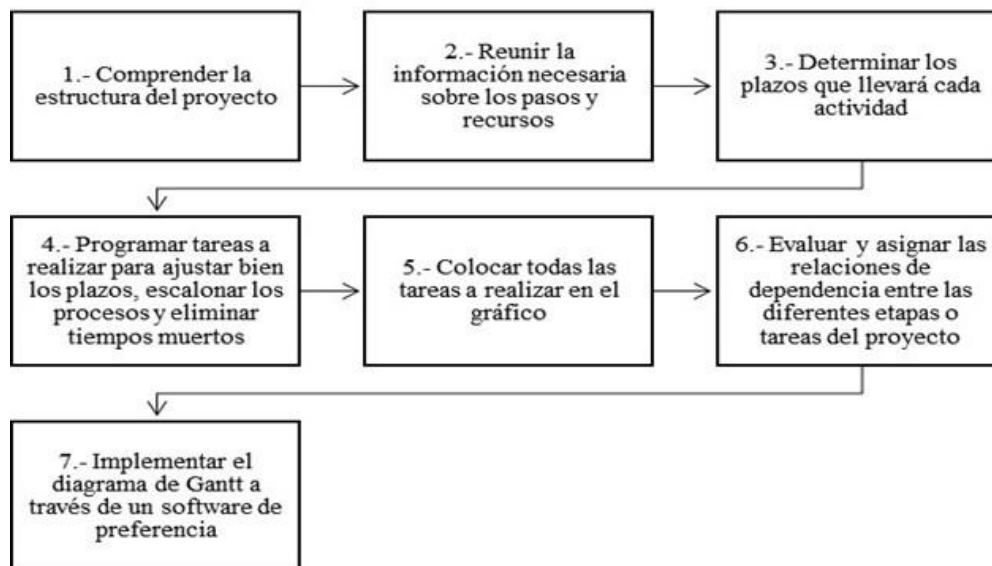


Figura 17. Pasos para realizar un diagrama de Gantt

Fuente: Daniele (2007)

Es de conocimiento que para cada proyecto, se necesita un nivel mínimo de planificación para tener éxito en el mismo, siendo más eficaz esta herramienta si se realiza al inicio de la planificación. Una desventaja de este tipo de gráfico es que después de haber realizado algunas modificaciones en las tareas y actividades tiende a volverse confuso y se recomienda en estos casos realizar un nuevo diagrama adaptado a las nuevas necesidades.

Es una herramienta de fácil aplicación, a bajo costo y muy amigable en la aplicación y ejecución (Daniele, 2007).

En conclusión, el diagrama de Gantt es una herramienta para poder listar las actividades de un proyecto, y ubicarlos en un horizonte de tiempo para ir observando su cumplimiento mientras éste transcurre. De esta forma, ver si estamos a tiempo o no respecto a las actividades a realizar y poder pronosticar o ajustar la duración de actividades.

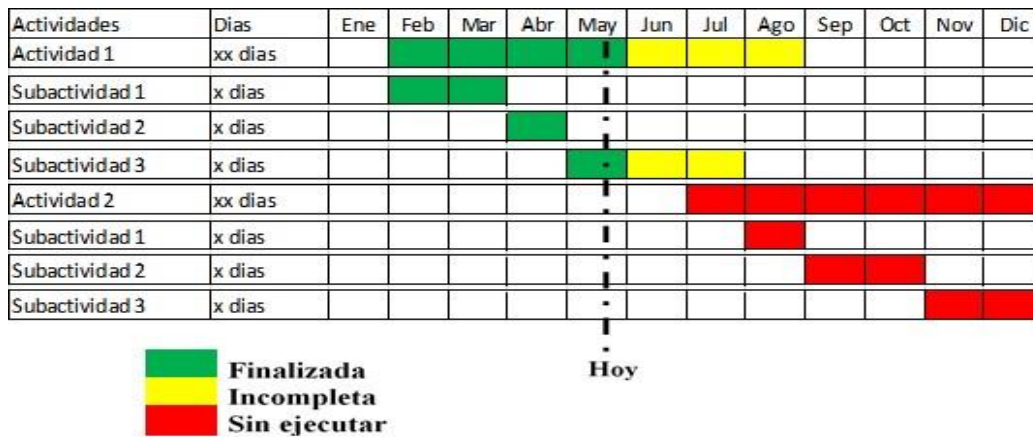


Figura 18. Modelo de Diagrama de Gantt

Fuente: Daniele (2007)

2.2.7.2 Diagrama Ishikawa

El diagrama de Ishikawa es un método gráfico que se usa para efectuar un diagnóstico de las posibles causas que provocan ciertos efectos, los cuales pueden ser controlables. Para este proyecto, nos servirá para saber qué problemas afectan a la productividad de la empresa.

En este diagrama se representan los principales factores (causas) que afectan la calidad en estudio como líneas principales. Se subdivide cada causa hasta que estén representados todos los factores identificables.

El diagrama de Ishikawa permite apreciar, fácilmente y en perspectiva, todos los factores que pueden ser controlados usando distintas metodologías. Al mismo tiempo permite ilustrar las causas que afectan una situación dada, clasificando e interrelacionando las mismas.

“Se usa el diagrama de causas-efecto para:

- Analizar las relaciones causas-efecto.
- Comunicar las relaciones causas-efecto.
- Facilitar la resolución de problemas desde el síntoma, pasando por la causa hasta la solución” (Gallardo López, 2013, pág. 22)

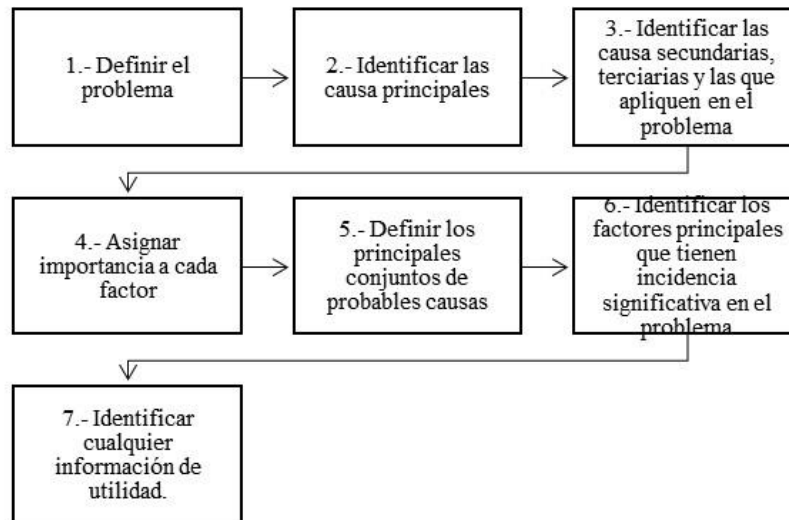


Figura 19. Pasos para realizar un diagrama Ishikawa

Fuente: (Stachú, 2007)

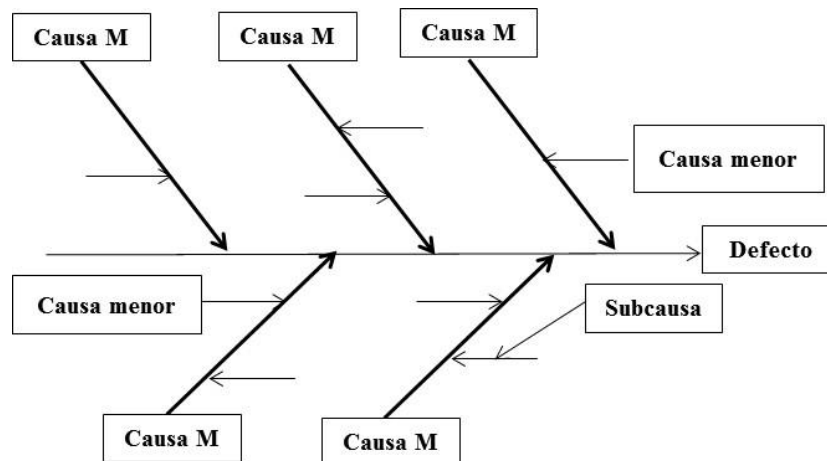


Figura 20. Pasos para realizar un diagrama Ishikawa

Fuente: (Stachú, 2007)

En conclusión, este diagrama nos ayuda a listar las posibles causas negativas que puedan ocasionar un efecto negativo en la empresa. Para nuestro caso, el efecto negativo principal es la baja productividad que tenemos en la empresa, y hay que identificar qué puede estar causando esto. La idea es resaltar que el excesivo tiempo de estudio de variables puede ser una causa.

2.2.7.3 Diagrama de operaciones del proceso (DOP)

El diagrama de operaciones del proceso es la representación gráfica de la secuencia de las operaciones e inspecciones realizadas del proceso. Este diagrama facilita una rápida visualización del proceso a fin de simplificarlo. Según fuentes bibliográficas, “el DOP

representa, en lo posible, el proceso ideal, y normalmente es utilizado en operaciones secuenciales” (Gutarra Meza, 2015, pág. 3)

Mediante el diagrama de operaciones y procesos podremos identificar cada una de las etapas por las que pasa la materia prima para convertirse en un producto culminado. Se identifica y reconoce, tanto las operaciones y procesos de cambio que sufre la materia prima, como las inspecciones del proceso.

Para elaborar el diagrama de operaciones, primeramente graficamos la primera actividad en la zona superior y posteriormente las demás actividades en la parte inferior correspondientemente, interconectadas mediante una flecha. Se toma en cuenta que el tamaño de los símbolos sea parejo para todos. Una operación e inspección pueden estar en un mismo ítem. La simbología utilizada se verá más adelante, junto al Diagrama de Análisis del Proceso.

En conclusión, el diagrama de Operaciones DOP, es el listado de actividades que se realiza en un proceso específico según una simbología. En ella podremos listar las operaciones y las inspecciones que se realizan para tener una idea general de cómo es el proceso.

2.2.7.4 Diagrama de análisis del proceso (DAP)

Es una representación gráfica de la secuencia de todas las operaciones, transportes, inspecciones y almacenamientos que ocurren durante el proceso. Así mismo, incluye información necesaria para el análisis del proceso como tiempos y distancias recorridas. Este diagrama representa el proceso detallado real. “Con la ayuda de este diagrama se busca identificar y mejorar las actividades que no agregan valor al producto (transporte, inspección y almacenamiento)” (Gutarra Meza, 2015, pág 5)

El diagrama de análisis del proceso incluye lo desarrollado en el diagrama de operaciones y procesos, además de que evalúa datos de tiempo y distancia entre cada actividad. En otras palabras incluye información más detallada de una línea de producción.

Para elaborar el diagrama de operaciones y procesos clasifica las actividades en seis tipos:

- Operaciones
- Transporte
- Inspección

- Espera
- Almacenaje
- Operación-inspección

A continuación, la descripción y las representaciones para cada una de las actividades descritas utilizadas en los diagramas de operaciones y procesos.

- Operaciones

Representa a todas las actividades que modifican la materia prima tanto como física o químicamente.

También se puede considerar como una actividad de planificación y recolección de información.

La simbología utilizada para denominar operación u proceso se representa por un círculo, tal como se muestra en la figura 21

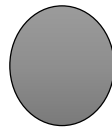


Figura 21. Representación de las actividades de operación y proceso

- Transporte

Son todas aquellas actividades que requiera el desplazamiento de un punto a otro, del material.

Las actividades de transporte se representan por medio de una flecha apuntando a la derecha, tal como se muestra en la figura 22.

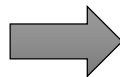


Figura 22. Representación de actividades de transporte

- Inspección

Son todas aquellas actividades donde al material se le hacen estudios de revisión o control, para la verificación de la calidad en ese punto.

Las actividades de inspección se representan con la gráfica de un cuadrado tal como se muestra en la figura 23.



Figura 23. Representación de las actividades de inspección

- Espera

Se denomina espera a toda aquella actividad independiente de la línea de operaciones, en el cual éste tenga que detenerse por un tiempo antes de continuar.

Las actividades de espera se representan con un cuadrado que dos de sus lados han sido remplazados por una semiesfera, tal como se muestra en la figura 24.

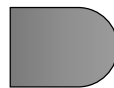


Figura 24. Representación de las actividades de inspección de espera

- Almacenaje

Se denomina almacenaje a la recepción de un material en espacios donde será conservado hasta su posterior uso. Generalmente es el caso para la conservación de la materia prima antes de entrar a la línea de producción, y para los productos culminados antes de salir a la venta.

Las actividades de almacenaje se representan con la gráfica de un triángulo invertido, tal como se muestra en la figura 25.

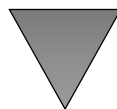


Figura 25. Representación de las actividades de inspección de almacenaje

- Operación-inspección

Se denomina así a las actividades conjuntas de transformación de la materia prima, y que simultáneamente se estén controlando o evaluando respecto a su calidad.

Las actividades de operación-inspección se representan con la unión de un cuadrado e interiormente un círculo, tal como se muestra en la figura 26.

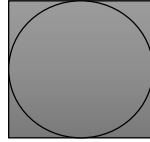


Figura 26. Representación de las actividades de operación-inspección

En la parte superior izquierda se detalla el nombre y lugar y la persona que está a cargo de la producción; a su vez en la parte superior derecha, un resumen del número de actividades desarrolladas, ya sea por operación, transporte, espera, inspección y almacenamiento. Finalmente, se incluye la distancia total del recorrido y el tiempo de demora de producción y el costo por producción.

En conclusión, el Diagrama de Análisis del Proceso, detalla las operaciones, inspecciones, transportes, demoras, almacenamiento. Esta es la principal diferencia con el DOP, debido a que éste último solo considera operaciones e inspecciones y la gráfica. El DAP puede ayudar a entender a detalle cómo es el proceso y a ver costos o desperdicios ocultos.

2.2.7.5 Gráfico de Control.

Al poder estudiar estadísticamente los parámetros tras una serie de datos históricos, podemos fijar unos límites de control a las variables que estudiaremos. De esta forma, podemos ver el comportamiento de varias medidas y trazar una tendencia para optimizar y proponer mejoras, así como observar el comportamiento de los tiempos que se tomarán.

Para elaborar un gráfico de control, necesitamos primero tener una serie de datos históricos. Al estudiar estos datos históricos, hay que proceder a elegir qué carta usaremos, según el número de subgrupos que tengamos. Debido a la gran cantidad de subgrupos que poseemos, utilizaremos la carta X-barra-S. Con los valores de los límites superiores e inferiores, podemos observar si hay puntos fuera de control, y en base a eso, observar si el proceso está en control estadístico o no, y proponer mejoras.

Las fórmulas a seguir incluyen el cálculo de los promedios, las desviaciones estándar y un valor de una tabla predeterminada según la n (número de subgrupos). Esta tabla se puede encontrar en el anexo 5.

$$\text{LSC: } \bar{X} + A_3S \quad (\text{límite superior})$$

$$\text{LC: } \bar{X} \quad (\text{media})$$

$$\text{LIC: } \bar{X} - A_3S \quad (\text{límite inferior})$$

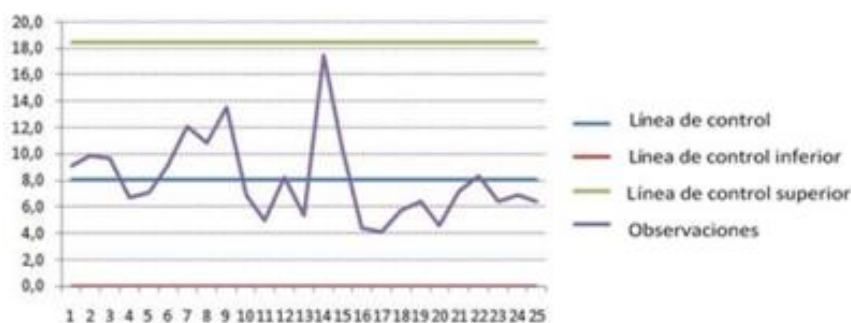


Figura 27. Límites de control

Fuente: Elaboración propia

En conclusión, los gráficos y cartas de control, ayudan a estandarizar líneas de control, superior e inferior respectivamente, y observar si un punto de estudio está afuera de estos límites. Esto indicaría si el proceso está en control estadístico o no, y de esta forma encontrar oportunidades de mejora.

2.2.7.6 Análisis Económico – Costo Beneficio – VAN - TIR

En las herramientas de análisis económico, podemos usar estas herramientas que se complementan, que son el Costo-Beneficio, y el VAN y TIR. Estas dos últimas, trabajan casi bajo el mismo supuesto del valor del dinero en el tiempo y una tasa de interés. Estas herramientas se usan para medir o evaluar si un proyecto o una propuesta es viable tras una inversión económica, considerando los beneficios futuros.

En el caso del costo beneficio, se listan todos los gastos, costos y los ingresos que ingresarán, se aplica una tasa de descuento y posteriormente se realiza un análisis de sensibilidad.

En el caso del VAN y TIR (Valor Actual Neto y Tasa Interna de Retorno respectivamente) usan el análisis económico en base a los flujos de caja que se presenten en la empresa. Esto quiere decir, los ingresos y los gastos que la empresa tenga en periodos, y sujetos a la inversión inicial y a la actualización de estos valores al valor presente según una tasa de interés (para el caso del VAN), y a la estimación de esta tasa de interés (para el caso del TIR).

Para el caso del VAN, se utiliza la siguiente fórmula:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - I_0$$

Fórmula N°5: Valor Actual Neto

En ella vemos a la inversión inicial y a la sumatoria actualizada de los flujos de caja según el interés propuesto. Si el VAN es mayor a 0, quiere decir que el proyecto es viable económicamente.

Para el caso del TIR, se utiliza la misma fórmula pero igualando el VAN a 0. De esta forma, podemos saber qué tasa de interés es necesaria para que el proyecto sea viable. En el caso de que el TIR arroje una tasa alta, preferiblemente mayor a la de una tasa de referencia bancaria, el proyecto será viable.

En conclusión, estas herramientas ayudan a validar si un proyecto es viable económicamente o no, al diferenciar los flujos obtenidos en los periodos y contrastarlos con la inversión inicial y una tasa de interés.

2.2.7.7 Indicadores de Productividad.

Un indicador de productividad es una herramienta que nos ayudará a medir y a indicar qué tan productivos somos antes y después de la implementación del proyecto. De esta manera, podemos utilizar el tiempo que toma realizar la toma de variables y transformar éste en costos de mano de obra y aplicar este costo a otras tareas teniendo un ahorro significativo. Al optimizar el tiempo, podemos mejorar la productividad de la empresa y así mejorar económicamente el mismo y confirmarlo a través de éste indicador.

La idea del indicador de productividad, es tener un índice que nos muestre o mida un valor significativo en un hito del tiempo, preferiblemente antes de la implementación del proyecto, y posteriormente compararla con el valor que arroja el indicador post implementación. De esta forma, se puede verificar la variación que trajo consigo la implementación del proyecto, y se podrá usar para ver el comportamiento en el tiempo de este indicador.

Como introducción a este tema, podríamos dar como ejemplos que aplican a esta tesis al indicador de cantidad de lechugas producidas en un periodo, o también podríamos utilizar el indicador de variación porcentual de productividad de un periodo con el anterior.

CAPITULO III. PLANTEAMIENTO OPERACIONAL

3.1 Aspectos metodológicos

3.1.1 Diseño del Trabajo

El proyecto de tesis corresponde a un diseño no experimental, pues no existe manipulación de variables, más si un almacenamiento de datos, los cuales serán analizados de acuerdo a las necesidades del proyecto.

3.1.2 Metodología del Trabajo

El proyecto de tesis, según el tipo de información, es cuantitativo, ya que se obtendrán datos numéricos de la implementación a desarrollar, y éstos permitirán trazar una estadística para poder obtener resultados, los cuales servirán para definir la variabilidad del proyecto.

Según el tipo de reflexión, el proyecto es histórico, ya que se estudiarán los resultados que la empresa arroja antes y después de la implementación.

Por otro lado es deductivo pues, por la implementación, se estima una mejora en la empresa.

Se iniciará con un diagnóstico de la empresa; principalmente, determinar las ventajas y desventajas que conllevará la implementación de un sistema de sensores. Posteriormente se estudiará el performance actual de la empresa respecto a su productividad, luego se estudiará la viabilidad de la implementación, y finalmente se determinará el impacto económico en la empresa para saber si el resultado fue positivo o negativo.

Los análisis serán cuantitativos, a través del establecimiento de un estudio de tiempos, así como de límites de control para las variables de estudio, con el fin de demostrar la efectividad de la implementación del sistema de control.

Posteriormente los resultados serán estudiados e interpretados para obtener una conclusión cualitativa a través de un análisis financiero aplicando herramientas como el VAN o TIR, y viendo estos resultados reflejados en indicadores de productividad que propondremos.

3.2 Hipótesis

3.2.1 Hipótesis General

La implementación del sistema de control de variables a la empresa FAGSOL SAC conllevará una mejora en el tiempo estimado de medición de variables por el personal, y con ello se verá una optimización de la productividad total de la empresa.

3.2.2 Hipótesis específicas

1. La empresa FAGSOL SAC emplea mucho tiempo en la medición de variables para el control de la producción de lechugas hidropónicas.
2. La implementación del sistema de control de variables conllevará más ventajas que desventajas en la empresa FAGSOL SAC.
3. Por la implementación de los sensores y la instalación de software se tendrá una mejor gestión de data de los valores leídos.
4. Los indicadores de productividad nos mostrarán la variación de la productividad de la empresa.
5. El impacto económico de la variación de la productividad por la implementación del sistema en la empresa FAGSOL SAC, es positivo.

A continuación, presentaremos estas hipótesis en la operacionalización de variables, expuestas en una matriz de consistencia.

