



DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

OPCIÓN 1.- TESIS

TRABAJO PROFESIONAL

**“IMPLEMENTACIÓN DE METODOLOGÍA SIX SIGMA EN UNA GRANJA
ACUÍCOLA PARA LA MEJORA DE CALIDAD DE AGUA EN ESTANQUES
DE PRODUCCIÓN”.**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

PRESENTA:
ING. WILLIAM MIGUEL SANTANA CARRION

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

CODIRECTOR DE TESIS:
DR. ERICK ARTURO BETANZO TORRES

ORIZABA, VERACRUZ, MÉXICO

SEPTIEMBRE 2023



EDUCACIÓN

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Orizaba
División de Estudios de Posgrado e Investigación

Orizaba, Veracruz, 13/septiembre/2023

Dependencia: **División de Estudios de
Posgrado e Investigación**

Asunto: **Autorización de Impresión**

OPCION: I

C. SANTANA CARRIÓN WILLIAM MIGUEL
Candidato a Grado de Maestro en:
INGENIERÍA INDUSTRIAL
PRESENTE

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

**"IMPLEMENTACIÓN DE METODOLOGÍA SIX SIGMA EN GRANJA ACUÍCOLA PARA LA
MEJORA DE CALIDAD DE AGUA EN ESTANQUES DE PRODUCCIÓN"**

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

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®

CIENCIA - TÉCNICA - CULTURA®

Cuahtémoc Sánchez R.

CUAUHTEMOC SANCHEZ RAMIREZ
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS
DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN



CSR/magh

OG-13-F06



Av. Oriente 9 Núm. 852, Colonia Emiliano Zapata. C.P. 94320 Orizaba, Veracruz.
Tel. 01 (272)1105360 e-mail: depi_orizaba@tecnm.mx, mii@orizaba.tecnm.mx



2023
Francisco
VILLA



Orizaba, Veracruz **junio 5, de 2023.**
Asunto: **Revisión de trabajo escrito**

C. CUAUHEMOC SANCHEZ RAMIREZ
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS
DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
P R E S E N T E.-

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

SANTANA CARRIÓN WILLIAM MIGUEL

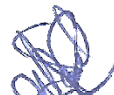
La cual lleva el título de:

**IMPLEMENTACIÓN DE METODOLOGÍA SIX SIGMA EN GRANJA ACUÍCOLA PARA LA
MEJORA DE CALIDAD DE AGUA EN ESTANQUES DE PRODUCCIÓN**

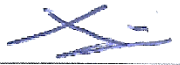
y concluyen que se acepta.

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

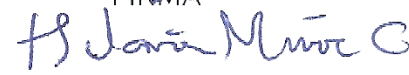
PRESIDENTE: **DRA. MA. ELOISA GURRUCHAGA RODRÍGUEZ**


FIRMA

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


FIRMA

VOCAL: **M.E.L HILARIÓN MUÑOZ CONTRERAS**


FIRMA

VOCAL SUP.: **M.M.A. JORGE LUIS HERNÁNDEZ MORTERA**


FIRMA

TA-09-F18



Declaración de originalidad y cesión de derechos

Orizaba, Veracruz, el día 12 del mes de Septiembre del año 2023.

El(la) que suscribe

C. William Miguel Santana Carrión

Declaro que esta tesis, que tiene una extensión de **185** cuartillas, ha sido escrita por mí y constituye el registro escrito del trabajo de la tesis titulada

"Implementación de metodología Six Sigma en una granja acuícola para la mejora de calidad de agua en estanques de producción"

del programa: **Maestría en Ingeniería Industrial** bajo la asesoría y dirección del (la) Dra. María Eloísa de la Asunción Curruchaga Rodríguez y del Dr. Erick Arturo Betanzo Torres y no ha sido sometida en ninguna otra institución previamente.

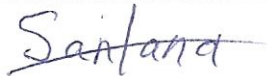
Todos los datos y las referencias a materiales ya publicados están debidamente identificados con su respectivo crédito e incluidos en las notas bibliográficas y en las citas que se destacan como tal y, en los casos que así lo requieran, cuento con las debidas autorizaciones de quienes poseen los derechos patrimoniales. Por lo tanto, me hago responsable de cualquier litigio o reclamación relacionada con derechos de propiedad intelectual, exonerando de toda responsabilidad al Tecnológico Nacional de México campus Orizaba.

También declaro que, al presentar esta tesis, cedo los derechos del trabajo al Tecnológico Nacional de México campus Orizaba para su difusión, con fines académicos y de investigación, bajo las regulaciones propias de la institución y que si existe algún acuerdo de confidencialidad de la información lo haré saber en forma escrita para que se omitan las secciones correspondientes.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y del director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: depi_orizaba@tecnm.mx. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente de este.

Nombre y firma

William Miguel Santana Carrión



Dedicatoria

Le dedico este trabajo principalmente al Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Orizaba, que con esfuerzo y dedicación sigue cumpliendo su compromiso con la sociedad en la formación de profesionistas e ingenieros, personas éticas y líderes, con la capacidad aprovechar sus conocimientos en la industria.

También, con distinguida mención, el presente trabajo es dedicado al propio programa de Maestría en Ingeniería Industrial del División de Estudios de Posgrado e Investigación, que confió en mí para el desarrollo y la culminación de esta investigación, así como también apoyó en cada momento a los ingenieros inscritos en el programa en la culminación de sus éxitos académicos y profesionales.

Agradecimientos

Para empezar, quiero darle las gracias a mi papá, José Romualdo Miguel Santana Monjarás, quién con duro esfuerzo me apoyó económicamente para entrar al propedéutico, siendo uno más de los millones de mexicanos que fueron afectados en términos monetarios por la pandemia del COVID-19, no dejaste de apoyarme ni en tus peores momentos, muchas gracias por eso.

También, quiero expresar mi agradecimiento a mi asesora, la Dra. María Eloísa de la Asunción Gurruchaga Rodríguez, sin ella, este proyecto no hubiera visto la luz nunca. Así mismo, le agradezco al Dr. Erick Arturo Betanzo Torres, el co-asesor de este trabajo, por facilitarme la ubicación para la realización de esta investigación. Muchas gracias al Maestro Jorge Luis Hernández Mortera, que en la materia de Tópicos selectos de manufactura me enseñó más sobre Seis Sigma y capacidad del proceso, así como también, muchas gracias al Dr. Óscar Báez Senties, que en la materia de Planificación y control de sistemas de calidad me enseñó más sobre gráficos de control, materias y temas de gran importancia para el desarrollo de esta tesis.

Siento mucha empatía y gratitud hacia mis compañeros de Maestría, que al momento de escribir esto ya son maestros en Ingeniería Industrial titulados, muchas gracias por acompañarme estos 2 años y también muchas gracias por todas sus palabras de aliento y apoyo cuando escuchaban todos los problemas por los que pasé y superé durante este trabajo: Luis Ángel Bello Castellanos, Daniela Álvarez Yescas, Evelyn Lupita Fernández Mateos, Giselle Rivera Jácome y María José Cruz.

Resumen

En la producción de *Oreochromis Niloticus* en la empresa Ingeniería Agropecuaria del Papaloapan S.P.R. de R.L., se encuentra como principal problemática la variabilidad de los parámetros de la calidad del agua, principalmente en la concentración de oxígeno disuelto y la temperatura en los estanques de cultivo, lo que provoca que el proceso de producción actual requiera una solución para disminuir esta variación en estas dos variables importantes en la producción que apoye a la competitividad de la empresa. Por tal motivo, en el desarrollo de este trabajo se implementó Seis Sigma en la granja dedicada al cultivo de Tilapia en la ciudad de Tierra Blanca, en el estado de Veracruz, México.

El objetivo general fue disminuir la variabilidad de los parámetros del agua en la producción de Tilapia para estandarizar las variables de oxígeno disuelto y temperatura del agua, con la finalidad de mejorar la competitividad de la empresa incrementando la calidad mediante la estandarización y la inocuidad de los productos para coadyuvar a la seguridad alimentaria. Seis Sigma generalmente se ha aplicado para mejorar la competitividad de las empresas en el sector de la manufactura y servicios de diferentes tipos de productos y servicios, en este sentido este proyecto es original en la aplicación de la metodología en la industria acuícola. Se utilizó la metodología “*R-DMAIC*” que consiste en reconocer, definir, medir, analizar, mejorar y controlar un proceso, en ella se utilizan distintas herramientas propias de Ingeniería Industrial, aplicadas en sus distintas fases. El desarrollo de la tesis inicio en julio de 2021 a diciembre de 2022.

En el primer capítulo se presenta la descripción de la empresa objeto del trabajo, el cual es Ingeniería Agropecuaria del Papaloapan SPR de RL, la cual es una empresa dentro del régimen fiscal de actividades agropecuarias, pesqueras y forestales, que cuenta con una plantilla de personal de 5 trabajadores, agrupados en áreas acuícolas, agrícolas y ganaderas, el trabajo de investigación se centra en la producción acuícola.

El segundo capítulo indica el marco conceptual que sirve de base teórica para la resolución del problema, el cual contiene principalmente, una descripción del proceso de producción de la *Oreochromis niloticus*, la metodología Seis Sigma, las herramientas análisis de la capacidad del

proceso, control estadístico del proceso (CEP), correlación, costo de la pobre calidad (COPQ), diagrama de árbol, diagrama de flujo de procesos, diagrama de Ishikawa, diagrama de Pareto, diagrama matricial, diagrama SIPOC, gráficos de control, hoja de verificación, matriz de priorización y regresión lineal. Además, se encontró evidencia limitada de aplicaciones de Seis Sigma en la producción acuícola, motivo por el cual se justifica y se hace pertinente y relevante el trabajo como oportunidad para explorar nuevas áreas y hacer descubrimientos innovadores que permitan la sinergia entre la Ingeniería industrial y la acuicultura en México.

En el tercer capítulo se presenta la metodología a seguir, donde se destacan la forma en que se abordó la problemática que consistió en seguir la metodología Seis Sigma, en donde se aplicaron diferentes herramientas. Para la fase reconocer se aplicaron: matriz de priorización y diagrama de Pareto. Durante la fase definir se implementaron: análisis del costo de la pobre calidad (COPQ) y diagrama de árbol. Correspondiente a la fase medir: diagrama de flujo de procesos, diagrama SIPOC y análisis de la capacidad del proceso. Pertinente a la fase analizar: diagrama de causa-efecto y regresión lineal. Para la fase mejorar: análisis de la capacidad del proceso, diagrama matricial y hoja de verificación. Por último, para la fase controlar: control estadístico del proceso (CEP), hoja de verificación y gráficos de control.

En el cuarto capítulo, se describe el desarrollo de la solución propuesta donde los principales resultados fueron: obtención de la media, mediana y desviación estándar por cada uno de los 18 estanques, definición de los límites de especificación de la empresa para la tilapia, cálculo del índice de capacidad para oxígeno disuelto y temperatura, implementación de las acciones correctivas y establecimiento del sistema de control estadístico, además de la reducción de la variación del oxígeno disuelto y la temperatura.

Por último, el capítulo cinco contiene los resultados y las conclusiones del trabajo, donde se destaca la implementación de Seis Sigma en los parámetros de calidad del agua de los estanques de tilapia, con los datos estadísticos disponibles tras la implementación de las mejoras, es posible afirmar que la empresa mejoró la variabilidad en la temperatura del agua, el grupo piloto del 2023 tuvo una mejora del 100 % de los datos en ambos horarios, manteniendo el nivel sigma de 6 correspondiente al año anterior de la información histórica, reduciendo la desviación

estándar de 1.91 a 0.85 e incrementando el Cp de 1.94 a 3.93, encontrándose este parámetro en la categoría de clase mundial. En cuanto al oxígeno disuelto del agua, el grupo piloto mostró mejoría del 100 % con los datos de la mañana, pero solo del 21.42 % durante la tarde, con respecto al 2019, el nivel sigma de la variable disminuyó de 2.69 a 1.71, la desviación estándar pasó de 1.84 a 3.14, mientras que el Cp aumentó de un valor de 0.68 a 0.80, determinando que la empresa se encuentra en la categoría 3 siendo no adecuado para el trabajo y requiriendo modificaciones serias.

Es importante mencionar que los niveles de oxígeno durante la implementación de la mejora fueron superiores a los requeridos, ofreciendo un área de oportunidad para disminuir los costos de aireación con un sistema de control para mantener los niveles apropiados de oxígeno sin la necesidad de encender el equipo de aireación cuando no es requerido.

Abstract

In the production of *Oreochromis Niloticus* in the company Ingeniería Agropecuaria del Papaloapan S.P.R. de R.L., the main problem is the variability of the water quality parameters, mainly in the concentration of dissolved oxygen and the temperature in the culture ponds, which causes the current production process to require a solution to reduce this variation in these two important variables in production that supports the competitiveness of the company. For this reason, in the development of this work, Six Sigma was implemented in the farm dedicated to the cultivation of Tilapia in the city of Tierra Blanca, in the state of Veracruz, Mexico.

The general objective was to reduce the variability of the water parameters in the production of Tilapia to standardize the variables of dissolved oxygen and water temperature, in order to improve the competitiveness of the company by increasing the quality through the standardization and safety of the products. products to contribute to food safety. Six Sigma has generally been applied to improve the competitiveness of companies in the manufacturing and services sector of different types of products and services, in this sense this project is original in the application of the methodology in the aquaculture industry. The "R-DMAIC" methodology was used, which consists of recognizing, defining, measuring, analyzing, improving and controlling a process, in which different tools of Industrial Engineering are used, applied in its different phases. The development of the thesis began in July 2021 to December 2022.

In the first chapter, the description of the company object of the work is presented, which is Ingeniería Agropecuaria del Papaloapan SPR de RL, which is a company within the fiscal regime of agricultural, fishing and forestry activities, which has a staff of 5 workers, grouped into aquaculture, agricultural and livestock areas, the research work focuses on aquaculture production.

The second chapter indicates the conceptual framework that serves as a theoretical basis for solving the problem, which mainly contains a description of the production process of *Oreochromis niloticus*, the Six Sigma methodology, the tools for process capacity analysis,

statistical control. (CEP), Correlation, Cost of Poor Quality (COPQ), Tree Diagram, Process Flow Diagram, Ishikawa Diagram, Pareto Diagram, Matrix Diagram, SIPOC Diagram, Control Charts, Check Sheet, Matrix of prioritization and linear regression. In addition, limited evidence of Six Sigma applications in aquaculture production was found, which is why the work is justified and made pertinent and relevant as an opportunity to explore new areas and make innovative discoveries that allow synergy between Industrial Engineering and aquaculture in Mexico.

In the third chapter the methodology to follow is presented, where the way in which the problem that consisted of following the Six Sigma methodology, where different tools were applied, is highlighted. For the recognize phase, the following were applied: prioritization matrix and Pareto diagram. During the define phase, the following were implemented: cost of poor quality analysis (COPQ) and tree diagram. Corresponding to the measure phase: process flow diagram, SIPOC diagram and process capability analysis. Relevant to the analyze phase: cause-effect diagram and linear regression. For the improve phase: process capability analysis, matrix diagram and verification sheet. Finally, for the control phase: statistical control of the process (CEP), verification sheet and control charts.

In the fourth chapter, the development of the proposed solution is described, where the main results were: obtaining the mean, median and standard deviation for each of the 18 ponds, definition of the company's specification limits for tilapia, calculation of the capacity index for dissolved oxygen and temperature, implementation of corrective actions and establishment of the statistical control system, in addition to the reduction of the variation of dissolved oxygen and temperature.

Finally, chapter five contains the results and conclusions of the work, where the implementation of Six Sigma in the water quality parameters of tilapia ponds is highlighted, with the statistical data available after the implementation of the improvements, it is possible to affirm that the company improved the variability in the water temperature, the pilot group of 2023 had an improvement of 100% of the data in both schedules, maintaining the sigma level of 6 corresponding to the previous year of the historical information, reducing the standard deviation

from 1.91 to 0.85 and increasing the C_p from 1.94 to 3.93, finding this parameter in the world class category. Regarding the dissolved oxygen of the water, the pilot group showed 100% improvement with the morning data, but only 21.42% during the afternoon, compared to 2019, the sigma level of the variable decreased from 2.69 to 1.71, the standard deviation went from 1.84 to 3.14, while the C_p increased from a value of 0.68 to 0.80, determining that the company is in category 3 being not suitable for the job and requiring serious modifications.

It is important to mention that the oxygen levels during the implementation of the improvement were higher than those required, offering an area of opportunity to reduce aeration costs with a control system to maintain appropriate oxygen levels without the need to turn on the equipment. aeration when not required.

Contenido

Índice de figuras	xii
Índice de tablas	xiii
Índice de anexos	xiv
Introducción.....	1
Capítulo 1. Generalidades.....	2
1.1 Introducción.....	2
1.2 Generalidades de la empresa.....	2
1.2.1 Antecedentes	2
1.2.2 Enfoque estratégico.....	3
1.2.2.1 Misión	3
1.2.2.2 Visión	3
1.2.2.3 Valores	3
1.2.3 Marco geográfico	4
1.2.3.1 Macro localización	4
1.2.3.2 Micro localización.....	4
1.2.4 Estructura organizacional del área	5
1.2.5 Descripción del proceso de producción de Tilapia	6
1.2.6 Distribución del área	7
1.2.6.1 Pre engorda (Crías)	8
1.2.6.2 Engorda	8
1.2.6.3 Punto de venta	8
1.2.6.4 Estacionamiento	8
1.2.6.5 Bodega de alimento.....	9
1.2.6.6 Almacén de accesorios y equipo	9
1.2.6.7 Equipo de soporte y complementario	9
1.3 Generalidades del proyecto.....	10
1.3.1 Planteamiento del problema.....	10
1.3.2 Objetivos.....	10
1.3.2.1 Objetivo general.....	10
1.3.2.2 Objetivos específicos.....	10
1.3.3 Justificación	11
Capítulo 2. Marco teórico	15
2.1 Introducción.....	15
2.2 Acuicultura.....	15
2.2.1 Definición	15
2.2.2 Acuicultura en el mundo	16
2.2.2.1 Los sistemas de producción.....	17
2.2.3 Acuicultura en México	18
2.2.3.1 Inocuidad agroalimentaria, acuícola y pesquera.....	20
2.2.3.2 Normatividad aplicable en México	20
2.2.4 Calidad del agua en acuicultura.....	21
2.2.4.1 El pH (potencial de hidrógeno)	22
2.2.4.2 La temperatura	22
2.2.4.3 El oxígeno disuelto en la acuicultura	23
2.2.4.4 Oxígeno e impacto del dióxido de carbono	24
2.2.4.5 El amonio tóxico	25
2.3 Seis Sigma	26

Contenido

2.3.1 Definición	26
2.3.2 Antecedentes y evolución	27
2.3.2.1 Origen de Seis Sigma	28
2.3.2.2 Calidad Seis Sigma	29
2.3.3 Características, ventajas y roles	29
2.3.3.1 Características de Seis Sigma	29
2.3.3.2 Ventajas de Seis Sigma	30
2.3.3.3 Roles en Seis Sigma	30
2.3.4 Etapas de los proyectos Seis Sigma	32
2.3.4.1 Metodología DMAIC	32
2.3.4.2 Metodología R-DMAIC	34
2.3.5 Evidencias del uso de Seis Sigma en la literatura	34
2.4 Técnicas y herramientas aplicables en Seis Sigma	35
2.4.1 Análisis de la capacidad del proceso	36
2.4.1.1 Definiciones	36
2.4.1.2 Evidencias del uso del análisis de la capacidad de proceso en la literatura	36
2.4.2 Control Estadístico del Proceso (CEP)	37
2.4.2.1 Definiciones	37
2.4.2.2 Evidencias del uso del CEP en la literatura	37
2.4.3 Análisis de Correlación	38
2.4.3.1 Definiciones	38
2.4.3.2 Evidencia del uso del análisis de correlación en la literatura	39
2.4.4 Cost of Poor Quality (COPQ)	39
2.4.4.1 Definiciones	39
2.4.4.2 Evidencia del uso del COPQ en la literatura	40
2.4.5 Diagrama de árbol	40
2.4.5.1 Definiciones	40
2.4.5.2 Evidencia del uso del diagrama de árbol en la literatura	41
2.4.6 Diagrama de flujo de procesos	42
2.4.6.1 Definiciones	42
2.4.6.2 Evidencia del uso del diagrama de flujo de procesos en la literatura	42
2.4.7 Diagrama de Causa-Efecto, Sakana no hone, o de Ishikawa	43
2.4.7.1 Definiciones	43
2.4.7.2 Evidencia del uso del diagrama de Ishikawa en la literatura	43
2.4.8 Diagrama de Pareto	44
2.4.8.1 Definiciones	44
2.4.8.2 Evidencia del uso del diagrama de Pareto en la literatura	45
2.4.9 Diagrama matricial	45
2.4.9.1 Definiciones	45
2.4.9.2 Evidencia del uso del diagrama matricial en la literatura	46
2.4.10 Diagram SIPOC (Supplier, Inputs, Process, Outputs, Customers)	47
2.4.10.1 Definiciones	47
2.4.10.2 Evidencia del uso del diagrama SIPOC en la literatura	47
2.4.11 Gráficos de control	48
2.4.11.1 Definiciones	48
2.4.11.2 Evidencia del uso de gráficos de control en la literatura	48
2.4.12 Hoja de verificación o lista de cotejo	49
2.4.12.1 Definiciones	49
2.4.12.2 Evidencia del uso de hojas de verificación en la literatura	49
2.4.13 Matriz de priorización	50
2.4.13.1 Definiciones	50
2.4.13.2 Evidencia del uso de la matriz de priorización en la literatura	51
2.4.14 Regresión lineal	52
2.4.14.1 Definiciones	52
2.4.14.2 Evidencia del uso de regresión lineal en la literatura	52

Contenido

Capítulo 3. Metodología	54
3.1 Introducción	54
3.2 Metodología aplicada	54
Capítulo 4. Desarrollo	57
4.1 Etapa Reconocer	57
4.1.1 Recopilación de información	57
4.1.1.1 Muestreo de datos	57
4.1.1.2 Determinación del proceso objetivo	58
4.1.2 Validación de información (histórica)	58
4.1.2.1 Datos históricos de Temperatura	58
4.1.2.2 Datos históricos de Oxígeno	62
4.1.3 Obtención de áreas de oportunidad preliminares	66
4.1.3.1 Cociente de variación de Temperatura	66
4.1.3.1.1 Coeficiente de variación: temperatura por temporada	68
4.1.3.1.2 Coeficientes de variación: temperatura por estanques	69
4.1.3.1.3 Coeficientes de variación: temperatura por muestras M1 y M2	70
4.1.3.2 Coeficiente de variación de oxígeno	71
4.2 Etapa Definir	78
4.2.1 Definición de los CTQs de los clientes y sus requerimientos	78
4.2.2 Determinación del impacto económico del problema (COPQ)	79
4.2.3 Obtención de indicadores (métricas del proyecto)	80
4.2.4 Definición del problema y estructuración del plan del proyecto	80
4.3 Etapa Medir	84
4.3.1 Documentación de las actividades del proceso	84
4.3.2 Identificación de entradas y salidas	84
4.3.3 Verificación del nivel de capacidad del proceso (inicial)	86
4.3.3.1 Capacidad del proceso de la temperatura del agua	86
4.3.3.2 Capacidad del proceso del oxígeno disuelto	93
4.3.4 Cálculo del nivel sigma (inicial) del proceso	98
4.3.5 Evaluación de los indicadores (métricas) del proyecto	100
4.4 Etapa Analizar	101
4.4.1 Identificación de las entradas críticas potenciales	101
4.4.2 Determinación de las variables críticas del problema y su relación	104
4.5 Etapa Mejorar	109
4.5.1 Generación de posibles soluciones para las variables críticas	109
4.5.2 Determinación y selección de las soluciones	109
4.5.3 Implementación de las soluciones seleccionadas	111
4.5.4 Verificación de la capacidad del proceso (final)	118
4.5.5 Cálculo del nivel Sigma (final) del proceso	121
4.5.6 Validación de la mejora del proceso	122
4.6 Etapa Controlar	129
4.6.1 Diseñar el plan de estandarización	129
4.6.2 Implementación del plan de estandarización	129
4.6.3 Retroalimentación a la empresa sobre la implementación	140
Capítulo 5. Resultados	143
Conclusiones y recomendaciones	153
Referencias bibliográficas	155

Índice de figuras

Figura 1.1 Localización del estado de Veracruz en México	4
Figura 1.2 Localización de Tierra Blanca en Veracruz	4
Figura 1.3 Vista satelital del Rancho Tierra Adentro	5
Figura 1.4 Organigrama de la organización	6
Figura 1.5 Procesos de cultivo de Tilapia en la empresa.....	7
Figura 1.6 Distribución del módulo 2 de la unidad de producción (Betanzo Torres, y otros, 2021)	7
Figura 2.1 Principales especies cultivadas en México bajo sistemas controlados (Delfín Portela, y otros, 2023) .	19
Figura 2.2 Relación de la temperatura con respecto al oxígeno disuelto en el agua.....	23
Figura 2.3 Efecto de la hora del día en la concentración de oxígeno disuelto	25
Figura 2.4 Relación del amonio tóxico con el oxígeno disuelto, el pH y la temperatura	26
Figura 2.5 Ejemplo de los roles Seis Sigma y de sus interrelaciones (AENOR, 2012).....	32
Figura 2.6 Representación gráfica de las etapas de la metodología (Reato & Socconini, 2019).....	33
Figura 4.1 Cocientes de variación de la temperatura del agua	67
Figura 4.2 Diagrama de Pareto de las temporadas con alta variabilidad en la temperatura.....	68
Figura 4.3 Diagrama de Pareto de estanques con alta variabilidad en la temperatura.....	69
Figura 4.4 Diagrama de Pareto de horarios con alta variabilidad en la temperatura	70
Figura 4.5 Cocientes de variación (CV) del oxígeno disuelto	72
Figura 4.6 Gráfico de cajas y bigotes del oxígeno disuelto (2016).....	74
Figura 4.7 Gráfico de cajas y bigotes del oxígeno disuelto (2017).....	75
Figura 4.8 Gráfico de cajas y bigotes del oxígeno disuelto (2018).....	76
Figura 4.9 Gráfico de cajas y bigotes del oxígeno disuelto (2019).....	77
Figura 4.10 Diagrama de árbol de CTQs de calidad del agua	79
Figura 4.11 Gráfica de barras de los cocientes de variación del oxígeno disuelto por estación del año.....	81
Figura 4.12 Carta proyecto	83
Figura 4.13 Diagrama de flujo del proceso de cultivo de Tilapia.....	84
Figura 4.14 Diagrama SIPOC del cultivo de Tilapia.....	85
Figura 4.15 Informe de capacidad del proceso de la temperatura del agua (2016)	87
Figura 4.16 Informe de capacidad del proceso de la temperatura del agua (2017)	88
Figura 4.17 Informe de capacidad del proceso de la temperatura del agua (2018)	89
Figura 4.18 Informe de capacidad del proceso de la temperatura del agua (2019)	91
Figura 4.19 Informe de capacidad del proceso del oxígeno disuelto (2016)	93
Figura 4.20 Informe de capacidad del proceso del oxígeno disuelto (2017)	94
Figura 4.21 Informe de capacidad del proceso del oxígeno disuelto (2018)	95
Figura 4.22 Informe de capacidad del proceso del oxígeno disuelto en el agua (2019)	97
Figura 4.23 Cálculo del nivel sigma de la temperatura (2016-2019).....	99
Figura 4.24 Cálculo del nivel sigma del oxígeno disuelto (2016-2019).....	100
Figura 4.25 Diagrama de Ishikawa para la variabilidad en la temperatura del agua	102
Figura 4.26 Diagrama de Ishikawa para la variabilidad en el oxígeno disuelto en el agua	103
Figura 4.27 Determinación de las causas críticas para la variabilidad de la temperatura	104
Figura 4.28 Determinación de las causas críticas para la variabilidad del oxígeno disuelto	105
Figura 4.29 Diferentes estados de los discos difusores (De izquierda a derecha: con suciedad leve, desgastado y mohoso).....	105
Figura 4.30 Correlación de la temperatura con el oxígeno disuelto por año	106
Figura 4.31 Gráficos de dispersión de la temperatura y el oxígeno disuelto por año	107
Figura 4.32 Variables críticas de la variación de la temperatura y el oxígeno disuelto.....	108
Figura 4.33 Soluciones aceptadas por la empresa	110
Figura 4.34 Ubicación adecuada de la toma de datos.....	111
Figura 4.35 Ejemplo de malla sombra para acuacultura.....	111
Figura 4.36 Área total de la malla sombra.....	112
Figura 4.37 Área parcial de la malla sombra para un estanque de 6 metros de radio	112

Contenido

Figura 4.38 Métodos de lectura anteriores (de izquierda a derecha: oxímetro, colorimetría junto a estanque y colorimetría en laboratorio).....	113
Figura 4.39 Ficha técnica del Oxímetro HI98198	113
Figura 4.40 Vista aérea de la ubicación discos difusores en los estanques (de izquierda a derecha: distribución anterior y propuesta de distribución).....	114
Figura 4.41 Vista lateral de la ubicación discos difusores en los estanques	114
Figura 4.42 Sello en el tubo de entrada de aire (de izquierda a derecha: esquema y foto)	115
Figura 4.43 Esquema de la fijación del tubo de entrada	115
Figura 4.44 Esquema de las partes de un disco difusor de burbuja fina EDI Flexair TM	116
Figura 4.45 Diagrama de Gantt con las actividades de mantenimiento de los discos difusores	117
Figura 4.46 Sustitución de los filtros y abrazaderas en los blowers (de izquierda a derecha: esquema de y foto de las abrazaderas ajustadas).....	118
Figura 4.47 Esquema del codo de 90° para la manguera de aire del disco difusor.....	118
Figura 4.48 Informe de capacidad del proceso de la temperatura del agua (2023)	119
Figura 4.49 Informe de capacidad del proceso del oxígeno disuelto en el agua (2023)	120
Figura 4.50 Cálculo del nivel sigma para la temperatura (2023).....	121
Figura 4.51 Cálculo del nivel sigma para el oxígeno disuelto (2023)	122
Figura 4.52 Gráfico de cajas y bigotes del oxígeno disuelto (primavera de 2017, 2018, 2019 y 2023)	124
Figura 4.53 Gráficos de control para validar mejora en el oxígeno disuelto (2023)	126
Figura 4.54 Gráficos de control para validar mejora en la temperatura del agua (2023).....	128
Figura 4.55 Lluvia de ideas para la etapa Controlar	129
Figura 4.56 Captura de pantalla del formulario de entrada de datos de calidad del agua	130
Figura 4.57 Captura de pantalla de la base de datos generada a partir del formulario	130
Figura 4.58 Captura de pantalla del estado general del sistema para la temperatura del agua (invierno 2018) ...	131
Figura 4.59 Cálculo de los límites de control superior e inferior en el sistema (de izquierda a derecha: límites para la temperatura y límites para el oxígeno disuelto).....	132
Figura 4.60 Captura de pantalla de la gráfica de medias semanal para la temperatura en el sistema de control (estanque 4, semana del 1 de enero del 2019)	133
Figura 4.61 Captura de pantalla de la gráfica de medias mensual para el oxígeno disuelto en el sistema de control (estanque 4, mes de enero del 2019).....	134
Figura 4.62 Precontrol para la temperatura (de izquierda a derecha: cálculos de límites de precontrol y gráfica semáforo).....	135
Figura 4.63 Precontrol para el oxígeno disuelto (de izquierda a derecha: cálculos de límites de precontrol y gráfica semáforo).....	136
Figura 4.64 Precontrol implementado en el sistema de control (de izquierda a derecha: ejemplo semanal de temperatura y ejemplo mensual de oxígeno disuelto)	138
Figura 4.65 Diagrama de Gantt de las actividades de control	141
Figura 4.66 Captura de pantalla de la guía de uso del Sistema de control para la Calidad del agua	142
Figura 4.67 Captura de pantalla de los vídeos tutoriales en una carpeta de Google Drive.....	142
Figura 5.1 Cociente de variación de la temperatura del agua (2019 y 2023).....	143
Figura 5.2 Cociente de variación del oxígeno disuelto (2019 y 2023)	144
Figura 5.3 Gráficos de control comparativos de la temperatura del agua (2019 y 2023)	145
Figura 5.4 Gráficos de control comparativos del oxígeno disuelto (2019 y 2023).....	146
Figura 5.5 Informe de capacidad del proceso de la temperatura del agua (2019)	149
Figura 5.6 Informe de capacidad del proceso de la temperatura del agua (2023)	149
Figura 5.7 Informe de capacidad del proceso del oxígeno disuelto en el agua (2019)	150
Figura 5.8 Informe de capacidad del proceso del oxígeno disuelto en el agua (2023)	151

Índice de tablas

Tabla 2.1 Normas oficiales mexicanas relacionadas a la inocuidad acuícola.....	21
Tabla 2.2 Parámetros de calidad del agua en la producción de Tilapia <i>Oreochromis niloticus</i>	22
Tabla 4.1 Valores de la media de la temperatura por estanque/ muestra/años/ estación	59
Tabla 4.2 Valores de la desviación estándar de la temperatura por estanque/ muestra/años/ estación	60

Contenido

Tabla 4.3 Valores de la media y la desviación estándar de la temperatura por temporada y año	61
Tabla 4.4 Cocientes de variación (CV) de la temperatura por temporada y año	62
Tabla 4.5 Valores de la mediana de la temperatura por temporada y año	62
Tabla 4.6 Valores de la media del oxígeno disuelto por estanque/ muestra/años/ estación.....	63
Tabla 4.7 Valores de la desviación estándar del oxígeno disuelto por estanque/ muestra/años/ estación	64
Tabla 4.8 Valores de la media y desviación estándar del oxígeno por temporada y año.....	65
Tabla 4.9 Cocientes de variación (CV) del oxígeno disuelto por temporada y año.....	65
Tabla 4.10 Valores de la mediana del oxígeno por temporada y año	66
Tabla 4.11 Frecuencia de estaciones con CV mayor a 5 % para la temperatura	68
Tabla 4.12 Frecuencia de estanques con CV mayor a 5 % para la temperatura	69
Tabla 4.13 Frecuencia de los horarios con CV mayor a 5 % para la temperatura	70
Tabla 4.14 Valores de la mediana del oxígeno disuelto por temporada (para estratificar).....	73
Tabla 4.15 Costos operativos relacionados a la calidad del agua (2022)	79
Tabla 4.16 Indicadores del proyecto y su obtención	80
Tabla 4.17 Mediciones tomadas por año y por parámetro.....	86
Tabla 4.18 Resumen de índices de capacidad (temperatura del agua).....	92
Tabla 4.19 Resumen de índices de capacidad (oxígeno disuelto)	98
Tabla 4.20 Indicadores del proyecto (actualizados)	101
Tabla 4.21 Lluvia de ideas con las soluciones propuestas las causas críticas.....	109
Tabla 4.22 Comparación de indicadores antes y después de la mejora	123
Tabla 5.1 Niveles sigma de la temperatura (2019 y 2023)	147
Tabla 5.2 Niveles sigma del oxígeno disuelto (2019 y 2023).....	148
Tabla 5.3 Comparación de índices Cp de la temperatura (2019 y 2023).....	151
Tabla 5.4 Comparación de índices Cp del oxígeno disuelto (2019 y 2023)	152

Índice de anexos

Anexo 1. Media y desviación estándar de la temperatura del agua en el año 2016.....	173
Anexo 2. Media y desviación estándar de la temperatura del agua en el año 2017	174
Anexo 3. Media y desviación estándar de la temperatura del agua en el año 2018.....	175
Anexo 4. Media y desviación estándar de la temperatura del agua en el año 2019.....	176
Anexo 5. Media y desviación estándar del oxígeno disuelto en el agua en el año 2016	177
Anexo 6. Media y desviación estándar del oxígeno disuelto en el agua en el año 2017	178
Anexo 7. Media y desviación estándar del oxígeno disuelto en el agua en el año 2018	179
Anexo 8. Media y desviación estándar del oxígeno disuelto en el agua en el año 2019	180
Anexo 9. Cocientes de variación de la temperatura del agua por temporada	181
Anexo 10. Cocientes de variación del oxígeno disuelto en el agua por temporada.....	182
Anexo 11. Diagrama de Ishikawa para la temperatura del agua.....	183
Anexo 12. Diagrama de Ishikawa para el oxígeno disuelto.....	184

Introducción

El presente trabajo de investigación presenta la implementación de la metodología *Six Sigma* en la granja acuícola Ingeniería agropecuaria del Papaloapan S.P.R. de R.L. ubicada en Rancho Tierra Adentro, congregación de Joachín, municipio de Tierra Blanca, Veracruz, con coordenadas Latitud 18°39'26"N - Longitud 96°17'58"O. El proyecto se lleva a cabo para disminuir la variabilidad del oxígeno disuelto y temperatura en los parámetros de la calidad en el agua de los estanques de cultivo, bajo el enfoque teórico de Peter Druker que afirma: “*Si no se puede controlar, no se puede mejorar*” (Maciariello, 2006).