3.3 Operacionalización de variables – Matriz de consistencia

| FORMULACION DEL PROBLEMA | OBJETIVO GENERAL | HIPOTESIS PRINCIPAL | VARIABLE DEPENDIENTE | INDICADORES |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ¿Cómo mejorar la productividad de la empresa FAGSOL, a través de la implementación de un sistema de sensores de control de variables? | Implementar un sistema de control de variables (pH, temperatura, humedad atmosférica) por sensores para mejorar la productividad de las lechugas de la empresa FAGSOL SAC. | La implementación del sistema de control de variables a la empresa FAGSOL SAC conllevará una mejora en el tiempo estimado de medición de variables por el personal, y con ello se verá una optimización de la productividad total de la empresa. | Mejora de la productividad de las lechugas hidropónicas de la empresa FAGSOL SAC. | Cantidad de lechugas producidas. Variación de productividad porcentual. Tiempo de estudio de variables promedio. |
| SISTEMATIZACION DEL PROBLEMA | OBJETIVOS ESPECIFICOS | HIPOTESIS ESPECIFICAS | VARIABLE INDEPENDIENTE | INDICADORES |
| ¿Cuáles son las variables críticas que afectan la productividad actual de la empresa FAGSOL SAC? | Describir la situación actual de la empresa FAGSOL SAC en cuanto a su productividad identificando las variables críticas dentro del proceso. | La empresa FAGSOL SAC emplea mucho tiempo en la medición de variables para el control de la producción de lechugas hidropónicas. | Diagramas de control | Tiempo de toma de variables de lechugas. |
| ¿Cuáles son las ventajas y desventajas de la implementación del sistema de control de variables para la producción en la empresa FAGSOL SAC? | Encontrar las ventajas y desventajas, por la implementación de un sistema de control de variables para mejorar la producción de la empresa FAGSOL SAC. | La implementación del sistema de control de variables conllevará más ventajas que desventajas en la empresa FAGSOL SAC. | Sistema de control de variables Cuadro comparativo de ventajas y desventajas. | Tiempo de uso de personal operario. Aumento de producción de lechugas. Consumo de energía. Costo de la implementación. |

| | | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ¿Cómo instalaríamos los sensores y el software para la recepción y almacenamiento de datos en la empresa FAGSOL SAC? | Describir cómo se instalarán los sensores y software para recepción de datos en la empresa FAGSOL SAC. | Por la implementación de los sensores y la instalación de software se tendrá una mejor gestión de data de los valores leídos. | Equipos de sensores | pH Temperatura ambiente Temperatura de solución Humedad atmosférica |
| ¿Cuáles serían las variables de medición de la productividad actual y posterior a la implementación del sistema en la empresa FAGSOL SAC? | Identificar variables de medición de la productividad actual y posterior a la implementación del sistema en la empresa FAGSOL SAC. | Los indicadores de productividad nos mostrarán la variación de la productividad de la empresa. | Medición de Productividad Actual y Post Implementación | Cantidad de lechugas producidas por periodo. Variación de productividad. Tiempo de estudio de variables promedio. |
| ¿Cuál sería el impacto económico de la variación de la productividad por la implementación del sistema de control de variables en la empresa FAGSOL SAC? | Determinar el impacto económico de la variación de la productividad por la implementación del sistema en la empresa FAGSOL SAC. | El impacto económico de la variación de la productividad por la implementación del sistema en la empresa FAGSOL SAC es positivo | Análisis Económico por la Implementación | Costo-Beneficio VAN TIR |

Tabla 3. Matriz de consistencia

Fuente: Elaboración propia

3.4 Aspectos metodológicos para la propuesta de mejora

3.4.1 Métodos de ingeniería a aplicarse y/o técnicas de ingeniería aplicarse

- Planificar y programar tareas.
- Identificar elementos que contribuyen al problema.
- Estudiar las operaciones involucradas en el proceso de producción.
- Estudiar la trayectoria del proceso en el diagrama de recorrido del proceso.
- Representar las operaciones en la empresa FAGSOL SAC.
- Realizar evaluaciones de indicadores de productividad.
- Elaboración de diagramas de operación y de procesos en donde se detalle el tiempo empleado por actividad
- Elaboración de diagramas de control de las variables.
- Realización de análisis económico.

3.4.2 Herramientas de Análisis, planificación, desarrollo y evaluación

3.4.2.1 Herramientas de análisis

- Diagrama de Gantt: con la finalidad de trazar qué actividades realizar y orientarlas en una línea de tiempo.
- Diagrama Ishikawa: con la finalidad de estudiar qué causas pueden ocasionar la baja productividad en la empresa.
- Diagrama de recorrido: con la finalidad de conocer más en el proceso.
- Diagrama de operaciones del proceso (DOP) y diagrama de análisis del proceso (DAP): con la finalidad de detallar y dominar el proceso.
- Límites de control – Cartas de control: con la finalidad de observar y estudiar el desarrollo de las actividades.
- Indicadores de productividad: con la finalidad de medir mejoras.
- Análisis económico: costo beneficio, VAN, TIR, análisis de sensibilidad.

CAPÍTULO IV: IMPLEMENTACION DE SISTEMA DE CONTROL DE VARIABLES

4.1 Estudio del proceso productivo de FAGSOL SAC

4.1.1 Procedimiento para la producción lechugas hidropónicas

Para el cultivo y la producción de las lechugas hidropónicas se siguen las siguientes etapas:

4.1.1.1 Semilla de lechugas hidropónicas

La semilla de lechuga para el cultivo en sistemas hidropónicos es diferente a la semilla en tierra, ya que ésta ya ha sido acondicionada para su crecimiento sobre agua únicamente. Otro factor a tomar en consideración es el tipo de lechuga que se cultivará. Unas variedades tienden a asimilar mejor la tecnología NFT y a crecer más.

4.1.1.2 Siembra

La siembra se efectuará en semilleros de arena gruesa preparada, la cual pasaría por un proceso de lavado y desinfectado con lejía para evitar el crecimiento de moho.



Figura 28. Acondicionamiento de la arena para las marqueras

Fuente: FAGSOL (2018)



Figura 29. Siembra de semillas

Fuente: FAGSOL (2018)

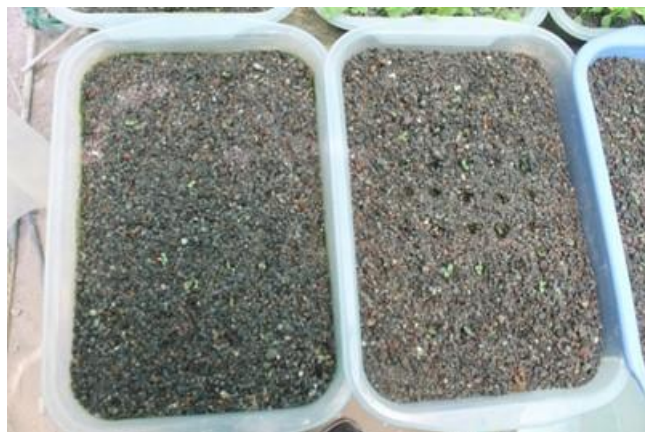


Figura 30. Germinación de las lechugas

Fuente: FAGSOL (2018)

En las figura 28, 29 y 30 se puede observar la siembra de las lechugas donde germinará la semilla luego de un periodo aproximado de una semana.

4.1.1.3 Germinación y trasplante

La semilla germina en aproximadamente una semana y alcanzará una altura de 5cm; luego de ello es necesario trasplantar: se extrae de la marquera la lechuga y se le coloca un rollo de espuma que envuelve la raíz (éste servirá como base para la lechuga) y finalmente se colocan en sistemas flotantes. (Figura 31)



Figura 31. Sistema flotante

Fuente: FAGSOL (2018)

El sistema flotante es empleado desde la fase de acondicionamiento de la lechuga hasta su cosecha. En esta fase las lechugas crecerán hasta alcanzar aproximadamente una altura de 10cm para su traslado al sistema NFT. (Figura 31)

4.1.1.4 Segundo trasplante

Este proceso consiste en el trasplante hacia los NFT, donde las lechugas crecerán el resto de su periodo de vida hasta su cosecha. En el mismo, se coloca la lechuga dentro de un vaso de plástico que será usado como soporte y enganche en los orificios de los canales del reactor NFT. (Figura 32)



Figura 32. Trasplante a los reactores NFT

Fuente: FAGSOL (2018)

4.1.1.5 Cosecha y envasado

Las lechugas, pasadas las 4 semanas en donde debieron haber recibido los nutrientes necesarios y los cuidados correspondientes, estarán listas para ser cosechadas.

Hay que tener consideraciones especiales con posibles hongos. Es por eso que una semana antes de ser la lechuga cosechada, debe ser revisada cuidadosamente y de ser el caso debe pasar una fumigación para eliminar plagas u hongos, por ejemplo, como los Pulgones o el Oidium. (Figura 33)



Figura 33. Lechugas listas para su cosecha

Fuente: FAGSOL (2018)

4.1.1.6 Pruebas de calidad del producto

Es importante realizar pruebas de calidad del producto, debido a que la satisfacción del cliente al cual se venderá estas lechugas es vital para seguir teniendo una buena relación. Las principales pruebas de calidad que son exigidos por nuestros clientes son:

- **Color**

La lechuga debe ser verde en su totalidad y se deben retirar las hojas que presentan algún defecto, como color amarillento o que estén marchitas (generalmente son las hojas más antiguas de la lechuga) (Figura 34).



Figura 34. Apariencia de una lechuga cosechada

Fuente: FAGSOL (2018)

- **Masa**

La lechuga debe alcanzar una masa aproximada de 300g, ideal para ser embolsada.

Ahora bien, después de haber detallado el proceso de cultivación y crecimiento, es necesario poder graficar estos procesos para poder entender a mayor detalle este proceso. Con esto podremos encontrar oportunidades de mejora, detalles ocultos del proceso, y también sirve como documentación que puede ayudar a la empresa a tener una mayor gestión de sus procesos.

En la figura 35 se describe el proceso de producción de lechugas hidropónicas de la empresa FAGSOL SAC, a través del DOP.

DIAGRAMA DE OPERACIONES DE PRODUCCIÓN DE LECHUGAS HIDROPÓNICAS

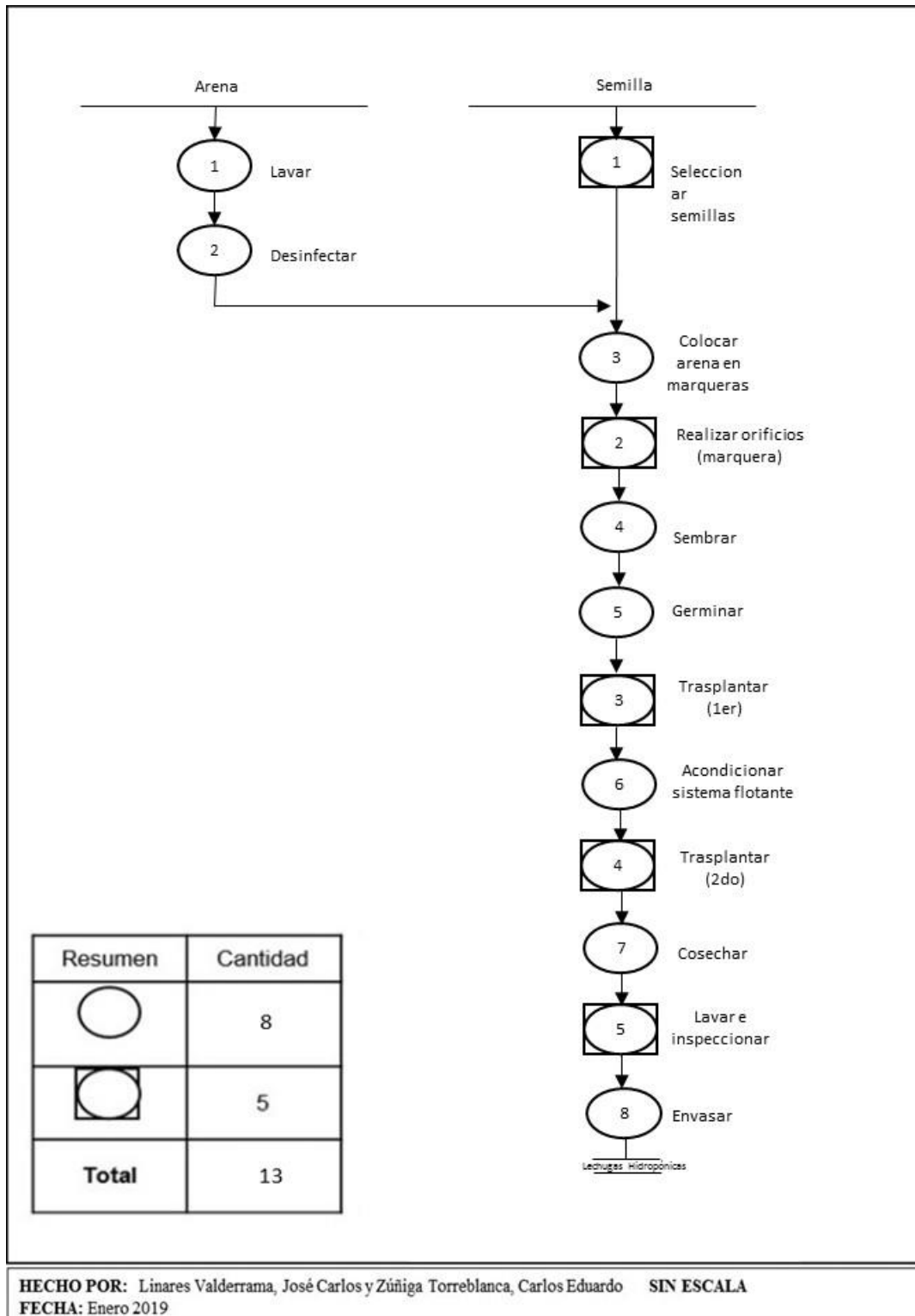


Figura 35 Diagrama DOP de la producción de lechugas hidropónicas

Fuente: Elaboración propia

Es importante mencionar que el proceso de toma de las lecturas de las variables (pH, temperatura y humedad), se realiza en todo el proceso de cultivo, desde la siembra hasta la cosecha. Sin embargo, nos enfocaremos principalmente en la lechuga adulta que está en la fase final de su crecimiento, ya que aquí es donde las variables de crecimiento influyen más.

4.2 Plan de implementación.

Para la implementación del sistema de control, nos centraremos inicialmente en la etapa central de monitoreo. Este monitoreo está referido al circuito encargado de realizar la muestras de la medición en una pantalla LCD, donde resaltarán los parámetros de PH, temperatura del agua, temperatura del ambiente y humedad, enviados desde la etapa central del proyecto (sistema de medición, procesamiento y comunicación de datos) de manera inalámbrica.

Posteriormente, serán recepcionados por el módulo inalámbrico en la etapa central de monitoreo; luego se gestionará las señales de recepción mediante el microcontrolador. El microcontrolador es el componente principal de la etapa central de monitoreo. La distancia entre el sistema de medición, procesamiento y comunicación de datos y la central de monitoreo es de 300 metros aproximadamente sin línea de vista. En la figura 36 y 37 se muestra el diagrama de bloques del sistema de monitoreo.

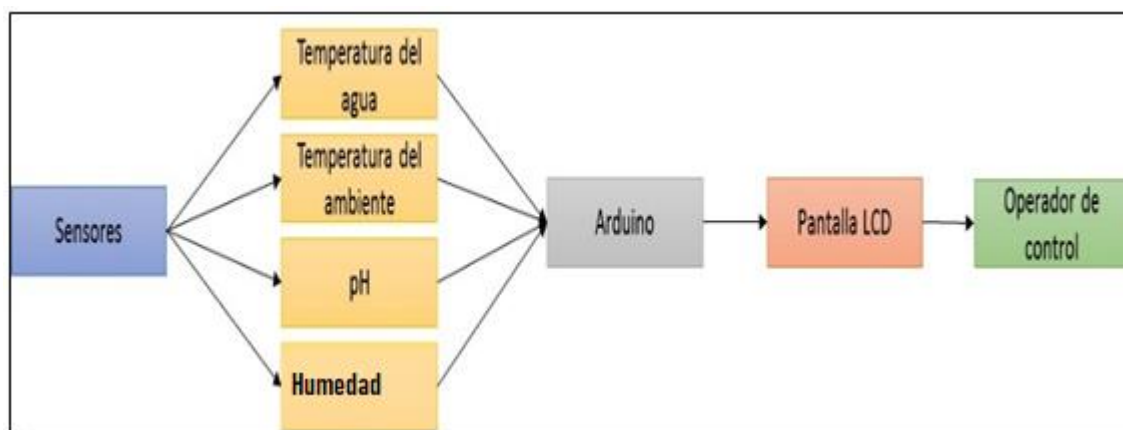


Figura 36 Diagrama de bloques del Sistema de Control

Fuente: Elaboración propia



Figura 37. Central de monitoreo

Fuente: Elaboración propia

4.3 Diseño de implementación

Para la implementación exitosa de este proyecto fue necesario llevar a cabo un conjunto de actividades las cuales se describen a continuación

4.3.1 Etapa I. Implementación de un sistema de medida

- Selección de sensores y dispositivos micro controladores
- Realización de prueba

4.3.2 Etapa II. Implementación del sistema de control

- Selección del programa
- Definición de variables a controlar: pH, temperatura del ambiente, temperatura del agua y humedad.
- Establecimiento de los rangos de control de las variables. Este punto está reservado como información confidencial de la empresa. Sin embargo, nosotros estudiaremos las salidas históricas de producción y las someteremos a cartas de control para estimar posibles límites.

4.3.3 Etapa III. Implementar la base de datos

- Creación de las diferentes bases de datos por variable
- Realización de pruebas a fin de corroborar que los datos se registren correctamente.

4.3.4 Etapa IV. Diseño de consulta, gráficas y descargas

- Para realizar las consultas los archivos serán descargados en Excel, y posteriormente serán procesados estadísticamente.
- Las salidas de los cuadros y gráficos que se generen podrán también ser visualizados en formato JPEG o PDF.

El valor histórico de los parámetros de un mes, se adjuntará en los Anexos. En estos valores, podremos estudiar estadísticamente los valores obtenidos y así poder someter estos datos a un control estadístico. La herramienta de cartas de control nos ayuda en este punto, debido a que nos propone límites superiores e inferiores, y así observar si existen puntos que están fuera de control. De ser el caso, se encuentra una oportunidad de mejora en el proceso, al poder mejorar la estandarización del proceso y los valores con los que trabajan para quizás estar en un futuro a un nivel six sigma.

4.3.5 Etapa V. Consideraciones post-implementación

- Para asegurar el continuo y correcto funcionamiento de la empresa, hay que tomar en cuenta que la estructura organizacional tiene que actualizar los puestos y las descripciones de actividades de los mismos, en torno al nuevo sistema de control de variables. Se recomienda la asignación de estas nuevas tareas a un rol de supervisión.
- El supervisor deberá tener la capacitación respectiva sobre el manejo y ejecución del reporte del control de variables, a cargo del profesional que ha desarrollado el sistema. El supervisor, así mismo, deberá dar las indicaciones y consideraciones al operario, sobre las pertinentes acciones correctivas, en caso de que una variable salga de límites de control.
- Se deberá implementar un plan de mantenimiento de los sensores aplicados con el control de variables. Se recomienda realizar el mismo a través de un tercero, especializado en este tipo de funciones. El mantenimiento deberá considerar la calibración de los equipos de manera anual, hasta el cumplimiento de su ciclo de vida, aproximadamente de 5 años, previa evaluación de un personal técnico.

CAPITULO V: ANALISIS DE LA IMPLEMENTACION

5.1 Recopilación de Datos del Problema.

Para el estudio de este proyecto y las delimitaciones del mismo, nos enfocaremos en desarrollar y estudiar el proceso de Control de variables de crecimiento. Comprende las siguientes etapas:

5.1.1 Etapa 1. Recojo de la muestra:

Comprende ir desde el mesón de análisis hasta el tanque de agua, recoger la muestra de aproximadamente un litro y redirigirse al mismo para los ensayos. En esta etapa se deben considerar el tiempo empleado en destapar y tapar los tanques de agua.

5.1.2 Etapa 2. Análisis de variables de la muestra

Comprende la medición de las variables temperatura, pH, conductividad y posteriormente el apunte del registro.

5.1.3 Etapa 3. Devolver la muestra

Una vez culminado los ensayos se devuelve la muestra al tanque. En esta etapa se deben considerar el tiempo empleado en destapar y tapar los tanques de agua.

Es importante mencionar que esta operación se realiza de manera repetitiva para los 6 tanques de agua.

La información en la figura 38 denota el recojo de la información de cinco días diferentes. Con esta información se realizó un diagrama de recorrido estándar del proceso. Como se puede observar, por cada recorrido hacia otro tanque, la distancia de recorrido aumenta, y hay que tener un especial énfasis en el tanque número 5, ya que éste se encuentra por debajo del nivel de los demás tanques, incrementando así la dificultad para su control y su tiempo de control.

5.2 Diagrama de recorrido.

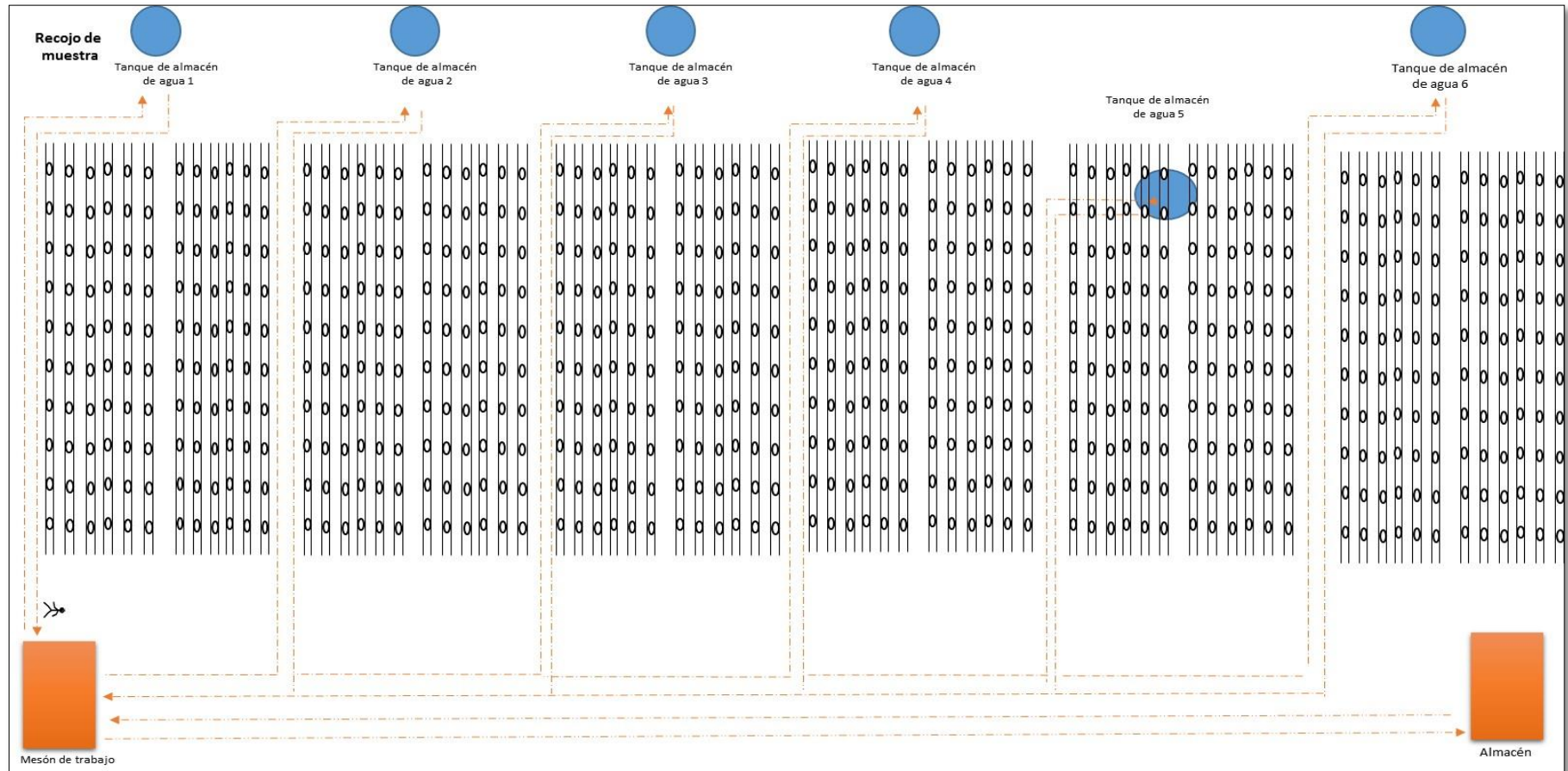


Figura 38. Diagrama de Recorrido

Fuente: Elaboración propia

5.3 Cartas de Control de Proceso.

En la tabla 4 se detallan los tiempos en las diferentes etapas en los 6 tanques de agua. La figura 39 muestra el gráfico de los tiempos en función de los tanques donde se observa la variación que existe en las distintas etapas del proceso de recolección de la información.

Nota: * El tanque 5 se encuentra ubicado por debajo de las marquesinas.

* La toma de tiempos en la tabla 4 son el promedio de una serie de toma anterior. Se pueden observar en el anexo 6 para mayor detalle.

| Etapa | Tiempo en minutos | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|-------------------|-------|-------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|-------|
| | Tanque 1 | | | | | Tanque 2 | | | | | Tanque 3 | | | | | Tanque 4 | | | | | Tanque 5 | | | | | Tanque 6 | | | | |
| | Día 1 | Día 2 | Día 3 | Día 4 | Día 5 | Día 1 | Día 2 | Día 3 | Día 4 | Día 5 | Día 1 | Día 2 | Día 3 | Día 4 | Día 5 | Día 1 | Día 2 | Día 3 | Día 4 | Día 5 | Día 1 | Día 2 | Día 3 | Día 4 | Día 5 | Día 1 | Día 2 | Día 3 | Día 4 | Día 5 |
| Recojo de muestra | 4.38 | 5.46 | 4.99 | 4.88 | 5.95 | 5.69 | 5.51 | 5.53 | 5.69 | 6.21 | 7.61 | 7.79 | 7.56 | 7.84 | 7.96 | 9.19 | 9.36 | 9.14 | 9.49 | 9.63 | 12 | 12.1 | 12.6 | 12.4 | 12.6 | 10.4 | 10.7 | 10.8 | 10.2 | 11.2 |
| Análisis de variables | 7.18 | 7.61 | 7.44 | 6.91 | 7.96 | 8.49 | 8.66 | 8.93 | 8.63 | 9.19 | 8.66 | 7.47 | 7.79 | 6.83 | 8.93 | 7.68 | 7.47 | 8.49 | 8.77 | 8.93 | 7.47 | 7.58 | 7.91 | 8.07 | 8.23 | 8.14 | 7.67 | 8.61 | 7.47 | 8.89 |
| Devolución de la muestra | 4.29 | 2.66 | 2.36 | 2.22 | 4.64 | 2.71 | 3.06 | 2.84 | 3.01 | 3.41 | 3.41 | 3.15 | 3.68 | 3.76 | 3.94 | 5.43 | 5.16 | 4.73 | 4.99 | 5.6 | 5.27 | 5.78 | 5.6 | 5.44 | 5.86 | 5.11 | 5.02 | 4.81 | 5.16 | 5.34 |
| Tiempo Total | 15.85 | 15.73 | 14.79 | 14.01 | 18.55 | 16.89 | 17.23 | 17.3 | 17.33 | 18.81 | 19.68 | 18.41 | 19.03 | 18.43 | 20.83 | 22.3 | 21.99 | 22.36 | 23.25 | 24.16 | 24.74 | 25.46 | 26.11 | 25.91 | 26.69 | 23.65 | 23.39 | 24.22 | 22.83 | 25.43 |

Tabla 4. Tiempo empleado en diferentes etapas del recojo de las variables en estudio

Fuente: Elaboración propia

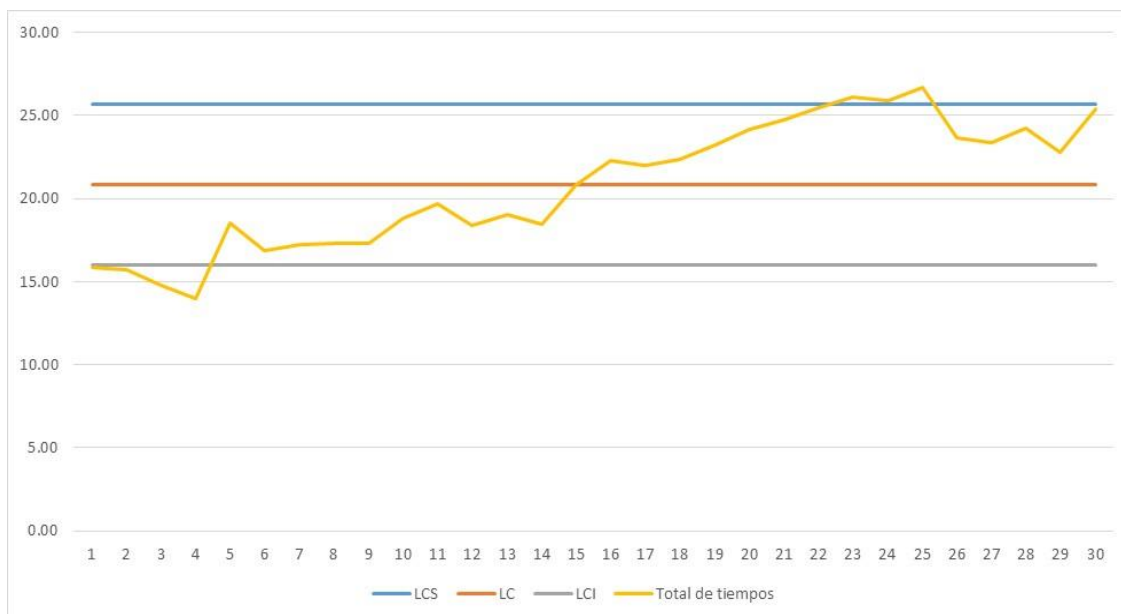


Figura 39. Tiempo empleado en diferentes etapas del recojo de las variables

Fuente: Elaboración propia

Cuando se analiza la información referente a la etapa recojo de la información es importante describir la información obtenida a través del análisis de estadística descriptiva como se puede observar en la tabla 5.

| Estadístico | |
|----------------|-------|
| Media | 8.51 |
| Desviación | 2.65 |
| Mínimo | 4.38 |
| Máximo | 12.69 |
| A ₃ | 1.29 |
| LCS | 11.92 |
| LCI | 5.09 |

Tabla 5. Estadística descriptiva para la etapa recojo de muestras

Fuente: Elaboración propia

El tiempo promedio de esta etapa es de 8.51 minutos con una desviación estándar de 2.65, el tiempo mínimo en realizar esta actividad fue de 4.38 minutos el tiempo máximo en realizarla fue de 12.69 minutos. Para realizar el gráfico de control se hizo necesario aplicar la siguiente formula:

$$\bar{x} \mp A_3S$$

Fórmula 2: Límites de Control

Donde el valor \bar{x} es el promedio, el valor de S es la desviación estándar y el valor de A_3 corresponde a un valor tabulado con muestra de tamaño 6. Se puede apreciar dicha tabla en el Anexo 5 Tabla de Constantes de Gráficos de Control.

Entonces los límites de gráfico de control son los siguientes:

$$LCS = \bar{x} + A_3$$

$$LCS = 8.51 + 1.287 * 2.65 = 11.92$$

$$LCI = \bar{x} - A_3S$$

$$LCS = 8.51 - 1.287 * 2.65 = 5.09$$

En la figura 40, se puede observar que en el gráfico de control hay 8 puntos fuera de los límites de control. Se hace evidente que se deben mejorar los tiempos en esta actividad.

| Recojo de muestra | Tiempo en minutos | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|-------------------|------|------|------|------|----------|------|------|------|------|----------|------|------|------|------|----------|------|------|------|------|----------|------|------|------|------|----------|------|------|------|------|
| | Tanque 1 | | | | | Tanque 2 | | | | | Tanque 3 | | | | | Tanque 4 | | | | | Tanque 5 | | | | | Tanque 6 | | | | |
| Observaciones | 4.38 | 5.46 | 4.99 | 4.88 | 5.95 | 5.69 | 5.51 | 5.53 | 5.69 | 6.21 | 7.61 | 7.79 | 7.56 | 7.84 | 7.96 | 9.19 | 9.36 | 9.14 | 9.49 | 9.63 | 12.0 | 12.1 | 12.6 | 12.4 | 12.6 | 10.4 | 10.7 | 10.8 | 10.2 | 11.2 |
| LCI | 5.09 | 5.09 | 5.09 | 5.09 | 5.09 | 5.09 | 5.09 | 5.09 | 5.09 | 5.09 | 5.09 | 5.09 | 5.09 | 5.09 | 5.09 | 5.09 | 5.09 | 5.09 | 5.09 | 5.09 | 5.09 | 5.09 | 5.09 | 5.09 | 5.09 | 5.09 | 5.09 | 5.09 | 5.09 | 5.09 |
| LCS | 11.9 | 11.9 | 11.9 | 11.9 | 11.9 | 11.9 | 11.9 | 11.9 | 11.9 | 11.9 | 11.9 | 11.9 | 11.9 | 11.9 | 11.9 | 11.9 | 11.9 | 11.9 | 11.9 | 11.9 | 11.9 | 11.9 | 11.9 | 11.9 | 11.9 | 11.9 | 11.9 | 11.9 | 11.9 | 11.9 |
| LC | 8.51 | 8.51 | 8.51 | 8.51 | 8.51 | 8.51 | 8.51 | 8.51 | 8.51 | 8.51 | 8.51 | 8.51 | 8.51 | 8.51 | 8.51 | 8.51 | 8.51 | 8.51 | 8.51 | 8.51 | 8.51 | 8.51 | 8.51 | 8.51 | 8.51 | 8.51 | 8.51 | 8.51 | 8.51 | 8.51 |

Tabla 6. Tiempos empleados en la etapa de recojo de muestra

Fuente: Elaboración propia

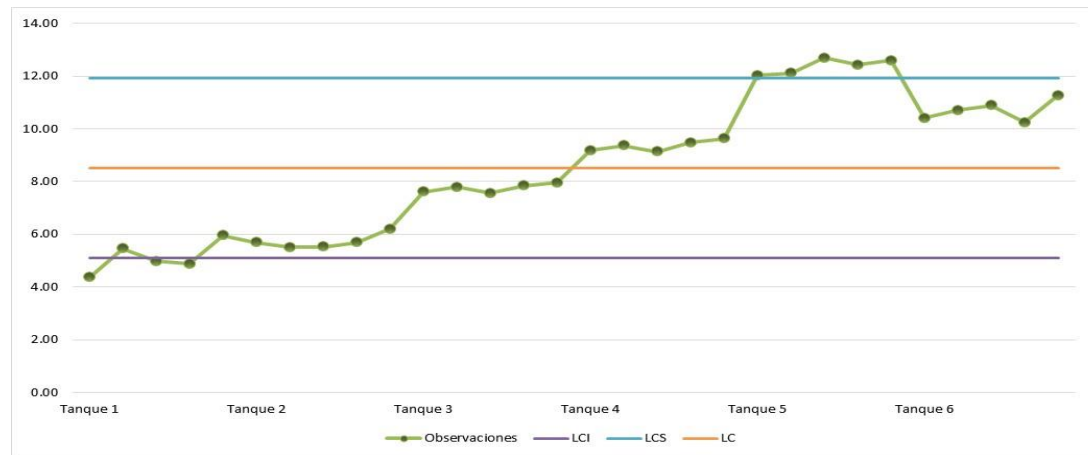


Figura 40. Gráfico de control del tiempo empleado en la etapa de recojo de muestra

Fuente: Elaboración propia

Cuando se analiza la información referente a la etapa análisis de variables es importante describir la información obtenida a través del análisis de estadística descriptiva como se puede observar en la tabla 7.

| Estadístico | |
|-------------|------|
| Media | 8.07 |
| Desviación | 0.66 |
| Mínimo | 6.83 |
| Máximo | 9.19 |
| A3 | 1.29 |
| LCS | 8.92 |
| LCI | 7.22 |

Tabla 7. Estadística descriptiva para la etapa análisis de variables

Fuente: Elaboración propia

El tiempo promedio de esta etapa es de 8.07 minutos con una desviación estándar de 0.66, el tiempo mínimo en realizar esta actividad fue de 6.83 minutos el tiempo máximo en realizarla fue de 9.19 minutos. Para realizar el gráfico de control se hizo necesario aplicar la siguiente formula:

$$\bar{x} \pm A_3S$$

Fórmula 2: Límites de Control

Donde el valor de A_3 corresponde a un valor tabular con muestra de tamaño 6. Entonces los límites de grafico de control son los siguientes:

$$LCS = \bar{x} + A_3S$$

$$LCS = 8.07 + 1.287 * 0.66 = 8.92$$

$$LCI = \bar{x} - A_3S$$

$$LCS = 8.07 - 1.287 * 0.66 = 7.22$$

En la figura 41, se puede observar que en el gráfico de control hay 4 puntos fuera de los límites de control. Se hace evidente que se deben mejorar los tiempos en esta actividad.

| Análisis de variables | Tiempo en minutos | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|-------------------|-----|-----|-----|-----|----------|-----|-----|-----|-----|----------|-----|-----|-----|-----|----------|-----|-----|-----|-----|----------|-----|-----|-----|-----|----------|-----|-----|-----|-----|
| | Tanque 1 | | | | | Tanque 2 | | | | | Tanque 3 | | | | | Tanque 4 | | | | | Tanque 5 | | | | | Tanque 6 | | | | |
| Observaciones | 7.2 | 7.6 | 7.4 | 6.9 | 8.0 | 8.5 | 8.7 | 8.9 | 8.6 | 9.2 | 8.7 | 7.5 | 7.8 | 6.8 | 8.9 | 7.7 | 7.5 | 8.5 | 8.8 | 8.9 | 7.5 | 7.6 | 7.9 | 8.1 | 8.2 | 8.1 | 7.7 | 8.6 | 7.5 | 8.9 |
| LCI | 7.2 | 7.2 | 7.2 | 7.2 | 7.2 | 7.2 | 7.2 | 7.2 | 7.2 | 7.2 | 7.2 | 7.2 | 7.2 | 7.2 | 7.2 | 7.2 | 7.2 | 7.2 | 7.2 | 7.2 | 7.2 | 7.2 | 7.2 | 7.2 | 7.2 | 7.2 | 7.2 | 7.2 | 7.2 | 7.2 |
| LCS | 8.9 | 8.9 | 8.9 | 8.9 | 8.9 | 8.9 | 8.9 | 8.9 | 8.9 | 8.9 | 8.9 | 8.9 | 8.9 | 8.9 | 8.9 | 8.9 | 8.9 | 8.9 | 8.9 | 8.9 | 8.9 | 8.9 | 8.9 | 8.9 | 8.9 | 8.9 | 8.9 | 8.9 | 8.9 | 8.9 |
| LC | 8.1 | 8.1 | 8.1 | 8.1 | 8.1 | 8.1 | 8.1 | 8.1 | 8.1 | 8.1 | 8.1 | 8.1 | 8.1 | 8.1 | 8.1 | 8.1 | 8.1 | 8.1 | 8.1 | 8.1 | 8.1 | 8.1 | 8.1 | 8.1 | 8.1 | 8.1 | 8.1 | 8.1 | 8.1 | 8.1 |

Tabla 8. Tiempos empleados en la etapa de análisis de variables

Fuente: Elaboración propia

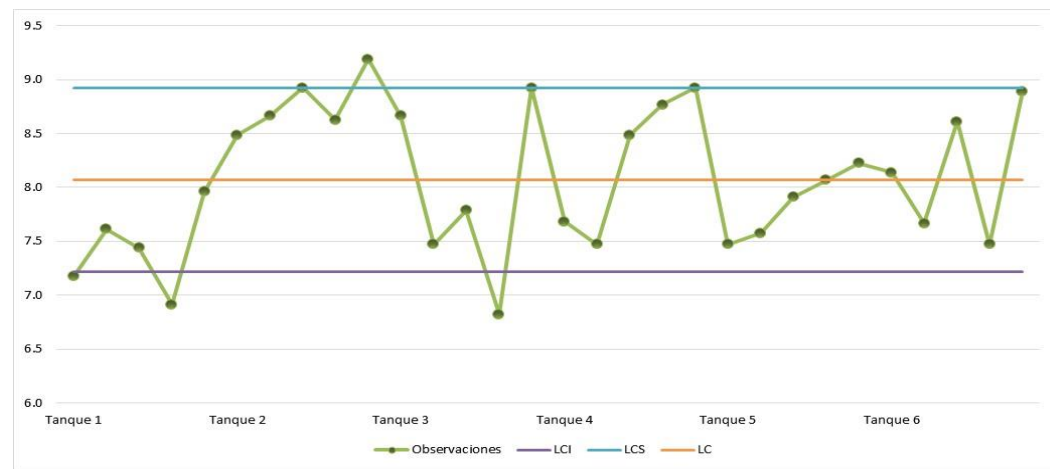


Figura 41. Gráfico de control del tiempo empleado en la etapa de análisis

Fuente: Elaboración propia

Cuando se analiza la información referente a la etapa devolver la muestra es importante describir la información obtenida a través del análisis de estadística descriptiva como se puede observar en la tabla 9.

| Estadístico | |
|-------------|------|
| Media | 4.28 |
| Desviación | 1.15 |
| Mínimo | 2.22 |
| Máximo | 5.86 |
| A3 | 1.29 |
| LCS | 5.77 |
| LCI | 2.80 |

Tabla 9. Estadística descriptiva para la etapa devolver la muestra

Fuente: Elaboración propia

El tiempo promedio de esta etapa es de 4.28 minutos con una desviación estándar de 1.15, el tiempo mínimo en realizar esta actividad fue de 2.22 minutos el tiempo máximo en realizarla fue de 5.86 minutos. Para realizar el gráfico de control se hizo necesario aplicar la siguiente formula:

$$\bar{x} \pm A_3S$$

Fórmula2: Límites de Control

Donde el valor de A_3 corresponde a un valor tabular con muestra de tamaño 6. Entonces los límites de grafico de control son los siguientes:

$$LCS = \bar{x} + A_3S$$

$$LCS = 4.28 + 1.287 * 1.15 = 5.77$$

$$LCI = \bar{x} - A_3S$$

$$LCS = 4.28 - 1.287 * 1.15 = 2.80$$

En la figura 42, se puede observar que en el gráfico de control hay 4 puntos fuera de los límites de control. Se hace evidente que se deben mejorar los tiempos en esta actividad.

| Devolución de la muestra | Tiempo en minutos | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|-------------------|-----|-----|-----|-----|----------|-----|-----|-----|-----|----------|-----|-----|-----|-----|----------|-----|-----|-----|-----|----------|-----|-----|-----|-----|----------|-----|-----|-----|-----|
| | Tanque 1 | | | | | Tanque 2 | | | | | Tanque 3 | | | | | Tanque 4 | | | | | Tanque 5 | | | | | Tanque 6 | | | | |
| Observaciones | 4.3 | 2.7 | 2.4 | 2.2 | 4.6 | 2.7 | 3.1 | 2.8 | 3.0 | 3.4 | 3.4 | 3.2 | 3.7 | 3.8 | 3.9 | 5.4 | 5.2 | 4.7 | 5.0 | 5.6 | 5.3 | 5.8 | 5.6 | 5.4 | 5.9 | 5.1 | 5.0 | 4.8 | 5.2 | 5.3 |
| LCI | 2.8 | 2.8 | 2.8 | 2.8 | 2.8 | 2.8 | 2.8 | 2.8 | 2.8 | 2.8 | 2.8 | 2.8 | 2.8 | 2.8 | 2.8 | 2.8 | 2.8 | 2.8 | 2.8 | 2.8 | 2.8 | 2.8 | 2.8 | 2.8 | 2.8 | 2.8 | 2.8 | 2.8 | 2.8 | 2.8 |
| LCS | 5.8 | 5.8 | 5.8 | 5.8 | 5.8 | 5.8 | 5.8 | 5.8 | 5.8 | 5.8 | 5.8 | 5.8 | 5.8 | 5.8 | 5.8 | 5.8 | 5.8 | 5.8 | 5.8 | 5.8 | 5.8 | 5.8 | 5.8 | 5.8 | 5.8 | 5.8 | 5.8 | 5.8 | 5.8 | 5.8 |
| LC | 4.3 | 4.3 | 4.3 | 4.3 | 4.3 | 4.3 | 4.3 | 4.3 | 4.3 | 4.3 | 4.3 | 4.3 | 4.3 | 4.3 | 4.3 | 4.3 | 4.3 | 4.3 | 4.3 | 4.3 | 4.3 | 4.3 | 4.3 | 4.3 | 4.3 | 4.3 | 4.3 | 4.3 | 4.3 | 4.3 |

Tabla 10 Tiempos empleados en la etapa de devolución de la muestra

Fuente: Elaboración propia

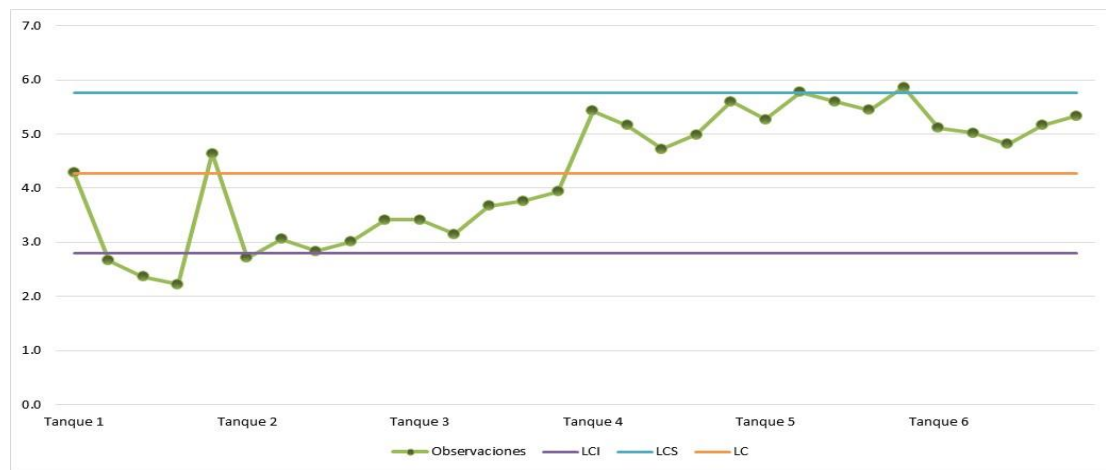


Figura 42 Gráfico de control del tiempo empleado en la etapa de devolución

Fuente: Elaboración propia

5.4 Cartas de Control para Medición de Variables

Respecto a los valores obtenidos por el software (ver Anexo 4), se obtuvieron los siguientes promedios de valores de variables.

| Fecha | pH | Temperatura | Humedad |
|--------------|-----------|--------------------|----------------|
| Día 1 | 7,3 | 15 | 24% |
| Día 2 | 6,7 | 15 | 26% |
| Día 3 | 6,6 | 15 | 26% |
| Día 4 | 6,8 | 14 | 25% |
| Día 5 | 6,5 | 15 | 26% |
| Día 6 | 6,8 | 16 | 25% |
| Día 7 | 6,8 | 15 | 25% |
| Día 8 | 6,8 | 15 | 25% |
| Día 9 | 6,7 | 15 | 27% |
| Día 10 | 6,6 | 15 | 24% |
| Día 11 | 6,8 | 16 | 25% |
| Día 12 | 6,5 | 15 | 27% |
| Día 13 | 6,5 | 15 | 26% |
| Día 14 | 6,6 | 17 | 26% |
| Día 15 | 6,7 | 15 | 25% |
| Día 16 | 6,6 | 14 | 25% |
| Día 17 | 6,8 | 15 | 25% |
| Día 18 | 6,9 | 16 | 26% |
| Día 19 | 6,8 | 16 | 25% |
| Día 20 | 6,6 | 15 | 26% |
| Día 21 | 6,7 | 15 | 25% |
| Día 22 | 7,0 | 15 | 25% |
| Día 23 | 6,9 | 14 | 25% |
| Día 24 | 6,7 | 16 | 26% |
| Día 25 | 6,8 | 15 | 25% |
| Día 26 | 6,9 | 15 | 26% |
| Día 27 | 7,1 | 14 | 25% |
| Día 28 | 6,6 | 15 | 27% |
| Día 29 | 6,8 | 16 | 26% |
| Día 30 | 6,7 | 15 | 25% |
| Día 31 | 6,9 | 14 | 25% |

Tabla 11 Promedios de Valores de Variables – Agosto 2019

Fuente: Elaboración propia

Cuando se analiza la información referente a las variables Temperatura, pH y Humedad es importante describir la información obtenida a través del análisis de estadística descriptiva como se puede observar en la tabla 12.

| | pH | Temperatura | Humedad |
|---------------------|-------|-------------|---------|
| Promedio | 6,77 | 15,08 | 25% |
| Desviación Estándar | 0,18 | 0,63 | 0,01 |
| A3 | 1,287 | 1,287 | 1,287 |
| LSC | 7,00 | 15,89 | 26% |
| LIC | 6,53 | 14,26 | 24% |

Tabla 12. Estadística descriptiva para variables de medición

Fuente: Elaboración propia

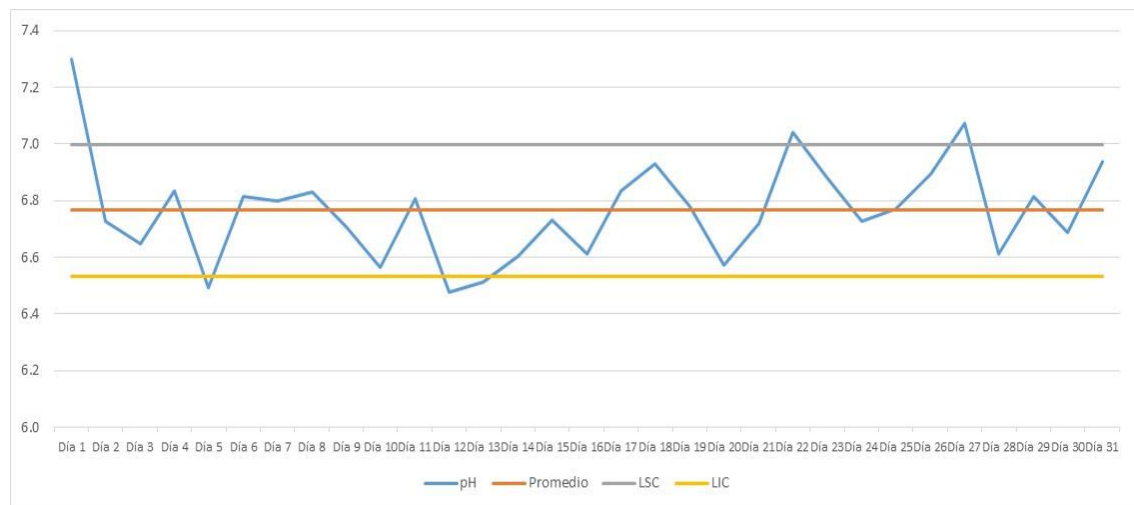


Figura 43. Gráfico de Control para de la Variable pH

Fuente: Elaboración propia

Observamos que para la variable pH, hay puntos fuera de los límites de control. De esta forma, se asume que el proceso no está en control estadístico y que hay que mejorar el proceso de ajuste de las variables. Esto puede considerarse como una posible mejora futura.