Seis Sigma como filosofía de negocios, mejora el proceso con un enfoque a las necesidades de los clientes (Laoyan, 2022), mediante este trabajo de investigación, la necesidad de disminuir la variabilidad del agua se ve atendida remarcando la importancia de la estandarización en el proceso productivo.

La falta de estandarización es una situación común en miles de pequeñas y medianas empresas productoras en el sector agropecuario, la falta de control en los procesos que genera heterogeneidad en los productos, una situación que en algunos casos puede afectar en la satisfacción del cliente por las diferencias entre producto y producto, en otros casos puede afectar la productividad, y en lo que respecta a la inocuidad del producto, un posible riesgo en la salud de los consumidores finales. En la producción de Tilapia es indispensable la controlar la calidad de agua en los estanques de producción, ya que es el medio en el cual los organismos se cultivan, y estos se les tiene que establecer un ambiente adecuado para su desarrollo y con ello competir con el mercado nacional e internacional (Boyd, 2017)

Capítulo 1. Generalidades

1.1 Introducción

En este capítulo, se presentan las generalidades de la empresa que comprenden la historia, el enfoque estratégico, el marco geográfico, la estructura organizacional, la distribución del área y la descripción del proceso, el planteamiento del problema, los objetivos y su justificación, esto con la finalidad de ofrecer un marco de referencia sobre las actividades de Ingeniería agropecuaria del Papaloapan S.P.R. de R.L. dentro del sector económico de la acuacultura y la información metodológica general de la presente tesis.

1.2 Generalidades de la empresa

1.2.1 Antecedentes

Ingeniería agropecuaria del Papaloapan S.P.R. de R.L. es una Unidad de Producción Acuícola (UPA) que fue constituida el 27 de enero del 2006, como una sociedad de producción rural de responsabilidad Limitada, **con domicilio en Rancho Las Guacamayas, en la comunidad de Tierra Adentro o Rancho Tierra Adentro.**

En el 2008, la empresa solicitó a la Comisión Nacional de Pesca y Acuacultura (CONAPESCA), la inscripción al Registro Nacional de Pesca para Unidades Económicas dedicadas a la acuacultura. Otorgándole el número de registro 3001009632.

En materia de uso del agua se le otorgo el título de concesión del agua número 10VER134352/28AMOC08 de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).

En 2015, la Delegación Federal de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) en el Estado de Veracruz, **otorgo el dictamen favorable de evaluación de impacto Ambiental para la ampliación de la granja e incrementar su producción respetando Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA).**

En el 2018, Ingeniería agropecuaria del Papaloapan S.P.R. de R.L. envió una solicitud a la Dirección General de Inocuidad Agroalimentaria, Acuícola y Pesquera, para iniciar el proceso de evaluación de Buenas Prácticas Acuícolas en la Producción Primaria, para obtener el certificado de inocuidad por su implementación. Durante ese mismo año, personal técnico del Comité de Sanidad Acuícola y Pesquero Veracruzano A.C. (COSAP) se presentó en la unidad de producción para realizar la auditoría y de esta manera en 2019, la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER), por medio del Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA), le otorgó a la empresa el certificado AC-PD-30-19 por el cumplimiento de las Buenas Prácticas Acuícolas en la Producción Primaria.

1.2.2 Enfoque estratégico

1.2.2.1 Misión

“Desarrollar e implantar las mejores prácticas y tecnologías que permitan la producción y la comercialización de Tilapia de calidad, fomentando la innovación en la industria acuícola, tomando en cuenta el respeto al medio ambiente y la colaboración con diferentes unidades productivas.”

1.2.2.2 Visión

“Ser una organización líder en la producción de Tilapia en Veracruz, produciendo bienes y servicios que sean una alternativa que aporte a la buena alimentación de los clientes y al beneficio de la sociedad.”

1.2.2.3 Valores

- **Perseverancia:** ser conscientes de los retos constantes en el mercado y del esfuerzo necesario para poder afrontarlos.
- **Innovación:** estar la vanguardia con la tecnología que permita contribuir de forma eficiente al desarrollo de productos que satisfagan a los consumidores.

- **Humildad:** reconocer la importancia de todos los colaboradores que aportan en mayor o menor medida a los procesos que benefician a la organización.

1.2.3 Marco geográfico

1.2.3.1 Macro localización

El proyecto “Implementación de metodología Seis Sigma en una granja acuícola para la mejora de calidad de agua en estanques de producción” es realizado en el estado de Veracruz de Ignacio de la Llave, de los Estados Unidos Mexicanos. La Figura 1.1 muestra la localización del estado de Veracruz en México.



Figura 1.1 Localización del estado de Veracruz en México

1.2.3.2 Micro localización

El proyecto se llevó a cabo en el municipio de Tierra Blanca. La Figura 1.2 muestra la localización de Tierra Blanca dentro del estado de Veracruz.



Figura 1.2 Localización de Tierra Blanca en Veracruz

El domicilio Fiscal de la granja acuícola de la empresa Ingeniería agropecuaria del Papaloapan S.P.R. de R.L., que se encuentra ubicada en el Rancho Tierra Adentro, Abasolo No. 603, colonia Loma del Jazmín, código postal 95150, congregación de Joachín, Municipio Tierra Blanca, Veracruz, con coordenadas 18°39'26" de latitud norte y 96°17'58" de longitud oeste (Figura 1.3).



Figura 1.3 Vista satelital del Rancho Tierra Adentro

1.2.4 Estructura organizacional del área

En la Figura 1.4 se muestra un organigrama con la estructura organizacional de la empresa Ingeniería agropecuaria del Papaloapan S.P.R. de R.L.

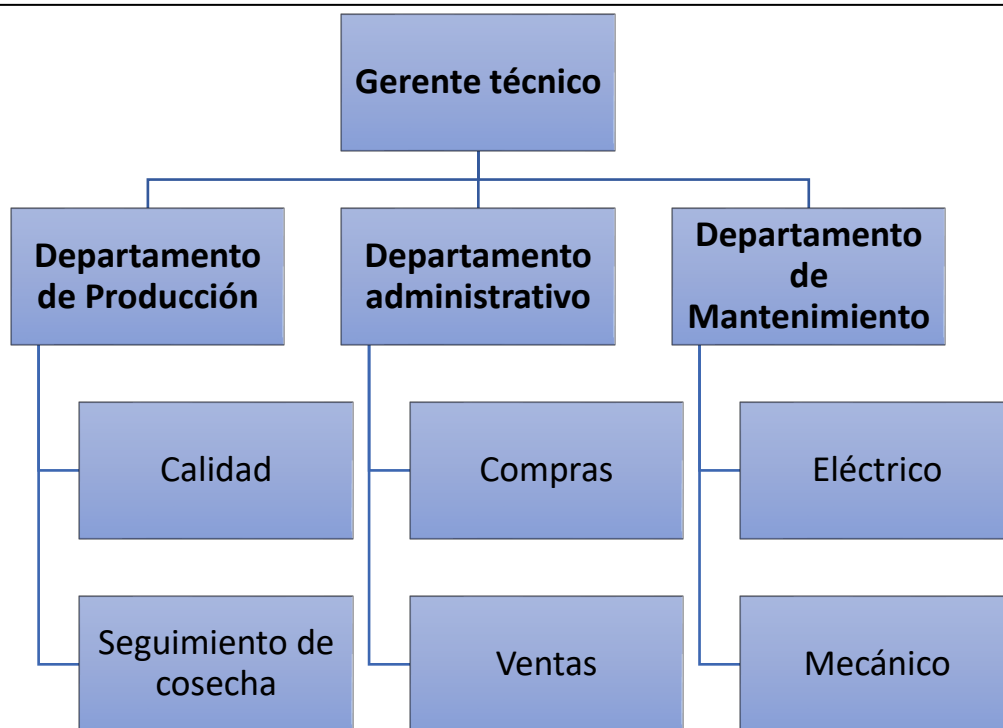


Figura 1.4 Organigrama de la organización

1.2.5 Descripción del proceso de producción de Tilapia

Ingeniería agropecuaria del Papaloapan S.P.R. de R.L. es una unidad de producción acuícola (UPA) que se dedica a la acuicultura, en específico, a la producción de la Tilapia, esta actividad económica incluye procesos o actividades como que se muestran en la Figura 1.5.

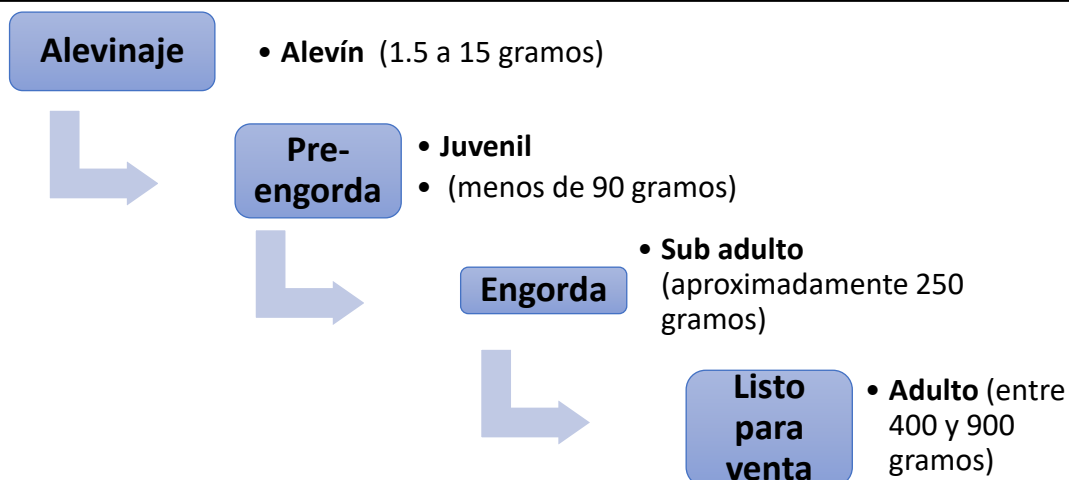


Figura 1.5 Procesos de cultivo de Tilapia en la empresa

1.2.6 Distribución del área

La distribución del módulo 2 de la unidad de producción de cultivo de Tilapia en Ingeniería agropecuaria del Papaloapan S.P.R. de R.L se observa en la Figura 1.6.

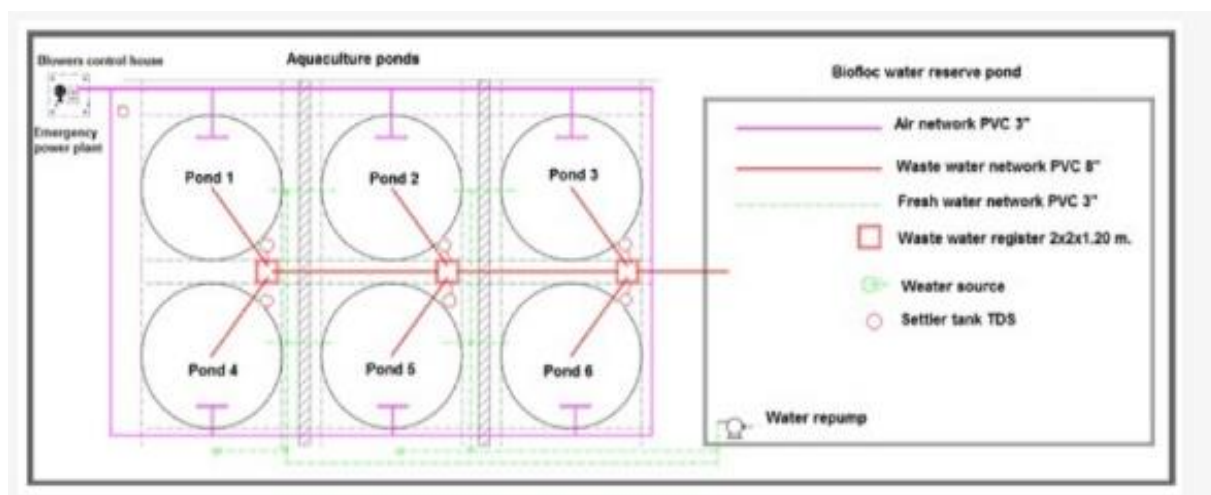


Figura 1.6 Distribución del módulo 2 de la unidad de producción (Betanzo Torres, y otros, 2021)

La unidad de producción se divide en 6 áreas principales: pre engorda (crías), engorda, punto de venta, estacionamiento, bodega de alimento y almacén de accesorios y equipo.

1.2.6.1 Pre engorda (Crías)

- Área de 800 m³.
- 4 tanque de 20 m³ de polietileno recepción de crías.
- 12 tanques de 60 m³ de polietileno pre engorda y engorda.
- 3 tanques de 50 m³ de polietileno pre engorda y engorda.
- 2 sopladores de turbina 2 hp cada uno para pre engorda. Tomas de agua y aire para cada estanque.
- Sistema de desagüe independiente.

1.2.6.2 Engorda

- Área de 720 m³.
- 6 tanques de 12 m de diámetro.
- 1 soplador de turbina de 2 hp.
- Tomas de agua para cada tanque.
- Sistema de desagüe.
- Tomas eléctricas para sopladores.

1.2.6.3 Punto de venta

- Tanque de 2 x 5 mts³ de polietileno para cosechas parciales y la total se realiza en el tanque de engorda, aunque en ocasiones se realiza la cosecha total en el tanque esto depende de la demanda y el tamaño del tanque.
- Tomas de agua y aire para el tanque.
- Sistema de desagüe.

1.2.6.4 Estacionamiento

- Área de 500 m².
- Para personal y visitas. Ubicado entre áreas de pre engorda, engorda y la casa del vecino.

1.2.6.5 Bodega de alimento

- Área de 24 m².
- La capacidad de almacenamiento es actualmente para 20 días de producción.
- El reabastecimiento se efectúa actualmente mensual para garantizar la mayor frescura del alimento.
- El alimento se almacena sobre tarimas de madera y en secciones separadas para cada tipo de alimento.
- Se utilizan trampas y/o cebos para la detección de roedores u otras plagas.
- Ventanas y puerta protegidas con malla para impedir la entrada de insectos y animales.
- Bascula electrónica para pesar las raciones de alimentación de las diferentes etapas.

1.2.6.6 Almacén de accesorios y equipo

- Área de 16 m² al lado de la bodega destinada al alimento.
- Estantería y mesa de trabajo para el resguardo de las herramientas y materiales utilizados en la UPA y para el mantenimiento de los equipos de la UPA.

1.2.6.7 Equipo de soporte y complementario

- Transformador trifásico de 75 kva.
- Generador de emergencia trifásico de 10 kva.
- Pozo profundo para el suministro de agua.
- Centros de carga eléctrica distribuidos.
- Depósitos de desechos orgánicos e inorgánicos independientes distribuidos en 3 puntos de la granja.
- Fosa séptica localizada en los límites de la UPA para el servicio de la casa habitación y baño de personal.

1.3 Generalidades del proyecto

1.3.1 Planteamiento del problema

En la producción de Tilapia en la empresa Ingeniería agropecuaria del Papaloapan S.P.R. de R.L., se encuentra como principal problemática la falta de control en la variabilidad de los parámetros de la calidad del agua, lo cual, provoca un proceso y/o un producto no estandarizado, que, a su vez, tiene impacto en la imagen y en la competitividad de la empresa.

1.3.2 Objetivos

1.3.2.1 Objetivo general

El objetivo general fue disminuir la variabilidad de los parámetros del agua en la producción de Tilapia para estandarizar las variables de oxígeno disuelto y temperatura del agua a aplicando la metodología Seis Sigma.

1.3.2.2 Objetivos específicos

1. Analizar los datos históricos de la temperatura del agua y oxígeno disuelto por medio de las medidas de tendencia central durante los años 2016 al 2019.
2. Definir los límites de referencia de calidad del agua de la especie *Oreochromis niloticus* para conocer las condiciones ideales para su cultivo.
3. Medir la capacidad potencial (C_p) y real (C_{pk}) de los parámetros de calidad del agua en la granja.
4. Establecer un sistema de control estadístico de calidad y capacitar a la empresa en la implementación de la metodología Seis Sigma.
5. Implementar acciones de mejora para disminuir la variabilidad de las variables: temperatura del agua y oxígeno disuelto.

1.3.3 Justificación

México es uno de los países de la zona de “*América del Norte, Centro América y el Caribe*” que presenta la mayor cantidad de producción de Tilapia, aportando en 2017 un 42.3 % de la producción de la zona. En “*América del Sur*”, para el mismo año, el primer puesto está dominado por Brasil, con un 75 % de la producción de la región, mientras que, a nivel mundial, los países que mayor porcentaje de producción mundial de Tilapia fueron China con el 26.9 %, seguida de Indonesia con 22.4 %, Egipto con 16,5 %, Bangladesh con 5.7 % y Brasil con 4.9 % para 2017 (El-Sayed, 2019).

A nivel mundial, México es “*el séptimo consumidor y el décimo séptimo productor de pescado y mariscos*”, lo que lo convierte en un país con el potencial para aumentar su puesto como productor en este sector. Debido al alto precio de los productos de origen animal, las personas en situaciones de vulnerabilidad tienen difícil acceso a estos, por lo que es de gran importancia desarrollar alimentos que sean accesibles a toda la población, con el 95 % de los productores de la industria alimentaria perteneciendo a las micro, pequeñas y medianas empresas, se puede generar un alto grado de “*heterogeneidad en los productores trayendo como consecuencia problemas de inocuidad*”, esto al no existir métodos de inspección estandarizados (Gutiérrez Alcalá, 2019).

Un aspecto a considerar dentro de la industria de alimentos es el efecto que en la producción tiene tanto la sanidad como la inocuidad. Es necesario establecer que la sanidad e inocuidad en la industria alimentaria son fundamentales para el buen funcionamiento de la misma. Asegurarse de que los productos de consumo estén libres de contaminantes es esencial para mantener un buen nivel de salud y evitar enfermedades en los consumidores finales. Los productores de alimentos, empacadores y los vendedores deben garantizar que los alimentos que se producen, procesan y venden estén libres de riesgos patógenos y sean seguros para el consumo humano. La nueva normalidad derivada de la pandemia de COVID-19 trae consigo una preocupación creciente en el descubrimiento y propagación de más enfermedades que puedan afectar el mundo y las distintas industrias alimentarias, en especial a en sus etapas de producción y distribución.

Referente a la sanidad y la inocuidad en el sector acuícola, de acuerdo a Ramírez et al. (2007) las enfermedades surgen principalmente cuando se incumplen las normativas del cultivo de la especie, en este caso de la Tilapia, los inconvenientes de la falta de inocuidad cobran su importancia debido a la gran variedad de en qué se presentan las enfermedades y en impacto económico que le genera a las empresas por pérdidas en el cultivo.

Las enfermedades causadas por los agentes patógenos comúnmente se clasifican por su origen: ocasionadas por bacterias, ocasionadas por hongos y ocasionadas por parásitos. Entre las bacterias se encuentran las “*aeromonas, pseudomonas, corynebacterium, vibrio, flexibacteria, cytophaga, mycobacterium y nocardia*”, cuyos síntomas visibles en la Tilapia incluyen los ojos nubosos y saltones, aletas rojizas o sangrantes, y las úlceras en la superficie de la piel (Ramírez et al., 2007).

Por otro lado, entre los hongos acuáticos que afectan a los peces están los “*Saprolegnia, Achlya Ichthyophonus, Branchiomyces y Dermocystidium*”, los cuales desarrollan síntomas en las aletas, piel y ojos, como la generación de una masa algodonosa o largos filamentos, así como síntomas en las branquias como necrosis. Entre los parásitos se encuentran los “*protozoarios unicelulares, ectoparásitos, trematodos, nemátodos, acantocéfalos, cestodos y los crustáceos parásitos*”, generando síntomas como la piel o en las aletas como la presencia de puntos blancos, así como también úlceras, lesiones en las branquias, o incluso cambio de comportamiento reflejado en nado errático o adelgazamiento. Así mismo, la aparición de agentes patógenos está estrechamente relacionada con la capacidad de la unidad acuícola de cumplir con la normatividad pertinente relacionada a la calidad del agua y las buenas prácticas acuícolas (Ramírez et al., 2007).

Además de las afecciones de origen bacteriano, existen aquellas que tienen su origen en los virus, entre los cuales destaca la emergente infección por el virus de la Tilapia de lago (abreviado como *TiLV*), siendo identificado de forma oficial en el año 2014, siendo reconocido como emergencia mundial en el 2017 por su potencial riesgo de “*afectar negativamente la seguridad alimentaria y la nutrición mundial*”, exhortando a las unidades productoras acuícolas a realizar

diagnósticos, certificarse en sanidad y tomar en cuenta la realización de cuarentenas y contingencias en caso de brotes activos (FAO, 2012).

El método de infección del virus es oral-fecal, por lo que los peces que habiten un mismo cuerpo de agua (como lagos o estanques) pueden infectarse. Entre los síntomas del TiLV se encuentra el comportamiento aletargado y errático, nado cercano a la superficie, nado en círculos, aislamiento y bajo consumo de alimento, además, se ha detectado “*lesiones oculares y cutáneas, decoloración y distensión abdominal*” entre los peces infectados por este virus (Ariav y Wajsbrot, 2021).

De acuerdo con la FAO (2016), las condiciones y características del agua son importantes no solo para la producción óptima de los peces como producto, sino también como organismo, siendo el agua el medio que permite suministrar sus necesidades biológicas, como la respiración, la nutrición, la reproducción y el crecimiento, la temperatura es uno de los factores con mayor importancia en los estanques acuícolas, para la Tilapia los niveles bajos de temperatura pueden presentar problemas como: lento desarrollo de huevos, reducción del crecimiento de juveniles, retraso de la maduración, baja absorción de alimento y vulnerabilidad a enfermedades, por lo anterior la calidad del agua en la acuicultura es importante en la cual se centra el trabajo, debido a que, el agua es el medio donde se producen y cultivan las tilapias.

Es por ello, que la implementación de Seis Sigma, y las herramientas de calidad de la Ingeniería Industrial, en los procesos productivos de la industria acuícola serían útiles en la estandarización de los procesos relacionados al cultivo de Tilapia, que implica una mayor garantía para la preservación de la salud de los peces, la inocuidad del producto y, por consiguiente, en el bienestar de los consumidores, mientras se aumenta el nivel de competencia de las unidades acuícolas.

Finalmente, este proyecto de investigación está alineado a la generación de la línea de investigación Sistemas de Mejoramiento Empresarial coadyuvando a las metas del cuerpo académico ITO – CA – 09, al ampliar la línea de investigación al sector agropecuario, aporta conocimiento y colabora en los Programas Nacionales Estratégicos (ProNaCes) en los sectores

de Soberanía alimentaria y Agua, además de contribuir con dos objetivos de desarrollo sustentable (ODS) de la FAO en la agenda 2030: el objetivo número doce, producción y consumo responsables; y el objetivo número catorce, vida marina.

Capítulo 2. Marco teórico

2.1 Introducción

En el capítulo 2, se describen los conceptos teóricos y las herramientas de Ingeniería Industrial implementadas durante el proyecto, en orden alfabético, esto con el propósito de entender su definición, sus características y su teoría en general. Durante este capítulo, los conceptos descritos son: Acuicultura, Seis Sigma, técnicas y herramientas de calidad, técnicas y herramientas estadísticas, y técnicas y herramientas de manufactura.

2.2 Acuicultura

2.2.1 Definición

Entre las definiciones que tiene la acuicultura, se encuentran:

- Según la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER, 2019), la acuicultura *“es una actividad que consiste en el cultivo y producción de organismos acuáticos de agua dulce o salada.”* Dentro de esta actividad, los cuerpos de agua son convertidos en áreas de aprovechamiento de recursos naturales.
- El Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria (CEDRSSA) define a la acuicultura como *“una de las mejores técnicas ideadas por el hombre para producir alimentos y aprovechar los recursos acuáticos.”* La acuicultura se puede dividir en varios tipos dependiendo el organismo cultivado, el más desarrollado es la *“piscicultura”* (cultivo de peces), siendo la Tilapia el pez más cultivado en el mundo debido a su ciclo *“relativamente conocido y sencillo”*, aunque el cultivo de camarón es el más relevante económicamente (CEDRSSA, 2015).

2.2.2 Acuacultura en el mundo

Las diferentes especies de Tilapia (de la familia *Cichlidae* y del género *Oreochromis*) son nativas de África y se han logrado adaptar a su introducción en regiones tropicales, subtropicales y templadas en todo el mundo. Existe muy poca información documentada acerca del origen del cultivo de Tilapia en el mundo, pese a esto, se piensa que pudo haber sido hace 4,000 años, un milenio antes del cultivo de carpa en China. Para años anteriores a 1,970, la producción mundial fue muy pequeña, con pocos países practicando la acuacultura, en el caso de 1969, con apenas 12 países (siendo los principales Taiwán, China, Egipto, Nigeria, Israel y Tailandia) la producción fue de solo 24,633 toneladas (El-Sayed, 2019).

La producción de la Tilapia vivió una expansión en todo el mundo durante los siguientes 30 años, para el año 2000 los países practicantes eran 88, aunque con sus respectivas limitaciones, ya que 45 de esos 88 tenían producciones inferiores a 200 toneladas por año individualmente, pese a las limitaciones, en ese año la producción mundial de Tilapia aumentó hasta 1,150,382 toneladas. Durante las dos décadas siguientes, el cultivo de Tilapia tuvo una gran expansión, llegando a una cantidad de 125 países productores, alcanzando una producción mundial de 2,210,408 toneladas en el 2006, y de 5,880,586 toneladas en el 2017 (El-Sayed, 2019).

Recientemente, en el informe sobre el estado mundial de la acuacultura y pesca de la FAO, el cultivo de Tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) alcanzó un nivel de producción de 4.4 millones de toneladas, siendo la tercera especie acuícola más cultivada, acaparando un 9 % de la producción total en la acuicultura continental. Además, China sigue siendo el mayor exportador de tilapia en el mundo, sin embargo, la imposición de aranceles de importación por parte de los Estados Unidos de América y las dificultades logísticas relacionadas con la pandemia de COVID-19, ha aumentado las exportaciones provenientes de América Latina y Asia sudoriental hacia Estados Unidos. En contraste, en América central, con las restricciones de movilidad por la pandemia, los envíos de insumos sufrieron inconvenientes en su trayecto hasta las unidades productoras de tilapia, por lo cual, hubo una caída de la demanda en un 75% tanto en mercados locales como internacionales (FAO, 2022).

La previsión de la FAO sobre el aumento mundial en el consumo de alimentos acuáticos ha creado la necesidad en el sector acuícola para mejorar los piensos para especies como las carpas y las tilapias para satisfacer la futura demanda mundial. Así mismo, uno de los problemas claves actuales en el sector es la ineficiencia en la recopilación de información, datos no accesibles o la insuficiencia de recursos humanos con la capacidad técnica para el control de calidad (FAO, 2022).

2.2.2.1 Los sistemas de producción

Castelló (2013), clasifica a los sistemas de producción en cuanto al manejo del agua como:

1. Sistemas de flujo abierto: sistema en donde el agua es usada una vez y esta es descargada a cuerpos receptores, este sistema lo que busca es mejorar la calidad del agua con los recambios diarios, ya que, debido al metabolismo de los peces esta se deteriora por los compuestos nitrogenados que desechan lo peces en los estanques de cultivo. Es el más común de los sistemas en el sector.
2. Sistemas de reutilización de agua: sistema en el cual *"el agua se utiliza varias veces en las unidades de cultivo"*. Por diferentes tecnologías para su tratamiento existentes que se pueden adaptar dependiendo de la disponibilidad económica de la unidad de producción, para su reincorporación al sistema de cultivo, el oxígeno disuelto puede incrementarse por medio del uso de equipos de aireación (Betanzo, 2019).
3. Sistemas de recirculación: Los sistemas de recirculación acuícola, surgen como una demanda de sistemas más productivos en lugares donde la disponibilidad del agua es limitada, estos sistemas tienen una descarga de agua residual casi nula. Se han estudiado modelos de producción principalmente el de granjas intensivas y semintensivos con rendimientos medios a altos y de forma limitada para granjas familiares o cooperativas con rendimientos medios a bajos, aunque su objetivo en cuanto a producción es a tender a ser intensivas (Betanzo Torres, et al. 2021)

2.2.3 Acuacultura en México

La acuacultura en México tiene sus antecedentes en la época prehispánica, siendo una actividad que no solo era fuente de alimento, sino que también se veía como una actividad de esparcimiento o como una actividad religiosa. La acuacultura de la época se practicaba en cercos, obras hidráulicas (como embalses o presas), humedales e incluso los mayas utilizaban los cenotes para cultivar pejelagartos (*Atractosteus tropicus*) y pejesapos (*Gobiesox mexicanus*) (CEDRSSA, 2015).

La pesca fue prohibida en algunos lados del México prehispánico durante la época colonial, siendo destruidas varias estructuras relacionadas, pese a esto, el charal (peces del género *Chirostoma*) pudo seguirse cultivando. A finales del siglo XIX y durante el siglo XX, la acuacultura volvió a practicarse en el país, sin embargo, se enfrentó al reto de no contar con la inversión, la infraestructura y la legislación adecuadas, e incluso, no fue hasta 1986 que se hicieron públicas las estadísticas oficiales, para dicho año la producción alcanzó 151,124 toneladas y los principales productores fueron los estados de Veracruz, Michoacán y Jalisco. Referencias después del punto (CEDRSSA, 2015).

De “1987 hasta 1990, se mantuvo un crecimiento continuo, llegando a las 191 mil toneladas”, es decir, que la acuacultura en el país tuvo un incremento del 27 %, para el siguiente año, 1991, la producción disminuyó 10 %, y los consecuentes años noventa la producción se mantuvo constante en torno a las 170 mil toneladas. Para el año 2000 la producción continuó con la tendencia anterior, produciendo un total de 166,336 toneladas, después de esto, la acuacultura en México tuvo un despegue significativo, con un crecimiento anual del 3.24 % (aunque menor al crecimiento mundial del 6 %), tal que para el año 2010 la producción alcanzó las 270,717 toneladas. Para los tres años siguientes, 2011 al 2013, se experimentó una disminución de 3.5 % anual debido a enfermedades relacionadas al cultivo de camarón (*Litopenaeus setiferus* y *Litopenaeus vannamei*) (CEDRSSA, 2015).

En México la tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) fue introducida en 1964, ganando importancia a tal punto de constituir aproximadamente el 80% de la producción de tilapias en

el mundo. Así mismo, la República Mexicana ocupa el quinto lugar a nivel mundial en producción de tilapias en sistemas controlados, destacándose como la especie más consumida a nivel nacional. La acuicultura rural en México surgió como apoyo social a las comunidades rurales, aumentando el consumo de proteína animal y mejorando la nutrición de la población. Las tilapias, introducidas desde Estados Unidos, se criaron en una granja de peces en Temascal, Oaxaca, México. La acuicultura juega un papel significativo en el desarrollo agrícola del país al reducir la inseguridad alimentaria, la malnutrición y la pobreza, al proporcionar alimentos nutritivos y generar empleo. (Delfín Portela, y otros, 2023).

La Figura 2.1 muestra las principales especies acuáticas que son producidas en México por medio de la acuicultura, entre las cuales se destacan el camarón blanco del Pacífico (*Litopenaeus vannamei*), las especies de tilapia, con 74% y 19%, respectivamente. Este grupo constituyen la mayor cantidad de centros acuícolas registrados en el Registro Nacional de Pesca y Acuicultura (RNPA), con un total de 4626 establecimientos oficiales (Delfín Portela, y otros, 2023).