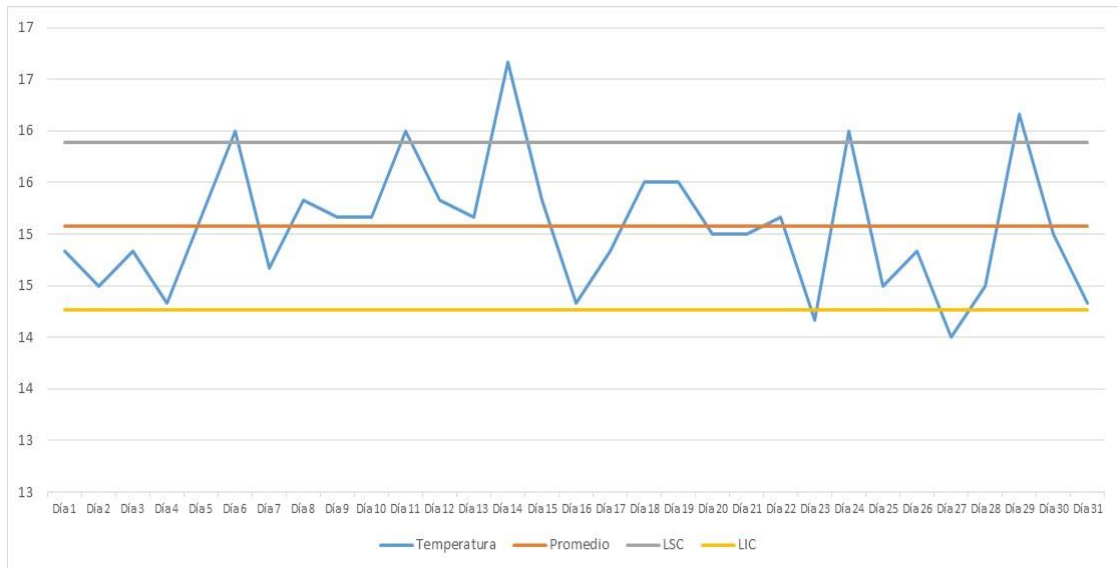


Figura 44. Gráfico de Control para de la Variable Temperatura

Fuente: Elaboración propia

Observamos que para la variable temperatura, hay puntos fuera de los límites de control. De esta forma, se asume que el proceso no está en control estadístico y que hay que mejorar el proceso de ajuste de las variables.

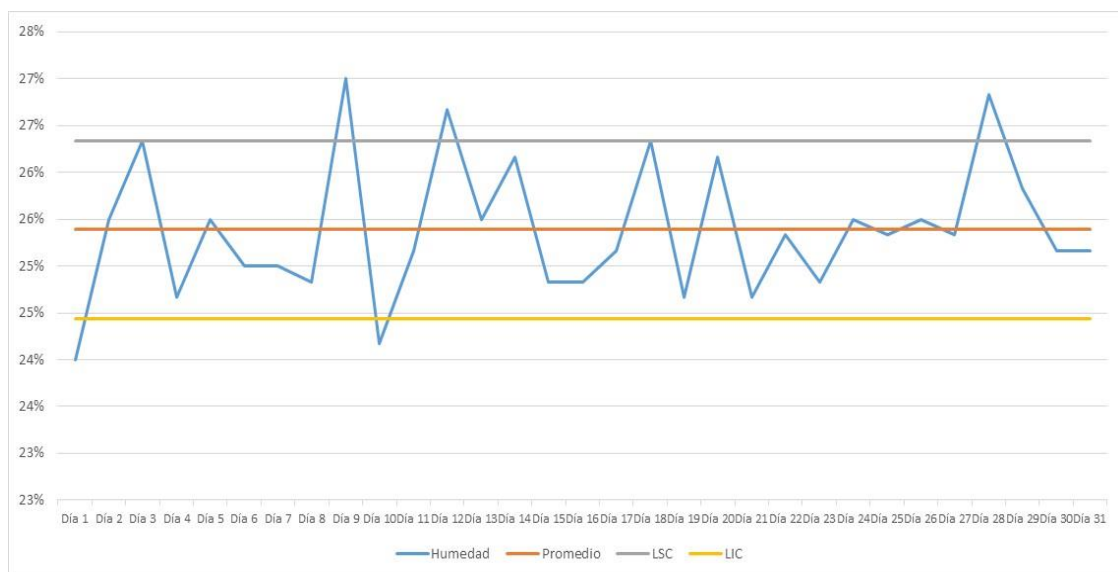


Figura 45. Gráfico de Control para de la Variable Humedad

Fuente: Elaboración propia

Observamos que para la variable humedad, así como todas las variables estudiadas anteriormente, hay puntos fuera de los límites de control. De esta forma, se asume que el proceso no está en control estadístico y que hay que mejorar el proceso de ajuste de las variables. Esto puede considerarse como una posible mejora futura.

5.5 Análisis de Causa Raíz

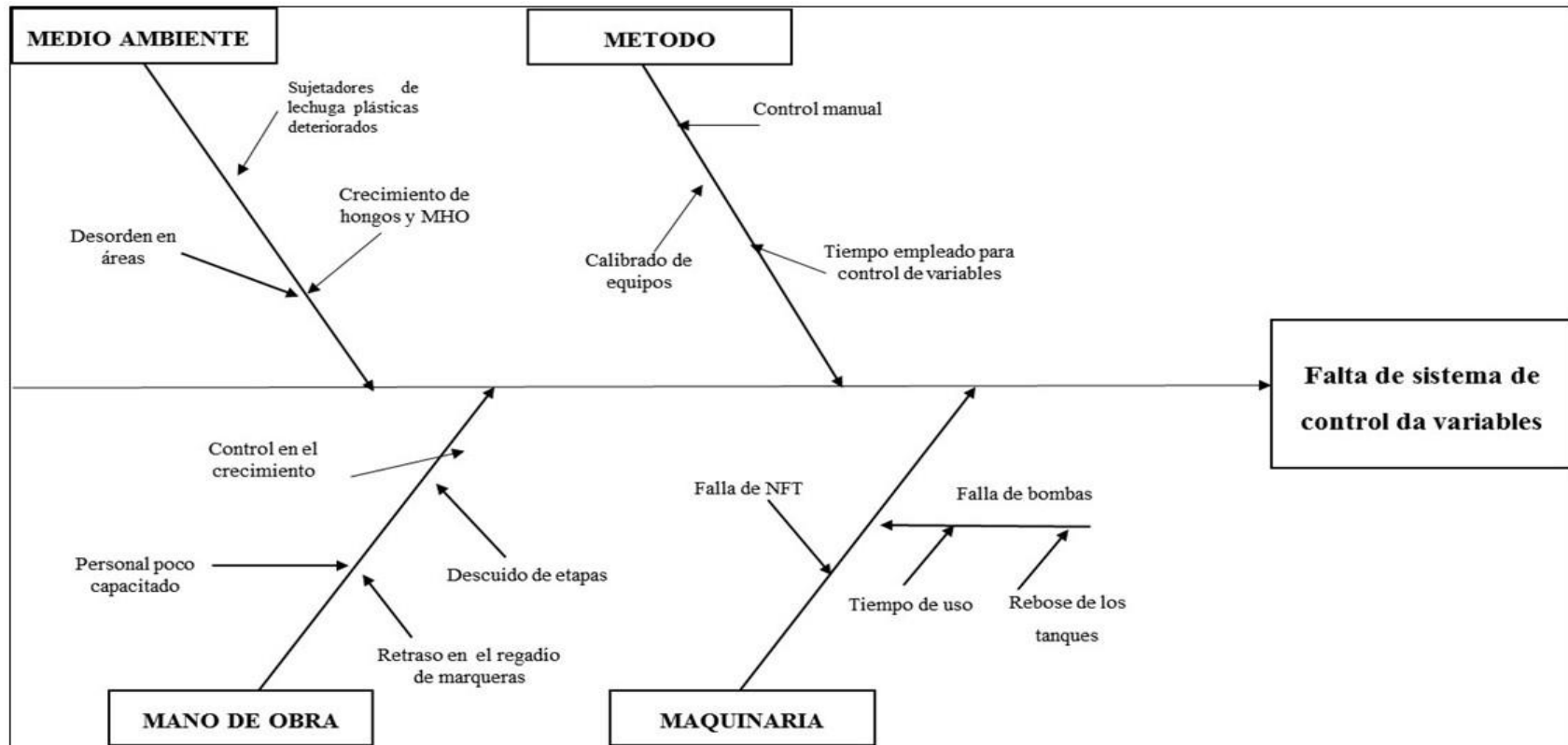


Figura 46. Diagrama ISHIKAWA de la empresa FAGSOL

Fuente: Elaboración propia

Observamos que hay varios factores que influyen en los problemas de la empresa FAGSOL, pero los más representativos giran alrededor del estudio de variables de forma manual.

5.6 Diagrama de Análisis del Proceso Actual y Propuesto:

| DIAGRAMA DE ANÁLISIS DE PROCESOS - RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN DE VARIABLES CRÍTICAS (PH, TEMPERATURA, HUMEDAD) DE LA EMPRESA FAGSOL | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|----------------|--------------------|-----------|---------------------------------------------------|----------|---|---|---|---------------|---------------------------------------------------------------|
| DIAGRAMA | Nº 001 | HOJA Nº 1 de 1 | RESUMEN | | | | | | | | |
| OBJETO | Recolectar lectura de Variables | | ACTIVIDAD | ACTUAL | PROPUESTA | ECONOMÍA | | | | | |
| | | | OPERACIÓN | 12 | Implementación de sistema de Control de Variables | 11557.19 | | | | | |
| TRANSPORTE | 18 | | | | | | | | | | |
| ESPERA | 0 | | | | | | | | | | |
| INSPECCIÓN | 6 | | | | | | | | | | |
| ALMACENAMIENTO | 2 | | | | | | | | | | |
| LUGAR | Área de Producción de la Empresa FAGSOL S.A.C. | | DISTANCIA (metros) | 323 | | | | | | | |
| | | | TIEMPO (minutos) | 190.31 | | | | | | | |
| OPERARIO(S) | Empleado 01 | Ficha Nº 01 | COSTO | | | | | | | | |
| | | | MANO DE OBRA | | | | | | | | |
| ELABORADO POR: | Linares Valderrama José Carlos Zuñiga Torreblanca Carlos Eduardo | | MATERIAL | | | | | | | | |
| | | | TOTAL | | | | | | | | |
| Observación: El tiempo y las distancias inician desde el área de almacenamiento ya que ahí se encuentra el instrumento utilizado para la medición de variables | | | | | | | | | | | |
| Nº | DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | DISTANCIA | TIEMPO | SÍMBOLOS | | | | | OBSERVACIONES | |
| | | | (metros) | (minutos) | O | ⇒ | D | □ | ▽ | | |
| 1 | Almacén | 1 | 0 | 4.00 | | | | | | X | El tiempo depende si el supervisor se encuentra en el almacén |
| 2 | Dirección al Tanque 1 | 1 | 45 | 3.50 | | X | | | | | |
| 3 | Recojo de la muestra (Tanque 1) | 1 | 0 | 5.13 | X | | | | | | Se toma 500 ml |
| 4 | Dirección a la mesa de trabajo | 1 | 15 | 2.63 | | X | | | | | |
| 5 | Ánalysis de variable (Tanque 1) | 1 | 0 | 7.42 | | | | | X | | Se toma en cuenta el tiempo por todas las variables |
| 6 | Dirección al Tanque 1 | 1 | 15 | 3.50 | | X | | | | | |
| 7 | Devolución de la muestra | 1 | 0 | 7.42 | X | | | | | | |
| 8 | Dirección al Tanque 2 | 1 | 4 | 3.50 | | X | | | | | |
| 9 | Recojo de la muestra (Tanque 2) | 1 | 0 | 5.69 | X | | | | | | Se toma 500 ml |
| 10 | Dirección a la mesa de trabajo | 1 | 16 | 2.63 | | X | | | | | |
| 11 | Ánalysis de variable (Tanque 2) | 1 | 0 | 8.78 | | | | | X | | Se toma en cuenta el tiempo por todas las variables |
| 12 | Dirección al Tanque 2 | 1 | 16 | 2.63 | | X | | | | | |
| 13 | Devolución de la muestra | 1 | 0 | 3.01 | X | | | | | | |
| 14 | Dirección al Tanque 3 | 1 | 4 | 3.50 | | X | | | | | |
| 15 | Recojo de la muestra (Tanque 3) | 1 | 0 | 7.75 | X | | | | | | Se toma 500 ml |
| 16 | Dirección a la mesa de trabajo | 1 | 17 | 2.63 | | X | | | | | |
| 17 | Ánalysis de variable (Tanque 3) | 1 | 0 | 7.93 | | | | | X | | Se toma en cuenta el tiempo por todas las variables |
| 18 | Dirección al Tanque 3 | 1 | 17 | 2.63 | | X | | | | | |
| 19 | Devolución de la muestra | 1 | 0 | 3.59 | X | | | | | | |

| DIAGRAMA DE ANÁLISIS DE PROCESOS - RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN DE VARIABLES CRÍTICAS (PH, TEMPERATURA, HUMEDAD) DE LA EMPRESA FAGSOL | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|----------------|--------------------|------------------|---------------------------------------------------|-----------|----------|----------|----------|----------------------------------------------------------------|
| DIAGRAMA | Nº 001 | HOJA Nº 1 de 1 | RESUMEN | | | | | | | |
| OBJETO | Recolectar lectura de Variables | | ACTIVIDAD | ACTUAL | PROPUESTA | ECONOMÍA | | | | |
| | | | OPERACIÓN | 12 | Implementación de sistema de Control de Variables | 11557.19 | | | | |
| TRANSPORTE | 18 | | | | | | | | | |
| ESPERA | 0 | | | | | | | | | |
| INSPECCIÓN | 6 | | | | | | | | | |
| ALMACENAMIENTO | 2 | | | | | | | | | |
| LUGAR | Área de Producción de la Empresa FAGSOL S.A.C. | | DISTANCIA (metros) | 323 | | | | | | |
| | | | TIEMPO (minutos) | 190.31 | | | | | | |
| OPERARIO(S) | Empleado 01 | Ficha Nº 01 | COSTO | | | | | | | |
| | | | MANO DE OBRA | | | | | | | |
| ELABORADO POR: | Linares Valderrama José Carlos Zuñiga Torreblanca Carlos Eduardo | | MATERIAL | | | | | | | |
| | | | TOTAL | | | | | | | |
| Nº | DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | DISTANCIA (metros) | TIEMPO (minutos) | SÍMBOLOS | | | | | OBSERVACIONES |
| | | | | | O | ⇒ | D | □ | ▽ | |
| 20 | Dirección al Tanque 4 | 1 | 4 | 3.50 | X | | | | | |
| 21 | Recojo de la muestra (Tanque 4) | 1 | 0 | 9.36 | X | | | | | Se toma 500 ml |
| 22 | Dirección a la mesa de trabajo | 1 | 19 | 3.15 | X | | | | | |
| 23 | Ánalysis de variable (Tanque 4) | 1 | 0 | 8.27 | | | | | X | Se toma en cuenta el tiempo por todas las variables |
| 24 | Dirección al Tanque 4 | 1 | 19 | 3.15 | X | | | | | |
| 25 | Devolución de la muestra | 1 | 0 | 5.59 | X | | | | | |
| 26 | Dirección al Tanque 5 | 1 | 4 | 3.00 | X | | | | | |
| 27 | Recojo de la muestra (Tanque 5) | 1 | 0 | 12.37 | X | | | | | Se toma 500 ml |
| 28 | Dirección a la mesa de trabajo | 1 | 20 | 3.33 | X | | | | | |
| 29 | Ánalysis de variable (Tanque 5) | 1 | 0 | 7.85 | | | | | X | Se toma en cuenta el tiempo por todas las variables |
| 30 | Dirección al Tanque 5 | 1 | 20 | 3.33 | X | | | | | |
| 31 | Devolución de la muestra | 1 | 0 | 3.16 | X | | | | | |
| 32 | Dirección al Tanque 6 | 1 | 4 | 3.50 | X | | | | | |
| 33 | Recojo de la muestra (Tanque 6) | 1 | 0 | 10.00 | X | | | | | Se toma 500 ml |
| 34 | Dirección a la mesa de trabajo | 1 | 25 | 3.50 | X | | | | | |
| 35 | Ánalysis de variable (Tanque 6) | 1 | 0 | 8.16 | | | | | X | Se toma en cuenta el tiempo por todas las variables |
| 36 | Dirección al Tanque 6 | 1 | 25 | 3.50 | X | | | | | |
| 37 | Devolución de la muestra | 1 | 0 | 5.09 | X | | | | | |
| 38 | Almacén | 1 | 34 | 2.63 | | | | | X | El tiempo depende si el supervisor se encuentra en el almacén. |
| TOTAL | | | 323 | 190.31 | 12 | 18 | 0 | 6 | 2 | |

Figura 47. Diagrama DAP del proceso de Recolección de Información de Variables

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se mostrará el diagrama de análisis de Procesos de la nueva implementación. Éste se elaboró con datos estudiados de toma de tiempos en el anexo 3.

| DIAGRAMA DE ANÁLISIS DE PROCESOS RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN DE VARIABLES CON SISTEMA DE CONTROL (PH, TEMPERATURA, HUMEDAD) DE LA EMPRESA FAGSOL | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|----------------|--------------------|------------------|---------------------------------------------------|----------|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|---|
| DIAGRAMA | Nº 002 | HOJA Nº 1 de 1 | RESUMEN | | | | | | | |
| OBJETO | Recolectar lectura de Variables | | ACTIVIDAD | ACTUAL | PROPUESTA | ECONOMÍA | | | | |
| LUGAR | Área de Producción de la Empresa FAGSOL S.A.C. | | OPERACIÓN | 3 | Implementación de sistema de Control de Variables | 11557.19 | | | | |
| | | | TRANSPORTE | 1 | | | | | | |
| | | | ESPERA | 0 | | | | | | |
| | | | INSPECCIÓN | 1 | | | | | | |
| OPERARIO(S) | Empleado 01 | Ficha Nº 01 | ALMACENAMIENTO | 1 | | | | | | |
| | | | DISTANCIA (metros) | 34.1 | | | | | | |
| ELABORADO POR: | Linares Valderrama José Carlos Zuñiga Torreblanca Carlos Eduardo | | TIEMPO (minutos) | 10.012 | | | | | | |
| | | | COSTO | | | | | Observación: se mejoró de forma muy significativa el tiempo de análisis de variables de crecimiento de lechugas hidropónicas | | |
| | | | MANO DE OBRA | | | | | | | |
| | | | MATERIAL | | | | | | | |
| TOTAL | | | | | | | | | | |
| Nº | DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | DISTANCIA (metros) | TIEMPO (minutos) | SÍMBOLOS | | | OBSERVACIONES | | |
| | | | | | O | ⇒ | D | □ | ▽ | |
| 1 | Desplazo a máquina | 1 | 30.6 | 2.24 | X | | | | | |
| 2 | Ejecución de reporte | 1 | 0 | 1.18 | X | | | | | |
| 3 | Lectura de reporte | 1 | 0 | 1.59 | | | | | | |
| 4 | Anotación de datos | 1 | 0 | 2.13 | | | | | | X |
| 5 | Notificación a operario | 1 | 3.5 | 2.49 | X | | | | | |
| 6 | Cerrado de sistema | 1 | 0 | 0.38 | X | | | | | |
| TOTAL | | | 34.1 | 10.01 | 3 | 1 | 0 | 1 | 1 | |

Figura 48. Diagrama de análisis de Procesos de Estudio de Variables Post-Implementación

Fuente: Fuente Propia

En la Figura 47 podemos observar el Diagrama de Análisis de Proceso previo a realizar la implementación y a continuación se muestra la Figura 48 en la cual observamos el tiempo invertido post implementación para realizar las mismas actividades de seguimiento de variables.

Podemos observar una gran disminución en los tiempos que se invertían para dicha medición con la implementación del sistema de control de variables. Desde 190 minutos a tan solo 10 minutos.

5.7 Planteamiento de mejoras.

Luego de analizar los tiempos en el proceso de recolección de información de las variables estudiadas se puede observar que el tiempo empleado en realizar este proceso tarda aproximadamente 190.31 minutos y se recorren 323 metros. Siendo aproximadamente 3,17 horas en realizar esta actividad. Al analizar la situación y comparar el tiempo que se emplea actualmente con lo que se debería tardar una vez

implementado el sistema de control, queda demostrado que se debe implementar dicho sistema ya que reduce el tiempo empleado a tan solo 10 minutos.

5.8 Estudio de la Productividad

Luego de realizar el análisis financiero se realizó un análisis de la productividad tomando en cuenta el año 2016, 2017, 2018 y una proyección de la producción para los últimos meses de 2019. Es importante mencionar que el proceso de sistematización comenzó en el mes de abril del año 2018 y terminó en julio de ese mismo año. En la Tabla 13, se detalla la producción, y se puede observar que la productividad cuando no se contaba con la implementación es en promedio del 5% del año 2016 al 2017. Sin embargo, si se observa la productividad cuando se realizó la implementación, del año 2017 al 2018, se incrementó en promedio 10%. Lo cual indica que efectivamente la implementación del sistema de control influye en el incremento de la productividad de lechugas hidropónicas, y hacia el siguiente año se incrementa en un 20% si se continúa con el mismo sistema de control, puesto que optimizará el uso de recursos y control de variables climáticas.

En conclusión, podemos observar un aumento de productividad debido a la mayor producción y cultivo de lechugas y a la reducción de pérdidas y productos de baja calidad que son desechados por no tener un adecuado control de las variables críticas. Para demostrar lo mencionado anteriormente se hará uso del siguiente indicador de productividad, y podemos apreciar los resultados en la Tabla 13.

$$\text{Crec. promedio de la Prod. de lechugas} = \frac{\text{Prod. Mensual}_1 - \text{Prod. Mensual}_0}{\text{Prod. Mensual}_0}$$

Fórmula N°3: %Crecimiento de Producción

Nota: Los datos de la tabla 13 son datos históricos hasta el año 2019. A partir del mes de octubre del 2019, se utiliza el crecimiento promedio de producción de lechugas para obtener una proyección estimada.

| ESTUDIO DE LA PRODUCTIVIDAD | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------------|-------------|-------------|-------------------|-------------|-------------|-------------------|
| Años | Prod. /doc. | Prod. /doc. | Prod. /doc. | Prod. /doc. | CREC. PROMEDIO | Prod. /doc. | Prod. /doc. | CREC. PROMEDIO | Prod. /doc. | Prod. /doc. | CREC. PROMEDIO |
| Meses | semanal | mensual | semanal | mensual | | semanal | mensual | | semanal | mensual | |
| | 2016 | | 2017 | | | 2018 | | | 2019 | | |
| Ene | 75 | 301 | 80 | 320 | 6.4% | 92 | 368 | 15.0% | 97 | 387 | 21.0% |
| Feb | 71 | 283 | 76 | 304 | 7.5% | 88 | 352 | 15.8% | 91 | 365 | 20.0% |
| Mar | 68 | 271 | 72 | 288 | 6.4% | 84 | 336 | 16.7% | 86 | 346 | 20.0% |
| Abr | 77 | 307 | 80 | 320 | 4.2% | 88 | 352 | 10.0% | 95 | 381 | 19.0% |
| May | 84 | 338 | 88 | 352 | 4.2% | 92 | 368 | 4.5% | 105 | 419 | 19.0% |
| Jun | 77 | 307 | 80 | 320 | 4.2% | 88 | 352 | 10.0% | 98 | 390 | 22.0% |
| Jul | 77 | 307 | 80 | 320 | 4.2% | 84 | 336 | 5.0% | 98 | 390 | 22.0% |
| Ago. | 79 | 316 | 84 | 336 | 6.4% | 92 | 368 | 9.5% | 102 | 410 | 22.0% |
| Sep. | 82 | 327 | 88 | 352 | 7.5% | 100 | 400 | 13.6% | 106 | 426 | 21.0% |
| Oct | 86 | 346 | 92 | 368 | 6.4% | 104 | 416 | 13.0% | 112 | 449 | 22.0% |
| Nov | 92 | 369 | 96 | 384 | 4.2% | 100 | 400 | 4.2% | 114 | 457 | 19.0% |
| Dic | 90 | 361 | 96 | 384 | 6.4% | 108 | 432 | 12.5% | 115 | 461 | 20.0% |
| TOTAL | | 3832 | | 4048 | 5.6% | | 4480 | 10.7% | | 4881 | 20.6% |

Tabla 13. Producción de lechugas por docena, años 2016 – 2019

Fuente: FAGSOL (2019)

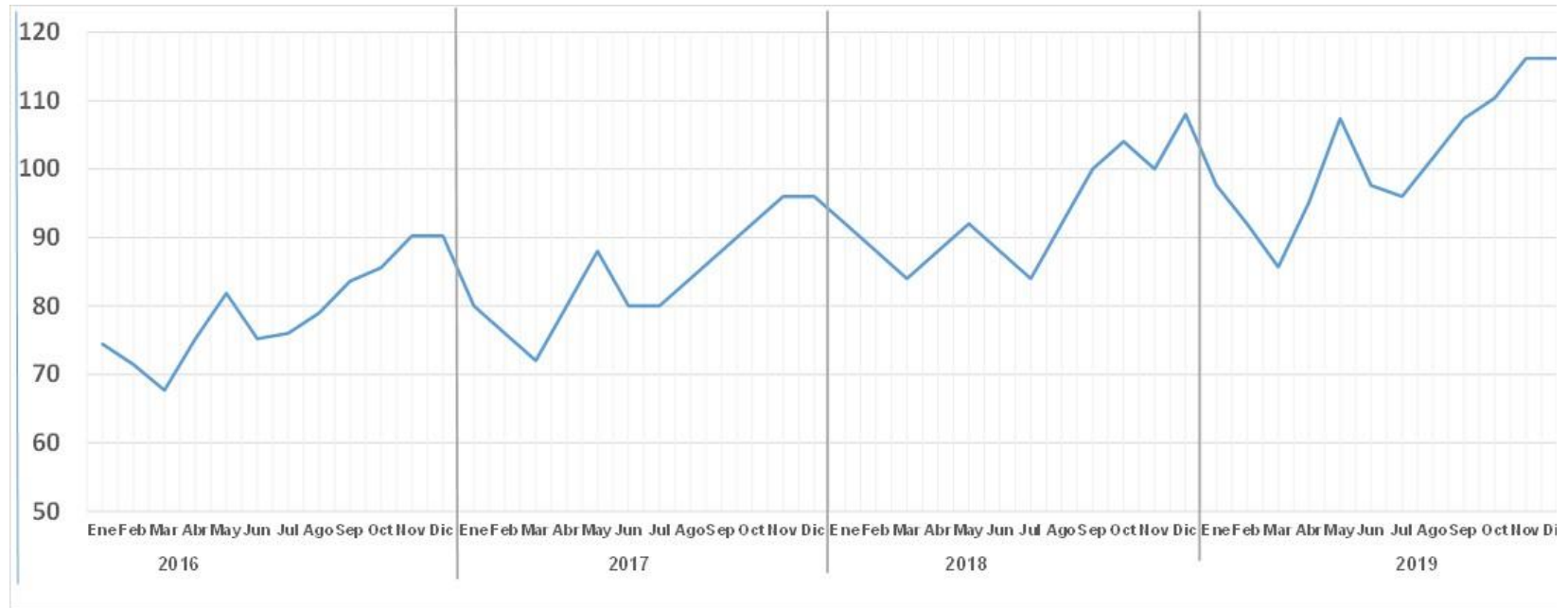


Figura 49. Producción de lechugas por docena, años 2016 - 2019

Fuente: (FAGSOL, 2018)

Cuando se analiza la productividad entre los años 2016-2018 y 2018-2019, se puede observar un aumento en la productividad de docenas de lechuga por mes, entre ambos periodos, evidenciándose que es un negocio que genera una buena rentabilidad y mejora de la productividad para la empresa.

| Años meses | Ingreso x | | | | Ingreso promedio | Ingreso x | | Ingreso promedio | Proyección | | |
|---------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------------------|-----------------|-----------------|---------------------|-----------------|-----------------|---------------------|
| | doc. Semanal | doc. mensual | doc. Semanal | doc. mensual | | doc. Semanal | doc. mensual | | doc. Semanal | doc. mensual | Ingreso promedio |
| | 2016 | | 2017 | | | 2018 | | | 2019 | | |
| Ene | 1275 | 5117 | 1360 | 5440 | 6.3% | 1564 | 6256 | 15.0% | 1649 | 6579 | 20.9% |
| Feb | 1207 | 4811 | 1292 | 5168 | 7.4% | 1496 | 5984 | 15.8% | 1547 | 6205 | 20.1% |
| Mar | 1156 | 4607 | 1224 | 4896 | 6.3% | 1428 | 5712 | 16.7% | 1462 | 5882 | 20.1% |
| Abr | 1309 | 5219 | 1360 | 5440 | 4.2% | 1496 | 5984 | 10.0% | 1615 | 6477 | 19.1% |
| May | 1428 | 5746 | 1496 | 5984 | 4.1% | 1564 | 6256 | 4.5% | 1785 | 7123 | 19.0% |
| Jun | 1309 | 5219 | 1360 | 5440 | 4.2% | 1496 | 5984 | 10.0% | 1666 | 6630 | 21.9% |
| Jul | 1309 | 5219 | 1360 | 5440 | 4.2% | 1428 | 5712 | 5.0% | 1666 | 6630 | 21.9% |
| Ago | 1343 | 5372 | 1428 | 5712 | 6.3% | 1564 | 6256 | 9.5% | 1734 | 6970 | 22.0% |
| Sep | 1394 | 5559 | 1496 | 5984 | 7.6% | 1700 | 6800 | 13.6% | 1802 | 7242 | 21.0% |
| Oct | 1462 | 5882 | 1564 | 6256 | 6.4% | 1768 | 7072 | 13.0% | 1904 | 7633 | 22.0% |
| Nov | 1564 | 6273 | 1632 | 6528 | 4.1% | 1700 | 6800 | 4.2% | 1938 | 7769 | 19.0% |
| Dic | 1530 | 6137 | 1632 | 6528 | 6.4% | 1836 | 7344 | 12.5% | 1955 | 7837 | 20.1% |
| Total | | 65161 | | 68816 | 5.6% | | 76160 | 10.7% | | 82977 | 20.6% |

Tabla 14 Evolución del Ingreso por docena, años 2016 – 2019

Fuente: (FAGSOL, 2018)

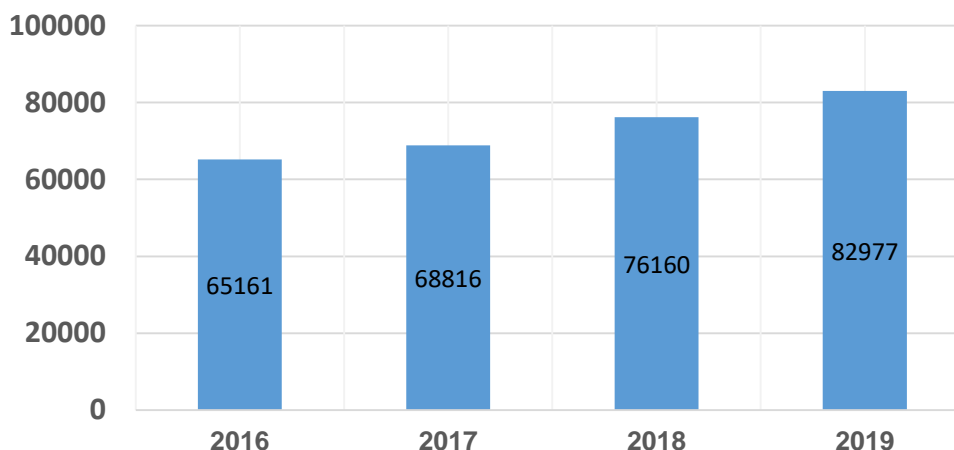


Figura 50. Evolución del Ingreso anual en soles, años 2016 - 2019

Fuente: (FAGSOL, 2018)

Cuando se analiza la evolución del ingreso anual entre los años 2016-2018 y 2018-2019, se puede observar un aumento significativo del ingreso total producto de ventas de docenas de lechuga por mes, entre ambos periodos, evidenciándose que la implementación del proyecto genera mayor rentabilidad en la empresa.

5.9 Análisis de la Demanda

El análisis de la demanda consiste en tener un claro conocimiento de las fuerzas que afectan los requerimientos del mercado respecto al consumo de lechugas, y al grado de satisfacción de dicha demanda. De esta forma, concluimos que es importante saber si el aumento de nuestra productividad va a ser compensada con la demanda de las lechugas en el mercado actual. De nada serviría mejorar la productividad si no va a ser aprovechada por los clientes.

El sector hidropónico tiene un horizonte de crecimiento muy optimista. (Chirinos & Herrera, 2015) concluyen que existe un crecimiento del 1.6% en el sector hidropónico en el país, sin mencionar claro la tendencia positiva de la gente a consumir productos saludables y cultivados en ambientes más controlados.

Para realizar un análisis cuantitativo de la misma, es necesario saber las preferencias en el mercado actual del consumo de alimentos, específicamente de lechugas en el mismo. Según el INEI, los peruanos tienen un consumo per cápita de 1.3kg de lechuga anualmente (ver tabla 16). Considerando la densidad poblacional del mercado arequipeño

de 1,008,000 habitantes, y un peso estimado de 300g por lechuga, obtenemos el consumo promedio de 30000 docenas de lechugas mensualmente. FAGSOL S.A.C, tiene proyectado producir 461 docenas en el mes de diciembre de 2019, lo cual claramente indica que la demanda es muy superior a la oferta dada por esta empresa, por lo cual hay una gran oportunidad de crecimiento en este sector, sin mencionar claro la tendencia positiva de crecimiento ya explicado en el sector hidropónico.

Perú: Consumo promedio per cápita anual de hortalizas por ámbito geográfico, según principales tipos de hortaliza
(Kg./persona)

| Principales tipos de hortaliza | Total | Lima Metropolitana 1/ | Resto País | Área | | Región natural | | |
|-------------------------------------|-------|-----------------------|------------|--------|-------|----------------|--------|-------|
| | | | | Urbana | Rural | Costa | Sierra | Selva |
| Aji entero (Kg.) | 0,8 | 0,9 | 0,7 | 0,8 | 0,5 | 0,9 | 0,7 | 0,4 |
| Ajo entero (cabeza) (Kg.) | 0,9 | 0,7 | 1,1 | 0,8 | 1,3 | 0,8 | 1,0 | 1,5 |
| Apio (Kg.) | 1,1 | 1,2 | 1,1 | 1,1 | 0,9 | 0,9 | 1,6 | 0,5 |
| Calabaza (chiclayo, lacayote) (Kg.) | 0,7 | 0,1 | 0,9 | 0,5 | 1,2 | 0,1 | 1,9 | 0,1 |
| Cebolla (Kg.) | 11,0 | 12,2 | 10,4 | 11,3 | 9,9 | 11,8 | 10,8 | 7,9 |
| Choclo (Kg.) | 3,3 | 3,2 | 3,3 | 2,8 | 4,8 | 2,8 | 5,0 | 1,1 |
| Coles (Kg.) | 2,2 | 2,0 | 2,3 | 2,1 | 2,6 | 1,9 | 2,9 | 1,9 |
| Lechuga (Kg.) | 1,5 | 1,9 | 1,3 | 1,7 | 0,8 | 1,6 | 1,7 | 0,6 |
| Tomate (Kg.) | 6,8 | 6,7 | 6,9 | 7,1 | 5,8 | 6,8 | 7,1 | 6,3 |
| Zanahoria (Kg.) | 6,9 | 6,6 | 7,0 | 6,9 | 6,9 | 5,8 | 9,9 | 3,7 |
| Zapallo (Kg.) | 3,3 | 3,6 | 3,2 | 3,6 | 2,5 | 3,4 | 4,2 | 0,7 |

Tabla 15 Consumo promedio per cápita anual de Lechugas

Fuente: (INEI, 2009)

Hay que considerar la posibilidad de que los clientes actuales de la empresa puedan optar por no comprar el producto que actualmente se ofrece. Este escenario pesimista tiene que ser considerado y posteriormente ser estudiado en un análisis de sensibilidad (ver tabla 28), en donde veremos el impacto económico del mismo.

5.10 Indicadores de Productividad

Es en este punto, donde después de haber estudiado la productividad, y haber encontrado una variación positiva en el mismo, podemos definir qué indicadores de productividad podrán reflejar este comportamiento, y así mismo, con ellos poder comparar valores medidos según el desarrollo anterior y posterior a la implementación del sistema de control de variables.

A continuación procederemos a definir estos indicadores y a detallar cómo han visto variados por la implementación, según periodos: P0 (2016-2018), P1 (2018-2019)

- **Producción Promedio de Lechugas por periodo:**

Este indicador se representa con la fórmula:

$Pplp = \text{cantidad de docenas de lechugas producidas x año}$

Si observamos el valor anterior y posterior a la implementación del proyecto, tendremos:

$$Pplp0 = 3832 \text{ docenas de lechuga x año}$$

$$Pplp1 = 4881 \text{ docenas de lechuga x año}$$

Concluimos que hubo una variación significativa en el indicador.

- **Variación de Producción de un periodo:**

Este indicador se representa con la fórmula:

$$Ivpp = (\text{Producción mensual 1} - \text{ProdMensual0}) / \text{ProdMensual0}$$

Si observamos el valor anterior y posterior a la implementación del proyecto, tendremos:

$$Ivpp0 = 5.6\%$$

$$Ivpp1 = 10.7\%$$

Concluimos que hubo una variación significativa en el indicador.

- **Tiempo Promedio de Estudio de Variables de crecimiento**

Este indicador se representa con la fórmula:

$$Tpev = \text{Tiempo promedio de estudio de variables en Periodo n}$$

Si observamos el valor anterior y posterior a la implementación del proyecto, tendremos:

$$Tpev0 = 190.31 \text{ minutos}$$

$$Tpev1 = 10.01 \text{ minutos}$$

Concluimos que hubo una variación significativa en el indicador.

5.11 Elaboración de la propuesta costo-beneficio

Para la elaboración del costo beneficio de la propuesta es necesario analizar los costos involucrados en el proyecto, así como el presupuesto.

5.11.1 Costos de los equipos

| IMPLEMENTACION DE SISTEMA DE CONTROL | | | |
|-----------------------------------------------------------------|--------------------|-----------------|-------------------|
| CONCEPTO | Precio (S/) | Cantidad | Total (S/) |
| Módulos | | | |
| Microcontrolador: pic16f877A | 35 | 1 | 35 |
| Microcontrolador: pic16f628A | 19 | 2 | 38 |
| Módulos Rf 433MHz si4463 | 39 | 2 | 78 |
| Módulo Sim900 cuatro bandas | 160 | 1 | 160 |
| Fuente de alimentación 9v 1 ^a | 20 | 2 | 40 |
| Pantalla LCD 20x4 | 85 | 1 | 85 |
| Componentes varios (res, cap., etc.) - | 80 | 1 | 80 |
| Sensores | | | |
| Sensor de PH + sonda de electrodo de pH BNC | 100 | 6 | 600 |
| Temperatura ambiente | 45 | 1 | 45 |
| Sensor de temperatura digital impermeable | 15 | 6 | 90 |
| Sensor de Humedad | 100 | 6 | 600 |
| Accesorios e instalación | | | |
| Cajas de pase grandes | 780 | 1 | 780 |
| Cajas de pase chicos | | | |
| Tubería conduit ¾ | | | |
| Pegamento | | | |
| Cintillos | | | |
| Canaletas | | | |
| Mano de obra | | | |
| Ensamblado, programación, y puesta en marcha del sistema | 440 | 1 | 440 |
| TOTAL (S/) | | | 2971 |

Tabla 16. Costos de los equipos

Fuente: Elaboración propia

Nota: ver cotizaciones de equipos en el catálogo adjunto en Anexo 2.

5.11.2 Costos directos

| Rubro de costos | % del costo de equipo | Costo (S/) |
|------------------------------|-----------------------|----------------|
| Equipamiento | 100 | 2971.00 |
| Instalación | 47 | 1396.37 |
| Instrumentos | 18 | 534.78 |
| Accesorios eléctricos | 11 | 326.81 |
| Construcciones | 8 | 237.68 |
| Acondicionamiento de terreno | 4 | 118.84 |
| TOTAL | | 5585.48 |

Tabla 17. Estimación de costos directos

Fuente: (Peters & Stone, 1991)

El costo total de 5585.48 corresponde al presupuesto total que se requerirá para la implementación de los sensores y el equipamiento para un mejor control de variables en el proceso productivo de las lechugas hidropónicas.

5.11.3 Costos indirectos

| Rubro de costos | % del costo de equipo | Costo (S/.) |
|--------------------------|-----------------------|----------------|
| Ingeniería y supervisión | 33 | 980.43 |
| Gastos de construcción | 41 | 1218.11 |
| TOTAL | | 2198.54 |

Tabla 18. Estimación de costos indirectos

Fuente: Peters & Stone - Diseño de plantas industriales

De igual manera, se presenta la tabla 18 donde se observan los valores aproximados de los factores que intervienen en los costos indirectos.

5.11.4 Inversión de capital total

Se refiere al total de los factores mencionados en la siguiente tabla 19

| Rubro de costos | % del costo de equipo | Costo (\$/) |
|----------------------------------------|-----------------------|-----------------|
| Costos directos | - | 5585.48 |
| Costos indirectos | - | 2198.54 |
| Pago de contratistas | 21 | 623.91 |
| Imprevistos | 20 | 594.20 |
| Capital de trabajo (KW) | 86 | 2555.06 |
| Inversión de capital fijo (KIT) | | 11557.19 |

Tabla 19. Estimación de la inversión del capital total en función del costo de equipo

Fuente: Peters & Stone - Diseño de plantas industriales

5.11.5 Depreciación

La depreciación se calcula en base a toda la inversión de tangibles para la implementación del proyecto; con base al 10% de depreciación anual según lo establecido en el artículo 22° del Reglamento del TUO de la Ley del Impuesto a la Renta. Cabe resaltar que el valor de los tangibles es determinado por la suma de los costos directos, indirectos, pago de contratistas e imprevistos (ver tabla 19), es decir la inversión de capital fijo menos el costo de trabajo.

| PERIODO | DEPRECIACION ANUAL | DEPRECIACION ACUMULADA | VALOR EN LIBROS |
|---------|--------------------|------------------------|-----------------|
| 0 | 0.00 | 0.00 | 9002.13 |
| 1 | 900.21 | 900.21 | 8101.92 |
| 2 | 900.21 | 1800.43 | 7201.70 |
| 3 | 900.21 | 2700.64 | 6301.49 |
| 4 | 900.21 | 3600.85 | 5401.28 |
| 5 | 900.21 | 4501.07 | 4501.07 |

Tabla 20. Estimación de la depreciación de la inversión

Fuente: Elaboración Propia

5.11.6 Ingresos

Los ingresos obtenidos son básicamente por el concepto del servicio de venta de las lechugas hidropónicas.