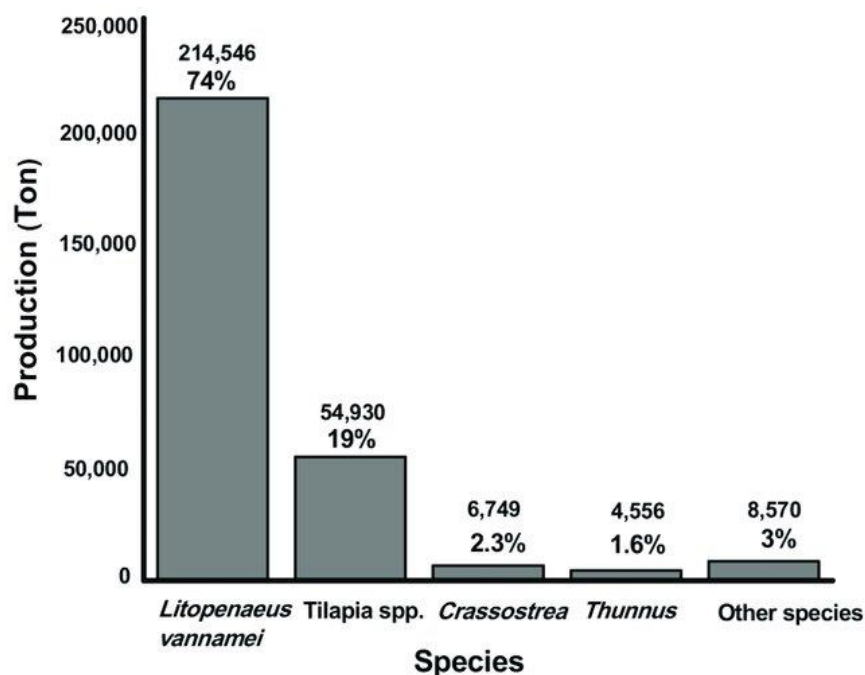


Figura 2.1 Principales especies cultivadas en México bajo sistemas controlados (Delfín Portela, y otros, 2023)

2.2.3.1 Inocuidad agroalimentaria, acuícola y pesquera

El Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA) es un órgano Descentralizado de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER) en México. Este órgano promueve el uso de sistemas que reduzcan el riesgo de contaminación en los productos y mejoren la calidad agroalimentaria, la *“Inocuidad agroalimentaria, acuícola y pesquera”* es una de las diferentes acciones y programas que tiene este órgano, mediante el cual, incentiva a las unidades productoras a implementar *“sistemas de control que disminuyan los riesgos de contaminación en la producción agropecuaria para mantener estándares de calidad”* (SENASICA, 2022).

Los factores que amenazan la inocuidad se pueden dividir en 3 tipos: el primero, Químicos: como son las hormonas, los antibióticos y los plaguicidas, los Biológicos: como los virus y las bacterias y el tercero los Físicos: como pueden ser residuos de metal y astillas, en la acuicultura esto factores son abordados en el Manual de buenas prácticas de producción acuícola, y en donde uno de los factores a considerar es la calidad del agua. (SENASICA (2022).

2.2.3.2 Normatividad aplicable en México

La ley que regula, fomenta y administra el aprovechamiento de los recursos acuícolas en México es la Ley General de Pesca y Acuicultura Sustentables, la cual fue publicada el 24 de julio del 2007 y tuvo su última reforma el 4 de junio del 2015 (CONAPESCA, 2015).

El Comité de Sanidad Acuícola y Pesquero Veracruzano A.C. (Cosap, 2018), informa que las normas oficiales mexicanas aplicables a la *“inocuidad agroalimentaria, acuícola y pesquera”* son:

Tabla 2.1 Normas oficiales mexicanas relacionadas a la inocuidad acuícola

Número de norma	Tema	Edición
NOM-242-SSA1	Productos y servicios. Productos de la pesca frescos, refrigerados, congelados y procesados. Especificaciones sanitarias y métodos de prueba.	2009
NOM-127-SSA1	Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.	1994
NOM-201-SSA1	Productos y servicios. Agua y hielo para consumo humano, envasados y a granel. Especificaciones sanitarias.	2015

2.2.4 Calidad del agua en acuicultura

La calidad del agua en la producción en la acuícola, gira en torno a mantener las propiedades fisicoquímicas del agua apropiadas para su crecimiento, la interacción entre estos parámetros es compleja, ya que, en determinadas situaciones, una puede influir sobre la otra, ya sea incrementando o disminuyendo su valor.

Timmons (2002), afirma que algunos de los parámetros de la calidad del agua son: la temperatura, el pH, el oxígeno disuelto, el amoníaco, el nitrito, el dióxido de carbono y la alcalinidad. Estas variables y sus valores máximos y mínimos pueden observarse en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2 Parámetros de calidad del agua en la producción de Tilapia *Oreochromis niloticus*

Parámetros fisicoquímicos del agua	Valor mínimo	Valor máximo
Ph	6.5	9
Temperatura (°C)	24*	29*
	27	30
Amonio tóxico (N-NH ₃) (mg/L)	0.01	0.1
Nitritos (N-NO ₂) (mg/L)		1*
Nitratos (NO ₃) (mg/L)	10	
Alcalinidad (CaCO ₃) (mg/L)	100	200
Dureza (mg/L)	20	350
Dióxido de carbono (mg/L)	20	
	40*	50*
Oxígeno disuelto (mg/L)	2, 4*	6*
Fosfatos (P-PO ₄) (mg/L)	0.6	1.5
Cloruro (mg/L)	200*	
Sulfatos		50*
Sólidos Suspendidos Totales (SST) ppm		15*

Fuente: SENASICA (2008) y Timmons (2002)*

Estos valores de referencia encontrados en la literatura son la base para los productores, sin embargo, normalmente existen discusiones de los valores máximos y mínimos dependiendo de cada autor, esto puede deberse a las condiciones climatológicas típicas de cada región, la especie, la genética y el manejo tecnológico.

2.2.4.1 El pH (potencial de hidrógeno)

Tiene influencia sobre la sobrevivencia y el crecimiento de los peces, se tiene un crecimiento óptimo entre valores de 6 y 9, valores por debajo de 5 y superiores a 9 pueden "*causar serios problemas en los sistemas de producción*", desde la interferencia en la fisiología del pez hasta en su muerte (Boyd, 2018). Los valores inferiores a 5 provocan muerte por falla respiratoria en los peces "*en un periodo de 3 a 5 horas*" (Nicovita, 2002).

2.2.4.2 La temperatura

La Tabla 2.2 se indica que el rango de temperatura óptima para su cultivo es de 24 a 29 °C, sin embargo, la tilapia nilótica puede sobrevivir tolerando "*temperaturas que van desde los 9 a los*

33 grados" Celsius (Colagrosso, 2015), sin embargo, pese a que la Tilapia pueda sobrevivir en dicho rango, su “*reproducción se inhibe a temperaturas menores de 20 °C*”, resultando incluso mortal por debajo de los 11 °C durante tiempos prolongados (INAPESCA, 2018).

En cuanto a enfermedades, por encima de los 20 °C (con bajos niveles de oxígeno y pH), la Tilapia se puede enfermar de "*branquimicosis*", un hongo presente en las branquias de la Tilapia, ocasionando "*falta de oxigenación en la sangre*" (Jiménez Guzmán, 1988). Los valores altos de temperatura, según la FAO (2022), provocan estrés en “*los peces y reducen su inmunidad contra la infección*” por estreptococo del grupo B (EGB).

Altos niveles de temperatura en el agua aumentan la actividad biológica, lo que disminuye la cantidad de oxígeno en los estanques (Boyd, 2018). Por otro lado, la capacidad de las Tilapias para adaptarse a la temperatura del agua representa un rebalanceo de energía en términos fisiológicos, el cual impacta en el factor de inmunodepresión. Sumado a lo anterior, siendo el estrés y las condiciones ambientales factores clave que influyen en la vulnerabilidad de las Tilapias hacia los virus, los cambios de temperatura y del entorno, afectan directamente el sistema inmune de los peces (Ariav & Wajsbrot, 2021). La Figura 2.2 muestra la relación del parámetro de la temperatura con el oxígeno disuelto.

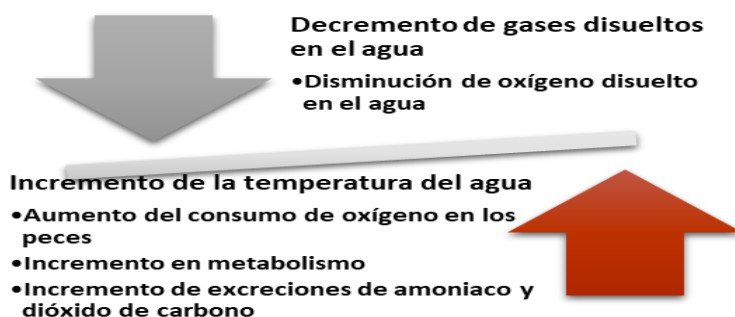


Figura 2.2 Relación de la temperatura con respecto al oxígeno disuelto en el agua

2.2.4.3 El oxígeno disuelto en la acuicultura

El oxígeno disuelto es una variable de gran importancia en la acuicultura, el manejo del oxígeno es crítico para la gestión de la calidad del agua en las unidades productoras acuícolas (Boyd,

2018). Este parámetro fisicoquímico está fuertemente relacionado con el metabolismo de los peces, según Castelló (2013), los valores bajos pueden provocar estrés severo, falta de apetito, disminución en el metabolismo y, por consiguiente, crecimiento reducido. Las Tilapias pueden adaptarse a medios con concentraciones inferiores a 3 mg/L, reduciendo su consumo de oxígeno, e incluso cambiando a un metabolismo anaeróbico (De la Ossa V. & Botero A., 2003).

Según Asiain et al. (2011), durante el ciclo de cosecha del pez, la cantidad de oxígeno disuelto “*no debería ser inferior a 4 mg/L*”, de modo que se eficiente la actividad fisiológica de la Tilapia. Valores superiores a 4.5 mg/L se suelen reconocer como el “rango deseable para el crecimiento” de la Tilapia (Nicovita, 2002). Si bien, cantidades bajas de oxígeno disuelto se asocian a los metabolitos potencialmente tóxicos, como el dióxido de carbono, el amoníaco, los nitritos y el sulfuro (Boyd, 2022), los valores altos de esta variable de calidad del agua representan un sobre proceso de los mecanismos de aireación, que se traduce como un desperdicio de energía eléctrica y gasto monetario innecesario.

2.2.4.4 Oxígeno e impacto del dióxido de carbono

Están estrechamente relacionado con la actividad biológica de los peces, se recomienda una concentración menor a los 20 mg/L, esto debido a que, a valores mayores, produce letargia e inapetencia en las Tilapias (Nicovita, 2002). Los peces evitan lugares con niveles bajos de 5 mg/L, e incluso llegan a tolerar concentraciones altas de 60 mg/L, siempre y cuando el oxígeno disuelto sea alto, sin embargo, ambas concentraciones presentan una relación negativa, normalmente concentraciones altas de dióxido de carbono se presentan “*cuando la concentración de oxígeno disuelto en el agua es baja*”, en especial cuando la fotosíntesis no ocurre con rapidez para ser absorbido por el fitoplancton (Timmons et al., 2002), (SENASICA, 2022).

Estas concentraciones de dióxido de carbono presentan un incremento durante la noche y un decremento durante el día, por lo que las unidades de producción acuícolas deben tener especial cuidado, entre las 3 de la madrugada y las 7 de la mañana, para detectar niveles bajos de oxígeno disuelto y evitar la muerte de la población cultivada (CONAPESCA, 2012). En la Figura 2.3 se

muestran las fluctuaciones del oxígeno en diversos momentos del día dependiendo la capacidad de fotosíntesis en los estanques de Tilapia.

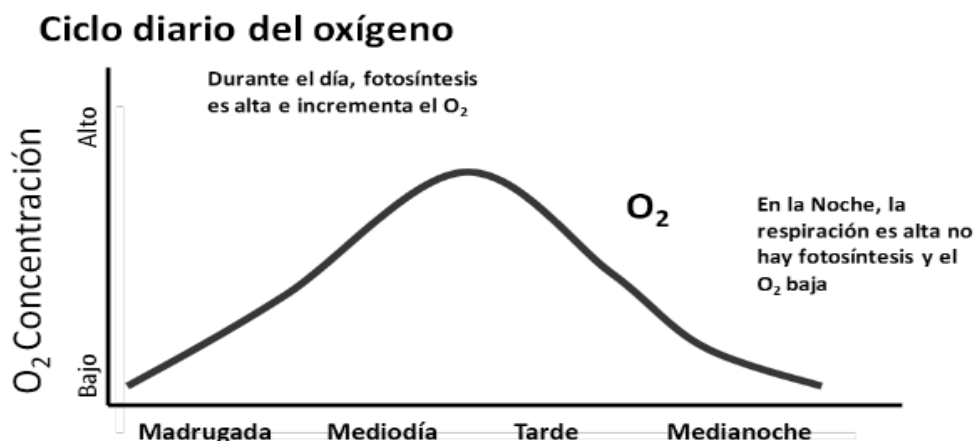


Figura 2.3 Efecto de la hora del día en la concentración de oxígeno disuelto
Fuente: Criterios Técnicos y Económicos para la Tilapia (CONAPESCA, 2012, pág. 74)

2.2.4.5 El amonio tóxico

Es el amonio no ionizado (NH_3) que resulta de las excreciones de los peces y la degradación del material orgánico, el grado de toxicidad aumenta a medida que el oxígeno disminuye mientras incrementa el pH y la temperatura, considerándose mortal para las Tilapias cuando se encuentra en valores arriba de 0.1 mg/L (SENASICA, 2022), los valores cercanos provocan “*lesiones en órganos internos, inmunosupresión y susceptibilidad a las enfermedades, reducción del crecimiento y la sobrevivencia*” (Nicovita, 2002). Lo anterior aunado al aumento de pH incrementa los valores de amonio que están relacionados con la mortalidad de los peces a causa de los estreptococos del grupo B (EGB) (FAO, 2022). En la Figura 2.4 se muestra la relación del amonio tóxico con los demás parámetros.

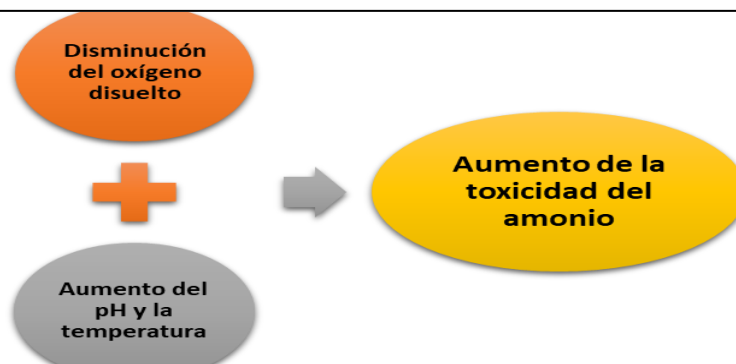


Figura 2.4 Relación del amonio tóxico con el oxígeno disuelto, el pH y la temperatura

De acuerdo a la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2016), FAO por sus siglas en inglés, la medición de los parámetros fisicoquímicos de calidad del agua se clasifica de acuerdo a la ubicación en donde se realiza:

1. Directa: la medición es tomada por medio de materiales o instrumentos, siendo un método que permite recolectar información de forma inmediata. La información se analiza en el sitio exacto en el estanque.
2. Indirecta: la información se analiza fuera del estanque.
 - a. A un lado del estanque. Se utiliza un recipiente, en el cual se le agregan sustancias químicas para analizar el agua junto del estanque. Aunque en este método no resulta fácil un sitio preciso durante la obtención del agua.
 - b. En un laboratorio. El agua obtenida se conserva para mantenerse sin modificación alguna, posteriormente se lleva al laboratorio en donde se analiza por medio de equipos y métodos precisos.

2.3 Seis Sigma

2.3.1 Definición

Seis Sigma, es definido de diferentes formas, a continuación, se muestran tres definiciones de diferentes fuentes de información:

- Como métrica, se puede entender al *“rendimiento de calidad Seis Sigma como un equivalente a 3.4 defectos por millón de oportunidades”* (ASQ, 2022).
- Como filosofía: *“Filosofía de negocios enfocada en la satisfacción del cliente, que demuestra niveles de calidad del 99.9997% estos niveles los alcanza, por medio de herramientas y métodos estadísticos”* (Lean Progress, 2020).
- Como metodología: *“Metodología basada en datos, centrada en el cliente y orientada a resultados, que utiliza herramientas y técnicas estadísticas para eliminar sistemáticamente los defectos e ineficiencias para mejorar los procesos”* (6sigmastudy, 2014).

Con estas definiciones, se dice que Seis Sigma es una métrica estadística con la cual se puede medir el rendimiento o la calidad en un proceso productivo, esto siendo *“una proporción de errores de 3.4 partes por millón”*, por otro lado, se entiende como una filosofía de negocios ya que trasciende el simple *“recuento de defectos para también determinar los procesos que realmente aportan valor añadido al cliente”* y por último, se dice que Seis Sigma es una metodología al ser implementada sistemáticamente por medio de diferentes métodos de resolución de problemas, los cuales son interrelacionados y ejecutados en conjunto en los diferentes procesos clave de la empresa (Arranz Barradas, 2003).

2.3.2 Antecedentes y evolución

El término *“sigma”* (letra del alfabeto griego) es un término y un símbolo que describe la variabilidad en un conjunto de datos, *“en estadística representa la desviación típica y la varianza”*. Seis Sigma implica una proporción de errores de 3.4 partes por millón (Arranz Barradas, 2003)

Folaron y Morgan (2003), destacan algunos acontecimientos relacionados a la concepción de Seis Sigma como estrategia de negocios, incluyen: la invención de la desmontadora de algodón por parte de Eli Whitney, y el sistema de uniformidad en 1787, la introducción de la producción en masa y piezas intercambiables en 1798, la organización de estándares británicos en 1901,

Henry Ford y la línea de montaje en movimiento en 1913, Walter Shewhart presentando el primer gráfico de control de procesos en 1924, el aseguramiento y control de calidad sofisticados en 1930, el fin de la Segunda Guerra Mundial, con Estados Unidos de América (EUA) absorbiendo el costo de inspección y clasificación en 1945, el crecimiento en el uso de la estadística y EUA exigiendo niveles de calidad en 1950, Juran en Japón presentando sus principios de gestión de calidad en 1954, enfocándose en eliminar defectos y reducir tiempo de ciclo en 1973, presento la Trilogía de la calidad en 1979, la emisión del documental “*If Japan Can, Why Can't We?*” 1980, la Organización Internacional de Normalización (ISO) estableciendo estándares de calidad en 1987, la creación del Premio Nacional de Calidad Malcolm Baldrige en 1987, los problemas de calidad y el origen de Seis Sigma en Motorola y en el año 1987, la expansión de Seis Sigma más allá de Motorola en 1988, la introducción de QS-9000 para proveedores de automóviles en 1994, y por último, General Electric haciendo obligatoria la implementación de Seis Sigma en 1995.

2.3.2.1 Origen de Seis Sigma

Seis Sigma tuvo su origen en *Motorola*, en 1979, cuando Art Sundry dijo que “*la calidad apestaba*”. Donde se estudió la relación entre ocurrencia de defectos y el tiempo entre fallos, es decir, la correlación entre la vida útil del producto y la cantidad de veces que se había reparado durante la fabricación., se encontró que, si hay defectos en el momento de la misma producción, es probable que habría otros fallos, y que estos podrían ser descubiertos por los consumidores. Los cálculos estadísticos realizados, definieron la necesidad establecer que 3.4 defectos por millón de oportunidades para satisfacer a los clientes y con ello bajar costos, siendo esta la primera definición de Seis Sigma establecida por Bill Smith en Motorola (Alonso, 2003).

Motorola, encabezado en el momento por Bob Galvin, realizó un benchmarking para comparar tasa de defectos de diferentes productos, descubriendo que el nivel sigma actual era de 4, mientras que los japoneses estaban en obtener un nivel de 6, siendo 1,800 veces mejores en calidad, con la comparación y la correlación, la dirección se convenció para mejorar la calidad (Alonso, 2003).

2.3.2.2 Calidad Seis Sigma

En los 80's cuando se lanzó el programa “*Calidad Seis Sigma*” Motorola tenía una participación en el mercado de 75 %, se tomaron en serio el comentario de Art Sundry para hacer lo posible para mejorar la calidad y lograr los 3.4 defectos por millón de oportunidades, siendo este un nivel 6 sigma, expresión que dio origen al término “*Six Sigma*” por sus siglas en inglés. De esta manera, se fundó la Universidad Motorola para enseñar los principios de Seis Sigma., revelar sus secretos fue visto como una oportunidad de ventas realizando clases entre 1988 y 1995, y difundir los principios de la metodología, técnica o filosofía de negocios (Godfrey, 2003).

2.3.3 Características, ventajas y roles

2.3.3.1 Características de Seis Sigma

La Sociedad americana para la calidad (ASQ) (2022) describe a Seis Sigma como: filosofía, metodología, estrategia o métrica, sin embargo, algunas de las características generales y compartidas sobre Seis Sigma son:

1. Los proyectos que son bien definidos y que son gestionados por equipos, “*tienen un impacto directo en los resultados de la organización*”.
2. El personal puede ser formado en pensamiento estadístico, y los miembros clave pueden ser formados en técnicas de estadística avanzada y dotados de herramientas que les facilite la gestión de los proyectos a los miembros clave se les conoce como “*Black Belt*” roles de Seis Sigma.
3. La estrategia Seis Sigma se apoya de la metodología “*DMAIC*”, el cual se enfoca en la resolución de problemas por medio de sus 5 etapas: definir, medir, analizar, mejorar y controlar.
4. Las organizaciones generan entornos de gestión que incentivan al desarrollo de más proyectos Seis Sigma, lo que, a su vez, apoya a la estrategia de la organización de perseguir la mejora continua.

2.3.3.2 Ventajas de Seis Sigma

Según Selvi y Majumdar (2014), las ventajas que tiene la estrategia Seis Sigma son:

- Lograr un nivel de calidad de 6 sigmas “*se refiere a tener 3.4 defectos por millón de oportunidades o muestras*”.
- Se tiene como objetivo la satisfacción total del cliente, a su vez que se minimizan los defectos.
- Implementar “*la metodología Seis Sigma resultará en el aumento de la rentabilidad y la reducción de costos*”.
- Se puede implementar en todos los tipos de comercios, incluyendo el ROI (retorno de la inversión) y retorno de ventas.
- Seis Sigma “*se enfoca en la mejora del proceso en lugar del resultado final*”.
- Enfocarse en prevenir los defectos, en vez de corregirlos, resulta en una metodología más prospectiva que otras metodologías.
- “*La capacitación es parte del sistema de gestión.*”
- Promueve la mejora continua en todos los niveles de las organizaciones, ya que los problemas emergentes serán identificados y corregidos más rápido.
- En cuestión de costos, los ahorros pueden encontrarse en la reducción de reprocesos, desechos y devoluciones.
- Al ser una estrategia basada en datos, los cambios solo se realizan si el proceso se comprende a profundidad y se documenta.

2.3.3.3 Roles en Seis Sigma

La Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR) (2012) define los roles relacionados a la estrategia Seis Sigma como los siguientes:

1. “*Champion*”: ejecutivo responsable de establecer la estrategia para desplegar Seis Sigma en la organización, así como de también, establecer objetivos de negocio relacionados.
2. Responsable del despliegue: es quien sigue y gestiona el despliegue de Seis Sigma, también tiene diferentes actividades como: promover la iniciativa, determinar junto el número de personal relacionado con Six Sigma y su nivel, “*informa a la dirección el progreso de la iniciativa*”. También puede buscar posibles proyectos.
3. Patrocinador del proyecto: defiende la metodología, da soporte a los proyectos, provee recursos, elimina obstáculos, participa en las “revisiones de proyectos y da su aprobación formal”.
4. “*Master Black Belt*”: apoya y aconseja a los “*Black Belt*”, da soporte a que las mejoras se consigan y se mantenga, “*provee consultoría interna en estadística avanzada*”, puede dar asistencia en revisiones de proyectos.
5. “*Black Belt*”: identifica áreas de oportunidad, “organiza equipos multidisciplinarios y lidera proyectos de mejora”, entrena y aconseja a los “*Green Belt*”, participa en revisiones de proyectos.
6. “*Green Belt*”: trabaja en planta para identificar áreas de oportunidad de forma local, es dirigido por un “*Black Belt*”, lidera proyectos Seis Sigma de pequeño alcance y aconseja a los “*Yellow Belt*”.
7. “*Yellow Belt*”: trabajan con los “*Green Belt*” para identificar áreas de mejora de forma local y participa en proyectos de pequeño alcance bajo estos, en proyecto más amplios es supervisado por “*Black Belt*”.

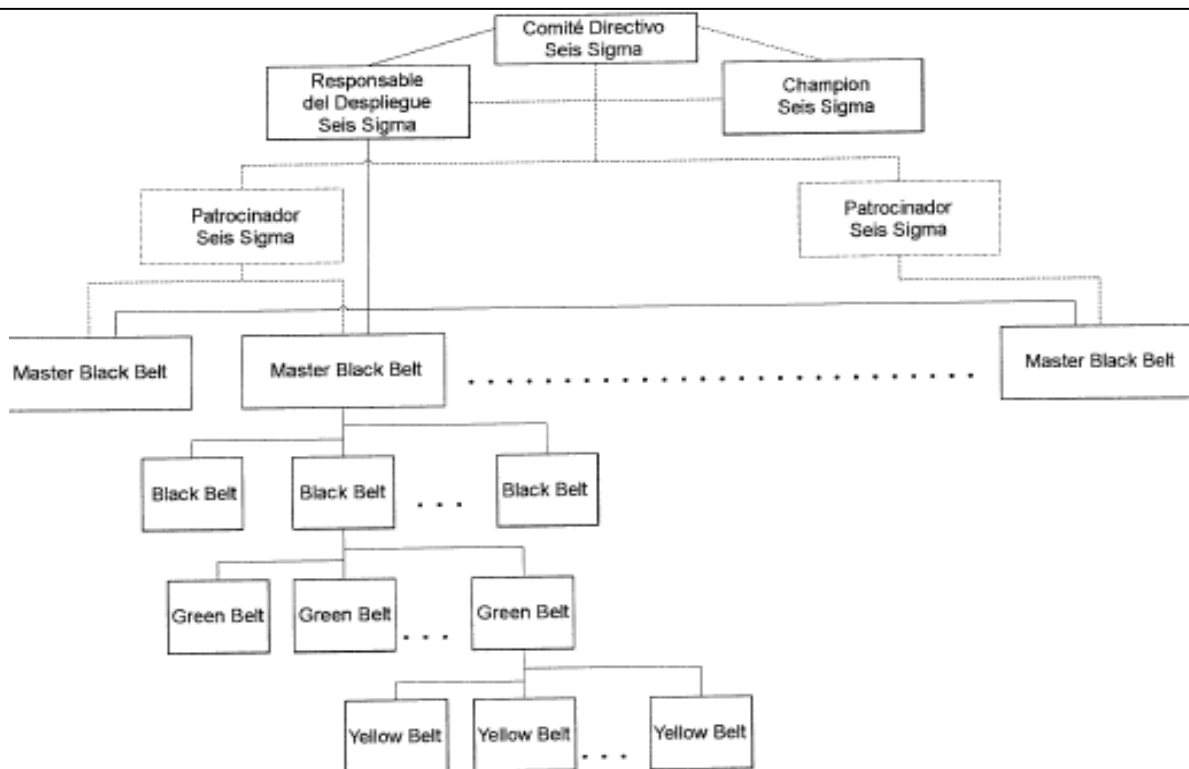


Figura 2.5 Ejemplo de los roles Seis Sigma y de sus interrelaciones (AENOR, 2012)

2.3.4 Etapas de los proyectos Seis Sigma

Los proyectos de Seis Sigma suelen aplicarse por medio de la metodología Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar (“DMAIC” por sus siglas en inglés, y en español DMAMC), aunque hay proyectos de Seis Sigma que se han implementado de la mano de otras metodologías (Escalante Vázquez, 2013). La metodología del círculo de Deming: el PHVA (siglas de Planear, Hacer, Verificar y Actuar), también ha servido de base para la realización de proyectos de mejora que tengan relación con Seis Sigma (Giron Huerta, 2021).

2.3.4.1 Metodología DMAIC

"DMAIC" es la metodología que comúnmente acompaña a la estrategia Seis Sigma durante los proyectos de mejora de productos o de procesos que ya existan, es decir, es una metodología que se usa *"cuando un producto o proceso existente requiere mejorar para cumplir los*

requisitos del cliente" (6sigmastudy, 2014). Escalante Vásquez (2008) explica las etapas de la metodología “DMAIC” de la siguiente forma:

1. **Definir:** se define el problema y se describe “*el efecto provocado por una situación adversa*”, así como también se definen objetivos.
2. **Medir:** se describe el proceso, sus elementos, pasos, así como también sus entradas y salidas. También se evalúa “*la capacidad y estabilidad del sistema de medición*”.
3. **Analizar:** se determinan “*las variables significativas por medio de diseño de experimentos y/o estudios multivari, para medir la contribución de esos factores en la variación del proceso*”. Así como también se evalúa “*la estabilidad y la capacidad del proceso*”.
4. **Mejorar:** se optimiza el proceso para “*reducir su variación*”. De igual forma, se valida la mejora.
5. **Controlar:** se le da “*seguimiento al proceso*”. Se monitorea y se mejora continuamente, aplicando “*condiciones, materiales, procedimientos, que conduzcan a un mejor desempeño del proceso*”.

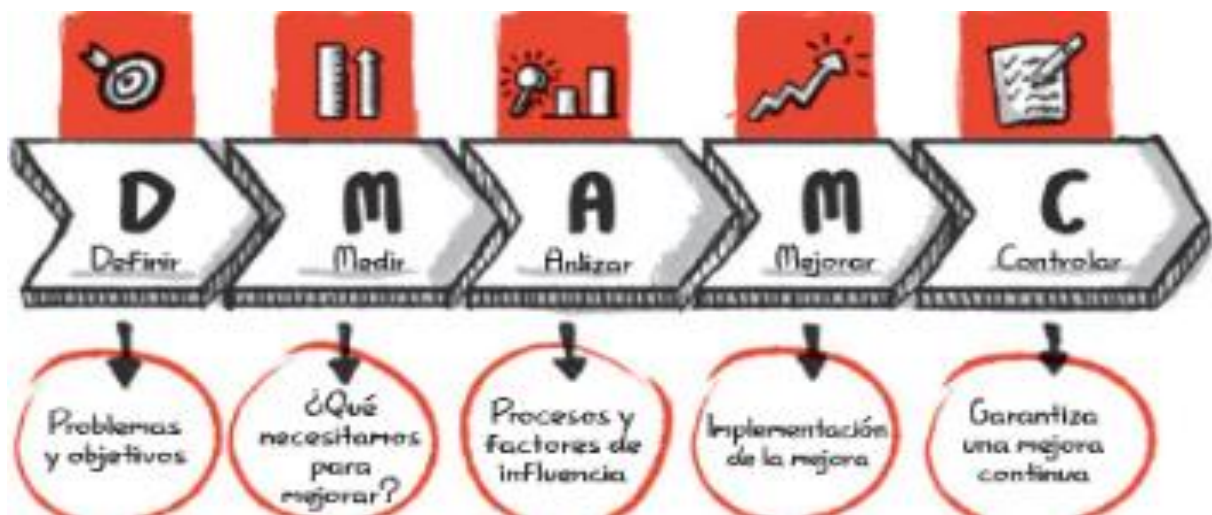


Figura 2.6 Representación gráfica de las etapas de la metodología (Reato & Socconini, 2019)

2.3.4.2 Metodología R-DMAIC

Algunos autores y expertos en Seis Sigma proponen una fase previa a la etapa Definir, la cual se llama “Reconocer” o “Reconocimiento” (R en “RDMAIC”), esto debido a la ocurrencia de casos en donde no se reconocen los proyectos, no se tiene un modelo que garantice su culminación, o que “*los proyectos se seleccionen y definan vagamente*” (Ramírez Yañez, 2003).

Para Narayanan, etapa Reconocer se puede describir de la siguiente manera (Narayanan, 2012):

- Fase de Reconocimiento: “*reconocer las necesidades del negocio y seleccionar*” el proyecto en donde se va a implementar la metodología DMAIC.

2.3.5 Evidencias del uso de Seis Sigma en la literatura

Al revisar la bibliografía con respecto a Seis Sigma, se encontraron las siguientes evidencias de su uso:

1. Cruz (2019) aplicó Seis Sigma en una empresa del sector restaurantero, en El Salvador. El problema detectado durante la investigación fue descrito como la gran cantidad de dinero desperdiciado por concepto de porciones sobrantes de alimentos. Algunas variables significantes fueron la falta de estandarización instrumental y controles de producción. Se logró reducir el desperdicio entre un 40 % a un 73 %, incrementando las utilidades de la empresa en \$15 000.00 anuales.
2. Lima Rodríguez et al. (2021) realizaron una investigación con enfoque en Seis Sigma en una empresa de serigrafía en el estado de Tlaxcala, México. El problema más relevante fue el “*rechazo del proceso en el proceso de tampografía*”, con cuatro defectos destacables “*no adherencia de tinta, mal flameado, mal impreso, manchada*” que representan el 27.25 % de desperdicio, 272,500 PPM (partes defectuosas por cada millón producidas), dando un nivel sigma inicial de 2.11. Se dejó como trabajo a futuro la sugerencia de desarrollar e implementar mejoras.

Durante la revisión de literatura, no se encontró evidencia de la aplicación de la metodología Seis Sigma en el ámbito de la acuicultura para peces (piscicultura), siendo ampliamente utilizada en otros sectores económicos e industrias para mejorar la calidad y eficiencia de sus procesos productivos, entre los cuales, los más comunes son los sectores de manufactura y de servicios con una aportación del 43 % y del 17 % respectivamente (Srinivasan et al., 2016, pág. 240).

Respecto al continente americano y europeo, no se encontraron estudios previos o casos documentados que demuestren el uso de Seis Sigma en el campo acuícola. Pese lo anterior, en la India, se encontró evidencia de un proyecto centrado en la disminución de desperdicios en una compañía situada en la ciudad de Mumbai, sin embargo, el estudio se delimitó únicamente al proceso de camarón (Thamke, 2020, pág. 39).

2.4 Técnicas y herramientas aplicables en Seis Sigma

Las técnicas y herramientas que se utilizan dentro de la metodología Seis Sigma son muchas y muy variadas, entre ellas están las tradicionales de la calidad como el diagrama de Pareto, los gráficos de control, así como también las herramientas específicas utilizadas en manufactura como SMED y VSM. Dentro de las específicas de Seis Sigma se encuentra la voz del cliente y el diagrama SIPOC. Todas estas herramientas unidas y enfocadas bajo una gestión basada en datos, contribuye a tener una gran flexibilidad en la solución de problemas dependiendo el tipo de situación que se enfrenta.