Los datos sobre las ganancias de la empresa FAGSOL por tema confidencial no se ha podido extraer a detalle, pero de acuerdo a una entrevista con el gerente de la planta, nos indicó que la venta de las lechugas hidropónicas por docena equivale a S/ 17 (diecisiete soles) y líquidos para la empresa es del 35%. La empresa FAGSOL tiene un flujo de ventas por docena aproximado de 80 docenas semanales.

$$80 \text{ docenas} \times S/17 = S/1360$$

$$S/1360 \times 4 \text{ semanas} = S/5440$$

La empresa FAGSOL posee un ingreso mensual de S/5440. Los ingresos líquidos para la empresa equivalen al 35% de los ingresos brutos:

$$S/5440 \times 0.35 = S/1904$$

La empresa FAGSOL percibe en su área de lechugas hidropónicas un ingreso líquido de S/. 1904 (mil novecientos cuatro soles). Los cuales están libres para poder desarrollar mejoras en los procesos de producción de lechugas hidropónicas.

El total de ingreso líquido mensual, es igual a los ingresos mensuales de S/1904 por lo que se tiene el Total de ingreso anual S/22848.

5.11.7 Egresos y Rentabilidad

Los egresos están comprendidos, por los elementos:

5.11.7.1 Costos directos

a) Costo de la materia prima directa

En estos costos están incluidos los reactivos, pero estos no se encuentran incluidos debido a que es un costo que la empresa FAGSOL realiza siempre para la nutrición de sus lechugas, más no un costo nuevo debido a la implementación, por lo que se considera como cero.

b) Costo de mano de obra directa

El costo de mano de obra directa, es el costo considerado por el personal que va a realizar las labores descritas en la actividad a optimizar en esta investigación.

Se ha asignado la labor a un personal para que desarrolle el control y mantenimiento de sistema de control de variables, el cual, ya habiendo realizado el estudio de tiempos correspondientes, realizará un chequeo de aproximadamente 10 minutos por día. Adicionalmente, este personal tendrá un total de 4 horas al mes destinadas para la limpieza y mantenimiento de los equipos de la implementación. El tiempo empleado total al mes en la empresa equivale a 26 días laborables, es decir 260 minutos. Si adicionamos las 4 horas de limpieza y mantenimiento, obtendremos un aproximado de 8.3 horas, que para el cálculo podremos convalidar como 8 horas.

En conclusión, el costo de mano de obra equivale al tiempo invertido por el personal en la observación y mantenimiento de los equipos. La hora hombre en la empresa FAGSOL SAC, para realizar estas labores es de 4.2 soles.

$$8h \times S/4.2 = S/33.6$$

| Rubro | Costo (S/) |
|-----------------------|-------------------|
| Materia prima directa | 0 |
| Mano de obra directa | 33.6 |
| TOTAL | 33.6 |

Tabla 21. Costos directos totales - Egresos

Fuente: Peters & Stone - Diseño de plantas industriales

c) Costos indirectos

| Suministros | Cantidad KW-Hr/Mes | COSTO (S/) | TOTAL (S/) |
|--------------------|-------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Energía eléctrica | 45.4 | 0.55 | 24.97 |
| TOTAL | | | 24.97 |

Tabla 22. Materiales y Suministros Indirectos

Fuente: Peters & Stone - Diseño de plantas industriales

* La mano de obra indirecta Equivale al 2% de materiales directos, esto es:

$$S/. 33.60 \times 0.02 = 0.67 \text{ Soles por mes}$$

| Rubro (ver Estimación de costos directos) | Inversión | % | Total |
|--------------------------------------------------------------------------|------------------|------------|---------------|
| | (S/) | (%) | (S/) |
| Obras civiles (construcción + acondicionamiento) | 356.52 | 1.25% | 4.46 |
| Maquinaria y equipo (equipamiento+instalación + instrumentos+accesorios) | 5228.96 | 4% | 209.16 |
| TOTAL | | | 213.66 |

Tabla 23. Costos de Mantenimiento

Fuente: Peters & Stone - Diseño de plantas industriales

| Rubro | Costo (S/) |
|-----------------------------------|-------------------|
| Material y suministros indirectos | 24.97 |
| Mano de obra indirecta | 0.67 |
| Mantenimiento | 213.66 |
| TOTAL | 239.30 |

Tabla 24. Costos Indirectos de Material

Fuente: Peters & Stone - Diseño de plantas industriales

Los costos indirectos, están referidos a los costos de materiales y suministros indirectos, se tomará en cuenta el costo estimado por servicio de electricidad, mano de obra indirecta el cual será el 2% de materiales y suministros indirectos y los costos por mantenimiento, está formado por los costos por mantenimiento de equipos obras civiles y maquinaria y equipo.

| Rubro | Costo (S/) |
|-------------------|-------------------|
| Costos directos | 33.6 |
| Costos Indirectos | 239.30 |
| Total | 272.90 |

Tabla 25. Total de presupuesto de egresos

Fuente: Peters & Stone - Diseño de plantas industriales

d) Rentabilidad

Antes de hacer el análisis de rentabilidad, es necesario hacer un flujo de caja descontado para 5 años que viene a ser un balance de dinero durante el curso del proyecto y que además toma en cuenta el valor de este conforme el tiempo. Con estos resultados se procederá a calcular la tasa interna de retorno (TIR) que es uno de los indicadores de rentabilidad más utilizados, así como el VAN.

- **Flujo de caja descontado:** Antes de desarrollar el flujo de caja, es necesario precisar que en la práctica industrial los ingresos anuales no son constantes. La empresa FAGSOL se encuentra en producción y la tendencia es de crecimiento por lo que se considera un incremento por año del 10%. Para el proyecto el ingreso está determinado por las ventas de lechugas hidropónicas, a continuación, se muestra el flujo de caja descontado para los 5 primeros años del proyecto.

| RUBRO | AÑO | | | | | | |
|-------|---------------------------------------------------|------------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | Factor | 0.1 | 0.20 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | |
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| 1 | Capital invertido | -9002.13 | | | | | |
| 2 | Capital de trabajo KW | -2555.06 | | | | | |
| 3 | Ingreso por ventas | | 22848.00 | 25132.80 | 27417.60 | 29702.40 | 31987.20 |
| 4 | Impuesto general a las ventas | | 4112.64 | 4523.90 | 4935.17 | 5346.43 | 5757.70 |
| 5 | Costo total de producción incluyendo depreciación | | 3929.76 | 4322.74 | 4715.71 | 5108.69 | 5501.66 |
| 6 | Beneficios brutos | | 14805.60 | 16286.16 | 17766.72 | 19247.28 | 20727.84 |
| 7 | Impuesto a la renta | | 3997.51 | 4397.26 | 4797.01 | 5196.77 | 5596.52 |
| 8 | Beneficios netos | | 10808.09 | 11888.90 | 12969.71 | 14050.51 | 15131.32 |
| 9 | Depreciación | | 900.21 | 900.21 | 900.21 | 900.21 | 900.21 |
| 10 | Recuperación de KW | | | | | | 0.00 |
| 11 | Valor de reventa | | | | | | 0.00 |
| 12 | Flujo de caja anual | -11557.19 | 9907.88 | 10988.68 | 12069.49 | 13150.30 | 14231.11 |

Tabla 26. Flujo de Caja descontado en 5 años

Fuente: Peters & Stone - Diseño de plantas industriales

Según el flujo de caja se puede observar que los beneficios netos se recuperan a medida que pasa el tiempo a partir del primer año.

- **Tasa interna de retorno:** Esta tasa permitirá determinar el % del retorno de la inversión, a través de la siguiente fórmula:

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1 + TIR)^t} - I_0$$

Fórmula 4: Tasa Interna de Retorno

Donde:

Vt: representa los flujos de caja en cada periodo

I0: es el valor de desembolso inicial de la inversión

n: es el número de periodos considerado.

t: es el periodo

$$0 = \frac{9907.88}{(1 + TIR)} + \frac{10988.68}{(1 + TIR)^2} + \frac{12069.49}{(1 + TIR)^3} + \frac{13150.30}{(1 + TIR)^4} + \frac{14231.11}{(1 + TIR)^5} - 11557.19$$

TIR: 90.36 %, el cual es mayor a cero y esto nos indica que es factible el proyecto.

- **Tiempo de retorno del capital (TR):** Se refiere al tiempo que se requiere para recuperar la inversión del proyecto. Se obtiene a partir de los flujos de caja por año calculado para el proyecto, y la inversión inicial.

$$9907.88 + 10988.68 + 12069.49 + 13150.30 + 14231.11 + (-11557.19)$$

Se resta el flujo del primer año menos la inversión, y luego para el siguiente año obtendremos la relación de lo que falta respecto al flujo total del año dos.

$$11557.19 - 9907.88 = S/ 1649.31$$

Luego la relación sería:

$$1649.31 / 10988.68 = 0.15$$

Ahora obtenemos el tiempo de retorno que será de:

$$1 + 0.15 = \text{total hace de 1.15 periodos}$$

Para un mejor entendimiento, convertimos los 0.15 en meses y días correspondientes:

| Años | Meses | días |
|------|-----------|-----------|
| 1 | 12 x 0.15 | |
| 1 | 1.8 | |
| 1 | 1 | 30 x 0.80 |
| 1 | | 24 |

Tabla 27. Tiempo de retorno de capital.

Fuente: Elaboración propia

El tiempo de retorno será de un año con dos meses y doce días.

- **Valor actual neto (VAN)**

El cálculo del VAN se realiza mediante la siguiente formula:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - I_0$$

Fórmula N°5: Valor Actual Neto

Dónde:

V_t : representa los flujos de caja en cada periodo

I_0 : es el valor de desembolso inicial de la inversión

n: es el número de periodos considerado.

k: es el tipo de interés.

$$VAN = \frac{9907.88}{(1+0.30)} + \frac{10988.68}{(1+0.30)^2} + \frac{12069.49}{(1+0.30)^3} + \frac{13150.30}{(1+0.30)^4} + \frac{14231.11}{(1+0.30)^5} - 11557.19$$

$$VAN = S/. 16,497.19$$

Vemos que el VAN del proyecto calculado a la tasa mínima exigida del 30%, dando un valor positivo por lo tanto el proyecto es factible.

- **Análisis de sensibilidad**

El análisis de sensibilidad es la interpretación en relación con la incertidumbre, donde se plantean escenarios posibles que pueden ocurrir en la empresa.

| VAN | | Precio de Venta | | | | | | |
|-------------------------------|--------|-----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| S/. 16,497.19 | | S/. 14.00 | S/. 15.00 | S/. 16.00 | S/. 17.00 | S/. 18.00 | S/. 19.00 | S/. 20.00 |
| CANTIDAD PRODUCIDA EN DOCENAS | 60.00 | S/. 1,862.57 | S/. 3,551.18 | S/. 5,239.79 | S/. 6,928.40 | S/. 8,617.01 | S/. 10,305.62 | S/. 11,994.23 |
| | 70.00 | S/. 5,802.66 | S/. 7,772.71 | S/. 9,742.75 | S/. 11,712.80 | S/. 13,682.84 | S/. 15,652.89 | S/. 17,622.93 |
| | 80.00 | S/. 9,742.75 | S/. 11,994.23 | S/. 14,245.71 | S/. 16,497.19 | S/. 18,748.67 | S/. 21,000.16 | S/. 23,251.64 |
| | 90.00 | S/. 13,682.84 | S/. 16,215.76 | S/. 18,748.67 | S/. 21,281.59 | S/. 23,814.51 | S/. 26,347.42 | S/. 28,880.33 |
| | 100.00 | S/. 17,622.93 | S/. 20,437.29 | S/. 23,251.64 | S/. 26,065.99 | S/. 28,880.34 | S/. 31,694.69 | S/. 34,509.04 |

Tabla 28. Análisis de sensibilidad respecto al VAN

Fuente: Elaboración propia.

| Resumen del escenario | | | | |
|------------------------------|-------------------------|------------------|------------------|-----------------|
| | Valores actuales | Optimista | Pesimista | Moderado |
| Valor cambiante: | | | | |
| Cantidad de producción | 80 | 100 | 60 | 70 |
| Valores de resultado: | | | | |
| VAN | S/. 16,497.19 | S/. 26,065.99 | S/. 6,928.40 | S/. 11,712.80 |
| TIR | 90% | 122% | 57% | 74% |

Tabla 29. Análisis de escenarios optimista, pesimista y moderado con respecto al volumen de producción

Fuente: Elaboración propia

Con el análisis de sensibilidad en la tabla 28 se observa que el proyecto es un proyecto rentable luego de la implementación de los escenarios planteados. En la tabla 29 se observa el análisis de escenarios respecto a la capacidad de producción de lechugas hidropónicas semanal. En conclusión, para los cálculos de VAN y TIR, si se considera los precios generados anualmente, todos los escenarios son favorables para la empresa.

5.12 Ventajas y desventajas de la implementación

| VENTAJAS | DESVENTAJAS |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Optimización en el uso de recursos, a través una lectura y análisis rápido de las variables, mejorando la productividad | Costo de Oportunidad por la inversión de la implementación del sistema. |
| No produce contaminación directa y significativa al medio ambiente | En necesario realizar una capacitación para el manejo de los resultados del software. |
| Posee un lenguaje de programación fácil y sencilla, que permite implementarse rápido y de forma segura. | El sistema no es flexible ya que viene ensamblado, por lo que si se quiere mejorar el sistema se trabaja con micro controladores adicionales(PICs) |
| Tiene posibilidades variadas para conectarse a distintos hardware y software. | Aparición de nuevos sistemas con mayor grado de precisión en el control de las variables climatológicas |
| Capacidad de control de variables en tiempo real y repetidas veces. | |
| La implementación es accesible comparada con otras plataformas de micro controladores | |
| Mejora del rendimiento de los cultivos debido al control de variables climatológicas | |

CAPITULO VI: CONCLUSIONES, COMENTARIOS FINALES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- Primera** Se logró mejorar la productividad de las lechugas de la empresa FAGSOL SAC, al implementar un Sistema de Control de Variables
- Segunda** Se describió la situación actual de la empresa FAGSOL SAC. Se llegó a estimar que las variables críticas que afectan a la empresa FAGSOL SAC, es la productividad que tiene con el cultivo y el tiempo que demanda el control de las variables de crecimiento. Se logró un aumento de la misma tras la implementación del sistema (aproximadamente un 20% en la actualidad frente a antes de la implementación).
- Tercera** Se establecieron las ventajas y desventajas de la implementación del Sistema de Variables. Como principal ventaja de la implementación, se obtuvo el incremento de la productividad y calidad de cultivos de lechuga hidropónica. Como principal desventaja, el costo de inversión del sistema de variables.
- Cuarta** Se logró implementar el Sistema de Control de Variables sin ningún inconveniente y se estimó que es un proyecto viable con muchas mejoras significativas. Para la instalación de los sensores y software para recepción de datos en la empresa FAGSOL SAC, se realizó una inversión económica y posteriormente se siguió una serie de pasos de instalación, detallados en el proyecto.

- Quinta** Se identificó que la principal medida de control de la productividad pre y posterior a la implementación, fue el indicador de producción de lechugas hidropónicas por periodo, la variación de la productividad y el tiempo promedio de estudio de variables.
- Sexta** La determinación del impacto económico de la variación de la productividad por la implantación del sistema en la empresa FAGSOL SAC, es positiva. Al usar las herramientas de VAN, TIR, se concluyó con que el proyecto es viable. Así mismo, se pudo notar este hecho al comparar la producción del año 2017 con el año 2018, evidenciando un aumento de más del 10% en la producción de lechugas por semana.

6.2 Comentarios Finales

- Primer** Luego de describir la situación actual de la empresa FAGSOL SAC en cuanto a su productividad identificando las variables críticas dentro del proceso, se pudo observar que los tiempos que se tarda en medir las variables es aproximadamente 190.31 minutos y se recorren alrededor de 323 metros. Siendo aproximadamente 3,17 horas en realizar esta actividad, lo cual genera una pérdida de tiempo considerable ya que implica en ocasiones un desgaste para el obrero que realiza esta actividad.
- Segundo** Después de realizar la implantación de un sistema de control de variables para mejorar la producción de la empresa FAGSOL SAC se encontraron varias ventajas como la reducción del tiempo de dedicación que se reduce favorablemente de 3.17 horas a solo 10 minutos; también hubo un mejoramiento en la calidad del cultivo, porque al regular estas variables las plantas tendrán un óptimo desarrollo; mayor cantidad de plantas y productividad (aproximadamente 20%).

6.3 Recomendaciones.

- Primera** Se recomienda a la empresa FAGSOL SAC, realizar el mantenimiento preventivo de los equipos, a fin de garantizar la estabilidad y buen desempeño de los equipos.
- Segunda** Diversificar el cultivo de las lechugas, es decir, cosechar nuevos tipos a fin de que su mercado y comercialización sea más extenso.
- Tercera** Se recomienda aplicar una estandarización en la estructura organizacional y una estandarización estadística en el proceso, debido a que los valores obtenidos y estudiados indican que el proceso no está bajo control estadístico.
- Cuarta** Se recomienda seguir buscando tecnologías innovadoras para tecnificar y automatizar procesos con el fin de mejorar la productividad de la empresa.

7. Bibliografía

- Alleca, P. (2017). *Efecto de tres concentraciones de nitrato de calcio en el rendimiento de Lactuca sativa L. "lechuga", en cultivo hidropónico.*
- Beltrano, J., & Gimenez, D. O. (2015). *Cultivo en hidroponía.*
- Cajo Curay, A. M. (2016). *Producción hidropónica de tres variedades de lechuga (Lactuca sativa L), bajo el sistema NFT, con tres soluciones nutritivas.*
- Campillo, L. M. (2013). Factores que inciden en el crecimiento de un cultivo hidropónico.
- Cardona, O. R., Zulaydi, J., & Lozano, V. (2017). *Diseño E Implementación De Un Sistema Automatizado Para Invernadero Hidropónico.* Colombia.
- Carrasco, G., & Izquierdo, J. (1996). *La empresa hidropónica de mediana escala : la técnica de la solución nutritiva recirculante ("NFT").* Universidad de Talca.
- Chang, R. (2006). *Principios esenciales de química general.*
- Chávez, M. (2013). *Diseño e implementación de un sistema NFT doble nivel para la producción de lechuga hidropónica (lactuca sativa var. campania) con tecnología EMTM.*
- Chirinos, A., & Herrera, R. (2015). Plan De Negocios Para La Produccion De Lechugas Hidropónicas De Invernadero En Lima Metropolitana. *Universidad de San Martín de Porres*, 9. Retrieved from http://www.usmp.edu.pe/PFII/pdf/20132_6.pdf
- Daniele, M. (2007). *Diagrama de Gantt.*
- Evelia, C., Huamán, R., Tafur, J. C., & Lima, S. (2015). *Sistema automatizado para el monitoreo y control de humedad de un Invernadero.* Lima.
- Gallardo López, I. N. (2013). *Herramientas de Análisis Para la Mejora de la Calidad.*
- Giraldo, Y., Giraldo, C., & Lozano, J. (2013). *Implementación, control y monitoreo de un sistema de Seguridad vehicular por redes GSM/GPRS.*
- Godínez Tello, R. (2011). *Diseño e implementación de un Sistema de Alerta Temprana ante desborde de rios utilizando la Red GSM.*
- Gutarra Meza, F. (2015). *Introducción A La Ingeniería Industrial.* Retrieved from <http://serviciosweb.continental.edu.pe/>
- Hockberger, P. E. (2002). Una historia de la fotobiología ultravioleta para humanos,

- animales y microorganismos. In *Photochemistry and Photobiology* (Vol. 76).
- INEI. (2009). Consumo de Alimentos y Bebidas. *Distribución y Consumo*, 42. Retrieved from http://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitaless/Est/Lib1028/cap01.pdf
- Isaac, L., & Choque, C. (2015). *Comparativo de variedades de lechuga (Lactuca sativa l.) y soluciones nutritivas en cultivo hidropónico, en sistema "NFT" tipo piramidal, bajo condiciones de invernadero en Arequipa*. Arequipa.
- Marulanda, C., & Izquierdo, J. (2003). *Manual técnico: La huerta hidropónica popular*.
- Meruane, C., & Garreaud, R. (2006). *Determinación de Humedad en la Atmósfera*.
- Osaka. (1998). *Diseño de un prototipo de un sistema de producción*.
- Peña, M. (2007). Temperatura y energía cinética promedio de las moléculas o átomos de un gas.
- Perea, J. (2016). *Diseño de un sistema de monitoreo, registro y control de temperatura y humedad para un cultivo de invernadero*.
- Peters, A. :, & Stone, M. (1991). *Plant design and economics for chemical engineers*.
- Roldán, M. (2012). *Respuesta de tres variedades de lechuga (Lactuca sativa l) producidas en un sistema aeropónico bajo las condiciones climáticas de la campiña de Arequipa 2012*.
- Sánchez Inca, S. (2013). *Automatización Y Control Del Sistema Nft Para Cultivos Hidropónicos*. Lima.
- Stachú, S. W. (2007). *Identificación de la problemática mediante Pareto e Ishikawa*.
- Volkheimer, W., & Scafati, L. (2000). *Breve Enciclopedia del Ambiente*.

GLOSARIO

1. **TELEMETRÍA**

Tecnología que permite la medición remota de magnitudes y posterior envío de información hacia el operador del sistema. El envío de información se realiza principalmente a través de redes inalámbricas (redes móviles, GSM, GPRS, etc.)

2. **INDICADOR DE PRODUCTIVIDAD**

Los indicadores de productividad son herramientas aplicadas frecuentemente en la gestión empresarial, con el fin de evaluar el rendimiento y la eficiencia de los procesos en las empresas. Básicamente, sirven para medir la cantidad de recursos que utilizan las empresas para generar un producto o servicio en particular.

3. **NFT**

El sistema de NFT (Nutrient Film Technique) que, traducido al español significa "la técnica de la película de nutriente", es el sistema hidropónico recirculante más popular para la producción de cultivos en el mundo, que consiste en pasar una película de nutrientes a un cultivo a través de un tanque y los canales de distribución.

4. **MICROCONTROLADOR**

Un micro controlador (abreviado μ C, UC o MCU) es un circuito integrado programable, capaz de ejecutar las órdenes grabadas en su memoria. Está compuesto de varios bloques funcionales, los cuales cumplen una tarea específica.

5. **PH**

Coeficiente que indica el grado de acidez o basicidad de una solución acuosa.

"El pH neutro es 7: si el número es mayor, la solución, es básica, y si es menor, es ácida"

6. CONDUCTIVIDAD

Propiedad natural de los cuerpos que permiten el paso a través de sí del calor o la electricidad.

7. HIDROPONÍA

Método de cultivo industrial de plantas que en lugar de tierra utiliza únicamente soluciones acuosas con nutrientes químicos disueltos, o con sustratos estériles (arena, grava, vidrio molido) como soporte de la raíz de las plantas.

8. PLACA DE ARDUINO

Arduino es una plataforma de hardware y software de código abierto, basada en una sencilla placa con entradas y salidas, analógicas y digitales, en un entorno de desarrollo que está basado en el lenguaje de programación Processing. Es decir, una plataforma de código abierto para prototipos electrónicos.

9. SENSORES

Un sensor es todo aquello que tiene una propiedad sensible a una magnitud del medio, y al variar esta magnitud también varía con cierta intensidad la propiedad, es decir, manifiesta la presencia de dicha magnitud, y también su medida.