Para analizar la situación que se presenta en este trabajo se decidió utilizar la estadística descriptiva, el control estadístico de proceso y el análisis de la capacidad del proceso, mientras que para describir y priorizar las fuentes de variación se utilizó el diagrama de Ishikawa y la matriz de priorización. Las soluciones fueron propuestas mediante lluvia de ideas y seleccionadas mediante el método de evaluación por puntos.

Una de las herramientas implementadas, el control estadístico del proceso, se encuentra anexada dentro de las llamadas Core Tools como herramienta indispensable para la industria automotriz, la cual, trabaja unido a los gráficos de control y a la capacidad del proceso.

2.4.1 Análisis de la capacidad del proceso

2.4.1.1 Definiciones

Al revisar la bibliografía con respecto al análisis de la capacidad del proceso, se encontraron las siguientes definiciones de este enfoque:

1. El análisis de la capacidad del proceso es una técnica que permite “*determinar si un proceso cumple los requisitos del cliente*”. Durante el estudio, se puede “evaluar la capacidad potencial (interna) y general del proceso” (Minitab, LLC, 2022).
2. Hansen y Ghare (1989, pág. 199) describen que: el análisis de la capacidad analiza “*hasta qué punto pueden resultar conformes*” los productos del proceso, es decir, qué tan capaz es para producirlos de forma correcta. En el estudio influyen tanto “*las tolerancias y especificaciones*” como los “*intervalos de la variación*”, en los cuales la mayoría de los datos estarán incluidos.

2.4.1.2 Evidencias del uso del análisis de la capacidad de proceso en la literatura

Al investigar los estudios publicados sobre capacidad de proceso, se observaron los siguientes casos de su empleo:

1. González et al. (2022) evaluaron la estabilidad y la capacidad del proceso en una empresa de pastas alimenticias, en donde “*se identificaron 66 toneladas de pérdidas asociados a la mala calidad de las pastas*” y se demostró que la humedad es una variable crítica en el proceso que debe controlarse. Por medio de diversas herramientas de mejora, el proceso pasó de 14.58 % de defectos a 2.53 %.

2. Fuentes et al. (2021) realizaron un proyecto de investigación en una empresa que fabrica faros para la industria automotriz, en donde se implementó el análisis de la capacidad del proceso, dicho estudio utilizó la distribución estadística de Poisson con un nivel de confianza del 95 %, demostrándose que la presencia de “*defectos ocurre cada cuatro lentes producidos*” con un DPU promedio de 0.265, evidenciando el problema del mal método de limpieza. Tras la implementación de diversas herramientas de mejora, los DPU promedio fue de 0.031, es decir, presentando una ocurrencia de defecto por cada 32 producidos.

2.4.2 Control Estadístico del Proceso (CEP)

2.4.2.1 Definiciones

Algunas definiciones sobre el control estadístico del proceso (CEP) son descritas a continuación:

1. González Álvarez et al. (2022) definen al CEP como: “*conjunto de herramientas y técnicas que permiten verificar, monitorear y controlarla variabilidad de los procesos, para mejorar la calidad de los productos y la competitividad.*”
2. Lefcovich (2009) contempla al CEP como: “*una técnica estadística para asegurar que los procesos cumplen los estándares*”. La importancia de esta técnica está en reconocer la variabilidad del proceso, e identificar cuando esta variación se origina “*por causas naturales*” del mismo proceso o por causas especiales ajenas.

2.4.2.2 Evidencias del uso del CEP en la literatura

Al examinar la literatura relacionada con el control estadístico del proceso, se descubrieron las siguientes pruebas de su aplicación:

1. Núñez Esquivel et al. (2021) presentaron un artículo en donde se contemplan *"los tiempos de improductivos del proceso del área de Metalizado, en la empresa Metalyzinc S.A. de C.V"*. El problema identificado fue la mala organización en el área de metalizado, debido a que no se alcanzaban los requerimientos mínimos del área de calidad, por lo que se implementaron diferentes herramientas dentro de la metodología DMAIC, en la fase Controlar se hizo presente el control estadístico del proceso, el cual *"se adecuó a los procedimientos establecidos por el departamento de calidad"* integrados al propio sistema de gestión de calidad de la empresa.
2. Pineda Morán (2016) , realizó la *"implementación del control estadístico para la calidad en la empresa Sofos Multisport"*, esto con la finalidad de *"reducir la variabilidad de tallas del proceso de elaboración del calentador deportivo en tela vioto"*. El proceso, antes de las mejoras, presentó un nivel Cp de 0.69 respecto al largo del pantalón, el cual subió a un 1.38 gracias a *"la implementación de manuales de procedimientos estandarizados"*.

2.4.3 Análisis de Correlación

2.4.3.1 Definiciones

Tras una investigación exhaustiva de la literatura sobre el análisis de correlación, se identificaron las siguientes descripciones de esta herramienta estadística:

1. Joaquín Amat (2016) explica que el análisis de correlación *"cuantifica como de relacionadas están dos variables"* esto sin considerar el orden o la dependencia entre ambas. Entre los coeficientes de correlación más conocidos están: *"coeficiente de Pearson, Rho de Spearman y Tau de Kendall"*.
2. La correlación es una técnica estadística *"para medir la fuerza y la dirección de la asociación entre dos variables"*. El coeficiente de correlación de Pearson, representado con la letra r, *"mide la relación lineal entre dos variables continuas"* (Minitab, LLC, 2022).

2.4.3.2 Evidencia del uso del análisis de correlación en la literatura

Tras una revisión exhaustiva de la bibliografía sobre el análisis de correlación, se identificaron los siguientes ejemplos de su implementación:

1. Navarrete y Casique (2019), realizaron un proyecto de investigación para “*determinar la relación entre la percepción de la cultura organizacional y su relación con el estrés en trabajadores*” en una entidad privada en Celaya, Guanajuato. Como resultado del estudio, el coeficiente de correlación de Pearson resultó en un valor de 0.6116, el cual es “*una relación moderada directa*”, determinando que existe evidencia de correlación entre el estrés laboral y la cultura organizacional.
2. Amábilis Sosa et al. (2020) llevaron a cabo un “*estudio descriptivo y correlacional en el desperdicio de hortalizas en los restaurantes de Culiacán, Sinaloa*”. El estudio contempló variables como la adquisición, las pérdidas y los desperdicios de hortalizas, el tipo de manejo que les dan, así como los tipos de restaurantes o incluso el número de clientes. Una de las conclusiones del estudio demostró que no hay correlación significativa entre la adquisición y el almacenamiento, mientras que, por otro lado, demuestra la necesidad de implementar soluciones para la reducción del desperdicio en los restaurantes.

2.4.4 Cost of Poor Quality (COPQ)

2.4.4.1 Definiciones

Es conocido como costos de calidad en español, sin embargo, esta traducción pierde el impacto que sugiere que la mala calidad genera una pérdida económica determinada, algunas de sus definiciones son:

1. Furterer (2013, pág. 37) describe al COPQ como un indicador del “*costo relacionado con la mala calidad*”, en otras palabras, se entiende que es un análisis que “*traduce defectos, errores y desperdicios*” en términos de dinero.

2. Harrington (1990, pág. 2) define al COPQ de la siguiente forma: *“cualquier coste en que incurre la empresa y el cliente porque la producción no cumplió las especificaciones y/o las expectativas del cliente”*.

2.4.4.2 Evidencia del uso del COPQ en la literatura

Tras analizar la documentación disponible sobre análisis de costos de la pobre calidad, se hallaron las siguientes muestras de su utilización:

1. Miranda Chavez et al. (2021) realizaron un estudio para *“identificar y corregir los tipos de defectos más repetitivos en el proceso productivo de piezas de acero y hierro”*, estos defectos son: *“Inclusiones de arena, inclusiones de escoria y sopladura”*. Durante el estudio utilizaron el COPQ en torno al porcentaje de ventas, calculando las pérdidas por chatarra durante el 2015, el cual, era de 620,628.72 unidades monetarias y se redujo en 10 % para el mes de julio, al implementar diferentes técnicas de mejora continua con las cuales *“el porcentaje de rechazo se redujo de 16.37 % a 9.5 %”*.
2. Gómez Alfonso (2013, pág. 114) realizó una investigación para realizar el cálculo de costos de calidad en la empresa Unidad Empresarial de Base Producciones Varias de Cienfuegos, en el cual se determinaron los costos de fallas internas en el subproceso de materiales de la construcción, determinando una cantidad de 659.81 unidades monetarias, por concepto de retrabajo de elaboración de bloques, durante el trimestre no se presentaron fallas externas.

2.4.5 Diagrama de árbol

2.4.5.1 Definiciones

Después de una revisión exhaustiva de la literatura sobre el diagrama de árbol, se encontraron las siguientes descripciones:

1. Gómez Fraile et al. (2003, pág. 235) define al diagrama de árbol como: técnica visual *"para representar el conjunto completo de actividades que es necesario realizar con el fin de alcanzar un objetivo"* determinado, así como también los objetivos específicos con los que tenga relación.
2. López Lemos (2016) describe al diagrama de árbol de la siguiente forma: *"herramienta que representa gráficamente todos los posibles resultados de un suceso, siempre que estos sean un número concreto y finito"*.

2.4.5.2 Evidencia del uso del diagrama de árbol en la literatura

Tras analizar la documentación disponible sobre el diagrama de árbol, se hallaron las siguientes muestras de su utilización:

1. Franklin y Sánchez (2008) realizaron un proyecto de mejora en la empresa PESA Uniformes S.A. de C.V. en el cual utilizaron el diagrama de árbol para definir las características críticas de calidad (CTQ), de forma que se descomponen los requerimientos difíciles de comprender en características más identificables y medibles. Por medio de herramientas de mejora, el proceso de facturación tuvo un ligero incremento, el cual se refleja en el indicador Cpk, que pasó de 0.07 a 0.25, que, aun así, sigue siendo un proceso incapaz pero que mejoró en la característica de la centralidad del proceso.
2. Fons (2020) realizó *"un plan de mejora para un proceso de mantenimiento de aeronaves"* para *"reducir la duración excesiva de las revisiones de mantenimiento"* en la empresa Indra Sistemas. Durante el proyecto se aplicó la voz del cliente (VOC) para *"identificar los parámetros clave en los requerimientos de calidad"* del cliente (CTQ), dichos parámetros se estructuraron por medio de un diagrama de árbol, para su comprensión. Se tuvo un rendimiento del 31 % con un Cpk del 0.50 respecto a la duración del mantenimiento, no se calculó el rendimiento posterior a la implementación de las mejoras.

2.4.6 Diagrama de flujo de procesos

2.4.6.1 Definiciones

Luego de una investigación detallada de la literatura existente sobre el diagrama de flujo de procesos, se descubrieron las siguientes descripciones:

1. Niebel y Freivalds (2009, pág. 29) proponen lo siguiente: *"el diagrama de flujo o recorrido es una representación gráfica de la distribución de los pisos y edificios que muestra la ubicación de todas las actividades"*, en esencia es un *"diagrama de las áreas de la planta involucradas"* y relacionadas con líneas de flujo bosquejadas.
2. Escalante Vásquez (2006, pág. 73) define al diagrama de flujo como: una descripción visual que permite *"señalar los elementos del proceso, sus pasos, entradas, salidas y variables"*. Este diagrama puede ser aprovechado para encontrar áreas de oportunidad como *"eliminar pasos, hacerlos más rápidos, hacer pasos en paralelo"*, entre otras mejoras.

2.4.6.2 Evidencia del uso del diagrama de flujo de procesos en la literatura

Al investigar los estudios publicados sobre el diagrama de flujo de procesos, se observaron los siguientes casos de su empleo:

1. Martínez et al. (2021) implementaron un trabajo en la empresa Towel S.A. de C.V. para lograr la *"reducción del desperdicio en los procesos: urdido y engomado para la fabricación de toallas"*. La metodología incluye la identificación de las fuentes de desperdicio, la cual se llevó a cabo mediante dos diagramas de flujo, uno para el proceso de urdido y otro para el proceso de engomado, con estos diagramas, se pudo identificar desperdicios como: defectos y sobre producción. En el proyecto se pudo identificar el OEE promedio de cada proceso, un 81 % para el proceso de urdido y un 80 % para el de engomado.

2. Ojeda Burgos (2015) realizó un trabajo de aplicación de herramientas de mejora para *“disminuir el costo de inventario en el proceso de re-trabajo en una compañía de dispositivos médicos”*. Durante el proyecto se apoyó del diagrama de flujo para el proceso de retrabajo para identificar actividades dirigidas a la mejora, así como también se realizó un diagrama de flujo del proceso ya mejorado tras optimizarse e implementarse *“una instrucción de trabajo estándar para los defectos”*, permitiendo, a su vez, la reducción de los rechazos internos y externos.

2.4.7 Diagrama de Causa-Efecto, Sakana no hone, o de Ishikawa

2.4.7.1 Definiciones

Al revisar la bibliografía con respecto al diagrama de causa y efecto, también conocido como diagrama de Ishikawa, se encontraron las siguientes definiciones de esta herramienta:

1. Ishikawa (2003, pág. 77) explica que la definición del diagrama de causa y efecto: es un diagrama que *“muestra la relación entre las características y los factores casuales”* de una situación o un problema identificado.
2. Walter Stachú (2009) lo describe de la siguiente forma: *“el diagrama de Ishikawa conocido también como causa-efecto, es una forma de organizar y representar las diferentes teorías propuestas sobre las causas de un problema”*.

2.4.7.2 Evidencia del uso del diagrama de Ishikawa en la literatura

En la bibliografía consultada se encontraron diversas aplicaciones del diagrama de causa-efecto, entre ellas:

1. Argüelles y Miranda (2021) realizaron un plan para el mantenimiento de los taxis de Satelitaxi S.C. en el cual, por medio de un diagrama de Ishikawa y otras herramientas, indicando que: *“se obtuvieron las fallas que se presentan con mayor frecuencia y que*

tienen mayor impacto en el funcionamiento del vehículo”, estas fallas se estructuraron en el diagrama de pescado bajo las 6M (mano de obra, maquinaria, materia prima, medición, medio ambiente y método) para el efecto del retraso del mantenimiento del vehículo, cuyo resultado concluyó en *“la falta de un plan de mantenimiento y la necesidad de una instalación eléctrica adecuada”*.

2. González et al. (2018) realizaron una investigación en una empresa gasera *“con el objetivo de generar un plan de acción para la optimización del proceso de llenado de cilindros”* en el área de llenado. Durante el proyecto, utilizaron el diagrama de Ishikawa para identificar las causas del efecto *“tiempo de espera de las rutas fuera del estándar en el andén”*, presentando diversas causas orientadas a las 4M (medio ambiente, métodos, mano de obra y maquinaria), que, con ayuda de otras herramientas, se concluyó que se deben *“mantener en movimiento los cilindros durante todo el proceso”*.

2.4.8 Diagrama de Pareto

2.4.8.1 Definiciones

El diagrama de Pareto permite escoger los puntos vitales (20 %) que ocasionan el 80 % de los problemas en una situación dada, la aplicación original fue hecha en el aspecto económico, hoy en día es ampliamente utilizado en el área de calidad, producción, compras, ventas, entre otras. Al revisar la bibliografía con respecto al diagrama de Pareto se encontraron las siguientes definiciones:

1. Walter Stachú (2009) señala lo siguiente: *“el diagrama de Pareto es una comparación ordenada de factores relativos a un problema. Esta comparación nos va a ayudar a identificar y enfocar los pocos factores vitales diferenciándolos de los muchos factores útiles”*.
2. Baca Urbina (2015) define al diagrama de Pareto de la siguiente forma: *“es una gráfica de barras combinada con una curva de tipo creciente que indica el porcentaje que representan los datos graficados en las barras”*. Sirve para determinar el orden de

importancia de las causas de un efecto determinado; en otras palabras, *“proporciona información sobre las causas más importantes que provocan un problema”*.

2.4.8.2 Evidencia del uso del diagrama de Pareto en la literatura

Al examinar la literatura relacionada con el diagrama de Pareto, se descubrieron las siguientes pruebas de su aplicación:

1. Lima Rodríguez et. al. (2021) realizaron una investigación en una empresa de serigrafía en el estado de Tlaxcala, México. La investigación se enfocó en el problema de *“rechazo del proceso en el proceso de tampografía”* (en la tapa plástica impresa), y por medio de un diagrama de Pareto, se pudo identificar dos defectos destacables durante el proceso: no adherencia de tinta y mal flameado, que junto a los defectos: mal impresa y manchada, representan el 27.25 % de desperdicio para el proceso de tampografía, lo que se traduce a 272,500 partes defectuosas por cada millón producidas (PPM).
2. Morales Guzmán et al. (2019) realizaron un trabajo para *“reducir en un 25 % la cantidad de reclamos que producción hace a calidad por entregarle material de mala calidad”*, en el cual, por medio de un diagrama de Pareto, identificaron las causas de los reclamos que presentan mayor frecuencia, siendo estos: falta de adhesivo y exceso de adhesivo en las piezas; con esta información, se realizaron propuestas de mejora que al implementarse, lograron reducir los reclamos por semana de 29 a solo 18 en promedio .

2.4.9 Diagrama matricial

2.4.9.1 Definiciones

Tras una investigación exhaustiva de la literatura sobre el diagrama matricial, se identificaron las siguientes descripciones de esta herramienta:

1. Gómez Fraile et al. (2003, pág. 261) definen al diagrama matricial de la siguiente forma: *"herramienta que ordena grandes grupos de características, funciones y actividades de tal forma que se pueden representar gráficamente los puntos de conexión lógica existente entre ellos"*.
2. López Lemos (2016) expresa su definición como la siguiente: *"el diagrama de matriz o diagrama matricial, permite establecer también relaciones entre ideas pertenecientes a categorías diferentes. Una de ellas se coloca en forma de fila y la otra de columna"*.

2.4.9.2 Evidencia del uso del diagrama matricial en la literatura

Tras una revisión exhaustiva de la bibliografía sobre el diagrama matricial, se identificaron los siguientes ejemplos de su implementación:

1. Osorio et al. (2017, pág. 135) presentaron *"una metodología para la gestión de los riesgos operacionales en una compañía proveedora de servicios logísticos"* en Colombia, dentro de la propuesta utilizaron el diagrama matricial para darle forma a dos matrices, el primero resultó en la *"matriz de probabilidad impacto para los riesgos de la empresa 3PL"*, mientras que la segunda aplicación es la *"priorización de los riesgos identificados en la empresa 3PL"*. Entre las conclusiones que presenta la investigación, se encuentra la número 4, en la que se afirma que se puede aplicar en cualquier tipo de industria.
2. Salinas et al. (2010, pág. 47) realizaron un trabajo de mejora para *"lograr la reducción de PPMs en el proceso de ensamble de bobina a domo en bocinas de 19 y 25 mm"* en donde aplicaron la herramienta del diagrama matricial para crear una matriz de causa y efecto, en donde se pondera cada criterio de aceptación en tres niveles: 1, 4 y 9, para determinar los pasos del proceso en donde se deben priorizar las características de: tiempo de vida, funcionalidad, apariencia y adhesión; los pasos con mayor puntaje fueron: burbujas de aire y herramental.

2.4.10 Diagram SIPOC (Supplier, Inputs, Process, Outputs, Customers)

2.4.10.1 Definiciones

Después de una revisión exhaustiva de la literatura sobre el diagrama SIPOC, el cual debe su nombre a las siglas de “*Supplier, Inputs, Process, Outputs, Customers*” (proveedores, entradas, proceso, salidas y clientes en español), se encontraron las siguientes descripciones:

1. Tovar (2007, pág. 38) describe el diagrama SIPOC como: un mapa de alto nivel que permite "*identificar la interrelación y delimitación de los procesos*" para posteriormente posibilitar su optimización. Con este diagrama se logra "*visualizar al proceso de manera sencilla y general*".
2. Soleimannejed (2004, pág. 107) explica lo siguiente acerca del modelo SIPOC: permite establecer el alcance de los proyectos Seis Sigma y los límites de los procesos. En su construcción se incluyen proveedores, entradas, procesos, salidas y clientes, de tal forma que se muestren las interacciones entre los mismos. Con el diagrama, se da "*una idea clara del comienzo del proceso y los puntos finales*" del mismo.

2.4.10.2 Evidencia del uso del diagrama SIPOC en la literatura

Tras analizar la documentación disponible sobre el diagrama SIPOC, se hallaron las siguientes muestras de su utilización:

1. Poblano Ojinaga et al. (2021, pág. 449) aplicaron la metodología definir, medir, analizar, mejorar y controla (DMAIC) y la técnica “*Seis Sigma en una empresa metal-mecánica de la Región Lagunera, con la finalidad de incrementar la utilidad*” de los proyectos generados por el Departamento de Producción. Durante la etapa Medir, se implementó un diagrama de proveedores, clientes, proceso, salida y clientes (SIPOC), considerando la cadena de suministros y con los requerimientos de los clientes. Con la implementación de las demás herramientas de mejora, el proceso presentó un incremento en el nivel sigma de 2.2144 a 3.3339.

2. Zamora Fonseca et al. (2012) realizaron un proyecto de investigación para *“diseñar los procedimientos que identifiquen directamente los procesos claves de la biblioteca universitaria”*, enfocándose en la descripción del proceso de selección y adquisición o desarrollo de colecciones. Se utilizó el diagrama SIPOC para comprender el proceso de información (la actividad principal de la biblioteca) y poder identificar las diferentes variables que lo componen, posteriormente, se elaboró otro diagrama SIPOC enfocado en el proceso de selección y adquisición, agregando una columna para identificar los requerimientos entre el proceso y las salidas. Entre las conclusiones de la investigación se destaca el valor metodológico *“para el entrenamiento de los actuales ocupantes de los cargos técnicos y especialistas de la biblioteca”*.

2.4.11 Gráficos de control

2.4.11.1 Definiciones

Luego de una investigación detallada de la literatura existente sobre los gráficos de control, se descubrieron las siguientes descripciones:

1. Escalante Vásquez (2006, pág. 225) define a los gráficos de control como: *“herramientas estadísticas que muestran el comportamiento de cierta característica de calidad de un proceso o producto”* a lo largo de un tiempo determinado.
2. Baca Urbina (2015) describe los gráficos de control de la siguiente forma: *“herramientas estadísticas que ayudan a medir el comportamiento de una variable de calidad a través del tiempo”*. Estas gráficas pueden evaluar el proceso y determinar si está bajo control estadístico, según la característica de calidad monitoreada.

2.4.11.2 Evidencia del uso de gráficos de control en la literatura

Al investigar los estudios publicados sobre los gráficos de control, se observaron los siguientes casos de su empleo:

1. Torres Velásquez (2019, pág. 35) presentó *“una aplicación de cartas de control para medias y rangos”* con el cual se puede *“evaluar el comportamiento del peso en la elaboración de sobres de azúcar”*, en el cual se determinó que el proceso se encontraba bajo control, es decir, el proceso es estable en el cual *“no se encontraron puntos por fuera ni patrones no aleatorios en las cartas”*.
2. García-Bustos et al. (2020) realizaron un trabajo de aplicación en donde *“se han diseñado gráficos de control con el objetivo de detectar anomalías en los datos de mortalidad infantil del área urbana en Ecuador”*, el tipo de gráfico que se realizó fue gráfico EWMA, con el que *“se pudo detectar ciertos valores atípicos en las poblaciones de niños”* que *“podría evidenciar que hay crecimiento excesivo en la mortalidad”*.

2.4.12 Hoja de verificación o lista de cotejo

2.4.12.1 Definiciones

Al revisar la bibliografía con respecto a las hojas de verificación, se encontraron las siguientes definiciones de este enfoque:

1. Baca Urbina (2015) define a las hojas de verificación de la siguiente forma: *“también conocidas como hojas de datos, son formatos que almacenan información relevante sobre un proceso o una actividad.”* El diseño y la estructura del formato está condicionado al *“proceso a ser analizado y del diseño que cada persona establezca”*.
2. López Lemos (2016) afirma que las hojas de verificación: *“son formatos o modelos especialmente diseñados para recoger información relativa a una actividad, un proceso, un proyecto, etc.”*. A las hojas de verificación también se les conoce como hojas de control.

2.4.12.2 Evidencia del uso de hojas de verificación en la literatura

Al examinar la literatura relacionada con las hojas de verificación, se descubrieron las siguientes pruebas de su aplicación:

1. Antonio et. (2020) al implementaron un proyecto de mejora en el Departamento de Pespunte de una empresa manufacturera de calzados industriales. Para mejorar el proceso de unión y armado de las piezas del calzado se implementaron hojas de verificación, entre otras herramientas de mejora, logrando reducir en un 20 % el número de elementos defectuosos, pasando de 11,749 defectos por millón (DPMO) a 9,457.
2. Ramos et al. (2019) implementaron una *“lista de verificación preoperatoria de enfermería para disminuir los errores en el ingreso de pacientes a quirófanos”* en el Departamento de Cirugía del Hospital de Clínicas José de San Martín, durante el proyecto, se aplicaron dos formatos de hoja de verificación, el primero siendo un formulario enfocado al ingreso del paciente a quirófano, y el segundo siendo realizado como una *“ficha de consenso de verificación preoperatoria”*. Este proyecto dio como resultado la demostración y evidencia de los muchos errores que ocurren en el ingreso a quirófano *“por falta de control o insuficiente información suministrada por personal de enfermería”*.

2.4.13 Matriz de priorización

2.4.13.1 Definiciones

Al revisar la bibliografía con respecto a la matriz de priorización, se encontraron las siguientes definiciones de este enfoque:

1. López Lemos (2016) explica que la matriz de priorización es una variante del diagrama matricial: *"se emplea para priorizar u ordenar una serie de soluciones en base a determinados criterios"*, este tipo de matriz presenta de forma resumida *"la evaluación de cada alternativa conforme a cada criterio"*.
2. Vilar Barrio et al. (1997, pág. 69) propone lo siguiente respecto a las matrices de priorización: *"se utilizan para priorizar actividades, temas, características de*

productos, servicios, etc., en base a criterios de ponderación". Esta herramienta combina las características "de las técnicas de diagrama de árbol y diagrama matricial".

2.4.13.2 Evidencia del uso de la matriz de priorización en la literatura

Al examinar la literatura relacionada con la matriz de priorización, se descubrieron las siguientes pruebas de su aplicación:

1. Rodríguez Muñoz y Pérez Fernández (2018) realizaron un trabajo de investigación con el *“objetivo implementar un procedimiento para perfeccionar la gestión de procesos estratégicos en la Universidad de Cienfuegos”*. Para el proceso de Ciencia, Tecnología e Innovación, se identificaron las oportunidades de mejora por medio de una matriz de priorización, en la cual, se presentan los problemas identificados y se evalúan en torno a la urgencia, la tendencia y el impacto. Por otra parte, se realizó una *“matriz de evaluación de indicadores para el Control Estratégico en la UCF”* el cual considera aspectos como el objetivo de trabajo, los procesos, los niveles, la naturaleza y la vigencia. Como conclusión, la investigación se considera como un *“un aporte práctico para la gestión de procesos en las Universidades ya que logró modificar los modos de actuación diarios de los directivos”*.
2. López Velasco et al. (2021) realizaron una investigación *“para diseñar una red de egresados de la Maestría en Ingeniería Industrial del Instituto Tecnológico de Orizaba”*. Dentro del proyecto se aplicaron herramientas de calidad, de las cuales una fue la matriz de priorización, que fue utilizada para determinar qué plataforma es la mejor para basar la red de egresados, dicha matriz contemplaba diferentes criterios de selección que se evaluaban las plataformas de: grupo de *“Facebook”*, página de *“Facebook”*, página de *“Fandom”*, página de *“Wix”* y *“Blogger”*, resultando la mejor opción el grupo de *“Facebook”*. La investigación concluyó con la creación de la red de egresados en esta plataforma.

2.4.14 Regresión lineal

2.4.14.1 Definiciones

La herramienta de regresión lineal se puede entender por diversos autores de las siguientes formas:

1. Joaquín Amat (2016) define a la regresión lineal como: una técnica “*que estudia la relación lineal existente entre dos variables*”, la variable de respuesta es conocida como variable Y, mientras que la variable predictora se conoce como X, generando “*un modelo de regresión (ecuación de una recta)*” que explique la influencia de X sobre Y.
2. Vargas Sabadías (1995, pág. 451) expresa lo siguiente sobre esta técnica: la “*regresión lineal simple es un proceso experimental en el que intervienen dos variables: una variable dependiente Y, que no es controlada por el experimento, y que depende de otra variable independiente X, que sí es controlada por el experimento*”.

2.4.14.2 Evidencia del uso de regresión lineal en la literatura

Tras una revisión exhaustiva de la bibliografía sobre regresión lineal, se identificaron los siguientes ejemplos de su implementación:

1. Yañez Varela et al. (2021, pág. 1330) realizaron un estudio para evaluar “*la electrocoagulación como alternativa para tratar las aguas residuales provenientes de una industria farmacéutica*”. Como parte del estudio, se realizó un análisis de regresión lineal entre la intensidad de corriente y la eficiencia de remoción, determinando que la interacción entre ambos factores no es significativa, además, de “*que el modelo solo puede predecir menos del 60 % de los datos generados*” justificando “*que la relación entre estos dos factores no es lineal*”.
2. García Horta (2013) aplicó diversas herramientas de mejora en el proceso de empaque de una empresa local, para resolver el problema de costos extras por inspección o quejas, esto derivado de empacar una cantidad inexactas de piezas. Durante el trabajo de

aplicación, se utilizó el análisis de regresión múltiple se obtuvo un coeficiente de determinación (R cuadrada ajustada) del 25.6 %, lo cual se explica como “*bastante bajo para que cubra el nivel aceptable*”, sin poder “*establecer una relación fuerte entre los valores de las medidas*” con respecto al peso.

Capítulo 3. Metodología

3.1 Introducción

En este capítulo, se describe la metodología utilizada para la implementación del proyecto, el cual comprende el desarrollo de las 6 etapas del “*R-DMAIC*” por medio de actividades que parten desde la recopilación y la validación de la información histórica, hasta la implementación del plan de estandarización y la realización de conclusiones y recomendaciones.

El tipo de investigación es un estudio de caso, (Hernández et al., 2014, pp. 92-93;164-169) aplicando la metodología *R-DMAIC* para la implementación de Seis Sigma, en la empresa Ingeniería Agropecuaria del Papaloapan SPR de RL, en donde se utilizaron herramientas cualitativas como:

1. Estudio observacional descriptivo.
2. Experimento.

Y métodos cuantitativos como:

1. Estudio de caso.

Por lo anterior, este trabajo conjunta una investigación con diferentes herramientas de investigación cuantitativa y cualitativa.

3.2 Metodología aplicada

Reconocer-Definir-Medir-Analizar-Mejorar-Controlar, es la metodología de resolución de problemas que fue utilizada para el desarrollo del trabajo, la cual se describe a continuación:

1. Etapa Reconocer.
 1. Recopilación de información: se utilizará la información histórica de la empresa.

2. Validación de información (histórica): Se utilizará estadística descriptiva para obtener los parámetros con que se ha trabajado históricamente.
 3. Obtención de áreas de oportunidad preliminares mediante matriz de priorización y diagrama de Pareto.
 2. Etapa Definir.
 1. Definición de las características críticas de la calidad (CTQs) de los clientes y sus requerimientos mediante un diagrama de árbol.
 2. Determinación del impacto económico del problema mediante la determinación de costos de la pobre calidad (COPQ).
 3. Obtención de indicadores (métricas del proyecto).
 4. Definición del problema y estructuración plan de proyecto por medio de una carta proyecto.
 3. Etapa Medir.
 1. Documentación de las actividades mediante un mapa detallado de proceso (por medio de diagrama de flujo).
 2. Identificación de entradas y salidas por medio de un mapa de proceso de alto nivel (por medio de diagrama SIPOC).
 3. Verificación del nivel de capacidad del proceso (inicial, antes de las mejoras).
 4. Cálculo del nivel sigma (inicial) del proceso.
 5. Evaluación inicial de los indicadores (métricas) del proyecto.
 4. Etapa Analizar.
 1. Identificación de las entradas críticas potenciales (posibles afectantes de la calidad) por medio de diagrama de Ishikawa.
 2. Determinación de las variables críticas del problema y su relación, mediante herramientas estadísticas (regresión lineal, correlación y análisis de la varianza).
 5. Etapa Mejorar.
 1. Generación de posibles soluciones para las variables críticas del problema, por medio de lluvia de ideas.
 2. Determinación y selección de las mejores soluciones por parte de la empresa.
 3. Implementación de las soluciones seleccionadas.
 4. Verificación de la capacidad del proceso (final).
-

5. Cálculo del nivel Sigma (final) del proceso.
6. Validación de la mejora del proceso mediante un análisis comparativo de los parámetros del proceso.
6. Etapa Controlar.
 1. Diseñar el plan de estandarización.
 2. Implementación del plan de estandarización.
 3. Retroalimentación a la empresa sobre la implementación.

Capítulo 4. Desarrollo

Durante este capítulo, se presenta la implementación de los pasos descritos en la metodología del capítulo anterior, describiendo el uso de las herramientas empleadas para definir el problema, para medir el proceso, para analizar las causas, para determinar soluciones y para controlar la mejora lograda.

4.1 Etapa Reconocer

4.1.1 Recopilación de información

Se utilizó la información histórica de la empresa, que se encontraba capturada en formatos físicos en carpetas. La información consta de los datos recolectados de los parámetros fisicoquímicos de calidad del agua que son de mayor importancia para la empresa para la producción de Tilapia, los cuales fueron definidos que fueran la temperatura del agua y el nivel de oxígeno disuelto.

Los datos contemplan una temporalidad del año 2016 al 2019, abarcando aproximadamente 40 mil datos recopilados. Por cuestiones de confidencialidad de la empresa, los datos históricos del 2020 al 2022 no se encuentran disponibles para su consideración en el proyecto.

4.1.1.1 Muestreo de datos

La muestra de datos se realiza dos veces al día, siendo identificada como “M1” a la información recopilada por la mañana y “M2” a la información tomada por la tarde, para los 18 estanques de cultivo realizado con equipo (YSI modelo 100, Yellow Springs, Ohio, USA), para la medición de la temperatura y Oxígeno.

4.1.1.2 Determinación del proceso objetivo

El proceso de engorda fue el elegido para el estudio, y con la información recopilada se consideró agrupar los datos de forma estacional, debido a las características climatológicas típicas de cada temporada a lo largo de los años y observar el posible efecto.