10. ACTUADORES

Un actuador es un dispositivo inherentemente mecánico cuya función es proporcionar fuerza para mover o “actuar” otro dispositivo mecánico. La fuerza que provoca el actuador proviene de tres fuentes posibles: Presión neumática, presión hidráulica, y fuerza motriz eléctrica (motor eléctrico o solenoide). Dependiendo del origen de la fuerza el actuador se denomina “neumático”, “hidráulico” o “eléctrico”.

11. ETHERNET

Ethernet es un estándar de redes de área local para computadores, por sus siglas en español Acceso Múltiple con Escucha de Portadora y Detección de Colisiones (CSMA/CD). Es la forma más popular para una red de área local (LAN) o red de área extensa (WAN) para conectarse a dispositivos, como computadoras, impresoras y servidores que requieren una conexión a Internet.

12. DFT

La entrada de la DFT es una secuencia finita de números reales o complejos, de modo que es ideal para procesar información almacenada en soportes digitales. En particular, la DFT se utiliza comúnmente en procesamiento digital de señales y otros campos relacionados dedicados a analizar las frecuencias que contiene una señal muestreada.

13. BATERÍA

Aparato electromagnético capaz de acumular energía eléctrica y suministrarla; normalmente está formado por placas de plomo que separan compartimentos con ácido.

ACRÓNIMOS

1. GSM:

Global System for Mobile communications - Sistema Global par las Comunicaciones Móviles

2. GPRS:

General Packet Radio Service - Servicio general de paquetes vía radio

3. NFT:

Nutrient Film Technique - Técnica de la película de nutriente

4. LAN

Local Area Network - Red de área local

5. WAN

Wide Area Network - Red de Área Amplia

6. DFT

Deep Flow Technique - Técnica de flujo profundo

7. PHP

Hypertext Preprocessor - Preprocesador de hipertexto

8. SQL

Structured Query Language - Lenguaje de consulta estructurada

9. BCA

Bloques Completamente al Azar

10. HP

Horse Power - Caballo de fuerza

11. RPM

Revoluciones Por Minuto

12. PVC

Policloruro de Vinilo

13. DOP

Diagrama de Operaciones de Proceso

14. DAP

Diagrama de Actividades de Proceso

15. KW

Capital de Trabajo

16. KIT

Inversión de Capital Fijo

17. VAN

Valor Actual Neto

18. TIR

Tasa Interna de Retorno

FÓRMULAS

1. Fórmula N°1: Potencia

$$P_{B(hp)} = \frac{Q * \rho * g * h_B}{746 * e}$$

2. Fórmula N°2: Límites de Control

$$\bar{x} \mp A_3 S$$

3. Fórmula N°3: % Crecimiento Producción

$$\text{Crec. promedio de la Prod. de lechugas} = \frac{\text{Prod. Mensual}_1 - \text{Prod. Mensual}_0}{\text{Prod. Mensual}_0}$$

4. Fórmula N°4: Tasa Interna de Retorno

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1 + TIR)^t} - I_0$$

5. Fórmula N°5: Valor Actual Neto

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1 + k)^t} - I_0$$

ANEXOS

ANEXO 1

ENTREVISTA PARA LA EMPRESA FAGSOL SAC

“Implementación de un sistema de control de variables por sensores para mejorar la productividad de las Lechugas Hidropónicas en la empresa FAGSOL SAC.”

Buenos días, como parte de mi tesis en la facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad Católica San Pablo. Estamos realizando una investigación acerca de una nueva implementación de un sistema de variables por sensores para mejorar la productividad de las lechugas hidropónicas en la empresa FAGSOL. La información brindada solo será utilizada para los propósitos de la investigación. Agradezco su colaboración

1. ¿Cuál es su nombre y que cargo ocupa?

Rodolfo Perez y soy uno de los dueños y fundadores de FAGSOL SAC.

2. ¿Qué opina sobre el negocio de producción de lechugas hidropónicas en Arequipa?

El negocio de producción de lechugas hidropónicas es un negocio emergente que está ganando cada vez más terreno en el sector. El consumo de producto está incrementándose cada vez más y las nuevas tecnologías ayudan a mejorar la productividad y con ello el margen de ganancia.

3. ¿Cuántos empleados tienen en la empresa y cuáles son sus funciones?

Actualmente se tiene una cantidad de 20 trabajadores aproximadamente. Las funciones van desde el rol de supervisión hasta el operativo.

4. ¿A grandes rasgos en qué consiste el proceso productivo?

En grandes rasgos, el proceso consiste en la implantación y traslado continuo de las lechugas en su estado inicial, sometiéndolo posteriormente a una película de nutrientes a través de los canales (tecnología NFT), para después ser cosechadas y vendidas al mercado.

5. ¿Qué potencia es necesaria para que una bomba realice este proceso productivo?

Actualmente trabajamos con 6 tanques, y para ello utilizamos una bomba de potencia de 0.5 Hz. Por experiencia propia hemos tenido buenos resultados con esa potencia.

6. ¿Qué variables son críticas para el crecimiento de las lechugas?

Hay muchas variables que afectan el desarrollo de las lechugas, pero por un tema de inversión, practicidad y también criticidad, nosotros consideramos la temperatura del vivero y del tanque de alimentación, la humedad del ambiente, la radiación solar, el ph del tanque alimentador.

7. ¿Qué tan crítico consideras es el valor de los datos recogidos de dichas variables?

Es muy crítico. La productividad y calidad de nuestro producto se basa enteramente en el control de estas variables. Se ha visto el caso de pérdida de un lote de 200 lechugas por el hecho de no controlar estas variables.

8. ¿Cuánto tiempo en aproximado le toma en recoger los datos de las variables?

Aproximadamente medio turno cada mañana.

9. Existen sensores de medición electrónicos y estos pueden ser conectados a un computador para la medición de variables ¿Usted ha escuchado hablar de esta tecnología?

Sí he escuchado hablar de ellos, y en la empresa ya estamos con la primera implementación del mismo, ya que nos ahorraría muchísimo tiempo en la lectura de estas variables.

10. ¿Qué opinaría de la implementación de estos sensores en el proceso de producción de lechugas?

Sería un avance en el proceso productivo muy significativo. Podríamos ahorrar tiempo de forma sustancial, y aprovechar éste para poder realizar otras actividades.

11. ¿Cuál es el precio de venta unitario y por mayor? ¿Cuál es el margen de utilidad del negocio?

Actualmente tenemos un precio unitario de 2 soles la unidad, y si la venta es por docena a 17 soles. El margen por experiencia es de aproximadamente el 30%.

12. ¿Cómo fue la productividad de la empresa en el año 2017 y lo que va del año 2018?

La productividad en el año 2017 fue de aproximadamente 70 docenas de lechugas mensuales, a lo que es una producción decente. Sin embargo, tras la primera implementación de este sistema de variables, hemos visto una mejora significativa en la producción, de hasta 100 docenas semanales.

ANEXO 2

Cotización a través de Catálogo Web

NOMBRE DE LA EMPRESA: Perú Electrónico

Teléfono: 960147187

Tienda Virtual: <http://peruelectronico.com/index.php>

🏠 > PICs Microcontroladores > PIC 16F877A



PIC 16F877A

Arquitectura RISC de 8 bits, 200ns ciclo de instrucción, 14.3Kbytes de memoria FLASH, 368bytes de memoria RAM, 256bytes de memoria EEPROM, 8 CA/D de 10 bits, 2comparadores análogos, 2 timer de 8 bits Y 1 de 16 bits, 2 canales de PWM, 33 entradas/salidas.

Referencia: pic16f877a

Cantidad

5 artículos disponibles

S/. 12.00

Compartir en Facebook

Imprimir

Añadir al carrito

🏠 > PICs Microcontroladores > PIC 16F628A



PIC 16F628A

Microcontrolador de 8 bits con 16 pines I/O disponibles, memoria de programa flash 2048 words, SRAM 224 Bytes, EEPROM de datos 128 Bytes, tecnología nanoWatt, 1 módulo de captura/comparación/PWM, 2 timer 8 de bits y 1 de 16 bits, USART, 2 comparadores análogos.

Referencia: pic16f628a

Cantidad

30 artículos disponibles

S/. 19.00

Compartir en Facebook

Imprimir


Añadir al carrito

NOMBRE DE LA EMPRESA: Naylamp Mechatronics SAC

Dirección: Urb. Ingeniería, Trujillo – Perú Almacén: Mz. E Lote 31


Teléfono: 997646858

Email: naylamp.mechatronics@gmail.com


Buscar
🛒 S/. 00,00

[INICIO](#) [ARDUINO](#) [COMUNICACIÓN](#) [SENSORES](#) [ACTUADORES](#) [BLOG](#) [TUTORIALES](#)

🏠 Inicio
📁 Shields
📁 Shield LCD Keypad



Shield LCD Keypad

Modelo SHD-LCD

La forma más rápida de agregar una interfaz hombre-máquina a tus proyectos, mostrando texto de forma clara, y con pulsadores para ingreso y manejo de datos.


🖨 Imprimir

S/. 80,00

Cantidad

[Añadir al carrito](#)

[Añadir a la lista de deseos](#)



OFERTA

Modulo GSM GPRS GPS: Espressif A7

Modelo MOD-GSM-GPS

Ideal para aplicaciones móviles de Internet de las Cosas


🖨 Imprimir

S/. 160,00

Cantidad

[Añadir al carrito](#)

[Añadir a la lista de deseos](#)



Fuente de alimentación DC para Arduino 9VDC/1A

Modelo PWR-PS-09V-1A

Fuente conmutada de 9V y 1000mA . ideal para alimentar externamente las placas Arduino.


🖨 Imprimir

S/. 20,00

Cantidad

[Añadir al carrito](#)

[Añadir a la lista de deseos](#)



Sensor Ultrasonido HC-SR04

Modelo SEN-HCSR04

El sensor HC-SR04 te permite medir distancia mediante ultrasonido, muy utilizado en Robots Sumo y Laberinto.

🖨 Imprimir

S/. 120,00

Cantidad

[Añadir al carrito](#)

[Añadir a la lista de deseos](#)



Sensor PH + sonda de electrodo de pH BNC

Modelo SEN-HCSR04

El sensor HC-SR04 te permite medir distancia mediante ultrasonido, muy utilizado en Robots Sumo y Laberinto.

Imprimir

S/. 120,00

Cantidad

1

Añadir al carrito

Añadir a la lista de deseos



Sensor de humedad relativa y temperatura SHT31

Modelo SEN-SHT31

El sensor SHT31 permite medir temperatura y humedad relativa de forma precisa y sencilla. La salida del sensor es de tipo digital.

Imprimir

S/. 45,00

Cantidad

1

Añadir al carrito

Añadir a la lista de deseos



Sensor de Temperatura Digital DS18B20

Modelo SEN-DS18B20

Sensor digital de Temperatura, con protección metálica a prueba de agua y cable de 1m.

Imprimir

S/. 16,00

Cantidad

1

Añadir al carrito

Añadir a la lista de deseos



Módulo RF 433MHz TX y RX

Modelo MOD-RF433

Controla tus proyectos de inalámbricamente utilizando este módulo de radiofrecuencia.

Imprimir

S/. 39,00

Cantidad

1

Añadir al carrito

Añadir a la lista de deseos

ANEXO 4

Base Histórica de Variables mes de Agosto

| Fecha | pH | | | | | | Promedio |
|------------|---------|----------|----------|----------|----------|---------|----------|
| | 6:00:00 | 10:00:00 | 14:00:00 | 18:00:00 | 22:00:00 | 2:00:00 | |
| 01/08/2019 | 7,4 | 7,4 | 7,2 | 7,5 | 7,1 | 7,2 | 7,3 |
| 02/08/2019 | 7,3 | 7,0 | 6,6 | 6,5 | 6,7 | 6,3 | 6,7 |
| 03/08/2019 | 6,1 | 6,0 | 7,0 | 7,4 | 6,2 | 7,1 | 6,6 |
| 04/08/2019 | 7,3 | 6,5 | 6,9 | 6,9 | 7,3 | 6,3 | 6,8 |
| 05/08/2019 | 7,0 | 6,2 | 6,3 | 6,8 | 6,6 | 6,1 | 6,5 |
| 06/08/2019 | 6,6 | 6,7 | 6,7 | 7,3 | 7,1 | 6,5 | 6,8 |
| 07/08/2019 | 6,8 | 6,6 | 7,3 | 7,0 | 6,9 | 6,1 | 6,8 |
| 08/08/2019 | 6,6 | 7,3 | 6,0 | 6,4 | 7,2 | 7,4 | 6,8 |
| 09/08/2019 | 7,0 | 6,2 | 7,2 | 6,4 | 6,7 | 6,9 | 6,7 |
| 10/08/2019 | 7,4 | 6,3 | 6,2 | 6,5 | 6,9 | 6,1 | 6,6 |
| 11/08/2019 | 6,9 | 7,2 | 7,0 | 6,6 | 6,1 | 7,1 | 6,8 |
| 12/08/2019 | 6,0 | 6,8 | 6,1 | 6,2 | 6,8 | 6,9 | 6,5 |
| 13/08/2019 | 6,1 | 7,0 | 6,4 | 6,0 | 7,3 | 6,3 | 6,5 |
| 14/08/2019 | 6,2 | 6,6 | 7,1 | 6,0 | 6,5 | 7,3 | 6,6 |
| 15/08/2019 | 6,1 | 6,4 | 7,5 | 7,0 | 7,2 | 6,3 | 6,7 |
| 16/08/2019 | 6,4 | 7,2 | 6,1 | 6,6 | 6,9 | 6,6 | 6,6 |
| 17/08/2019 | 7,4 | 7,3 | 7,2 | 6,3 | 6,4 | 6,5 | 6,8 |
| 18/08/2019 | 7,0 | 7,4 | 7,1 | 6,2 | 7,2 | 6,7 | 6,9 |
| 19/08/2019 | 7,1 | 6,2 | 7,2 | 6,7 | 6,7 | 6,9 | 6,8 |
| 20/08/2019 | 6,3 | 6,1 | 6,9 | 6,7 | 7,3 | 6,2 | 6,6 |
| 21/08/2019 | 6,7 | 7,5 | 7,0 | 6,3 | 6,0 | 6,9 | 6,7 |
| 22/08/2019 | 6,5 | 7,3 | 7,4 | 6,8 | 6,9 | 7,3 | 7,0 |
| 23/08/2019 | 6,5 | 6,9 | 6,4 | 6,8 | 7,2 | 7,5 | 6,9 |
| 24/08/2019 | 6,2 | 7,2 | 6,7 | 7,4 | 6,3 | 6,7 | 6,7 |
| 25/08/2019 | 6,8 | 6,3 | 7,0 | 7,1 | 7,3 | 6,1 | 6,8 |
| 26/08/2019 | 6,4 | 7,5 | 6,3 | 7,3 | 6,6 | 7,3 | 6,9 |
| 27/08/2019 | 6,9 | 7,1 | 7,3 | 7,5 | 7,2 | 6,5 | 7,1 |
| 28/08/2019 | 7,5 | 6,9 | 6,3 | 6,1 | 6,2 | 6,9 | 6,6 |
| 29/08/2019 | 7,3 | 6,2 | 6,4 | 6,9 | 7,3 | 6,8 | 6,8 |
| 30/08/2019 | 7,1 | 6,3 | 7,3 | 6,5 | 6,3 | 6,7 | 6,7 |
| 31/08/2019 | 6,6 | 7,4 | 7,0 | 6,5 | 7,2 | 7,1 | 6,9 |

| Fecha | Temperatura | | | | | | Promedio |
|------------|-------------|----------|----------|----------|----------|---------|----------|
| | 6:00:00 | 10:00:00 | 14:00:00 | 18:00:00 | 22:00:00 | 2:00:00 | |
| 01/08/2019 | 10 | 16 | 20 | 19 | 13 | 11 | 15 |
| 02/08/2019 | 9 | 16 | 22 | 17 | 12 | 11 | 15 |
| 03/08/2019 | 9 | 18 | 24 | 17 | 12 | 9 | 15 |
| 04/08/2019 | 8 | 13 | 19 | 19 | 15 | 12 | 14 |
| 05/08/2019 | 8 | 13 | 21 | 20 | 16 | 13 | 15 |
| 06/08/2019 | 12 | 17 | 21 | 20 | 14 | 12 | 16 |
| 07/08/2019 | 8 | 15 | 23 | 19 | 13 | 10 | 15 |
| 08/08/2019 | 11 | 17 | 22 | 18 | 14 | 10 | 15 |
| 09/08/2019 | 12 | 14 | 22 | 18 | 13 | 12 | 15 |
| 10/08/2019 | 11 | 17 | 19 | 18 | 18 | 8 | 15 |
| 11/08/2019 | 9 | 17 | 23 | 18 | 16 | 13 | 16 |
| 12/08/2019 | 10 | 14 | 24 | 20 | 15 | 9 | 15 |
| 13/08/2019 | 11 | 16 | 23 | 17 | 13 | 11 | 15 |
| 14/08/2019 | 12 | 17 | 24 | 20 | 17 | 10 | 17 |
| 15/08/2019 | 9 | 14 | 24 | 18 | 18 | 9 | 15 |
| 16/08/2019 | 12 | 13 | 21 | 17 | 15 | 8 | 14 |
| 17/08/2019 | 11 | 15 | 20 | 20 | 13 | 10 | 15 |
| 18/08/2019 | 11 | 15 | 23 | 17 | 15 | 12 | 16 |
| 19/08/2019 | 11 | 18 | 24 | 18 | 14 | 8 | 16 |
| 20/08/2019 | 10 | 17 | 19 | 20 | 15 | 9 | 15 |
| 21/08/2019 | 11 | 14 | 22 | 18 | 13 | 12 | 15 |
| 22/08/2019 | 8 | 16 | 23 | 18 | 15 | 11 | 15 |
| 23/08/2019 | 8 | 13 | 22 | 18 | 16 | 8 | 14 |
| 24/08/2019 | 9 | 16 | 20 | 20 | 18 | 13 | 16 |
| 25/08/2019 | 9 | 18 | 20 | 17 | 13 | 10 | 15 |
| 26/08/2019 | 9 | 13 | 19 | 20 | 15 | 13 | 15 |
| 27/08/2019 | 9 | 14 | 21 | 18 | 13 | 9 | 14 |
| 28/08/2019 | 9 | 14 | 20 | 20 | 16 | 8 | 15 |
| 29/08/2019 | 12 | 17 | 20 | 18 | 17 | 13 | 16 |
| 30/08/2019 | 12 | 13 | 23 | 20 | 14 | 8 | 15 |
| 31/08/2019 | 9 | 15 | 19 | 18 | 14 | 11 | 14 |

| Fecha | Humedad | | | | | | Promedio |
|------------|---------|----------|----------|----------|----------|---------|----------|
| | 6:00:00 | 10:00:00 | 14:00:00 | 18:00:00 | 22:00:00 | 2:00:00 | |
| 01/08/2019 | 32% | 19% | 15% | 24% | 25% | 29% | 24% |
| 02/08/2019 | 32% | 26% | 15% | 21% | 25% | 34% | 26% |
| 03/08/2019 | 32% | 27% | 16% | 23% | 26% | 34% | 26% |
| 04/08/2019 | 29% | 19% | 16% | 23% | 29% | 32% | 25% |
| 05/08/2019 | 32% | 22% | 15% | 21% | 29% | 34% | 26% |
| 06/08/2019 | 29% | 24% | 18% | 19% | 27% | 33% | 25% |
| 07/08/2019 | 32% | 20% | 15% | 21% | 27% | 35% | 25% |
| 08/08/2019 | 30% | 22% | 17% | 19% | 28% | 33% | 25% |
| 09/08/2019 | 31% | 28% | 17% | 24% | 28% | 34% | 27% |
| 10/08/2019 | 29% | 21% | 15% | 19% | 29% | 32% | 24% |
| 11/08/2019 | 29% | 22% | 17% | 23% | 27% | 33% | 25% |
| 12/08/2019 | 32% | 23% | 18% | 23% | 29% | 35% | 27% |
| 13/08/2019 | 31% | 20% | 18% | 19% | 31% | 34% | 26% |
| 14/08/2019 | 32% | 22% | 17% | 24% | 31% | 31% | 26% |
| 15/08/2019 | 32% | 20% | 15% | 20% | 28% | 34% | 25% |
| 16/08/2019 | 32% | 22% | 14% | 22% | 25% | 34% | 25% |
| 17/08/2019 | 31% | 22% | 16% | 23% | 26% | 33% | 25% |
| 18/08/2019 | 31% | 24% | 18% | 23% | 27% | 35% | 26% |
| 19/08/2019 | 31% | 20% | 16% | 22% | 28% | 31% | 25% |
| 20/08/2019 | 32% | 28% | 17% | 20% | 28% | 32% | 26% |
| 21/08/2019 | 29% | 21% | 16% | 22% | 29% | 31% | 25% |
| 22/08/2019 | 32% | 23% | 16% | 23% | 26% | 32% | 25% |
| 23/08/2019 | 30% | 21% | 16% | 24% | 25% | 33% | 25% |
| 24/08/2019 | 31% | 25% | 14% | 22% | 29% | 32% | 26% |
| 25/08/2019 | 29% | 28% | 16% | 19% | 25% | 35% | 25% |
| 26/08/2019 | 31% | 23% | 16% | 21% | 29% | 33% | 26% |
| 27/08/2019 | 31% | 22% | 14% | 23% | 29% | 33% | 25% |
| 28/08/2019 | 31% | 28% | 16% | 22% | 31% | 33% | 27% |
| 29/08/2019 | 32% | 26% | 15% | 21% | 26% | 35% | 26% |
| 30/08/2019 | 30% | 21% | 17% | 20% | 28% | 35% | 25% |
| 31/08/2019 | 29% | 22% | 16% | 22% | 28% | 34% | 25% |