4.1.2 Validación de información (histórica)

Se utiliza estadística descriptiva para obtener la media y la desviación estándar históricos de la temperatura y oxígeno disuelto registrados durante el periodo. Los cálculos estadísticos se realizan sobre cada estanque en sus dos horarios a lo largo del tiempo (estaciones y años).

Los datos históricos de la temperatura se encuentran disponibles en los siguientes anexos proporcionados a la empresa en el siguiente orden:

- Anexo 1. Datos históricos de temperatura 2016.
- Anexo 2. Datos históricos de temperatura 2018.
- Anexo 3. Datos históricos de temperatura 2018.
- Anexo 4. Datos históricos de temperatura 2019.

Por otra parte, los datos de oxígeno disuelto se encuentran disponibles en:

- Anexo 5. Datos históricos de oxígeno disuelto 2016.
- Anexo 6. Datos históricos de oxígeno disuelto 2017.
- Anexo 7. Datos históricos de oxígeno disuelto 2018.
- Anexo 8. Datos históricos de oxígeno disuelto 2019.

4.1.2.1 Datos históricos de Temperatura

En la Tabla 4.1 se muestran los valores promedio por temporada que se obtuvieron de los valores unitarios históricos de la variable de temperatura (en grados Celsius) del agua en los 16

estanques y en ambos horarios, los cuales fueron analizados para obtener las medias, medianas y desviaciones estándar de las mismas.

Tabla 4.1 Valores de la media de la temperatura por estanque/ muestra/años/ estación

Estanques Horas	2016		2017		2018			2019					
	Invierno	Otoño	Invierno	Otoño	Primavera	Verano	Invierno	Otoño	Primavera	Invierno	Otoño	Primavera	Verano
E1	25.4	27.4	26.2	27.3	29.6	30.2	24.5	23.8	28.9		27.0	26.3	27.0
M1	24.8	26.5	25.4	26.5	28.6	29.0	23.7	23.1	27.5		26.3	25.0	25.1
M2	26.1	28.5	27.4	28.6	31.1	31.6	25.5	24.6	30.0		28.5	27.5	28.8
E2	25.7	27.0	25.3	26.6	28.9	29.7	24.9	23.9	28.8	25.5	26.9	26.3	27.2
M1	25.2	26.3	24.7	26.0	27.8	28.5	24.0	23.1	27.4	25.2	26.3	25.0	25.2
M2	26.5	27.8	26.3	27.5	30.4	31.3	26.0	24.8	29.9	25.9	27.8	27.5	29.0
E3	25.6	27.4	25.4	27.4	29.0	30.0	24.6	24.5	28.3	25.0	27.0		27.3
M1	25.2	26.6	24.9	26.6	27.9	28.8	23.7	23.7	27.2	24.0	26.2		25.4
M2	26.2	28.3	26.2	28.6	30.5	31.5	25.6	25.2	29.4	26.0	27.9		29.0
E4	25.5	26.7	24.8	26.9	28.6	29.8	24.3	24.5	28.4	25.6	27.0		27.3
M1	25.3	26.2	24.4	26.8	27.6	28.6	23.6	23.7	27.3	25.2	26.2		25.4
M2	25.7	27.3	25.5	27.3	29.9	31.3	25.2	25.2	29.5	26.0	28.0		29.0
E5	26.1	26.7	25.2	26.4	29.1	29.8	24.9	25.2	28.4	25.8	27.0	29.3	27.2
M1	25.5	26.2	24.8	25.9	28.2	28.6	24.0	24.4	27.3	25.2	26.2	29.0	25.2
M2	27.0	27.3	26.0	27.0	30.2	31.2	26.0	25.9	29.4	26.4	28.0	29.5	29.0
E6	26.1	27.3	25.6	27.1	29.6	30.1	25.0	24.7	28.6	26.0	27.0	27.3	27.4
M1	25.7	26.6	25.0	26.4	28.7	29.0	24.1	23.9	27.5	25.1	26.2	25.4	25.4
M2	26.7	28.2	26.5	28.1	30.7	31.5	26.1	25.5	29.6	27.2	28.0	29.1	29.2
E7	26.0	26.7	25.2	26.2	29.2	29.6	24.9	24.6	28.7	25.9	27.0	27.2	27.3
M1	25.6	26.3	24.8	25.8	28.3	28.5	24.0	23.8	27.5	25.0	26.2	25.5	25.5
M2	26.7	27.3	25.8	26.7	30.5	31.0	25.9	25.3	29.8	27.0	27.9	29.0	29.1
E8	26.2	27.3	25.3	27.1	29.3	29.7	25.1	24.5	28.4	25.9	27.0	27.1	27.2
M1	26.1	26.6	24.8	26.4	28.5	28.6	24.2	23.6	27.5	25.1	26.3	25.4	25.4
M2	26.5	28.2	26.2	28.2	30.5	31.0	26.2	25.4	29.4	27.0	27.9	28.9	29.0
E9	25.7	26.6	24.9	26.1	28.5	29.6	24.9	24.8	28.6	25.9	27.0	27.2	27.2
M1	25.1	26.0	24.4	25.7	27.6	28.6	24.0	24.0	27.6	25.1	26.2	25.3	25.3
M2	26.5	27.3	25.7	26.6	29.8	31.1	26.0	25.6	29.6	27.0	27.9	29.0	29.0
E10	25.9	27.3	25.5	27.1	29.0	29.8	25.1	24.5	28.5	26.0	27.0	27.2	27.2
M1	25.5	26.5	24.8	26.4	28.0	28.7	24.2	23.7	27.5	25.1	26.2	25.4	25.4
M2	26.4	28.2	26.8	28.0	30.4	31.3	26.2	25.3	29.6	27.3	27.9	29.1	28.9
E11	26.2	27.5	25.8	27.5	29.2	29.9	24.6	24.5	28.5	26.0	27.0	27.1	27.3
M1	25.7	26.7	25.0	26.7	28.3	28.8	23.8	23.8	27.4	25.1	26.2	25.4	25.4
M2	27.2	28.4	27.0	28.7	30.4	31.4	25.6	25.4	29.6	27.2	28.0	29.0	29.0
E12	26.4	27.6	26.0	27.5	29.6	29.5	25.3	24.6	28.3	26.7	27.2	27.3	27.3
M1	26.0	26.8	25.2	26.8	28.6	28.3	24.4	23.8	27.4	25.8	26.0	25.5	25.4
M2	27.3	28.6	27.3	28.7	30.9	31.0	26.4	25.5	29.3	28.0	29.0	29.1	29.1
E15	26.0	27.3	25.7	27.1	29.0	29.5	25.2	25.3	28.7	26.0	27.1	27.3	26.8
M1	25.5	26.5	25.2	26.5	28.2	28.6	24.1	24.2	27.6	25.3	26.3	25.6	25.0
M2	26.9	28.2	26.6	27.9	30.0	30.6	26.4	26.1	29.8	27.1	28.0	29.0	28.5
E16	26.1	27.6	25.7	27.4	29.4	29.9	25.2	24.5	28.8	26.0	27.0	27.3	27.5
M1	25.8	26.8	25.1	26.7	28.7	28.9	24.3	23.8	27.8	25.3	26.3	25.5	26.0
M2	26.7	28.4	26.8	28.3	30.4	31.1	26.2	25.3	29.7	27.1	27.9	29.0	29.0
E17	25.9	27.5	25.7	26.8	29.6	29.4	25.1	25.5	28.6	26.0	27.0	27.2	27.0
M1	25.4	26.8	25.1	26.3	28.9	28.6	24.1	24.6	27.4	25.3	26.2	25.5	25.0
M2	26.7	28.3	26.6	27.5	30.5	30.5	26.2	26.2	29.7	27.0	27.9	28.9	29.0
E18	26.1	27.5	25.9	27.2	29.9	29.7	25.1	24.5	28.6	26.0	27.0	27.3	26.8
M1	25.7	26.7	25.3	26.6	29.2	28.7	24.2	23.7	27.4	25.2	26.3	25.5	25.0
M2	26.9	28.4	26.8	28.1	30.9	30.9	26.2	25.3	29.7	27.0	28.0	29.1	28.5
E19	26.0	27.4	26.0	27.0	29.1	29.4	25.1	24.4	28.6	26.0	27.0	27.3	26.8
M1	25.5	26.7	25.3	26.5	28.3	28.5	24.2	23.7	27.5	25.3	26.3	25.5	25.0
M2	26.9	28.3	26.9	27.8	30.2	30.7	26.2	25.2	29.7	27.1	27.9	29.0	28.5
E20	25.8	27.4	25.8	27.0	29.3	29.8	25.1	25.7	28.6	26.0	27.0	27.2	27.0
M1	25.3	26.6	25.1	26.4	28.4	28.7	24.1	24.8	27.5	25.3	26.3	25.4	25.0
M2	26.6	28.3	26.9	28.0	30.4	31.2	26.2	26.4	29.7	27.0	28.0	28.9	29.0
Total	25.9	27.2	25.5	27.0	29.3	29.7	24.9	24.5	28.5	26.0	27.0	27.2	27.2

E: Estanque; M1: Muestra 1; M2: Muestra 2.

En la Tabla 4.2 muestra los valores de la desviación estándar para la variable de temperatura del agua en los estanques y horarios analizados.

Tabla 4.2 Valores de la desviación estándar de la temperatura por estanque/ muestra/años/ estación

Estanques	2016		2017		2018			2019						
	Horas	Invierno	Otoño	Invierno	Otoño	Primavera	Verano	Invierno	Otoño	Primavera	Invierno	Otoño	Primavera	Verano
E1		0.9	1.4	1.6	2.1	2.2	1.9	1.9	1.9	1.3		1.3	2.5	2.1
M1		0.7	0.9	1.3	1.7	1.8	1.1	1.5	1.6	0.6		0.9	0.0	0.7
M2		0.7	0.9	1.4	2.1	1.8	1.7	1.9	1.9	0.0		0.6	3.5	1.3
E2		1.1	1.5	1.8	2.0	1.8	1.8	1.9	2.0	1.4	1.3	1.4	2.5	2.1
M1		0.8	1.2	1.5	1.7	1.0	0.9	1.4	1.6	0.7	1.4	1.2	0.0	0.8
M2		1.2	1.4	1.8	2.1	1.4	1.5	1.9	1.9	0.3	1.2	1.1	3.5	1.3
E3		1.7	1.4	1.6	2.4	1.8	1.8	1.9	2.1	1.3	1.4	1.4		2.1
M1		1.3	1.1	1.3	2.0	1.1	1.0	1.5	1.9	0.6		1.2		0.9
M2		2.5	1.2	1.8	2.6	1.4	1.5	1.8	2.1	0.9		1.1		1.3
E4		0.8	1.4	1.4	1.4	1.8	1.9	1.7	2.1	1.4	1.4	1.5		2.2
M1		0.9	1.2	1.3	1.5	1.2	1.1	1.3	1.9	0.6	1.3	1.2		0.8
M2		0.6	1.4	1.3	1.1	1.6	1.6	1.7	2.1	0.9	1.3	1.2		1.4
E5		1.1	1.4	1.5	1.8	1.8	1.7	1.9	2.2	1.3	1.5	1.5	0.6	2.2
M1		0.7	1.1	1.4	1.5	1.4	1.0	1.3	2.3	0.7	1.3	1.2		0.8
M2		1.0	1.4	1.5	2.0	1.5	1.3	1.9	1.8	0.9	1.5	1.2	0.7	1.1
E6		1.0	1.4	1.5	2.2	1.8	1.7	1.9	2.1	1.3	1.9	1.5	2.1	2.1
M1		1.0	1.0	1.1	1.8	1.5	1.0	1.4	1.9	0.6	1.2	1.2	0.7	0.9
M2		0.6	1.3	1.6	2.2	1.5	1.5	1.8	2.1	0.8	1.9	1.2	1.1	1.1
E7		0.9	1.4	1.5	1.9	1.9	1.6	1.9	2.3	1.3	1.9	1.4	2.0	2.1
M1		0.5	1.1	1.5	1.7	1.4	0.8	1.4	2.2	0.7	1.3	1.2	0.7	0.8
M2		1.0	1.6	1.3	2.0	1.7	1.3	1.9	2.3	0.6	1.9	1.1	1.1	1.1
E8		1.0	1.4	1.7	1.9	1.8	1.7	1.9	2.0	1.2	1.9	1.4	2.0	2.1
M1		1.0	1.1	1.3	1.6	1.3	1.0	1.4	1.7	0.5	1.3	1.2	0.7	0.8
M2		1.1	1.2	1.9	2.0	1.7	1.5	1.7	1.9	0.8	1.9	1.1	1.0	1.1
E9		1.4	1.4	1.8	1.9	1.7	1.7	1.9	2.0	1.2	1.8	1.4	2.1	2.2
M1		1.1	1.2	1.6	1.7	1.2	0.9	1.4	1.8	0.5	1.2	1.2	0.6	0.8
M2		1.4	1.4	1.9	2.1	1.4	1.3	1.9	1.9	0.8	1.9	1.1	1.0	1.3
E10		1.5	1.5	2.0	2.0	1.7	1.7	1.9	2.2	1.3	2.0	1.4	2.0	2.0
M1		1.0	1.0	1.8	1.6	1.0	0.9	1.4	1.9	0.7	1.3	1.2	0.7	0.9
M2		2.1	1.3	1.7	2.0	1.4	1.3	1.8	2.1	0.9	2.0	1.1	0.9	1.3
E11		1.1	1.4	2.0	2.1	1.8	1.7	1.8	2.1	1.3	2.0	1.5	2.0	2.1
M1		0.9	1.0	1.7	1.7	1.3	0.9	1.4	1.9	0.6	1.3	1.2	0.6	0.8
M2		0.6	1.3	1.8	2.2	1.7	1.3	1.7	2.1	0.8	2.2	1.2	1.0	1.3
E12		1.1	1.5	1.8	1.9	1.7	1.7	1.9	2.1	1.3	1.7	1.9	2.0	2.2
M1		1.0	1.0	1.4	1.3	1.2	0.9	1.5	1.8	0.8	0.7	0.9	0.8	1.0
M2		0.5	1.3	1.5	1.9	1.4	1.4	1.8	2.0	0.9	1.7	1.6	0.9	1.5
E15		1.2	1.2	1.9	1.8	1.5	1.4	2.0	2.0	1.2	1.8	1.4	2.0	2.0
M1		1.0	0.6	1.7	1.5	1.2	0.8	1.4	2.3	0.5	1.4	1.1	0.9	0.0
M2		1.1	1.0	2.0	1.9	1.4	1.2	1.8	1.7	0.6	1.9	1.2	0.9	1.0
E16		1.6	1.2	1.9	2.0	1.9	1.5	1.9	2.2	1.4	1.9	1.4	2.0	1.7
M1		1.8	0.6	1.8	1.7	1.3	0.9	1.5	1.9	1.1	1.4	1.1	0.9	0.0
M2		0.7	1.1	1.7	2.1	2.0	1.2	1.8	2.1	0.9	2.0	1.1	1.0	0.8
E17		1.0	1.0	1.7	1.9	1.5	1.4	1.9	2.0	1.4	1.8	1.4	2.0	2.3
M1		0.9	0.6	1.5	1.7	1.2	0.8	1.4	2.0	0.9	1.4	1.1	0.8	0.0
M2		0.8	0.9	1.5	2.0	1.3	1.2	1.9	1.9	0.5	1.9	1.1	1.0	1.4
E18		1.2	1.2	1.6	1.9	1.6	1.6	1.9	2.1	1.4	1.8	1.4	2.0	1.9
M1		1.1	0.6	1.4	1.6	1.3	0.9	1.4	1.9	0.6	1.4	1.1	0.8	0.0
M2		1.0	1.0	1.5	2.0	1.4	1.3	1.8	2.1	0.9	1.9	1.2	1.0	0.6
E19		1.2	1.2	1.7	1.9	1.7	1.5	1.9	2.1	1.3	1.8	1.4	2.0	1.9
M1		1.0	0.6	1.4	1.6	1.2	0.9	1.4	1.9	0.6	1.4	1.1	0.8	0.0
M2		0.9	1.0	1.6	2.0	1.5	1.3	1.8	2.1	0.7	1.9	1.1	1.0	0.6
E20		1.2	1.2	1.8	2.0	1.7	1.7	1.9	2.0	1.3	1.9	1.4	2.1	2.1
M1		1.0	0.7	1.5	1.7	1.3	0.9	1.4	2.2	0.6	1.4	1.1	0.9	0.0
M2		1.0	1.0	1.7	2.1	1.6	1.4	1.8	1.7	0.7	2.0	1.2	1.3	0.0
Total		1.2	1.4	1.8	2.0	1.8	1.7	1.9	2.1	1.3	1.8	1.4	2.0	2.1

En la Tabla 4.3 se observan los valores obtenidos de la media y la desviación estándar para la temperatura en el agua durante los cuatro años, donde se puede observar que la media global durante el periodo de estudio fue de 26.93 °C con una desviación estándar de 2.04.

Estos datos indican que el valor promedio de la temperatura está dentro de los límites para la producción de tilapia conforme a lo dispuesto por Timmons (2002), aunque no es el caso para los límites determinados por la SENASICA (2008), siendo observada como un área de oportunidad.

Tabla 4.3 Valores de la media y la desviación estándar de la temperatura por temporada y año

Medias / desviaciones estándar de la temperatura					
Año	Primavera	Verano	Otoño	Invierno	Anual
2016			27.24 / 1.37	25.94 / 1.16	27.05 / 1.42
2017	29.25 / 1.78	29.73 / 1.69	26.97 / 2.02	25.52 / 1.75	28.18 / 2.42
2018	28.52 / 1.30		24.51 / 2.12	24.95 / 1.89	25.65 / 2.42
2019	27.22 / 2.00	27.22 / 2.09	27.01 / 1.42	25.97 / 1.82	26.84 / 1.91
Global	28.33 / 1.69	28.48 / 1.89	26.43 / 1.73	25.6 / 1.66	26.93 / 2.04

Por otra parte, desde el punto de vista estacional, es evidente que durante el invierno la temperatura su valor promedio fue de 25.60 con una desviación estándar de 1.66, esto quiere decir que los límites naturales del proceso tienen valores de 30.58, para el límite natural superior y de 20.62 para el límite natural inferior, demostrando la presencia de valores inferiores conforme a lo dispuesto por Timmons (2002).

Otra forma de representar la amplitud que se tiene de cada conjunto de valores es que, con los valores de la media y la desviación estándar se puede calcular el cociente de variación, el cual es la relación entre ambos estadísticos, esto es la desviación estándar entre la media. A este coeficiente también se le conoce también como porcentaje de la desviación que corresponde a la media y puede ser utilizado para identificar los estanques y estaciones que presentan una cantidad significativamente mayor de variabilidad. Sánchez-González et al. (1995) propone que se utilice como un objetivo del control de calidad el tener un coeficiente de variación de máximo 5 %.

En la Tabla 4.4 se muestran los valores de los cocientes de variación, calculados a partir de la información de las medias y desviaciones de la temperatura anteriormente mostradas.

Tabla 4.4 Cocientes de variación (CV) de la temperatura por temporada y año

Cocientes de variación de la temperatura					
Año	Primavera	Verano	Otoño	Invierno	Anual
2016			5.03%	4.47%	5.25%
2017	6.09%	5.68%	7.49%	6.86%	8.59%
2018	4.56%		8.65%	7.58%	9.43%
2019	7.35%	7.68%	5.26%	7.01%	7.12%
Global	6.00%	6.68%	6.61%	6.48%	7.60%

En la Tabla 4.4 se observa en todas las estaciones del año valores de CV mayores del 5 % para la temperatura, propuesto por Sánchez et al. (1995) para el control de calidad. De forma global, el valor del CV es calculado en un 7.60 %, siendo este valor lo que representa la desviación estándar respecto al valor promedio de la temperatura del agua.

De igual forma, se calcularon los valores de la mediana para las estaciones del año, los cuales se muestran en la Tabla 4.5.

Tabla 4.5 Valores de la mediana de la temperatura por temporada y año

Mediana	Primavera	Verano	Otoño	Invierno	Anual
2016			27.3	26.01	26.66
2017	29.22	29.75	27.01	25.55	27.88
2018	28.58		24.6	25.02	26.07
2019	27.24	27.23	27.01	25.97	26.86
Global	28.35	28.49	26.48	25.64	26.87

La mediana de la temperatura del periodo de estudio fue de 26.87, lo que indica que un 50 % de los datos históricos de la temperatura está por debajo de los 26.87 °C y el 50 % de los datos restantes se encuentra por encima de este valor.

4.1.2.2 Datos históricos de Oxígeno

La Tabla 4.6 muestra los valores de la media para la variable de oxígeno disuelto (en mg/L) del agua en los estanques y horarios analizados.

Tabla 4.6 Valores de la media del oxígeno disuelto por estanque/ muestra/años/ estación

Estanques Horas	2016		2017		2018				2019				
	Invierno	Otoño	Invierno	Otoño	Primavera	Verano	Invierno	Otoño	Primavera	Invierno	Otoño	Primavera	Verano
E1	7.7	8.2	8.3	9.0	7.2	5.7	6.2	3.5	4.7		4.6	4.0	4.6
M1	6.5	6.1	7.7	7.6	6.3	4.4	5.6	2.7	4.0		3.7	3.0	3.4
M2	9.6	11.0	9.3	11.0	8.4	7.3	6.9	4.5	5.4		6.0	5.0	5.8
E2	7.4	8.0	9.4	8.3	5.8	5.7	5.7	3.6	4.7	2.8	3.6	4.0	4.8
M1	7.2	5.9	8.8	6.8	5.1	4.3	4.9	2.8	4.0	2.3	3.0	3.0	3.7
M2	7.8	10.6	10.6	10.4	6.7	7.5	6.7	4.5	5.3	3.4	4.3	5.0	5.8
E3	6.5	8.2	8.6	7.3	5.6	5.5	6.2	3.7	4.6	4.5	3.8		5.3
M1	6.6	6.0	7.6	5.7	5.0	4.0	5.5	2.8	3.7	4.0	3.1		4.1
M2	6.3	11.1	10.4	9.7	6.4	7.3	7.0	4.7	5.4	5.0	4.7		6.3
E4	6.1	7.3	7.3	7.1	5.7	5.1	5.6	3.7	4.6	3.1	3.8		5.3
M1	6.3	5.7	7.3	6.2	4.8	3.5	5.0	2.9	3.8	2.6	3.1		4.2
M2	5.7	9.4	7.3	9.0	6.9	7.1	6.5	4.6	5.5	3.7	4.6		6.4
E5	6.3	7.2	7.0	6.4	6.2	5.2	5.5	3.9	4.6	3.9	3.8	5.3	5.7
M1	6.5	5.8	6.8	5.8	4.9	3.8	4.8	2.9	3.7	3.2	3.2	3.0	4.8
M2	6.0	9.1	7.2	7.2	7.8	7.0	6.4	4.8	5.4	4.8	4.6	6.5	6.5
E6	6.5	8.0	6.6	7.3	5.8	5.2	5.6	3.7	4.8	4.1	3.9	4.5	5.6
M1	6.5	5.5	6.5	5.4	4.5	3.6	4.9	2.8	3.7	3.3	3.2	3.2	4.6
M2	6.4	11.2	6.8	10.0	7.6	7.1	6.5	4.6	5.7	5.3	4.7	5.7	6.4
E7	6.7	7.3	6.9	6.3	5.8	5.3	5.6	3.8	4.7	4.0	4.0	4.3	5.5
M1	6.3	5.8	6.7	5.4	4.6	3.7	5.0	3.0	3.6	3.3	3.3	3.2	4.6
M2	7.3	9.1	7.3	7.6	7.4	7.2	6.4	4.6	5.6	4.9	4.8	5.5	6.4
E8	7.0	8.5	7.6	8.2	5.0	5.3	5.7	3.9	4.7	3.9	4.1	4.4	5.5
M1	6.5	5.8	6.7	5.9	4.0	3.8	4.9	3.0	3.9	3.2	3.3	3.2	4.4
M2	7.7	11.9	9.3	11.6	6.5	7.3	6.5	4.8	5.4	4.9	5.0	5.7	6.5
E9	7.1	8.5	8.2	8.0	5.4	5.1	5.8	3.7	4.6	3.9	3.9	4.5	5.6
M1	6.4	6.1	7.3	6.2	4.1	3.6	5.0	2.8	3.7	3.2	3.2	3.3	4.7
M2	8.2	11.6	9.7	10.7	7.2	7.1	6.7	4.6	5.4	4.8	4.9	5.7	6.5
E10	8.1	8.8	8.0	9.0	6.0	5.4	6.0	3.7	4.8	4.1	4.0	4.5	5.6
M1	7.2	6.0	6.6	6.2	4.8	3.5	5.2	2.8	3.7	3.3	3.3	3.2	4.6
M2	9.5	12.4	10.4	13.1	7.6	7.8	6.9	4.7	5.8	5.2	4.9	5.8	6.5
E11	7.3	7.7	7.7	7.8	5.4	5.1	5.8	3.7	5.3	4.0	4.0	4.6	5.6
M1	6.4	5.6	6.4	5.4	3.9	3.3	5.1	2.8	5.0	3.2	3.2	3.3	4.7
M2	8.5	10.2	10.0	11.6	7.3	7.4	6.8	4.7	5.5	5.3	5.0	5.8	6.5
E12	5.9	7.5	6.7	5.3	5.7	4.5	6.0	3.9	4.8	3.2	4.4	4.8	5.8
M1	5.6	5.6	5.6	4.7	4.0	3.2	5.2	3.0	4.0	2.8	3.6	3.7	4.9
M2	6.4	9.8	8.4	6.2	8.0	6.1	7.0	4.8	5.6	4.0	5.7	6.0	6.7
E15	10.5	7.4	9.1	7.8	5.7	4.7	5.8	4.3	5.1	4.5	4.5	5.4	5.0
M1	7.6	5.6	7.6	5.5	4.3	3.3	4.9	3.3	3.9	3.9	3.8	3.9	3.7
M2	14.4	9.5	11.2	11.1	7.5	6.5	6.9	5.0	6.1	5.4	5.4	6.9	6.0
E16	9.4	7.4	8.1	7.0	5.4	5.2	6.0	3.9	5.1	4.5	4.6	5.6	5.0
M1	7.3	5.7	6.0	4.5	3.9	3.5	5.2	3.0	4.0	3.9	3.8	4.0	3.7
M2	12.2	9.4	11.2	10.6	7.5	7.3	6.9	4.8	5.9	5.4	5.4	7.0	6.0
E17	10.1	7.1	8.3	8.1	4.8	4.9	6.1	4.7	5.4	4.6	4.7	5.7	5.0
M1	7.3	5.8	6.3	5.4	3.6	3.2	5.1	4.1	4.3	4.0	4.0	4.2	3.7
M2	14.0	8.6	11.5	12.1	6.6	7.0	7.2	5.1	6.3	5.5	5.5	7.1	6.0
E18	9.8	7.4	8.0	7.2	4.5	5.0	6.0	4.0	5.4	4.5	4.7	5.8	4.6
M1	7.3	5.5	5.7	4.3	3.2	3.2	5.1	3.1	4.3	3.8	4.0	4.5	2.7
M2	13.2	9.6	11.6	11.7	6.3	7.3	7.1	4.8	6.4	5.4	5.6	7.1	6.0
E19	8.4	7.7	6.8	7.9	5.4	4.6	6.0	3.9	5.5	4.5	4.7	6.0	5.0
M1	6.1	5.4	4.5	5.2	3.8	2.9	5.1	3.1	4.5	3.8	4.0	4.6	3.7
M2	11.4	10.6	10.4	11.9	7.5	6.7	7.0	4.8	6.5	5.5	5.5	7.3	6.0
E20	10.1	8.0	8.1	8.0	5.4	4.6	6.2	4.7	5.6	4.6	4.8	6.0	5.0
M1	6.1	5.6	5.4	5.2	3.5	2.8	5.1	4.1	4.6	3.9	4.1	4.6	3.7
M2	15.4	11.0	12.1	12.4	7.8	6.8	7.4	5.1	6.4	5.6	5.5	7.4	6.0
Total	7.9	7.8	7.8	7.6	5.6	5.1	5.9	3.8	5.0	4.2	4.2	5.1	5.4

E: Estanque; M1: Muestra 1; M2: Muestra 2.

La Tabla 4.7 muestra los valores de la desviación estándar para la variable de oxígeno disuelto del agua en los estanques y horarios analizados.

Tabla 4.7 Valores de la desviación estándar del oxígeno disuelto por estanque/ muestra/años/ estación

Estanques	2016		2017				2018			2019			
Horas	Invierno	Otoño	Invierno	Otoño	Primavera	Verano	Invierno	Otoño	Primavera	Invierno	Otoño	Primavera	Verano
E1	1.9	3.3	3.3	4.3	3.2	2.6	1.9	1.1	1.2		1.8	1.2	1.9
M1	0.8	1.6	3.0	3.2	3.1	1.7	1.6	0.5	1.0		1.0	0.0	1.3
M2	1.3	2.9	3.6	4.9	2.9	2.7	2.1	0.9	1.0		2.0	0.0	1.5
E2	1.9	3.1	4.4	3.5	2.1	2.7	1.8	1.1	1.2	1.0	1.4	1.2	1.8
M1	1.8	1.3	4.7	2.6	2.0	1.9	1.5	0.6	1.0	0.8	1.0	0.0	1.5
M2	2.1	2.8	3.6	3.4	1.9	2.7	1.5	0.8	1.2	0.9	1.5	0.0	1.5
E3	2.3	3.5	4.2	3.1	2.3	2.6	1.8	1.2	1.3	0.7	1.4		1.9
M1	2.6	1.5	4.1	1.9	2.4	1.5	1.5	0.7	0.8		1.0		1.5
M2	1.8	3.2	3.8	3.0	1.8	2.5	2.0	0.8	1.1		1.4		1.7
E4	1.3	2.8	3.6	2.5	2.2	2.5	1.9	1.2	1.2	1.2	1.5		2.0
M1	1.5	1.4	4.2	2.0	2.1	1.3	1.7	0.7	0.7	1.1	1.0		1.6
M2	0.9	2.7	2.5	2.6	1.8	2.3	1.9	0.8	1.0	1.1	1.5		1.7
E5	1.6	2.7	3.9	2.8	2.2	2.4	1.7	1.2	1.2	1.7	1.5	2.1	1.7
M1	1.3	1.5	4.1	2.1	1.7	1.5	1.4	0.7	0.8	1.2	1.2		1.5
M2	2.0	2.7	3.5	3.4	1.8	2.0	1.7	0.8	0.9	1.9	1.4	0.7	1.6
E6	1.4	3.8	3.2	3.5	2.5	2.7	1.8	1.1	1.3	1.8	1.4	1.6	1.8
M1	1.5	1.4	3.7	2.1	1.6	1.6	1.6	0.5	0.6	1.1	1.1	1.0	1.6
M2	1.4	3.5	2.1	3.4	2.4	2.6	1.7	0.8	1.1	2.0	1.4	1.1	1.6
E7	1.8	2.5	3.6	3.0	3.1	2.6	1.8	1.2	1.3	1.8	1.4	1.6	1.8
M1	0.7	1.6	4.0	2.1	1.5	1.4	1.6	0.7	0.8	1.1	1.0	1.0	1.4
M2	2.9	2.3	2.7	3.6	3.9	2.4	1.7	1.0	0.7	2.2	1.5	1.3	1.7
E8	1.8	4.0	3.5	4.3	2.0	2.7	1.9	1.2	1.2	1.6	1.5	1.6	1.8
M1	1.8	1.4	3.7	2.3	1.3	1.5	1.6	0.9	0.8	1.0	1.1	0.9	1.5
M2	1.7	3.6	2.4	4.4	1.8	2.6	1.7	0.6	1.0	1.8	1.5	1.2	1.5
E9	2.1	3.6	3.8	3.5	2.4	2.5	1.9	1.1	1.2	1.6	1.5	1.6	1.7
M1	1.3	1.3	3.8	2.3	1.6	1.4	1.7	0.6	0.7	1.1	1.1	0.9	1.5
M2	2.8	3.1	3.4	3.1	2.1	2.1	1.8	0.8	1.0	1.6	1.4	1.1	1.4
E10	3.2	4.3	4.0	4.7	3.6	2.9	2.0	1.2	1.4	1.7	1.4	1.6	1.8
M1	3.5	1.6	4.0	2.3	3.8	1.3	1.7	0.5	0.8	1.1	1.1	0.9	1.5
M2	2.5	4.1	2.9	4.2	2.6	2.6	1.8	0.8	0.9	1.8	1.3	1.0	1.6
E11	2.0	3.0	4.1	4.1	2.6	2.7	2.2	1.2	4.7	2.1	1.5	1.6	1.8
M1	1.6	1.3	4.0	2.2	1.9	1.2	1.8	0.7	6.6	1.1	1.1	1.1	1.5
M2	1.8	2.5	3.2	3.4	2.0	2.4	2.3	0.7	1.1	2.5	1.3	1.1	1.6
E12	1.0	2.8	2.8	2.6	2.9	2.3	1.9	1.1	1.3	1.3	1.5	1.6	1.8
M1	0.6	1.4	1.6	1.7	1.5	1.2	1.6	0.7	1.1	0.8	1.1	1.3	1.5
M2	1.6	2.3	3.5	3.5	2.8	2.3	1.7	0.6	1.1	1.5	1.0	1.1	1.5
E15	4.5	2.8	3.6	3.6	2.4	2.6	1.5	1.0	1.4	3.0	1.8	1.8	1.6
M1	3.1	1.0	2.6	1.9	1.2	1.1	1.1	0.6	0.7	3.5	1.5	1.1	1.2
M2	2.8	2.9	3.7	2.8	2.2	2.9	1.1	0.0	1.1	2.0	1.7	1.1	1.2
E16	4.0	2.7	3.9	3.9	2.5	3.5	1.8	1.2	1.3	3.0	1.7	1.8	1.6
M1	3.4	1.1	1.8	1.9	1.1	2.9	1.6	0.7	0.7	3.5	1.4	1.1	1.2
M2	2.9	2.6	4.1	3.3	2.3	3.1	1.6	0.8	1.0	1.8	1.5	1.1	1.2
E17	4.7	2.3	3.6	4.1	2.0	2.6	1.7	1.3	1.3	3.0	1.7	1.8	1.6
M1	2.5	1.0	1.6	1.7	1.0	1.1	1.3	1.9	0.7	3.5	1.5	1.0	1.2
M2	4.2	2.5	3.6	3.4	1.6	2.5	1.5	0.7	0.9	2.0	1.6	1.3	1.2
E18	4.8	3.0	4.0	4.3	1.9	3.2	1.9	1.1	1.3	3.0	1.7	1.7	2.0
M1	2.7	1.1	1.9	1.6	1.0	1.3	1.6	0.7	0.7	3.5	1.4	0.9	0.6
M2	4.9	3.0	3.8	3.0	1.3	3.4	1.7	0.7	0.8	2.0	1.7	1.3	1.2
E19	4.4	3.5	3.6	4.3	2.6	2.7	1.8	1.1	1.4	3.1	1.7	1.7	1.6
M1	3.7	1.1	1.4	1.9	1.3	1.0	1.6	0.7	0.9	3.5	1.4	0.9	1.2
M2	3.4	3.2	3.0	3.6	2.5	2.8	1.7	0.8	0.9	2.1	1.6	1.2	1.2
E20	6.3	3.6	4.3	4.6	2.8	2.8	1.8	1.2	1.4	3.1	1.7	1.8	1.6
M1	3.7	1.1	2.0	2.1	1.0	1.1	1.3	1.8	1.1	3.5	1.5	1.0	1.2
M2	5.1	3.4	3.6	4.1	2.6	2.8	1.6	0.1	1.0	2.2	1.6	1.3	1.2
Total	3.6	3.2	3.8	3.9	2.6	2.7	1.9	1.2	1.8	2.4	1.6	1.8	1.8

En la Tabla 4.8 se observan los valores obtenidos de la media y la desviación estándar para el oxígeno disuelto en el agua durante los cuatro años, donde se puede observar que la media global durante el periodo de estudio fue de 5.96 mg/L con una desviación estándar de 2.57.

Estos datos indican que el valor promedio de la temperatura está dentro de los límites para la producción de tilapia conforme a lo dispuesto por Timmons (2002).

Tabla 4.8 Valores de la media y desviación estándar del oxígeno por temporada y año

Medias / desviaciones estándar del oxígeno disuelto					
Año	Primavera	Verano	Otoño	Invierno	Anual
2016			7.79 / 3.24	7.87 / 3.38	7.8 / 3.26
2017	5.58 / 2.5	5.11 / 2.7	7.57 / 3.92	7.61 / 3.31	6.31 / 3.38
2018	4.91 / 1.33		3.79 / 1.15	5.86 / 1.85	5.12 / 1.81
2019	5.12 / 1.81	5.37 / 1.83	4.18 / 1.59	4.05 / 1.81	4.6 / 1.84
Global	5.2 / 1.88	5.24 / 2.27	5.83 / 2.48	6.35 / 2.59	5.96 / 2.57

Tomando en cuenta el punto de vista estacional, es notorio que durante la primavera el nivel de oxígeno disuelto en promedio fue de 5.2 con una desviación estándar de 1.88, esto quiere decir que los límites naturales del proceso tienen valores de 10.84, para el límite natural superior y de -0.44 para el límite natural inferior, demostrando la presencia de valores fuera de lo dispuesto por Timmons (2002), siendo esta una observación de área de oportunidad.

En la Tabla 4.9 se muestran los valores de los cocientes de variación, calculados a partir de la información de las medias y desviaciones del oxígeno disuelto anteriormente mostradas.

Tabla 4.9 Cocientes de variación (CV) del oxígeno disuelto por temporada y año

Cocientes de variación del oxígeno disuelto					
Año	Primavera	Verano	Otoño	Invierno	Anual
2016			41.59%	42.95%	41.79%
2017	44.80%	52.84%	51.78%	43.50%	53.57%
2018	27.09%		30.34%	31.57%	35.35%
2019	35.35%	34.08%	38.04%	44.69%	40.00%
Global	35.75%	43.46%	40.44%	40.68%	42.68%

Como se observa en la Tabla 4.9 todas las estaciones del año presentan valores de CV mayores del 5 % para el oxígeno disuelto, propuesto por Sánchez et al. (1995) para el control de calidad. De forma global, el valor del CV es calculado en un 42.68 %, siendo este valor lo que representa

la desviación estándar respecto al valor promedio del oxígeno disuelto en el agua, demostrando un alto nivel de dispersión en los datos de esta variable de calidad del agua.

Así mismo, se calcularon los valores de la mediana para las estaciones del año, los cuales se muestran en la Tabla 4.10.

Tabla 4.10 Valores de la mediana del oxígeno por temporada y año

Mediana del oxígeno disuelto					
Año	Primavera	Verano	Otoño	Invierno	Anual
2016			7.7	7.22	7.46
2017	5.69	5.16	7.43	7.68	6.49
2018	4.78		3.88	5.9	4.85
2019	4.71	5.31	4.1	4	4.53
Global	5.06	5.24	5.78	6.20	5.83

La mediana de la temperatura del periodo de estudio fue de 5.83, lo que indica que un 50 % de los datos históricos de la temperatura está por debajo de los 5.83 mg/L y el 50 % de los datos restantes se encuentra por encima de este valor.

4.1.3 Obtención de áreas de oportunidad preliminares

4.1.3.1 Cociente de variación de Temperatura

Se analizan los cocientes de variación de temperatura detectando la frecuencia en que los valores resulten por encima del 5 %, para realizar una priorización a partir de ello. Los cocientes de variación de cada variable son estructurados en dos matrices de priorización, en ambas matrices se prioriza de forma horizontal los estanques y los horarios, mientras que de forma vertical se priorizan las estaciones del año.

Parte de la matriz de priorización con los cocientes de variación para la temperatura del agua se muestra en la Figura 4.1 y en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, en donde la aplicación informática que se realizó señala con color rojo aquellos cocientes mayores al 5 %. La matriz de priorización completa se encuentra en el Anexo 9.

Estanques y hora	2016		2017				2018			2019				Frecuencia: datos encima de 5 %
	Otoño	Invierno	Primavera	Verano	Otoño	Invierno	Primavera	Otoño	Invierno	Primavera	Verano	Otoño	Invierno	
1	5.0%	3.7%	7.4%	6.2%	7.8%	6.3%	4.5%	8.0%	7.6%	9.5%	7.9%	5.0%		8
1 M1	3.5%	2.8%	6.4%	3.7%	6.4%	5.3%	2.3%	6.9%	6.3%	0.0%	3.0%	3.4%		5
1 M2	3.3%	2.7%	5.7%	5.2%	7.4%	5.0%	0.0%	7.8%	7.3%	12.9%	4.6%	2.0%		7
2	5.6%	4.4%	6.0%	6.1%	7.5%	7.0%	4.8%	8.2%	7.7%	9.5%	7.9%	5.1%	5.1%	11
2 M1	4.6%	3.1%	3.4%	3.3%	6.4%	5.9%	2.7%	7.1%	5.8%	0.0%	3.1%	4.7%	5.5%	5
2 M2	5.0%	4.5%	4.7%	4.8%	7.6%	6.9%	0.9%	7.9%	7.2%	12.9%	4.3%	3.9%	4.6%	6
3	5.2%	6.7%	6.2%	6.1%	8.8%	6.5%	4.7%	8.8%	7.7%		7.8%	5.2%	5.7%	11
3 M1	4.1%	5.2%	4.1%	3.4%	7.3%	5.2%	2.3%	8.2%	6.4%		3.4%	4.6%		5
3 M2	4.2%	9.4%	4.7%	4.9%	9.0%	7.0%	3.1%	8.2%	7.0%		4.5%	3.9%		5
4	5.2%	3.1%	6.3%	6.4%	5.2%	5.7%	4.8%	8.7%	7.1%		7.9%	5.4%	5.4%	10
4 M1	4.5%	3.6%	4.5%	3.9%	5.6%	5.4%	2.3%	8.1%	5.6%		3.0%	4.5%	5.4%	5
4 M2	5.1%	2.2%	5.2%	5.2%	3.9%	5.3%	3.2%	8.3%	6.8%		4.7%	4.3%	5.0%	6
5	5.2%	4.2%	6.0%	5.8%	6.9%	6.1%	4.7%	8.8%	7.5%	2.0%	7.9%	5.5%	5.8%	10
5 M1	4.3%	2.9%	4.9%	3.4%	6.0%	5.6%	2.6%	9.6%	5.4%		3.3%	4.6%	5.1%	5
5 M2	5.3%	3.9%	5.1%	4.3%	7.3%	5.7%	2.9%	7.1%	7.1%	2.4%	3.9%	4.4%	5.6%	7
6	5.1%	3.8%	5.9%	5.8%	8.0%	5.9%	4.5%	8.7%	7.5%	7.7%	7.8%	5.5%	7.3%	11
6 M1	3.6%	3.9%	5.1%	3.4%	7.0%	4.5%	2.3%	8.0%	5.9%	2.9%	3.4%	4.6%	5.0%	4
6 M2	4.8%	2.4%	4.9%	4.8%	7.9%	6.2%	2.8%	8.2%	7.0%	3.8%	3.7%	4.4%	7.1%	5
7	5.4%	3.5%	6.4%	5.5%	7.2%	5.9%	4.6%	9.5%	7.6%	7.3%	7.5%	5.2%	7.2%	11
7 M1	4.2%	2.0%	4.8%	3.0%	6.4%	6.0%	2.7%	9.1%	5.7%	2.9%	3.2%	4.5%	5.2%	5
7 M2	5.9%	3.8%	5.6%	4.1%	7.6%	5.1%	1.9%	9.1%	7.3%	3.7%	3.8%	4.0%	7.0%	7
8	5.1%	3.8%	6.0%	5.7%	7.2%	6.7%	4.2%	8.3%	7.5%	7.3%	7.5%	5.3%	7.1%	11
8 M1	4.1%	3.9%	4.5%	3.6%	6.0%	5.4%	1.8%	7.4%	6.0%	2.9%	3.1%	4.6%	5.1%	5
8 M2	4.2%	4.0%	5.7%	4.8%	6.9%	7.2%	2.8%	7.4%	6.7%	3.6%	3.9%	4.1%	7.1%	6
9	5.3%	5.4%	5.9%	5.6%	7.3%	7.3%	4.2%	8.2%	7.6%	7.6%	7.9%	5.2%	7.0%	12
9 M1	4.4%	4.5%	4.3%	3.1%	6.6%	6.6%	1.8%	7.7%	5.8%	2.3%	3.2%	4.5%	4.9%	4
9 M2	5.1%	5.3%	4.6%	4.3%	7.9%	7.4%	2.6%	7.4%	7.2%	3.5%	4.4%	3.8%	7.1%	7
10	5.3%	5.9%	5.8%	5.7%	7.2%	8.0%	4.7%	8.8%	7.5%	7.4%	7.5%	5.3%	7.5%	12
10 M1	3.8%	4.0%	3.7%	3.0%	6.2%	7.3%	2.6%	8.0%	5.8%	2.6%	3.4%	4.5%	5.1%	5
10 M2	4.8%	7.9%	4.5%	4.2%	7.1%	6.5%	2.9%	8.3%	7.0%	3.2%	4.4%	4.1%	7.5%	6
11	5.2%	4.1%	6.3%	5.7%	7.8%	7.7%	4.6%	8.6%	7.3%	7.3%	7.6%	5.5%	7.8%	11
11 M1	3.6%	3.4%	4.7%	3.2%	6.3%	6.7%	2.3%	8.0%	6.0%	2.5%	3.3%	4.7%	5.3%	5
11 M2	4.6%	2.1%	5.6%	4.1%	7.7%	6.7%	2.8%	8.1%	6.6%	3.3%	4.5%	4.2%	8.0%	6
12	5.3%	4.1%	5.8%	5.9%	6.8%	6.8%	4.6%	8.5%	7.6%	7.3%	8.2%	7.0%	6.2%	11
12 M1	3.6%	3.8%	4.2%	3.1%	5.0%	5.6%	2.7%	7.5%	6.1%	3.2%	3.8%	3.6%	2.8%	3
12 M2	4.6%	1.8%	4.6%	4.4%	6.7%	5.6%	3.2%	8.0%	6.9%	3.3%	5.0%	5.5%	6.2%	7
15	4.2%	4.7%	5.3%	4.8%	6.7%	7.5%	4.3%	8.1%	7.8%	7.2%	7.4%	5.2%	7.1%	9
15 M1	2.2%	4.0%	4.1%	2.7%	5.8%	6.9%	1.8%	9.3%	5.9%	3.4%	0.0%	4.4%	5.4%	5
15 M2	3.6%	4.0%	4.6%	4.0%	6.9%	7.3%	1.9%	6.3%	6.7%	3.2%	3.5%	4.2%	7.2%	5
16	4.3%	6.0%	6.3%	5.0%	7.4%	7.6%	4.7%	8.8%	7.6%	7.3%	6.1%	5.1%	7.2%	11
16 M1	2.3%	7.1%	4.6%	3.0%	6.5%	7.3%	3.8%	8.1%	6.3%	3.5%	0.0%	4.3%	5.4%	6
16 M2	3.7%	2.7%	6.7%	3.9%	7.4%	6.4%	3.0%	8.4%	7.0%	3.5%	2.8%	4.0%	7.4%	6
17	3.8%	4.0%	5.1%	4.7%	7.2%	6.5%	4.8%	7.7%	7.7%	7.2%	8.6%	5.2%	7.1%	9
17 M1	2.2%	3.5%	4.2%	2.9%	6.5%	6.0%	3.2%	8.0%	5.8%	3.3%	0.0%	4.4%	5.4%	5
17 M2	3.1%	2.8%	4.4%	3.8%	7.4%	5.5%	1.8%	7.1%	7.1%	3.3%	4.9%	4.1%	7.1%	5
18	4.2%	4.6%	5.3%	5.2%	7.1%	6.2%	4.7%	8.7%	7.4%	7.4%	7.1%	5.3%	7.1%	10
18 M1	2.4%	4.2%	4.4%	3.1%	6.1%	5.5%	2.0%	8.1%	5.8%	3.3%	0.0%	4.3%	5.4%	5
18 M2	3.5%	3.8%	4.5%	4.3%	7.1%	5.7%	3.0%	8.2%	6.8%	3.5%	2.0%	4.3%	7.1%	5
19	4.3%	4.5%	5.7%	5.2%	7.0%	6.4%	4.5%	8.8%	7.4%	7.3%	7.1%	5.0%	7.1%	10
19 M1	2.4%	4.0%	4.4%	3.2%	6.1%	5.4%	2.1%	8.0%	5.9%	3.3%	0.0%	4.2%	5.4%	5
19 M2	3.7%	3.4%	4.9%	4.2%	7.3%	6.0%	2.4%	8.4%	6.9%	3.4%	2.0%	3.9%	7.2%	5
20	4.5%	4.4%	5.9%	5.7%	7.6%	6.9%	4.5%	7.8%	7.7%	7.6%	7.9%	5.3%	7.2%	10
20 M1	2.6%	4.0%	4.6%	3.3%	6.6%	5.9%	2.2%	9.0%	5.8%	3.5%	0.0%	4.3%	5.4%	5
20 M2	3.7%	4.0%	5.2%	4.5%	7.4%	6.4%	2.3%	6.3%	7.0%	4.5%	0.0%	4.3%	7.4%	6
Frecuencia:	16	9	28	18	52	53	0	54	54	17	19	18	44	

Figura 4.1 Cocientes de variación de la temperatura del agua

Nota: la tabla completa puede observarse en el Anexo 9

De la matriz de priorización para la temperatura, se observa que los estanques que tuvieron más de 10 ocurrencias mayores al 5 % de cociente de variación (CV) durante las estaciones del año bajo estudio son: el estanque 2 (con 11 ocurrencias), estanque 3 (con 11), el 6 (con 11), el 7 (con

11), el 8 (con 11), el 9 (con 12), el 10 (con 12), el 11 (con 11), el 12 (con 11) y el 16 (con 11), énfasis en los estanques 9 y 10 que cuentan con el mayor número de ocurrencias (12 ocurrencias).

Para estratificar aún más los datos relacionados a la temperatura, se decide utilizar el diagrama de Pareto para las estaciones del año, para los estanques y para los horarios tomando en cuenta la ocurrencia mostrada en la matriz de priorización.

4.1.3.1.1 Coeficiente de variación: temperatura por temporada

La ocurrencia por temporada de un CV mayor al 5 % en la temperatura se muestra en la Tabla 4.11, mientras que el diagrama de Pareto resultante se observa en la Figura 4.2.

Tabla 4.11 Frecuencia de estaciones con CV mayor a 5 % para la temperatura

Estaciones	Frecuencia	Estaciones	Frecuencia
2016 Invierno	9	2018 Invierno	54
2016 Otoño	16	2018 Otoño	54
2017 Invierno	53	2019 Invierno	44
2017 Primavera	28	2019 Primavera	17
2017 Verano	18	2019 Verano	19
2017 Otoño	52	2019 Otoño	18

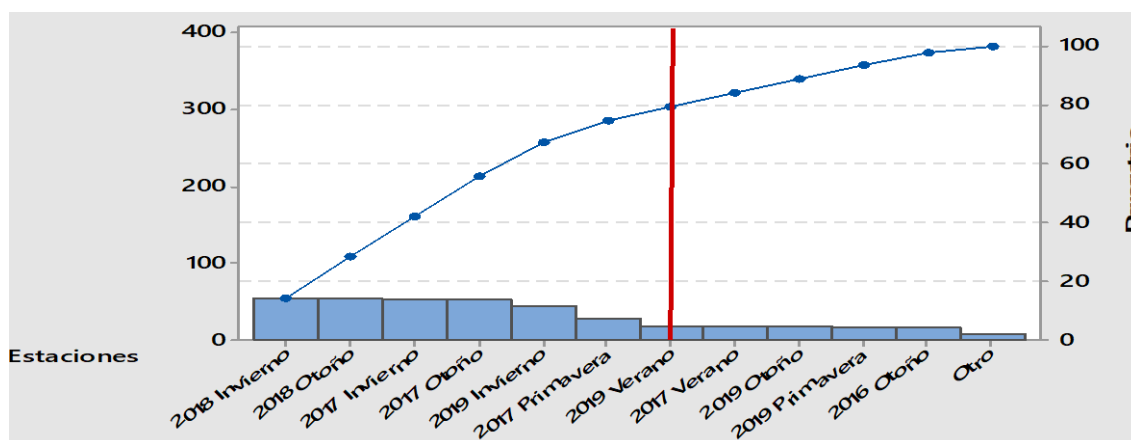


Figura 4.2 Diagrama de Pareto de las temporadas con alta variabilidad en la temperatura

Como se muestra en la Figura 4.2, las estaciones del año que se repiten dentro del 80 % de ocurrencias son: invierno y otoño, es decir, son las temporadas en que la temperatura presenta mayor variabilidad.

4.1.3.1.2 Coeficientes de variación: temperatura por estanques

La ocurrencia en que los estanques del 1 al 12 y del 15 al 20 mostraron un cociente de variación (CV) en la temperatura, mayor al 5 %, se muestra en la Tabla 4.12, mientras que el diagrama de Pareto resultante se observa en la Figura 4.3.

Tabla 4.12 Frecuencia de estanques con CV mayor a 5 % para la temperatura

Estanques	¿Encima de 5 %?	Estanques	¿Encima de 5 %?
1	8	10	12
2	11	11	11
3	11	12	11
4	10	15	9
5	10	16	11
6	11	17	9
7	11	18	10
8	11	19	10
9	12	20	10

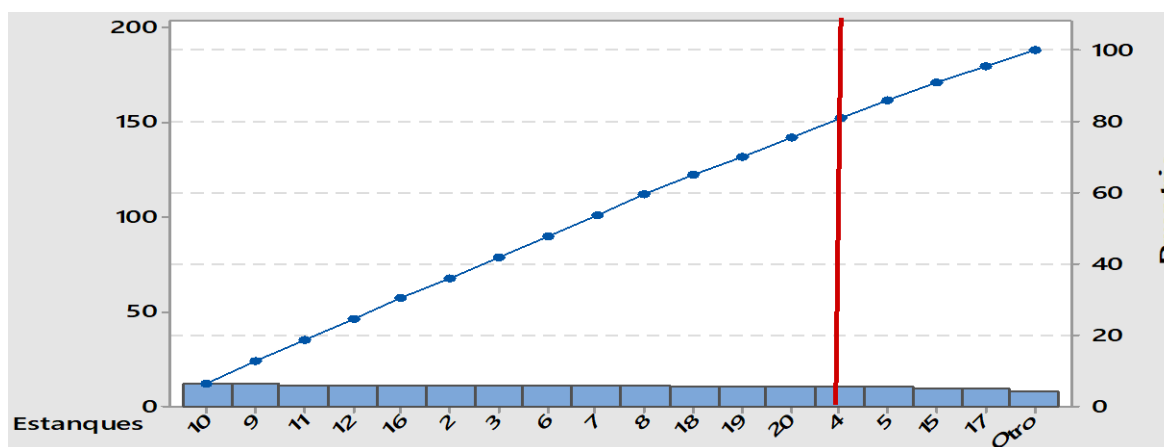


Figura 4.3 Diagrama de Pareto de estanques con alta variabilidad en la temperatura

Como se presenta en el diagrama de Pareto de la Figura 4.3, los estanques que conforman el 80 % de ocurrencias son los estanques 2, 3, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 16, 18, 19 y 20, lo cual indica que

más del 50 % de los estanques de Tilapia presentan un CV mayor al 5 %, señalando una gran variabilidad en el parámetro de la temperatura del agua.

4.1.3.1.3 Coeficientes de variación: temperatura por muestras M1 y M2

La ocurrencia en que los horarios M1 y M2 mostraron un cociente de variación (CV) mayor al 5 % en la temperatura del agua, se muestra en la Tabla 4.13, mientras que el diagrama de Pareto elaborado con esos datos se observa en la Figura 4.4.

Tabla 4.13 Frecuencia de los horarios con CV mayor a 5 % para la temperatura

Hora	Frecuencia encima de 5 %	Hora	Frecuencia encima de 5 %	Hora	Frecuencia encima de 5 %	Hora	Frecuencia encima de 5 %
1 M1	5	5 M2	7	10 M1	5	16 M2	6
1 M2	7	6 M1	4	10 M2	6	17 M1	5
2 M1	5	6 M2	5	11 M1	5	17 M2	5
2 M2	6	7 M1	5	11 M2	6	18 M1	5
3 M1	5	7 M2	7	12 M1	3	18 M2	5
3 M2	5	8 M1	5	12 M2	7	19 M1	5
4 M1	5	8 M2	6	15 M1	5	19 M2	5
4 M2	6	9 M1	4	15 M2	5	20 M1	5
5 M1	5	9 M2	7	16 M1	6	20 M2	6

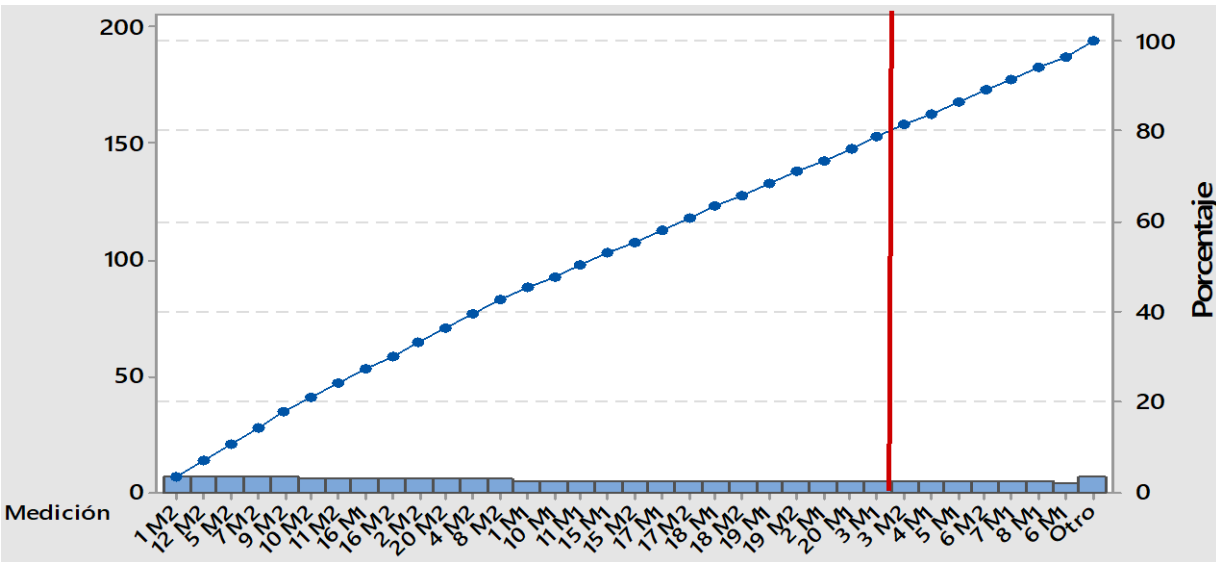


Figura 4.4 Diagrama de Pareto de horarios con alta variabilidad en la temperatura

En la Figura 4.4, el diagrama de Pareto clasifica dentro del 80 % a las mediciones tomadas por la tarde (M2) presentándose 16 veces, mientras que las mediciones tomadas por la mañana (M1) se presentan 11 veces. De lo anterior se puede inferir que la temperatura en el agua por la tarde presenta una variabilidad mayor.

4.1.3.2 Coeficiente de variación de oxígeno

Para la variable del oxígeno disuelto, la matriz de priorización con los CV se muestra en la siguiente página en la Figura 4.5 como una versión reducida, la versión extendida se observa en el Anexo 10.

Estan-ques y hora	2016		2017				2018			2019				Frecue-ncia: datos encima de 5 %
	Otoño	Invier-no	Prima- vera	Veran-o	Otoño	Invier-no	Prima- vera	Otoño	Invier-no	Prima- vera	Veran-o	Otoño	Invier-no	
1	40.4%	24.3%	44.3%	45.9%	48.1%	39.8%	26.0%	31.5%	31.3%	28.9%	40.1%	40.0%		12
1 M1	26.1%	12.8%	49.8%	39.1%	42.0%	39.2%	24.1%	17.1%	28.4%		39.1%	28.2%		11
1 M2	26.5%	14.1%	34.3%	36.4%	44.9%	38.9%	19.4%	19.3%	30.2%		25.7%	33.3%		11
2	38.8%	25.1%	36.0%	47.8%	41.8%	40.1%	26.4%	31.1%	30.9%	28.9%	38.7%	38.7%	35.6%	12
2 M1	21.2%	25.3%	38.7%	43.4%	38.4%	41.3%	23.8%	21.7%	31.3%		41.5%	33.8%	34.4%	11
2 M2	26.5%	26.4%	28.0%	35.6%	32.8%	34.3%	21.7%	18.6%	22.2%		26.0%	34.1%	24.8%	11
3	42.8%	35.1%	40.4%	46.8%	42.0%	42.7%	27.9%	32.6%	30.0%		36.7%	37.4%	15.7%	11
3 M1	25.3%	40.0%	47.9%	36.2%	32.4%	38.5%	20.1%	24.5%	26.4%		35.3%	31.6%		11
3 M2	29.3%	28.3%	28.7%	34.7%	30.9%	36.9%	21.0%	17.5%	28.0%		27.0%	30.7%		11
4	37.7%	21.7%	39.1%	49.4%	35.4%	35.5%	26.4%	30.8%	33.9%		36.6%	39.5%	38.8%	11
4 M1	23.8%	24.5%	43.2%	37.0%	32.5%	36.7%	19.7%	23.2%	33.9%		36.8%	32.6%	41.2%	11
4 M2	28.7%	15.9%	26.8%	32.3%	29.1%	33.8%	18.3%	18.4%	28.8%		27.2%	33.6%	28.9%	11
5	37.0%	24.6%	35.8%	45.5%	44.0%	41.7%	25.7%	29.8%	31.3%	39.0%	30.9%	38.5%	44.3%	12
5 M1	26.7%	19.6%	33.5%	40.3%	37.2%	34.9%	20.3%	22.4%	29.6%		30.5%	38.7%	37.9%	11
5 M2	29.4%	34.1%	23.0%	29.3%	46.7%	49.0%	16.0%	16.3%	25.8%	10.9%	24.7%	30.8%	38.9%	12
6	47.4%	22.0%	43.0%	52.0%	48.0%	32.1%	27.3%	29.9%	32.8%	36.2%	32.5%	36.8%	44.6%	12
6 M1	25.4%	23.9%	35.9%	43.1%	38.2%	32.3%	15.8%	17.7%	32.7%	32.0%	35.1%	33.9%	34.7%	12
6 M2	31.2%	21.4%	31.1%	36.1%	34.3%	30.9%	18.6%	17.8%	27.0%	19.1%	24.2%	29.6%	37.2%	12
7	34.6%	27.1%	36.1%	49.2%	47.7%	35.1%	27.5%	30.6%	32.2%	36.8%	32.9%	36.1%	46.5%	12
7 M1	26.8%	11.1%	33.5%	37.0%	39.2%	32.0%	21.2%	24.2%	32.6%	30.1%	31.4%	29.1%	34.7%	12
7 M2	25.2%	39.2%	25.6%	32.8%	47.0%	37.5%	13.2%	20.7%	26.6%	23.0%	26.8%	30.6%	44.8%	12
8	46.9%	26.0%	39.2%	50.3%	52.6%	35.7%	25.1%	29.8%	33.1%	36.8%	32.8%	37.8%	41.5%	12
8 M1	23.8%	28.2%	33.2%	38.9%	38.2%	32.3%	19.9%	29.6%	33.4%	27.3%	34.3%	32.1%	32.5%	12
8 M2	30.2%	22.2%	28.5%	35.5%	37.8%	26.5%	17.9%	11.9%	26.7%	21.3%	22.2%	29.9%	36.9%	12
9	41.9%	30.2%	43.3%	48.3%	43.4%	37.0%	27.1%	30.9%	33.5%	35.1%	30.3%	37.6%	40.3%	12
9 M1	20.7%	20.9%	37.9%	38.3%	37.7%	27.2%	19.5%	22.4%	33.3%	28.3%	32.6%	34.0%	35.4%	12
9 M2	27.0%	34.5%	29.1%	29.8%	29.4%	35.5%	18.9%	17.1%	27.3%	19.4%	21.0%	28.2%	33.4%	12
10	49.0%	40.3%	49.2%	54.3%	52.1%	40.1%	28.4%	31.2%	32.8%	35.8%	32.1%	35.2%	41.4%	12
10 M1	25.8%	48.9%	47.0%	37.3%	37.5%	30.9%	21.5%	18.8%	32.7%	27.8%	32.4%	32.5%	32.4%	12
10 M2	33.3%	26.0%	34.2%	33.1%	31.6%	27.8%	16.0%	17.1%	26.7%	17.7%	24.6%	26.8%	33.9%	12
11	39.2%	26.8%	47.8%	53.2%	51.9%	41.8%	28.7%	31.2%	38.2%	36.2%	31.8%	36.3%	51.4%	12
11 M1	23.9%	25.5%	48.1%	35.6%	40.5%	29.2%	30.1%	24.7%	36.4%	32.5%	32.8%	32.8%	35.9%	12
11 M2	24.7%	21.5%	27.4%	32.4%	29.1%	32.4%	19.1%	15.3%	34.1%	18.9%	24.2%	25.6%	46.8%	12
12	37.1%	17.2%	50.8%	50.2%	49.6%	41.8%	28.1%	29.6%	31.4%	34.1%	30.1%	33.4%	39.0%	12
12 M1	24.4%	9.9%	36.9%	38.0%	35.3%	27.5%	26.3%	24.3%	30.5%	34.7%	31.1%	30.8%	28.0%	12
12 M2	23.4%	25.8%	34.4%	36.7%	56.4%	42.2%	20.5%	11.9%	24.8%	17.9%	22.9%	18.2%	38.2%	12
15	38.2%	43.1%	41.2%	54.8%	46.5%	39.2%	27.7%	22.4%	25.4%	33.8%	32.7%	39.1%	43.4%	12
15 M1	18.1%	41.3%	28.2%	31.6%	34.6%	34.4%	17.9%	17.3%	22.7%	27.5%	31.5%	39.6%	35.7%	12
15 M2	30.1%	19.2%	29.7%	44.3%	25.2%	33.2%	17.7%	1.0%	16.0%	15.8%	19.2%	31.1%	36.5%	11
16	36.2%	42.1%	45.1%	60.8%	56.6%	48.2%	25.1%	30.2%	30.2%	33.2%	32.7%	36.6%	41.9%	12
16 M1	18.5%	46.3%	27.5%	39.0%	41.7%	30.7%	16.7%	23.6%	31.0%	26.8%	31.5%	37.6%	35.6%	12
16 M2	28.1%	23.6%	30.0%	42.1%	31.4%	37.1%	16.8%	15.8%	23.2%	15.6%	19.2%	27.9%	34.4%	12
17	32.6%	46.2%	41.1%	53.3%	50.8%	43.9%	23.5%	26.7%	28.5%	32.1%	32.7%	36.4%	43.4%	12
17 M1	16.7%	35.0%	29.2%	32.9%	31.1%	26.4%	15.6%	46.5%	24.6%	24.2%	31.5%	36.4%	36.4%	12
17 M2	28.7%	29.8%	25.1%	35.4%	27.9%	31.4%	13.6%	14.1%	20.9%	17.9%	19.2%	30.0%	37.0%	12
18	40.4%	48.3%	41.3%	63.6%	59.2%	49.9%	24.2%	28.0%	31.8%	29.4%	43.5%	36.5%	43.8%	12
18 M1	20.0%	37.7%	29.7%	39.3%	37.5%	32.5%	16.3%	23.7%	31.6%	20.7%	21.7%	34.7%	35.6%	12
18 M2	31.0%	37.0%	20.4%	46.8%	25.4%	33.0%	13.3%	15.0%	24.1%	17.6%	19.2%	30.7%	36.8%	12
19	44.7%	52.2%	48.4%	59.5%	54.7%	52.7%	24.8%	28.7%	30.6%	29.0%	32.7%	35.7%	45.9%	12
19 M1	20.1%	60.0%	32.7%	35.0%	37.1%	31.3%	19.6%	23.0%	30.1%	18.9%	31.5%	35.4%	38.2%	12
19 M2	29.8%	30.2%	33.0%	41.3%	30.6%	29.2%	14.4%	16.7%	23.7%	16.6%	19.2%	28.8%	37.6%	12
20	44.9%	53.6%	52.4%	61.6%	57.7%	53.1%	24.7%	25.9%	29.4%	29.7%	32.7%	35.3%	46.0%	12
20 M1	20.5%	61.1%	29.3%	38.3%	40.0%	37.5%	24.1%	45.4%	25.4%	20.8%	31.5%	35.5%	35.8%	12
20 M2	30.7%	13.2%	33.1%	41.0%	32.8%	30.0%	15.4%	2.8%	21.0%	17.2%	19.2%	29.2%	39.6%	11
Frecue-ncia:	54	54	54	54	54	54	54	52	54	43	54	54	49	

Figura 4.5 Cocientes de variación (CV) del oxígeno disuelto

Nota: la figura se puede apreciar de forma extendida en el Anexo 10.