ANEXO 5

Tabla de Constantes de Gráficos de Control

| Constantes para Gráficos de Control | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| n | A | A2 | A3 | c4 | 1/c4 | B3 | B4 | B5 | B6 | d2 | d3 | 1/d2 | D1 | D2 | D3 | D4 |
| 2 | 2.121 | 1.880 | 2.659 | 0.798 | 1.253 | 0.000 | 3.267 | 0.000 | 2.606 | 1.128 | 0.853 | 0.886 | 0.000 | 3.686 | 0.000 | 3.267 |
| 3 | 1.732 | 1.023 | 1.954 | 0.886 | 1.128 | 0.000 | 2.568 | 0.000 | 2.276 | 1.693 | 0.888 | 0.591 | 0.000 | 4.358 | 0.000 | 2.575 |
| 4 | 1.500 | 0.729 | 1.628 | 0.921 | 1.085 | 0.000 | 2.266 | 0.000 | 2.088 | 2.059 | 0.880 | 0.486 | 0.000 | 4.698 | 0.000 | 2.282 |
| 5 | 1.342 | 0.577 | 1.427 | 0.940 | 1.064 | 0.000 | 2.089 | 0.000 | 1.964 | 2.326 | 0.864 | 0.430 | 0.000 | 4.918 | 0.000 | 2.114 |
| 6 | 1.225 | 0.483 | 1.287 | 0.952 | 1.051 | 0.030 | 1.970 | 0.029 | 1.874 | 2.534 | 0.848 | 0.395 | 0.000 | 5.079 | 0.000 | 2.004 |
| 7 | 1.134 | 0.419 | 1.182 | 0.959 | 1.042 | 0.118 | 1.882 | 0.113 | 1.806 | 2.704 | 0.833 | 0.370 | 0.205 | 5.204 | 0.076 | 1.924 |
| 8 | 1.061 | 0.373 | 1.099 | 0.965 | 1.036 | 0.185 | 1.815 | 0.179 | 1.751 | 2.847 | 0.820 | 0.351 | 0.388 | 5.307 | 0.136 | 1.864 |
| 9 | 1.000 | 0.337 | 1.032 | 0.969 | 1.032 | 0.239 | 1.761 | 0.232 | 1.707 | 2.970 | 0.808 | 0.337 | 0.547 | 5.394 | 0.184 | 1.816 |
| 10 | 0.949 | 0.308 | 0.975 | 0.973 | 1.028 | 0.284 | 1.716 | 0.276 | 1.669 | 3.078 | 0.797 | 0.325 | 0.686 | 5.469 | 0.223 | 1.777 |
| 11 | 0.905 | 0.285 | 0.927 | 0.975 | 1.025 | 0.321 | 1.679 | 0.313 | 1.637 | 3.173 | 0.787 | 0.315 | 0.811 | 5.535 | 0.256 | 1.744 |
| 12 | 0.866 | 0.266 | 0.886 | 0.978 | 1.023 | 0.354 | 1.646 | 0.346 | 1.610 | 3.258 | 0.778 | 0.307 | 0.923 | 5.594 | 0.283 | 1.717 |
| 13 | 0.832 | 0.249 | 0.850 | 0.979 | 1.021 | 0.382 | 1.618 | 0.374 | 1.585 | 3.336 | 0.770 | 0.300 | 1.025 | 5.647 | 0.307 | 1.693 |
| 14 | 0.802 | 0.235 | 0.817 | 0.981 | 1.019 | 0.406 | 1.594 | 0.398 | 1.563 | 3.407 | 0.763 | 0.294 | 1.118 | 5.696 | 0.328 | 1.672 |
| 15 | 0.775 | 0.223 | 0.789 | 0.982 | 1.018 | 0.428 | 1.572 | 0.421 | 1.544 | 3.472 | 0.756 | 0.288 | 1.203 | 5.740 | 0.347 | 1.653 |
| 16 | 0.750 | 0.212 | 0.763 | 0.983 | 1.017 | 0.448 | 1.552 | 0.440 | 1.527 | 3.532 | 0.750 | 0.283 | 1.282 | 5.782 | 0.363 | 1.637 |
| 17 | 0.728 | 0.203 | 0.739 | 0.985 | 1.016 | 0.466 | 1.534 | 0.459 | 1.510 | 3.588 | 0.744 | 0.279 | 1.356 | 5.820 | 0.378 | 1.622 |
| 18 | 0.707 | 0.194 | 0.718 | 0.985 | 1.015 | 0.482 | 1.518 | 0.475 | 1.496 | 3.640 | 0.739 | 0.275 | 1.424 | 5.856 | 0.391 | 1.609 |
| 19 | 0.688 | 0.187 | 0.698 | 0.986 | 1.014 | 0.497 | 1.503 | 0.490 | 1.483 | 3.689 | 0.733 | 0.271 | 1.489 | 5.889 | 0.404 | 1.596 |
| 20 | 0.671 | 0.180 | 0.680 | 0.987 | 1.013 | 0.510 | 1.490 | 0.503 | 1.470 | 3.735 | 0.729 | 0.268 | 1.549 | 5.921 | 0.415 | 1.585 |
| 21 | 0.655 | 0.173 | 0.663 | 0.988 | 1.013 | 0.523 | 1.477 | 0.516 | 1.459 | 3.778 | 0.724 | 0.265 | 1.606 | 5.951 | 0.425 | 1.575 |
| 22 | 0.640 | 0.167 | 0.647 | 0.988 | 1.012 | 0.534 | 1.466 | 0.528 | 1.448 | 3.819 | 0.720 | 0.262 | 1.660 | 5.979 | 0.435 | 1.565 |
| 23 | 0.626 | 0.162 | 0.633 | 0.989 | 1.011 | 0.545 | 1.455 | 0.539 | 1.438 | 3.858 | 0.716 | 0.259 | 1.711 | 6.006 | 0.443 | 1.557 |
| 24 | 0.612 | 0.157 | 0.619 | 0.989 | 1.011 | 0.555 | 1.445 | 0.549 | 1.429 | 3.895 | 0.712 | 0.257 | 1.759 | 6.032 | 0.452 | 1.548 |
| 25 | 0.600 | 0.153 | 0.606 | 0.990 | 1.010 | 0.565 | 1.435 | 0.559 | 1.420 | 3.931 | 0.708 | 0.254 | 1.805 | 6.056 | 0.459 | 1.541 |

ANEXO 6

Toma de tiempos de Cartas de Control

| Recojo de muestra | | | | | | |
|-----------------------------------|-----|-----|-----|-----|------|------|
| Recojo de muestra Tanque 1 | | | | | | |
| Toma | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Prom |
| Lunes | 4.1 | 4.1 | 4.2 | 4.5 | 5.0 | 4.4 |
| Martes | 5.5 | 5.6 | 5.2 | 5.3 | 5.7 | 5.5 |
| Miércoles | 4.8 | 5.3 | 4.7 | 5.2 | 5.0 | 5.0 |
| Jueves | 5.0 | 5.1 | 4.6 | 4.6 | 5.1 | 4.9 |
| Viernes | 6.2 | 6.2 | 6.1 | 5.8 | 5.4 | 6.0 |
| Recojo de muestra Tanque 2 | | | | | | |
| Toma | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Prom |
| Lunes | 5.7 | 5.5 | 5.5 | 5.8 | 5.9 | 5.7 |
| Martes | 5.7 | 5.7 | 5.4 | 5.8 | 5.0 | 5.5 |
| Miércoles | 5.8 | 5.7 | 5.3 | 5.2 | 5.6 | 5.5 |
| Jueves | 5.6 | 5.9 | 5.5 | 5.6 | 5.9 | 5.7 |
| Viernes | 6.1 | 6.0 | 6.1 | 5.9 | 7.0 | 6.2 |
| Recojo de muestra Tanque 3 | | | | | | |
| Toma | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Prom |
| Lunes | 7.5 | 7.4 | 7.6 | 7.7 | 7.9 | 7.6 |
| Martes | 7.8 | 8.0 | 7.8 | 8.0 | 7.5 | 7.8 |
| Miércoles | 7.8 | 7.6 | 7.4 | 7.8 | 7.2 | 7.6 |
| Jueves | 8.0 | 7.8 | 7.7 | 7.9 | 7.9 | 7.8 |
| Viernes | 8.1 | 8.0 | 7.7 | 8.0 | 8.0 | 8.0 |
| Recojo de muestra Tanque 4 | | | | | | |
| Toma | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Prom |
| Lunes | 9.3 | 9.0 | 9.4 | 9.0 | 9.4 | 9.2 |
| Martes | 9.5 | 9.5 | 9.3 | 9.4 | 9.2 | 9.4 |
| Miércoles | 9.1 | 9.4 | 9.0 | 9.4 | 8.9 | 9.1 |
| Jueves | 9.4 | 9.2 | 9.3 | 9.8 | 9.9 | 9.5 |
| Viernes | 9.8 | 9.5 | 9.5 | 9.3 | 10.0 | 9.6 |

| Recojo de muestra Tanque 5 | | | | | | |
|-----------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| Toma | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Prom |
| Lunes | 12.0 | 11.7 | 12.2 | 12.2 | 11.9 | 12.0 |
| Martes | 11.9 | 12.1 | 11.8 | 11.9 | 12.8 | 12.1 |
| Miércoles | 12.5 | 12.4 | 12.4 | 12.5 | 13.2 | 12.6 |
| Jueves | 12.3 | 12.1 | 12.6 | 12.6 | 12.4 | 12.4 |
| Viernes | 12.8 | 12.9 | 12.7 | 12.3 | 12.3 | 12.6 |
| Recojo de muestra Tanque 6 | | | | | | |
| Toma | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Prom |
| Lunes | 10.4 | 10.6 | 10.5 | 10.7 | 10.0 | 10.4 |
| Martes | 10.6 | 10.9 | 10.8 | 11.0 | 10.3 | 10.7 |
| Miércoles | 10.6 | 10.7 | 10.8 | 11.0 | 10.9 | 10.8 |
| Jueves | 10.0 | 10.0 | 10.4 | 10.0 | 10.5 | 10.2 |
| Viernes | 11.4 | 11.1 | 11.4 | 11.4 | 10.6 | 11.2 |

| Análisis de variables | | | | | | |
|---------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| Análisis de variables Tanque 1 | | | | | | |
| Toma | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Prom |
| Día 1 | 7.3 | 7.1 | 7.3 | 7.4 | 6.8 | 7.2 |
| Día 2 | 7.6 | 7.6 | 7.6 | 7.6 | 7.6 | 7.6 |
| Día 3 | 7.4 | 7.5 | 7.6 | 7.4 | 7.4 | 7.4 |
| Día 4 | 7.1 | 7.0 | 7.2 | 7.0 | 6.3 | 6.9 |
| Día 5 | 8.0 | 8.1 | 8.1 | 7.8 | 7.8 | 8.0 |
| Análisis de variables Tanque 2 | | | | | | |
| Toma | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Prom |
| Día 1 | 8.6 | 8.2 | 8.5 | 8.5 | 8.7 | 8.5 |
| Día 2 | 8.4 | 8.9 | 8.8 | 8.4 | 8.8 | 8.7 |
| Día 3 | 8.9 | 8.7 | 8.9 | 8.9 | 9.3 | 8.9 |
| Día 4 | 8.6 | 8.7 | 8.7 | 8.9 | 8.3 | 8.6 |
| Día 5 | 9.2 | 9.2 | 9.2 | 8.9 | 9.4 | 9.2 |

| Análisis de variables Tanque 3 | | | | | | |
|---------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| Toma | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Prom |
| Día 1 | 8.9 | 8.6 | 8.4 | 8.6 | 8.9 | 8.7 |
| Día 2 | 7.3 | 7.4 | 7.4 | 7.7 | 7.5 | 7.5 |
| Día 3 | 8.0 | 7.6 | 8.0 | 7.5 | 7.9 | 7.8 |
| Día 4 | 7.1 | 6.8 | 6.6 | 6.6 | 7.1 | 6.8 |
| Día 5 | 8.9 | 8.7 | 8.9 | 8.7 | 9.5 | 8.9 |
| Análisis de variables Tanque 4 | | | | | | |
| Toma | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Prom |
| Día 1 | 7.8 | 7.5 | 7.9 | 7.7 | 7.5 | 7.7 |
| Día 2 | 7.5 | 7.4 | 7.7 | 7.3 | 7.5 | 7.5 |
| Día 3 | 8.2 | 8.3 | 8.5 | 8.6 | 8.8 | 8.5 |
| Día 4 | 8.9 | 8.6 | 8.9 | 9.0 | 8.5 | 8.8 |
| Día 5 | 8.8 | 9.2 | 9.2 | 8.6 | 8.9 | 8.9 |
| Análisis de variables Tanque 5 | | | | | | |
| Toma | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Prom |
| Día 1 | 7.8 | 7.4 | 7.8 | 7.4 | 7.1 | 7.5 |
| Día 2 | 7.8 | 7.5 | 7.8 | 7.5 | 7.3 | 7.6 |
| Día 3 | 7.7 | 8.0 | 7.9 | 7.9 | 8.1 | 7.9 |
| Día 4 | 8.0 | 7.9 | 8.3 | 7.9 | 8.3 | 8.1 |
| Día 5 | 8.3 | 8.5 | 8.5 | 8.0 | 7.9 | 8.2 |
| Análisis de variables Tanque 6 | | | | | | |
| Toma | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Prom |
| Día 1 | 7.9 | 8.4 | 8.1 | 8.0 | 8.3 | 8.1 |
| Día 2 | 7.5 | 7.8 | 7.5 | 7.6 | 8.0 | 7.7 |
| Día 3 | 8.4 | 8.5 | 8.9 | 8.7 | 8.6 | 8.6 |
| Día 4 | 7.4 | 7.8 | 7.4 | 7.4 | 7.5 | 7.5 |
| Día 5 | 8.6 | 8.7 | 9.0 | 8.8 | 9.4 | 8.9 |

| Devolución de la muestra | | | | | | |
|------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| Devolución de la muestra Tanque 1 | | | | | | |
| Toma | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Prom |
| Día 1 | 4.5 | 4.1 | 4.0 | 4.3 | 4.6 | 4.3 |
| Día 2 | 2.8 | 2.5 | 2.6 | 2.8 | 2.6 | 2.7 |
| Día 3 | 2.2 | 2.5 | 2.2 | 2.3 | 2.6 | 2.4 |
| Día 4 | 2.0 | 2.4 | 1.9 | 2.4 | 2.4 | 2.2 |
| Día 5 | 4.8 | 4.6 | 4.5 | 4.9 | 4.4 | 4.6 |
| Devolución de la muestra Tanque 2 | | | | | | |
| Toma | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Prom |
| Día 1 | 2.8 | 2.8 | 2.5 | 2.6 | 2.9 | 2.7 |
| Día 2 | 3.3 | 2.8 | 2.8 | 3.3 | 3.1 | 3.1 |
| Día 3 | 3.1 | 3.0 | 2.8 | 3.1 | 2.2 | 2.8 |
| Día 4 | 3.0 | 3.1 | 3.3 | 2.8 | 3.0 | 3.0 |
| Día 5 | 3.1 | 3.2 | 3.3 | 3.7 | 3.8 | 3.4 |
| Devolución de la muestra Tanque 3 | | | | | | |
| Toma | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Prom |
| Día 1 | 3.4 | 3.2 | 3.6 | 3.6 | 3.3 | 3.4 |
| Día 2 | 2.9 | 3.4 | 3.0 | 2.9 | 3.6 | 3.2 |
| Día 3 | 3.7 | 3.4 | 3.9 | 3.8 | 3.7 | 3.7 |
| Día 4 | 4.0 | 3.6 | 3.5 | 3.7 | 4.1 | 3.8 |
| Día 5 | 3.8 | 4.0 | 4.2 | 3.7 | 4.0 | 3.9 |
| Devolución de la muestra Tanque 4 | | | | | | |
| Toma | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Prom |
| Día 1 | 5.3 | 5.7 | 5.3 | 5.4 | 5.4 | 5.4 |
| Día 2 | 5.0 | 4.9 | 5.1 | 5.1 | 5.7 | 5.2 |
| Día 3 | 4.7 | 4.9 | 4.6 | 4.9 | 4.5 | 4.7 |
| Día 4 | 5.1 | 5.0 | 5.2 | 4.8 | 4.9 | 5.0 |
| Día 5 | 5.4 | 5.8 | 5.5 | 5.6 | 5.8 | 5.6 |
| Devolución de la muestra Tanque 5 | | | | | | |
| Toma | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Prom |
| Día 1 | 5.2 | 5.3 | 5.2 | 5.0 | 5.7 | 5.3 |
| Día 2 | 5.8 | 5.5 | 5.5 | 6.0 | 6.1 | 5.8 |
| Día 3 | 5.7 | 5.7 | 5.4 | 5.6 | 5.6 | 5.6 |

| | | | | | | |
|------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| Día 4 | 5.5 | 5.3 | 5.5 | 5.7 | 5.1 | 5.4 |
| Día 5 | 5.8 | 5.8 | 5.9 | 6.0 | 5.8 | 5.9 |
| Devolución de la muestra Tanque 6 | | | | | | |
| Toma | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Prom |
| Día 1 | 4.8 | 4.8 | 5.4 | 5.1 | 5.4 | 5.1 |
| Día 2 | 5.3 | 5.3 | 5.1 | 4.8 | 4.7 | 5.0 |
| Día 3 | 4.8 | 4.9 | 4.7 | 5.0 | 4.6 | 4.8 |
| Día 4 | 5.0 | 5.0 | 5.4 | 4.9 | 5.5 | 5.2 |
| Día 5 | 5.6 | 5.6 | 5.6 | 5.3 | 4.5 | 5.3 |

| Análisis de variables | | | | | | |
|---------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| Análisis de variables Tanque 1 | | | | | | |
| Toma | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Prom |
| Día 1 | 7.3 | 7.1 | 7.3 | 7.4 | 6.8 | 7.2 |
| Día 2 | 7.6 | 7.6 | 7.6 | 7.6 | 7.6 | 7.6 |
| Día 3 | 7.4 | 7.5 | 7.6 | 7.4 | 7.4 | 7.4 |
| Día 4 | 7.1 | 7.0 | 7.2 | 7.0 | 6.3 | 6.9 |
| Día 5 | 8.0 | 8.1 | 8.1 | 7.8 | 7.8 | 8.0 |
| Análisis de variables Tanque 2 | | | | | | |
| Toma | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Prom |
| Día 1 | 8.6 | 8.2 | 8.5 | 8.5 | 8.7 | 8.5 |
| Día 2 | 8.4 | 8.9 | 8.8 | 8.4 | 8.8 | 8.7 |
| Día 3 | 8.9 | 8.7 | 8.9 | 8.9 | 9.3 | 8.9 |
| Día 4 | 8.6 | 8.7 | 8.7 | 8.9 | 8.3 | 8.6 |
| Día 5 | 9.2 | 9.2 | 9.2 | 8.9 | 9.4 | 9.2 |
| Análisis de variables Tanque 3 | | | | | | |
| Toma | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Prom |
| Día 1 | 8.9 | 8.6 | 8.4 | 8.6 | 8.9 | 8.7 |
| Día 2 | 7.3 | 7.4 | 7.4 | 7.7 | 7.5 | 7.5 |
| Día 3 | 8.0 | 7.6 | 8.0 | 7.5 | 7.9 | 7.8 |
| Día 4 | 7.1 | 6.8 | 6.6 | 6.6 | 7.1 | 6.8 |
| Día 5 | 8.9 | 8.7 | 8.9 | 8.7 | 9.5 | 8.9 |
| Análisis de variables Tanque 4 | | | | | | |

| Toma | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Prom |
|---------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| Día 1 | 7.8 | 7.5 | 7.9 | 7.7 | 7.5 | 7.7 |
| Día 2 | 7.5 | 7.4 | 7.7 | 7.3 | 7.5 | 7.5 |
| Día 3 | 8.2 | 8.3 | 8.5 | 8.6 | 8.8 | 8.5 |
| Día 4 | 8.9 | 8.6 | 8.9 | 9.0 | 8.5 | 8.8 |
| Día 5 | 8.8 | 9.2 | 9.2 | 8.6 | 8.9 | 8.9 |
| Análisis de variables Tanque 5 | | | | | | |
| Toma | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Prom |
| Día 1 | 7.8 | 7.4 | 7.8 | 7.4 | 7.1 | 7.5 |
| Día 2 | 7.8 | 7.5 | 7.8 | 7.5 | 7.3 | 7.6 |
| Día 3 | 7.7 | 8.0 | 7.9 | 7.9 | 8.1 | 7.9 |
| Día 4 | 8.0 | 7.9 | 8.3 | 7.9 | 8.3 | 8.1 |
| Día 5 | 8.3 | 8.5 | 8.5 | 8.0 | 7.9 | 8.2 |
| Análisis de variables Tanque 6 | | | | | | |
| Toma | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Prom |
| Día 1 | 7.9 | 8.4 | 8.1 | 8.0 | 8.3 | 8.1 |
| Día 2 | 7.5 | 7.8 | 7.5 | 7.6 | 8.0 | 7.7 |
| Día 3 | 8.4 | 8.5 | 8.9 | 8.7 | 8.6 | 8.6 |
| Día 4 | 7.4 | 7.8 | 7.4 | 7.4 | 7.5 | 7.5 |
| Día 5 | 8.6 | 8.7 | 9.0 | 8.8 | 9.4 | 8.9 |

| Devolución de la muestra | | | | | | |
|------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| Devolución de la muestra Tanque 1 | | | | | | |
| Toma | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Prom |
| Día 1 | 4.5 | 4.1 | 4.0 | 4.3 | 4.6 | 4.3 |
| Día 2 | 2.8 | 2.5 | 2.6 | 2.8 | 2.6 | 2.7 |
| Día 3 | 2.2 | 2.5 | 2.2 | 2.3 | 2.6 | 2.4 |
| Día 4 | 2.0 | 2.4 | 1.9 | 2.4 | 2.4 | 2.2 |
| Día 5 | 4.8 | 4.6 | 4.5 | 4.9 | 4.4 | 4.6 |
| Devolución de la muestra Tanque 2 | | | | | | |
| Toma | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Prom |
| Día 1 | 2.8 | 2.8 | 2.5 | 2.6 | 2.9 | 2.7 |

| | | | | | | |
|------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| Día 2 | 3.3 | 2.8 | 2.8 | 3.3 | 3.1 | 3.1 |
| Día 3 | 3.1 | 3.0 | 2.8 | 3.1 | 2.2 | 2.8 |
| Día 4 | 3.0 | 3.1 | 3.3 | 2.8 | 3.0 | 3.0 |
| Día 5 | 3.1 | 3.2 | 3.3 | 3.7 | 3.8 | 3.4 |
| Devolución de la muestra Tanque 3 | | | | | | |
| Toma | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Prom |
| Día 1 | 3.4 | 3.2 | 3.6 | 3.6 | 3.3 | 3.4 |
| Día 2 | 2.9 | 3.4 | 3.0 | 2.9 | 3.6 | 3.2 |
| Día 3 | 3.7 | 3.4 | 3.9 | 3.8 | 3.7 | 3.7 |
| Día 4 | 4.0 | 3.6 | 3.5 | 3.7 | 4.1 | 3.8 |
| Día 5 | 3.8 | 4.0 | 4.2 | 3.7 | 4.0 | 3.9 |
| Devolución de la muestra Tanque 4 | | | | | | |
| Toma | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Prom |
| Día 1 | 5.3 | 5.7 | 5.3 | 5.4 | 5.4 | 5.4 |
| Día 2 | 5.0 | 4.9 | 5.1 | 5.1 | 5.7 | 5.2 |
| Día 3 | 4.7 | 4.9 | 4.6 | 4.9 | 4.5 | 4.7 |
| Día 4 | 5.1 | 5.0 | 5.2 | 4.8 | 4.9 | 5.0 |
| Día 5 | 5.4 | 5.8 | 5.5 | 5.6 | 5.8 | 5.6 |
| Devolución de la muestra Tanque 5 | | | | | | |
| Toma | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Prom |
| Día 1 | 5.2 | 5.3 | 5.2 | 5.0 | 5.7 | 5.3 |
| Día 2 | 5.8 | 5.5 | 5.5 | 6.0 | 6.1 | 5.8 |
| Día 3 | 5.7 | 5.7 | 5.4 | 5.6 | 5.6 | 5.6 |
| Día 4 | 5.5 | 5.3 | 5.5 | 5.7 | 5.1 | 5.4 |
| Día 5 | 5.8 | 5.8 | 5.9 | 6.0 | 5.8 | 5.9 |
| Devolución de la muestra Tanque 6 | | | | | | |
| Toma | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Prom |
| Día 1 | 4.8 | 4.8 | 5.4 | 5.1 | 5.4 | 5.1 |
| Día 2 | 5.3 | 5.3 | 5.1 | 4.8 | 4.7 | 5.0 |
| Día 3 | 4.8 | 4.9 | 4.7 | 5.0 | 4.6 | 4.8 |
| Día 4 | 5.0 | 5.0 | 5.4 | 4.9 | 5.5 | 5.2 |
| Día 5 | 5.6 | 5.6 | 5.6 | 5.3 | 4.5 | 5.3 |