Debido a que casi todos los datos del oxígeno disuelto en el agua presentan un cociente de variación mayor al 5 % en la matriz de priorización, se determina usar la estratificación por medio del valor de la mediana por estación del año, estos valores se muestran en la Tabla 4.14.

Tabla 4.14 Valores de la mediana del oxígeno disuelto por temporada (para estratificar)

Mediana	Primavera	Verano	Otoño	Invierno
2016			7.70	7.22
2017	5.69	5.16	7.43	7.68
2018	4.78		3.88	5.90
2019	4.71	5.31	4.10	4.00

A pesar de que el valor de las medianas durante todo el periodo en estudio se encuentra dentro del rango, se hace notar que, en el año 2018, en la temporada de otoño, en el año 2019 en las temporadas de otoño y de invierno, las medianas son las más pequeñas, lo que coincide con las temporadas en las que la temperatura presenta mayor variabilidad. En la tabla 4.14 se puede observar marcadas con rojo las medianas en donde se presentan casos con muy poca cantidad de oxígeno en los tanques.

En cuanto a la temperatura: se determinó que más de la mitad de los estanques presenta mayor variabilidad, por la tarde las estaciones de invierno y otoño.

En cuanto al oxígeno disuelto: en todas las circunstancias se presenta alta variabilidad, siendo los casos de las temporadas de invierno y otoño en donde se presentan valores bajos de oxígeno. Por lo anterior, se detecta esta área de oportunidad de trabajar en ambas variables: temperatura y oxígeno disuelto en el agua.

No se realizó el análisis de Pareto debido a que más del 90 % de los datos presentan un cociente de variación mayor a 5 %. En cambio, se realiza una gráfica de cajas y bigotes para cada uno de los años bajo estudio, del 2016 (Figura 4.6) hasta el 2019 (Figura 4.9).

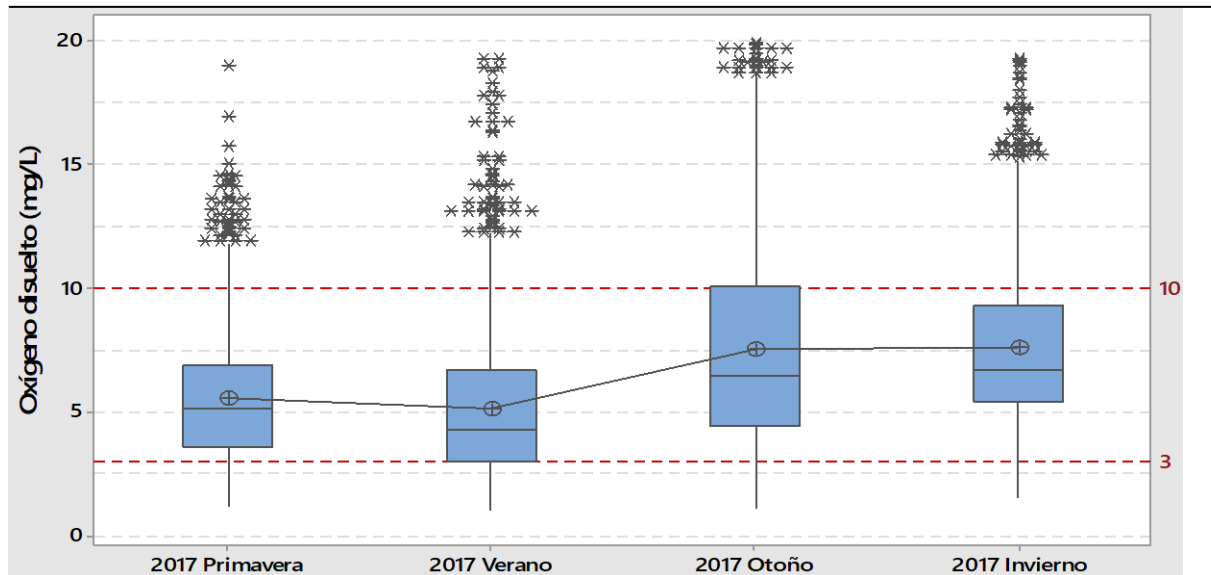


Figura 4.7 Gráfico de cajas y bigotes del oxígeno disuelto (2017)

Como se aprecia en la Figura 4.7, la línea que conecta las medias no parece tener pendiente entre la primavera y el verano, así como también entre el otoño y el invierno, por lo que, los valores promedio de 5.58 mg/L de la primavera y 5.11 del verano son similares, de la misma forma que el promedio de 7.57 mg/L del otoño y 7.61 del invierno. Sin embargo, entre el verano y el otoño, las medias de 5.11 y 7.57 respectivamente, presentan pendiente, por lo que no son similares.

En las cuatro estaciones se presentan datos fuera de las líneas de referencia. Por debajo de la referencia de 3 mg/L (especificación inferior), destaca el verano por la presencia del 25 % de datos, sin embargo, es preocupante que en las demás temporadas también haya datos por debajo del nivel, puesto que esto refleja condiciones críticas en los que las tilapias sufren de falta de oxígeno. Por encima de la referencia de 10 mg/L (especificación superior), durante el otoño, cerca del 25 % de los datos están por encima de la especificación superior, de la misma forma que en el invierno, pero en menor proporción. La presencia de datos por encima de la referencia sugiere un uso excesivo del sistema de aireación, lo cual eleva los niveles de oxígeno por encima de los necesarios.

El rango intercuartil para la primavera tuvo un valor de 3.3, para el verano fue de 3.7, en cuanto al otoño fue de 5.7, mientras que para el invierno fue de 3.9, estando en todos los casos dentro

de las líneas de referencia. Siendo menor durante la primavera, se deduce que durante esta estación se tiene menos variabilidad, por otro lado, es apreciable que la mayor variabilidad fue durante la estación del otoño. En contraste con lo anterior, la presencia de pocos datos atípicos durante el otoño demuestra que es común encontrar datos lejos de la especificación superior, lo que demuestra que comportamiento del oxígeno disuelto durante el otoño del 2017 no está bajo control.

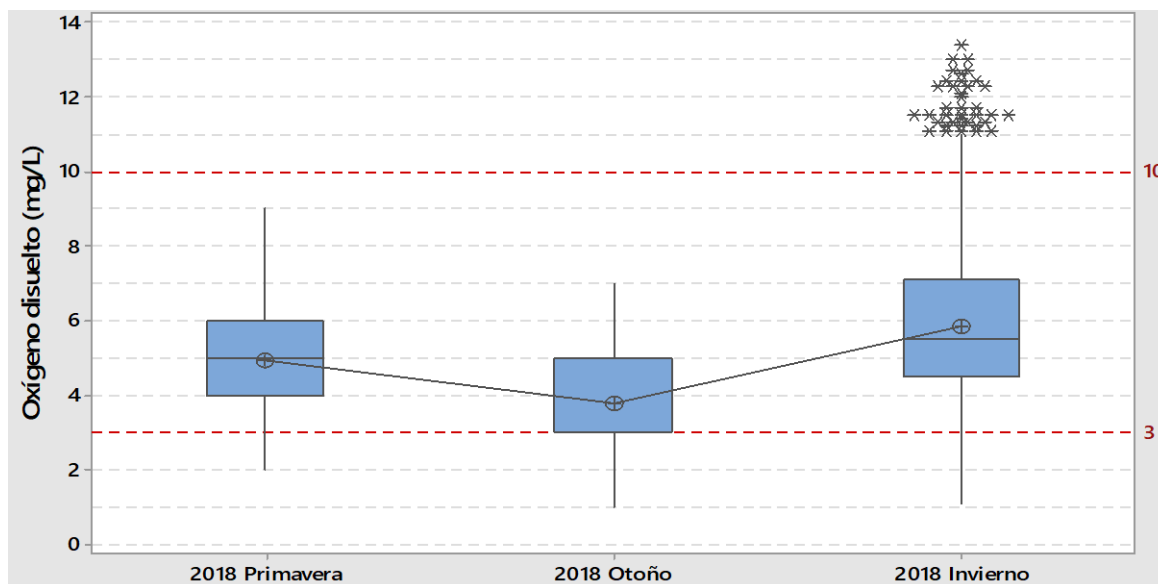


Figura 4.8 Gráfico de cajas y bigotes del oxígeno disuelto (2018)

En la Figura 4.8, se muestra que la línea que conecta las medias parece tener pendiente entre la primavera y el otoño, así como también entre el otoño y el invierno, por lo que, los valores promedio de 4.91 mg/L de la primavera y 3.79 del otoño no son similares, de la misma forma que en el caso del promedio de 3.79 mg/L del otoño y 5.85 del invierno.

En las cuatro estaciones se presentan datos fuera de las líneas de referencia. Por debajo de la referencia de 3 mg/L (especificación inferior), destaca el otoño por la presencia del 25 % de datos, sin embargo, es preocupante que en las demás temporadas también haya datos por debajo de la especificación, reflejando condiciones críticas en los que las tilapias sufren por falta de oxígeno. Por encima de la referencia de 10 mg/L (especificación superior), durante el invierno, se presentan datos, pero estos parecen conformar menos del 25 % de la información de dicha estación.

El rango intercuartil para la primavera tuvo un valor de 2, en cuanto al otoño fue de 2, mientras que para el invierno fue de 2.6, estando en todos los casos dentro de las líneas de referencia. Siendo menor durante la primavera y el otoño, lo cual quiere decir que durante estas estaciones se tiene menos variabilidad, por otro lado, es apreciable que la mayor variabilidad fue durante la estación del invierno. En contraste con lo anterior, la presencia de pocos datos atípicos durante el invierno demuestra una causa asignable en el comportamiento del oxígeno disuelto durante el invierno del 2018, mencionando también el comportamiento durante el otoño del 2018 que presenta valores muy bajos de forma general.

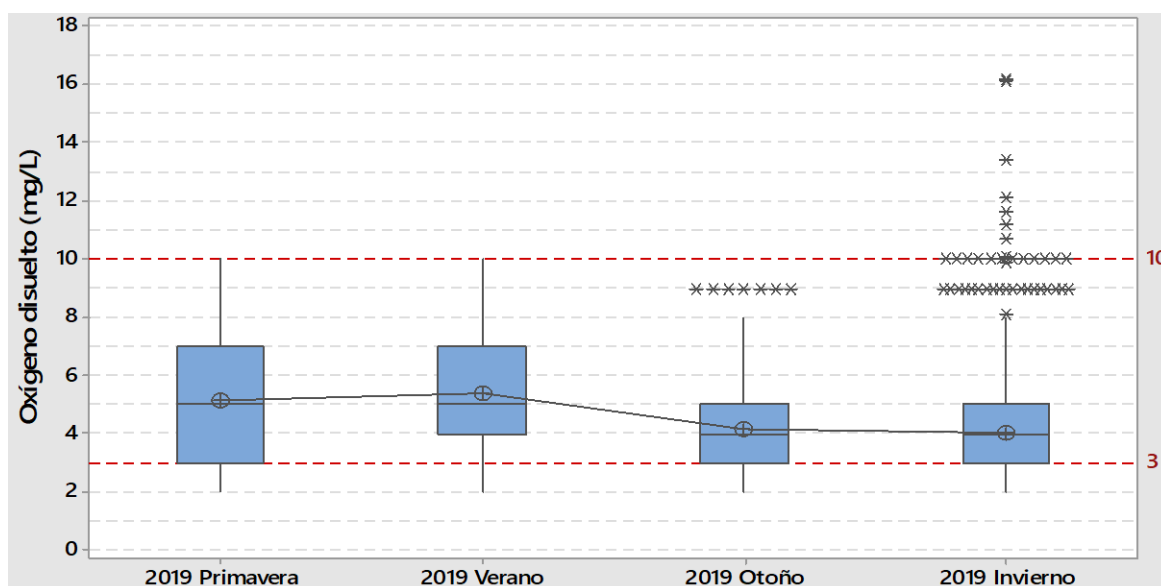


Figura 4.9 Gráfico de cajas y bigotes del oxígeno disuelto (2019)

Como se observa en la Figura 4.9, la línea que conecta las medias no parece tener pendiente entre la primavera y el verano, así como también entre el otoño y el invierno, por lo que, los valores promedio de 5.12 mg/L de la primavera y 5.37 del verano son similares, de la misma forma que el promedio de 4.18 mg/L del otoño y 4.05 del invierno. Sin embargo, entre el verano y el otoño, las medias de 5.37 y 4.18 respectivamente, presentan pendiente, por lo que no son similares.

En las cuatro estaciones se presentan datos fuera de las líneas de referencia. Por debajo de la referencia de 3 mg/L (especificación inferior), las estaciones primavera, otoño e invierno tienen

una presencia del 25 % de datos por cada una, sin embargo, es preocupante que en las todas temporadas haya datos por debajo de la especificación, demostrando condiciones críticas en los que las tilapias sufren de la falta de oxígeno. Por encima de la referencia de 10 mg/L (especificación superior), se muestran valores atípicos correspondientes a la temporada de invierno que no corresponden al comportamiento común del proceso.

El rango intercuartil para la primavera tuvo un valor de 4, para el verano fue de 3, para el otoño fue de 2 y para el invierno fue de 2, estando en todos los casos dentro de las líneas de referencia. Siendo menor durante el otoño y el invierno, se deduce que durante esta estación se tiene menos variabilidad, por otro lado, es apreciable que la mayor variabilidad fue durante la estación de la primavera. Sin embargo, la presencia de gran cantidad de datos atípicos durante el invierno de 2019 sugiere que el proceso no está bajo control, siendo también durante esta estación el valor promedio más bajo de oxígeno.

Con la información analizada por medio de las gráficas de cajas y bigotes, se reconoce como a la estación del invierno la más problemática, identificada como un área de oportunidad para el proyecto y para la empresa, para controlar el oxígeno disuelto, evitando el exceso de proceso del sistema de aireación como la falta de oxígeno en los estanques de tilapia.

4.2 Etapa Definir

4.2.1 Definición de los CTQs de los clientes y sus requerimientos

Por medio de un diagrama de árbol se estructuran las características críticas de calidad (CTQ), del proceso, que en este caso son los requerimientos que tiene la empresa respecto a los parámetros fisicoquímicos, los cuales se muestran en la Figura 4.10.

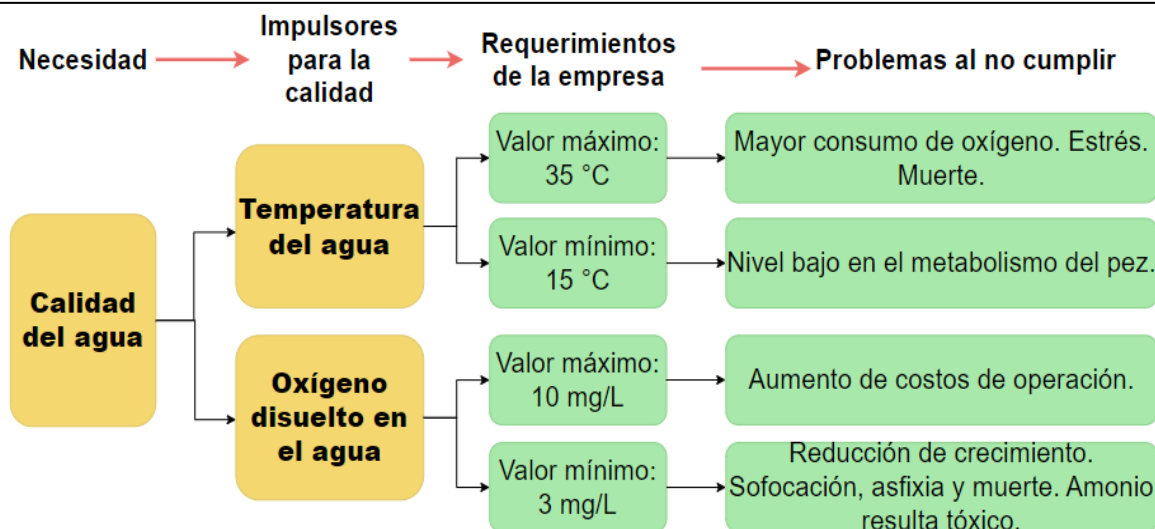


Figura 4.10 Diagrama de árbol de CTQs de calidad del agua

Para ambas variables de calidad del agua, se tienen como requerimientos los valores mínimos y los valores máximos, los cuales se pueden considerar como los límites de especificación inferior y superior, respectivamente para cada parámetro.

4.2.2 Determinación del impacto económico del problema (COPQ)

Para determinar el impacto económico del problema, es decir, el cálculo de los costos de pobre calidad (COPQ) se identificaron los costos operativos relacionados al control y mantenimiento de la calidad del agua de forma anual, siendo estos: la energía usada para el bombeo del agua, la energía usada para el proceso de aireación, y a su vez, el uso de gasolina en caso de falla eléctrica. La Tabla 4.15 muestra el cálculo de los costos del 2022 y su proyección anual.

Tabla 4.15 Costos operativos relacionados a la calidad del agua (2022)

2022	Kw	Horas de Uso	Diario	Kw Mensual	Precio	Pago
Kw bombeo	29.8	4	119.2	3,576.00	\$0.80	\$2,860.80
Kw aireación	3.725	12	44.7	1,341.00	\$3.00	\$4,023.00
Número de incidentes al año			21			
Gasolina (sin energía eléctrica)			5		\$19.00	\$1,995.00
Por lote				4,917.00		\$6,883.80
Periodo anual				59,004.00		\$84,600.60

4.2.3 Obtención de indicadores (métricas del proyecto)

Los indicadores a considerar en este proyecto fueron elegidos por el equipo experto, entre ellos se encuentran estadísticos de tendencia central, índices de capacidad y el cálculo del nivel sigma. El método de obtención de los indicadores se muestra en la Tabla 4.16.

Tabla 4.16 Indicadores del proyecto y su obtención

Variable	Nombre	Obtención
Y1	Temperatura promedio	Media aritmética de los datos de temperatura del agua en grados Celsius.
Y2	Desviación estándar de la temperatura	Desviación estándar de los datos de temperatura del agua.
Y3	Capacidad del proceso (Cp) de la temperatura	La diferencia entre los límites de especificación de la temperatura entre 6 veces la desviación estándar de la temperatura del agua.
Y4	Yield (desempeño) del proceso de la temperatura	Probabilidad de que los datos se ubiquen por debajo del límite superior de especificación, menos la probabilidad de que se ubiquen por debajo del límite inferior de especificación, considerando la media y desviación estándar de la temperatura.
Y5	Nivel Sigma de la temperatura	El inverso de la distribución normal estándar acumulativa, calculada a partir del desempeño del proceso de la temperatura.
Y6	Oxígeno disuelto promedio	Media aritmética de los datos del oxígeno disuelto en el agua en mg/L
Y7	Desviación estándar del Oxígeno disuelto	Desviación estándar de los datos de oxígeno disuelto en el agua
Y8	Capacidad del proceso (Cp) del oxígeno disuelto	La diferencia entre los límites de especificación del oxígeno disuelto entre 6 veces la desviación estándar del oxígeno disuelto en el agua.
Y9	Yield (desempeño) del proceso del oxígeno disuelto	Probabilidad de que los datos se ubiquen por debajo del límite superior de especificación, menos la probabilidad de que se ubiquen por debajo del límite inferior de especificación, considerando la media y desviación estándar del oxígeno disuelto.
Y10	Nivel Sigma del oxígeno disuelto	El inverso de la distribución normal estándar acumulativa, calculada a partir del desempeño del proceso del oxígeno disuelto.
Y11	Costo de operación de calidad de agua	Costos operativos de las actividades de bombeo y aireación, relacionadas al mantenimiento de las condiciones de la calidad del agua de los estanques.

4.2.4 Definición del problema y estructuración del plan del proyecto

La problemática encontrada durante el desarrollo de este proyecto es la alta variabilidad en los parámetros fisicoquímicos de calidad de agua en la empresa Ingeniería agropecuaria del Papaloapan S.P.R. de R.L., que en la temperatura del agua, la variabilidad alta está presente en ciertas condiciones (con mayor presencia en la tarde y también durante las estaciones de invierno y otoño) y en ciertos estanques, mientras que en el caso del oxígeno disuelto del agua, está presente en casi todos los casos. Esta variabilidad se pudo identificar por medio del cálculo del cociente de variación (CV), en la Figura 4.11 se muestra de forma gráfica los CV a lo largo del tiempo del oxígeno disuelto en el agua (en azul oscuro) y de la temperatura del agua (en rojo).

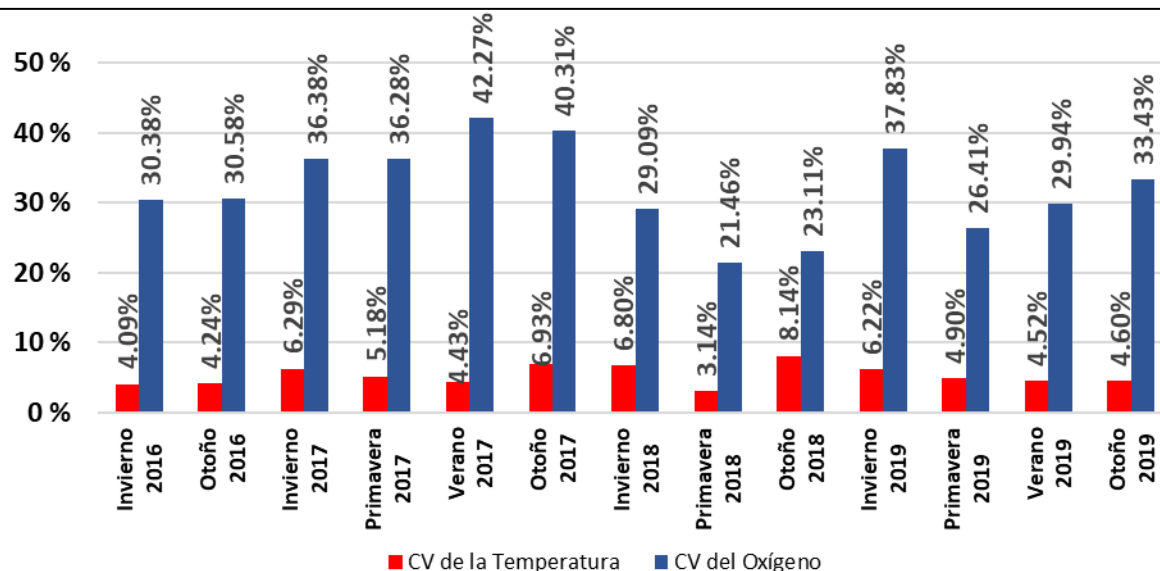


Figura 4.11 Gráfica de barras de los cocientes de variación del oxígeno disuelto por estación del año

Como se muestra en la Figura 4.11 los valores de los cocientes de variación para el oxígeno (azul) por temporada son muy superiores al 5 % (porcentaje determinado en la etapa Reconocer del proyecto), siendo el más bajo el 21.46 % correspondiente a la primavera del 2018 y el más alto de 42.27 % correspondiente al verano del 2017.

La variabilidad alta en ambos parámetros fisicoquímicos hace que existan valores fuera de los límites de especificación, lo que a su vez causa que el proceso esté fuera de control, con variables que no son estables a lo largo del tiempo y con un comportamiento impredecible que dificulta las acciones de control. La falta de medidas de control hace que se desconozcan las causas de variación en el proceso, lo que a su vez provoca variabilidad, vulnerando la capacidad de la empresa por mantener la calidad del agua.

El aumento de la variabilidad trae consigo el aumento de riesgos para los peces, como lo es el estrés, el bajo metabolismo (que se relaciona al bajo crecimiento y bajo peso del pez), asfixia y muerte. A demás de esto, también existe repercusión tanto a las ventas (kilogramos de Tilapia producidos) como a la salud del consumidor final. El plan del proyecto, con la información relevante del mismo, se muestra estructurado en la carta proyecto de la Figura 4.12.

En la siguiente página se encuentra la carta proyecto de este trabajo también conocida como “*project charter*” en la cual se muestra desde el título del proyecto, esquema del problema detectado durante el estudio, cronograma, objetivo, límites del proyecto y beneficios potenciales.

1. Número del proyecto: 01																
3. Título: "Implementación de metodología Six Sigma en granja acuícola para la mejora de calidad de agua en estanques de producción"																
4. Caso de negocio: Al medir los parámetros fisicoquímicos de la calidad del agua en los estanques de tilapia, se presentan numerosos estanques con un cociente de variación mayor al 5 % para las variables de temperatura y oxígeno disuelto en el agua. Esto implica que las condiciones para las tilapias estén fuera de control.																
6. Esquema del problema:	<table> <caption>Porcentaje de estanques con alta variabilidad</caption> <thead> <tr> <th>Año</th> <th>Temp</th> <th>Oxígeno</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2016</td> <td>4.09%</td> <td>30.38%</td> </tr> <tr> <td>2017</td> <td>6.29%</td> <td>36.38%</td> </tr> <tr> <td>2018</td> <td>3.14%</td> <td>21.46%</td> </tr> <tr> <td>2019</td> <td>4.90%</td> <td>26.41%</td> </tr> </tbody> </table>	Año	Temp	Oxígeno	2016	4.09%	30.38%	2017	6.29%	36.38%	2018	3.14%	21.46%	2019	4.90%	26.41%
Año	Temp	Oxígeno														
2016	4.09%	30.38%														
2017	6.29%	36.38%														
2018	3.14%	21.46%														
2019	4.90%	26.41%														
5. Problema detectado: La falta de control de las variables fisicoquímicas del agua: temperatura y oxígeno disuelto, hace que las tilapias corran riesgo de estrés, bajo metabolismo, asfixia y muerte. Esto impacta en el crecimiento de las tilapias y en los ingresos por ventas de los peces.																
7. Plan de Proyecto:																
8. Objetivos de mejora:	Disminuir la variabilidad de los parámetros del agua en la empresa Ingeniería agropecuaria del Papaloapan S.P.R. de R.L. para la producción de mojarra tilapia a través de la implementación de la metodología Seis Sigma.															
9. Límites del proyecto:	Procesos a tomar en cuenta en el proyecto: Proceso de engorda de tilapias en los estanques del número 1 al 15 y 18 al 20 del módulo 2 tanto en la mañana (M1) como en la tarde (M2). Límites de temporalidad: Datos históricos de 2016 al 2019 y datos del 2022.															
11. Equipo de trabajo:	- Ing. Ind. William Miguel Santana Carrón. - Dr. María Eloísa Gurruchaga Rodríguez. - Dr. Erick Arturo Betanzo Torres.															

Figura 4.12 Carta proyecto

4.3 Etapa Medir

4.3.1 Documentación de las actividades del proceso

Las actividades del proceso de cultivo de Tilapia se documentaron por medio de un diagrama de flujo de proceso, el cual se muestra en la Figura 4.13 Diagrama de flujo del proceso de cultivo de TilapiaFigura 4.13.

4.3.2 Identificación de entradas y salidas

Las entradas y salidas se identificaron por medio de un diagrama SIPOC, que se encuentra estructurado en la Figura 4.14.

Página <u>1</u> de <u>1</u>		Método actual	(X)	Método propuesto	()	Fecha: <u>05/10/2022</u>	
Nombre del proceso		Cultivo de tilapia					
No.	Nombre de la actividad	Símbolo				Descripción de la actividad	
1	Suministro de alevines	○	➡	□	▷	△	Alevines provistos por proveedor. Incluyendo certificación veterinaria.
2	Transporte de alevines	○	➡	□	▷	△	Mantenimiento de condiciones adecuadas para el viaje.
3	Recepción de alevines	○	➡	□	▷	△	Llegada de alevines a la unidad de producción acuícola.
4	Aclimatación	○	➡	□	▷	△	Almacenamiento en tanques para su recuperación del viaje.
5	Siembra de alevines	○	➡	□	▷	△	Cultivo de alevines, registros de movimientos e información de producción. Alimento hormonado.
6	Pre-engorda	○	➡	□	▷	△	Cultivo de juveniles (10 a 100 gramos). Alimento con 40 % y 30 % de proteína cruda.
7	Engorda	○	➡	□	▷	△	Cultivo de tilapias adultas (100 gramos o más). Alimento con 35 % y 25 % de proteína cruda.
8	Cosecha	○	➡	□	▷	△	Captura de tilapia lista para venta (500 gramos o más), considerando condiciones óptimas de pesca.
9	Listo para venta	○	➡	□	▷	△	Almacenamiento de los organismos listos para venta.
10	Venta	○	➡	□	▷	△	Venta a pie de granja y/o embarque a clientes.

Figura 4.13 Diagrama de flujo del proceso de cultivo de Tilapia

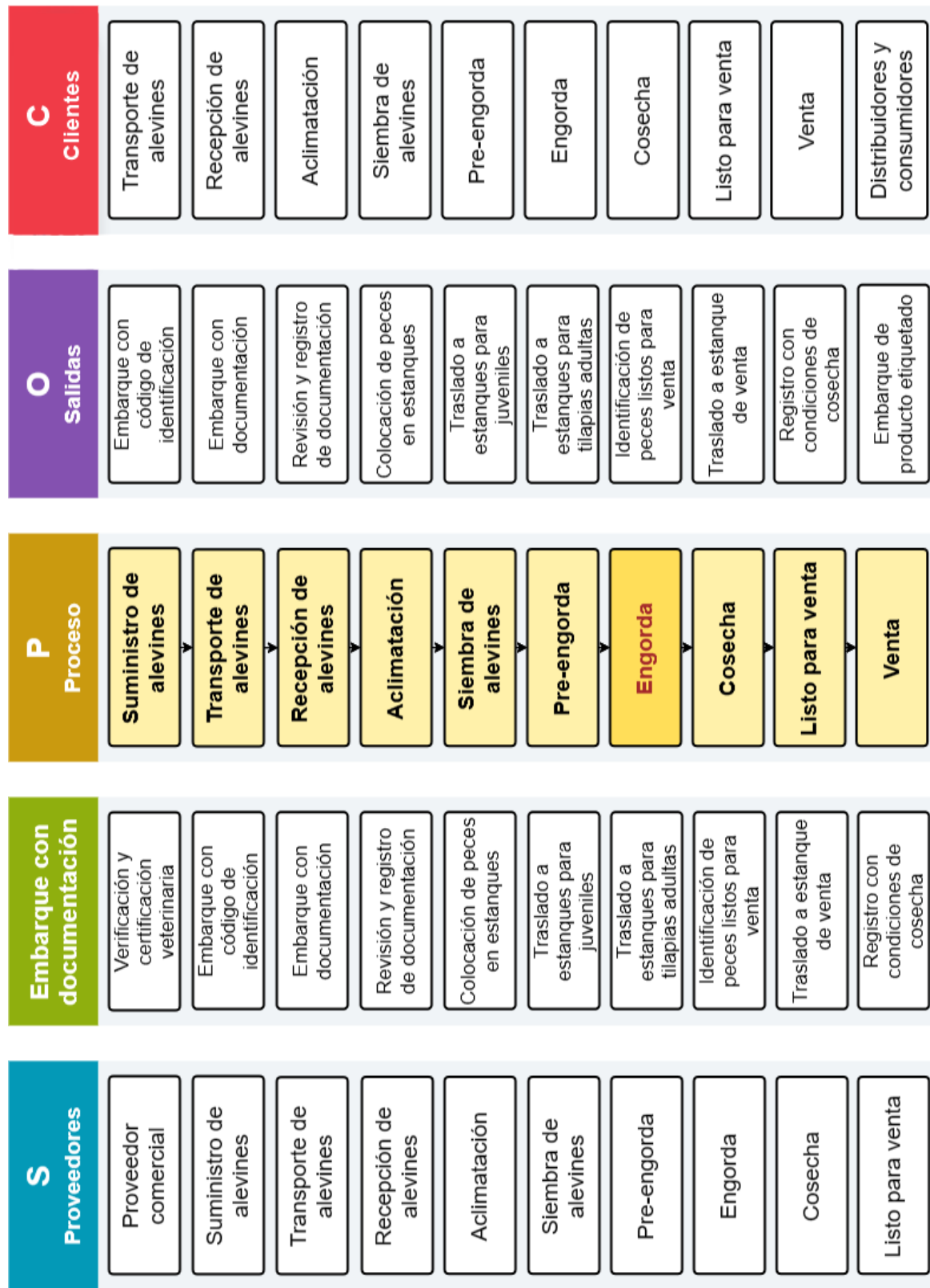


Figura 4.14 Diagrama SIPOC del cultivo de Tilapia

Los estanques relacionados a la actividad de engorda, de los cuales se usó la información histórica, son los estanques del 1 al 12 y del 15 al 20. Dado que se está utilizando información histórica de la empresa, no se desarrolló un plan de medición para la recolección de datos, sin embargo, se muestra en la Tabla 4.17 la cantidad de mediciones tomadas a los parámetros por cada año de información disponible.

Tabla 4.17 Mediciones tomadas por año y por parámetro

Parámetro de calidad del agua	2016	2017	2018	2019	Suma total
Temperatura del agua	1680	7746	4855	6054	20335
Oxígeno disuelto	1584	7687	4715	5482	19468
Total (observaciones)	3264	15433	9570	11536	39803

Para el último año de información disponible, se tomaron un total de 11 536 lecturas, siendo 6054 para la temperatura del agua y 5482 para el oxígeno disuelto en el agua.

4.3.3 Verificación del nivel de capacidad del proceso (inicial)

Se utilizó el paquete estadístico Minitab® 17.1.0 para Windows 10 para realizar el análisis de la capacidad del proceso para ambas variables, utilizando la información histórica del 2016 al 2019.

4.3.3.1 Capacidad del proceso de la temperatura del agua

En la Figura 4.15 se observa el informe de capacidad para la variable de temperatura del agua para el año 2016, y así sucesivamente por cada año hasta la Figura 4.18 correspondiente al 2019.

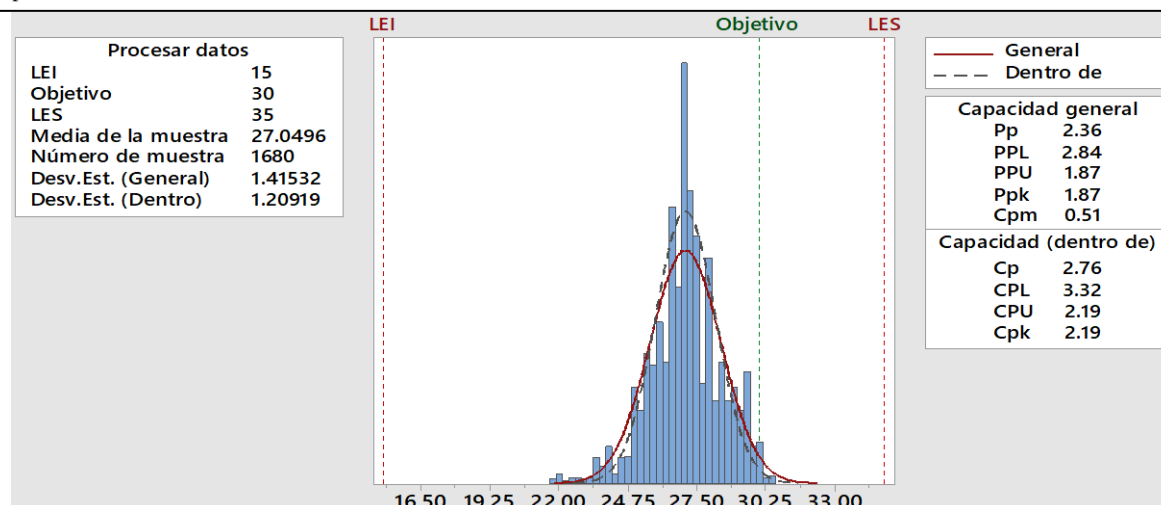


Figura 4.15 Informe de capacidad del proceso de la temperatura del agua (2016)

Como se muestra en la Figura 4.15, el valor promedio de la temperatura del agua durante el año de 2016 fue de 27.05 °C, se observa que la tendencia central del proceso es inferior al objetivo de 30, provocando un proceso sesgado a la izquierda. Como la desviación estándar “*general*” y “*dentro*” son similares, se puede inferir que se tiene un buen control. Restando el valor de la media menos tres veces el valor de la desviación estándar se calcula el límite real inferior, la media más tres veces el valor de la desviación estándar da como resultado el límite real superior, que para la temperatura son 22.80 y 31.29 respectivamente, presentando los datos entre esta variación, mostrando ser una amplitud que se encuentra dentro de los límites de especificación, por lo que el proceso es aceptable porque tiene todos los elementos dentro de especificación.

El índice de capacidad de Taguchi (Cpm) presenta un valor de 0.51, el cual es un número menor que 1, lo cual sugiere que el proceso no está alineado con las especificaciones debido a problemas de centrado o a una variabilidad excesiva, demostrando la diferencia entre la media del proceso, de 27.05 °C con el objetivo del proceso, de 30 °C (Gutiérrez Pulido, 2010).

El índice de capacidad potencial a corto plazo (Cp) de la temperatura del agua es de 2.76, el cual es mayor a 2, por lo que se determina que la habilidad potencial del proceso es más que adecuada y alcanza la clase mundial. El índice de capacidad real a corto plazo (Cpk) es calculado con un valor de 2.19, debido a que es mayor que 1.25, la habilidad real del proceso es clasificada como satisfactoria. A su vez, debido a que ambos índices de capacidad son valores similares, se

demuestra que el proceso está centrado entre los límites de especificación (Atlas Consultora, 2020).

El índice de capacidad potencial a largo plazo (P_p) se encuentra en 2.36, mientras que el índice de capacidad real a largo plazo (P_{pk}) tiene un valor de 1.87, como ambos valores son similares, el proceso es considerado como centrado a largo plazo. Además, siendo similares los valores del C_p y el P_p , se infiere que la variabilidad del proceso tanto a corto plazo como a largo plazo es similar, es decir, se determina como un proceso previsible para la temperatura del agua del 2016.

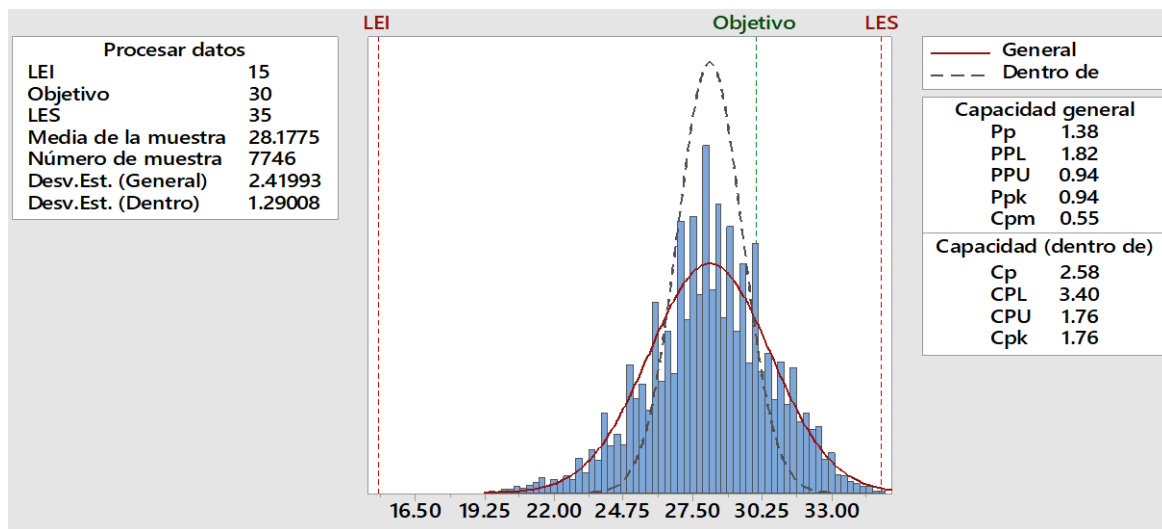


Figura 4.16 Informe de capacidad del proceso de la temperatura del agua (2017)

Como se muestra en la Figura 4.16, la media de la temperatura durante el año 2017 se encuentra en un valor de 28.18 °C, se observa que la tendencia central del proceso es inferior al objetivo de 30 °C, provocando un proceso sesgado a la izquierda. Como la desviación estándar “general” y “dentro” son diferentes, se puede inferir que no se tiene un buen control. Restando el valor de la media menos tres veces el valor de la desviación estándar se calcula el límite real inferior, la media más tres veces el valor de la desviación estándar da como resultado el límite real superior, que para la temperatura son 20.98 y 35.44 respectivamente, presentando los datos entre esta variación, sin embargo, como el 35.44 es mayor que el límite de especificación superior de 35 °C, la amplitud se encuentra fuera de dicha especificación, por lo que el proceso puede presentar algunos elementos por encima de los 35 °C.

Sin embargo, el índice de capacidad de Taguchi (Cpm) presenta un valor de 0.55, el cual es un número menor que 1, lo cual sugiere que el proceso no está alineado con el objetivo debido a problemas de centrado o a una variabilidad excesiva, demostrando la diferencia entre la media del proceso, de 28.18 °C con el objetivo del proceso, de 30 °C (Gutiérrez Pulido, 2010).

El índice de capacidad potencial a corto plazo (Cp) de la temperatura del agua es de 2.58, el cual es mayor a 2, por lo que se determina que la habilidad potencial del proceso es satisfactoria y de clase mundial. El índice de capacidad real a corto plazo (Cpk) es calculado con un valor de 1.76, debido a que es mayor que 1.25, la habilidad real del proceso es clasificada como satisfactoria. A su vez, debido a que ambos índices de capacidad son valores muy diferentes, se demuestra que el proceso no está centrado del todo entre los límites de especificación (Atlas Consultora, 2020).

El índice de capacidad potencial a largo plazo (Pp) se encuentra en 1.38, mientras que el índice de capacidad real a largo plazo (Ppk) tiene un valor de 0.94, como ambos valores no son similares, el proceso no está centrado. Además, siendo muy diferentes los valores del Cp y el Pp, se infiere que la variabilidad del proceso tanto a corto plazo como a largo plazo no es similar, es decir, se determina como un no proceso previsible para la temperatura del agua del 2017.

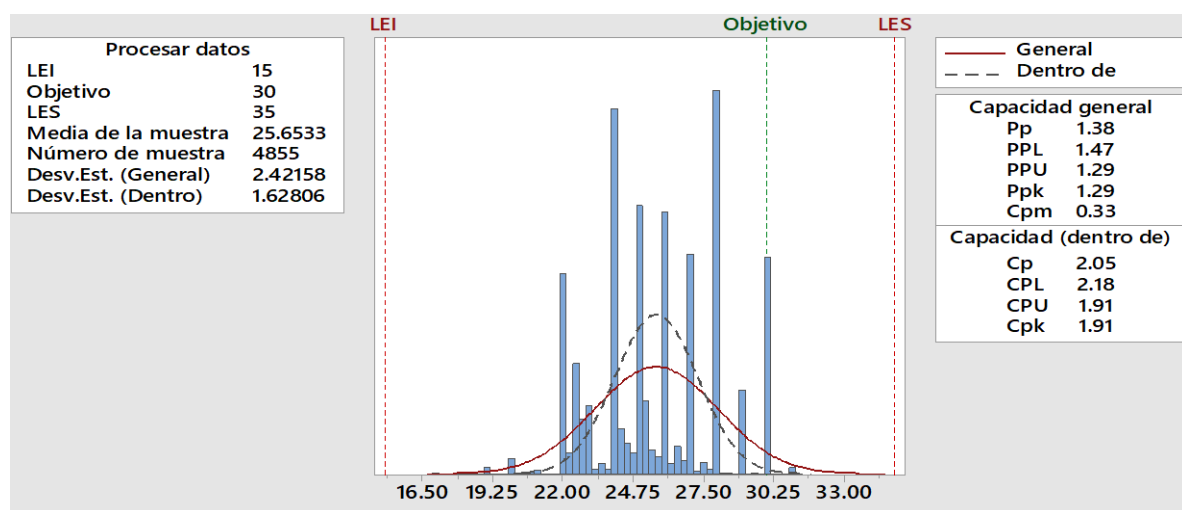


Figura 4.17 Informe de capacidad del proceso de la temperatura del agua (2018)

Como se muestra en la Figura 4.17, la temperatura promedio durante el 2018 fue de 25.65 °C, se observa que la tendencia central del proceso es inferior al objetivo de 30, provocando un proceso sesgado a la izquierda. Como la desviación estándar “*general*” y “*dentro*” no son similares, se puede inferir que no se tiene un buen control. Restando el valor de la media menos tres veces el valor de la desviación estándar se calcula el límite real inferior, la media más tres veces el valor de la desviación estándar da como resultado el límite real superior, que para la temperatura son 18.39 y 32.92 respectivamente, presentando los datos entre esta variación, mostrando ser una amplitud que se encuentra dentro de los límites de especificación, por lo que el proceso es aceptable porque tiene todos los elementos dentro de especificación.

El índice de capacidad de Taguchi (Cpm) presenta un valor de 0.33, el cual es un número menor que 1, lo cual sugiere que el proceso no está alineado con el objetivo debido a problemas de centrado o a una variabilidad excesiva, demostrando la diferencia entre la media del proceso, de 25.65 °C con el objetivo del proceso, de 30 °C (Gutiérrez Pulido, 2010).

El índice de capacidad potencial a corto plazo (Cp) de la temperatura del agua es de 2.05, el cual es mayor a 2, por lo que se determina que la habilidad potencial del proceso es satisfactoria y de clase mundial. El índice de capacidad real a corto plazo (Cpk) es calculado con un valor de 1.91, debido a que es mayor que 1.25, la habilidad real del proceso es clasificada como satisfactoria. A su vez, debido a que ambos índices de capacidad son valores muy parecidos, se demuestra que el proceso está centrado entre los límites de especificación (Atlas Consultora, 2020).

El índice de capacidad potencial a largo plazo (Pp) se encuentra en 1.38, mientras que el índice de capacidad real a largo plazo (Ppk) tiene un valor de 1.29, como ambos valores son similares, el proceso está centrado. Además, siendo diferentes los valores del Cp y el Pp, se infiere que la variabilidad del proceso tanto a corto plazo como a largo plazo no es similar, es decir, se determina como un proceso no previsible para la temperatura del agua del 2018.

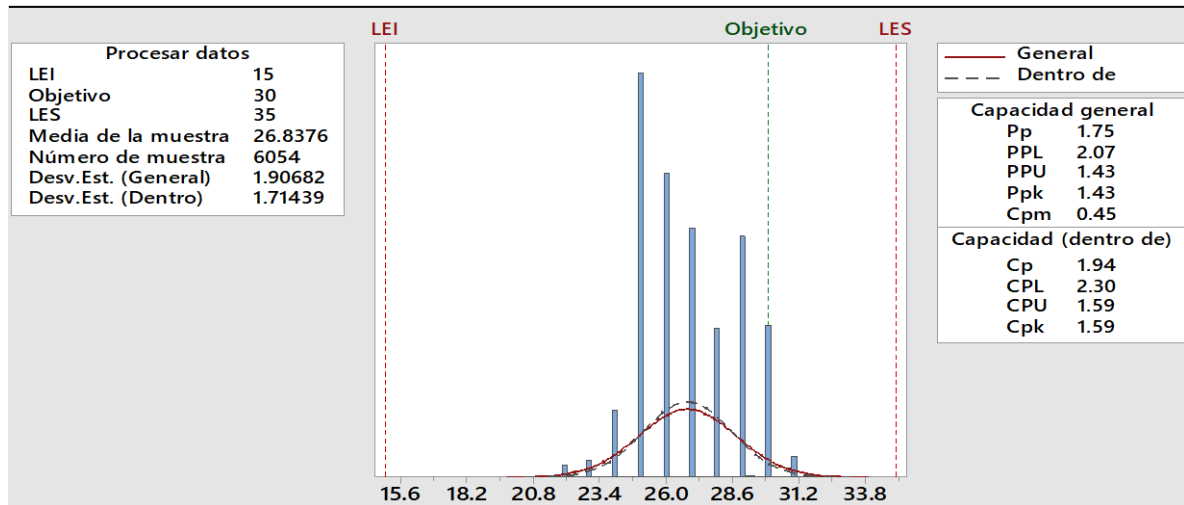


Figura 4.18 Informe de capacidad del proceso de la temperatura del agua (2019)

Como se muestra en la Figura 4.18, la media de la temperatura del agua durante el 2019 fue de 26.8, se observa que la tendencia central del proceso es inferior al objetivo de 30, provocando un proceso sesgado a la izquierda. Como la desviación estándar “general” y “dentro” son similares, se puede inferir que se tiene un buen control. Sumando el valor de la media más tres veces el valor de la desviación estándar se calcula el límite real superior, la media menos tres veces el valor de la desviación estándar da como resultado el límite real inferior, que para la temperatura son 21.12 y 32.56 respectivamente, presentando los datos entre esta variación, mostrando ser una amplitud que se encuentra dentro de los límites de especificación, por lo que el proceso es aceptable porque tiene todos los elementos dentro de especificación.

El índice de capacidad de Taguchi (Cpm) presenta un valor de 0.45, el cual es un número menor que 1, lo cual sugiere que el proceso no está alineado con el objetivo, debido a problemas de centrado o a una variabilidad excesiva, demostrando la diferencia entre la media del proceso, de 26.84 °C con el objetivo del proceso, de 30 °C (Gutiérrez Pulido, 2010).

El índice de capacidad potencial a corto plazo (Cp) de la temperatura del agua es de 1.94, siendo este valor mayor a 1.33, se determina que la capacidad potencial del proceso es adecuada. El índice de capacidad real a corto plazo (Cpk) es calculado con un valor de 1.59, como es mayor a 1.25, la habilidad real del proceso se clasifica como buena. además, debido a que ambos

índices de capacidad son valores cercanos, se demuestra que el proceso está centrado entre los límites de especificación (Atlas Consultora, 2020).

El índice de capacidad potencial a largo plazo (P_p) se encuentra en 1.75, mientras que el índice de capacidad real a largo plazo (P_{pk}) tiene un valor de 1.43, como ambos valores son similares, el proceso está centrado a largo plazo. Además, siendo similares los valores del C_p y el P_p , se infiere que la variabilidad del proceso tanto a corto plazo como a largo plazo es similar, es decir, se determina como un proceso previsible para la temperatura del agua del 2019.

Tabla 4.18 Resumen de índices de capacidad (temperatura del agua)

Datos	2016	2017	2018	2019
LEI	15	15	15	15
Objetivo	30	30	30	30
LES	35	35	35	35
Media de la muestra	27.0496	28.1775	25.6533	26.8376
Número de muestra	1680	7746	4855	6054
SD (general)	1.41532	2.41993	2.42158	1.90682
SD (dentro)	1.20919	1.29008	1.62806	1.71439
P_p	2.36	1.38	1.38	1.75
P_{pk}	1.87	0.94	1.29	1.43
C_{pm}	0.51	0.55	0.33	0.45
C_p	2.76	2.58	2.05	1.94
C_{pk}	2.19	1.76	1.91	1.59

LEI: límite de especificación inferior, LES: límite de especificación superior, SD: desviación estándar, P_p : índice de capacidad potencial a largo plazo, P_{pk} : índice de capacidad real a largo plazo, C_{pm} : índice de capacidad de Taguchi, C_p : índice de capacidad potencial a corto plazo, C_{pk} : índice de capacidad real a corto plazo

De la información resumida en la Tabla 4.18 cabe destacar valores bajos del C_{pm} , demostrando la dificultad para el proceso para lograr el objetivo de 30 °C, por otro lado, es notable la habilidad del proceso para operar dentro de las tolerancias (especificación inferior y superior), ya que todos los índices de capacidad, tanto a corto plazo como a largo plazo, todos los valores se encuentran por encima 1.33, considerándose por lo menos, procesos adecuados en los años correspondientes a la información histórica disponible.

4.3.3.2 Capacidad del proceso del oxígeno disuelto

En las siguientes figuras se muestra la capacidad del proceso inicial de cada uno de los años en estudio (2016 a 2019), cada una de ellas se comenta de forma individual.

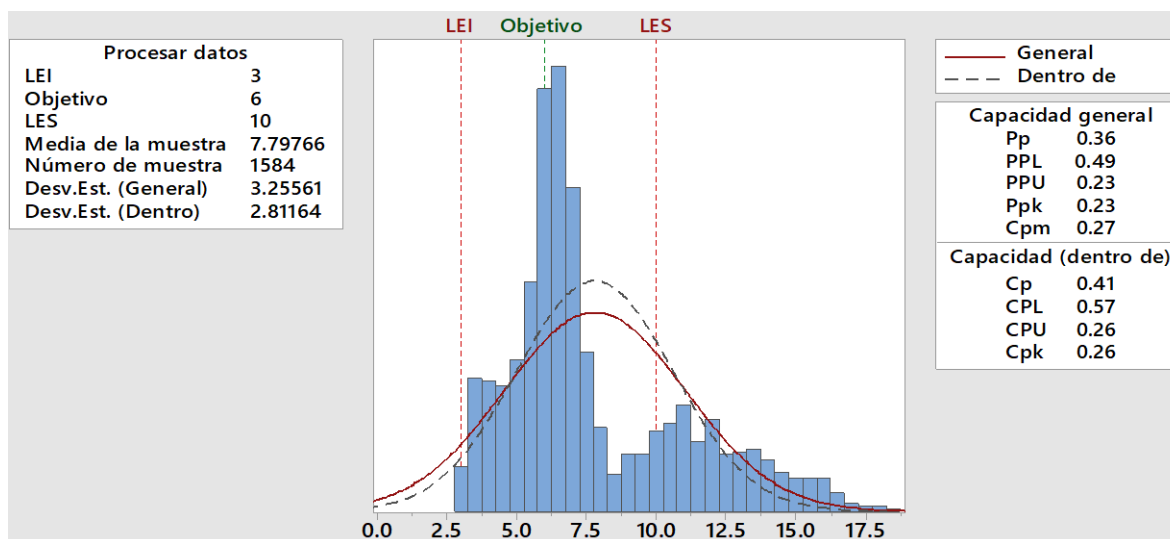


Figura 4.19 Informe de capacidad del proceso del oxígeno disuelto (2016)

De acuerdo a la Figura 4.19, la media durante el 2016 para el oxígeno disuelto tuvo un valor de 7.80 mg/L durante el 2016 en el oxígeno disuelto, se observa que la tendencia central del proceso es superior al objetivo de 6, provocando un proceso descentrado a la derecha. Debido a que el valor de la desviación estándar “general” y “dentro” son similares, se podría inferir que, aparentemente, se tiene un buen control. En general, los datos del 2016 acerca del oxígeno varían entre -1.97 (límite real inferior) y 17.56 (límite real superior), con una amplitud que se encuentra fuera de los límites de especificación, por lo que el proceso es no aceptable, ya que presenta elementos fuera de ambas especificaciones.

El índice de capacidad de Taguchi (Cpm) presenta un valor de 0.27, el cual es un número menor que 1, lo cual sugiere que el proceso no está alineado con las especificaciones debido a problemas de centrado o a una variabilidad excesiva, demostrando la diferencia entre la media del proceso, de 7.80 mg/L con el objetivo del proceso, de 6 mg/L (Gutiérrez Pulido, 2010).

El índice de capacidad potencial a corto plazo (C_p) del oxígeno disuelto en el agua es de 0.41, el cual es menor a 0.67, por lo que se determina que la habilidad potencial del proceso es no adecuada y requiere modificaciones serias. El índice de capacidad real a corto plazo (C_{pk}) es calculado con un valor de 0.26, debido a que es menor que 0.67, la habilidad real del proceso es clasificada como no hábil, además (Atlas Consultora, 2020).

El índice de capacidad potencial a largo plazo (P_p) se encuentra en 0.36, mientras que el índice de capacidad real a largo plazo (P_{pk}) tiene un valor de 0.23. Siendo los valores del C_p y el P_p similares, se deduce que la variabilidad del proceso tanto a corto plazo como a largo plazo es similar, es decir, es un proceso previsible para el oxígeno disuelto del 2016.

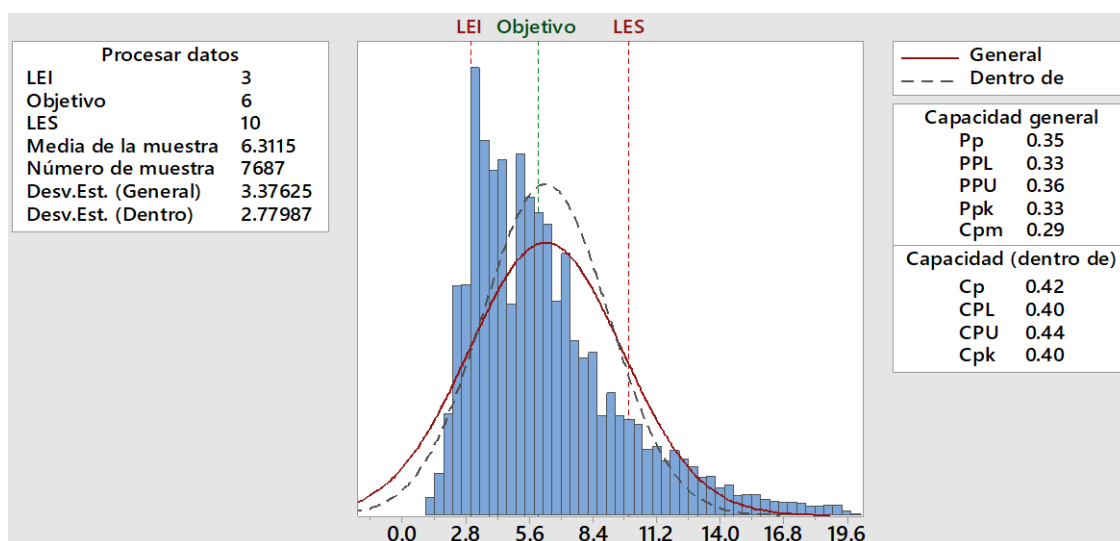


Figura 4.20 Informe de capacidad del proceso del oxígeno disuelto (2017)

De acuerdo a la Figura 4.20, la media del oxígeno disuelto del 2017 tuvo un valor de 6.31 mg/L, se observa que la tendencia central del proceso es similar al objetivo de 6, por lo que estadísticamente no debería haber problemas de descentrado. Debido a que el valor de la desviación estándar “general” y “dentro” no son similares, se podría inferir que, aparentemente, no se tiene un buen control. En general, los datos del 2016 acerca del oxígeno varían entre -3.88 (límite real inferior) y 16.44 (límite real superior), con una amplitud que se encuentra fuera de los límites de especificación, por lo que el proceso es no aceptable, ya que presenta elementos fuera de ambas especificaciones.

El índice de capacidad de Taguchi (Cpm) presenta un valor de 0.29, el cual es un número menor que 1, lo cual sugiere que el proceso no está alineado con las especificaciones debido a problemas de centrado o a una variabilidad excesiva, sin importar la semejanza entre la media del proceso, de 6.31 mg/L con el objetivo del proceso, de 6 mg/L (Gutiérrez Pulido, 2010).

El índice de capacidad potencial a corto plazo (C_p) del oxígeno disuelto en el agua es de 0.42, el cual es menor a 0.67, por lo que se determina que la habilidad potencial del proceso es no adecuada y requiere modificaciones serias. El índice de capacidad real a corto plazo (C_{pk}) es calculado con un valor de 0.40, debido a que es menor que 0.67, la habilidad real del proceso es clasificada como no hábil (Atlas Consultora, 2020).

El índice de capacidad potencial a largo plazo (P_p) se encuentra en 0.35, mientras que el índice de capacidad real a largo plazo (P_{pk}) tiene un valor de 0.33. Además, siendo los valores del C_p y el P_p similares, se deduce que la variabilidad del proceso tanto a corto plazo como a largo plazo es similar, es decir, es un proceso previsible para el oxígeno disuelto del 2017.

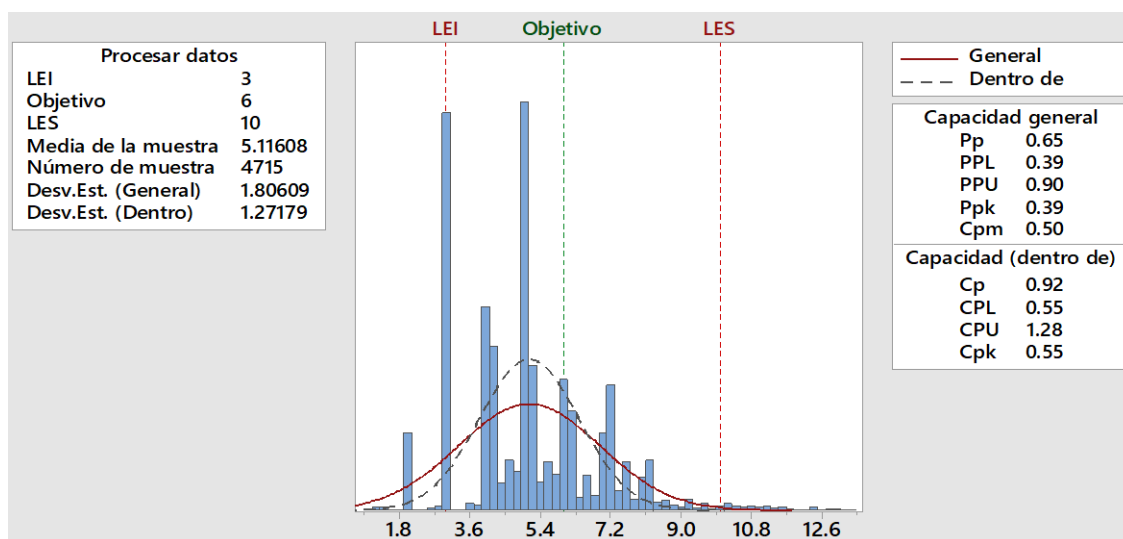


Figura 4.21 Informe de capacidad del proceso del oxígeno disuelto (2018)

De acuerdo a la Figura 4.21, el valor promedio del oxígeno disuelto durante el 2018 fue de 5.12 mg/L, se observa que la tendencia central del proceso es inferior al objetivo de 6, provocando un proceso descentrado a la izquierda. Debido a que el valor de la desviación estándar “general” y “dentro” son similares, se podría inferir que, aparentemente, se tiene un buen control. En

general, los datos del 2018 acerca del oxígeno varían entre -0.30 (límite real inferior) y 10.53 (límite real superior), con una amplitud que se encuentra fuera de uno de los límites de especificación, por lo que el proceso es no aceptable, ya que presenta elementos fuera de la especificación inferior.

El índice de capacidad de Taguchi (Cpm) presenta un valor de 0.50, el cual es un número menor que 1, lo cual sugiere que el proceso no está alineado con las especificaciones debido a problemas de centrado o a una variabilidad excesiva, demostrando también la diferencia entre la media del proceso, de 5.11 mg/L con el objetivo del proceso, de 6 mg/L (Gutiérrez Pulido, 2010).

El índice de capacidad potencial a corto plazo (Cp) del oxígeno disuelto en el agua es de 0.92, el cual es menor a 1, por lo que se determina que la habilidad potencial del proceso es no adecuada y requiere modificaciones series. El índice de capacidad real a corto plazo (Cpk) es calculado con un valor de 0.55, debido a que es menor que 1.0, la habilidad real del proceso es clasificada como mala, además, debido a que ambos índices de capacidad son valores muy diferentes, se demuestra que el proceso no está centrado entre los límites de especificación (Atlas Consultora, 2020).

El índice de capacidad potencial a largo plazo (Pp) se encuentra en 0.65, mientras que el índice de capacidad real a largo plazo (Ppk) tiene un valor de 0.39, como ambos valores no son similares, el proceso no está centrado. Además, siendo los valores del Cp y el Pp similares, se deduce que la variabilidad del proceso tanto a corto plazo como a largo plazo es similar, es decir, es un proceso previsible para el oxígeno disuelto del 2018.

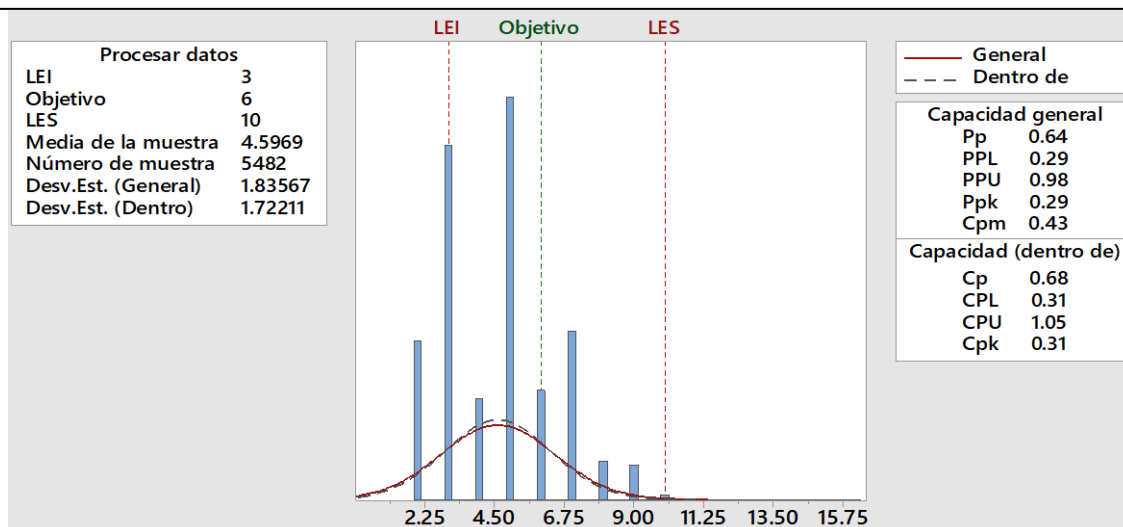


Figura 4.22 Informe de capacidad del proceso del oxígeno disuelto en el agua (2019)

De acuerdo a la Figura 4.22, el valor promedio del oxígeno disuelto durante el 2019 fue de 4.60 mg/L, con lo cual se observa que la tendencia central del proceso es inferior al objetivo de 6, provocando un proceso descentrado a la izquierda. Debido a que el valor de la desviación estándar “general” y “dentro” son similares, se podría inferir que, aparentemente, se tiene un buen control. En general, los datos del 2019 acerca del oxígeno varían entre -0.91 (límite real inferior) y 10.1 (límite real superior), con una amplitud que se encuentra fuera de los límites de especificación, por lo que el proceso es no aceptable, ya que presenta elementos fuera de ambas especificaciones.

El índice de capacidad de Taguchi (Cpm) presenta un valor de 0.43, el cual es un número menor que 1, lo cual sugiere que el proceso no está alineado con las especificaciones debido a problemas de centrado o a una variabilidad excesiva, demostrando la diferencia entre la media del proceso, de 4.60 mg/L con el objetivo del proceso, de 6 mg/L (Gutiérrez Pulido, 2010).

El índice de capacidad potencial a corto plazo (Cp) del oxígeno disuelto en el agua es de 0.68, el cual es menor a 1, por lo que se determina que la habilidad potencial del proceso es no adecuada y necesita modificaciones serias. El índice de capacidad real es calculado con un valor de 0.31, debido a que es menor que 0.67, la habilidad real del proceso es clasificado como no hábil (Atlas Consultora, 2020).

El índice de capacidad potencial a largo plazo (Pp) se encuentra en 0.64, mientras que el índice de capacidad real a largo plazo (Ppk) tiene un valor de 0.29. Además, siendo los valores del Cp y el Pp similares, se deduce que la variabilidad del proceso tanto a corto plazo como a largo plazo es similar, es decir, es un proceso previsible para el oxígeno disuelto del 2019.

Tabla 4.19 Resumen de índices de capacidad (oxígeno disuelto)

Datos	2016	2017	2018	2019
LEI	3	3	3	3
Objetivo	6	6	6	6
LES	10	10	10	10
Media de la muestra	7.79766	6.3115	5.11608	4.5969
Número de muestra	1584	7687	4715	5482
SD (general)	3.25561	3.37625	1.80609	1.83567
SD (dentro)	2.81164	2.77987	1.27179	1.72211
Pp	0.36	0.35	0.65	0.64
Ppk	0.23	0.33	0.39	0.29
Cpm	0.27	0.29	0.50	0.43
Cp	0.41	0.42	0.92	0.68
Cpk	0.26	0.40	0.55	0.31

LEI: límite de especificación inferior, LES: límite de especificación superior, SD: desviación estándar, Pp: índice de capacidad potencial a largo plazo, Ppk: índice de capacidad real a largo plazo, Cpm: índice de capacidad de Taguchi, Cp: índice de capacidad potencial a corto plazo, Cpk: índice de capacidad real a corto plazo

De la información resumida en la Tabla 4.19 cabe destacar que ninguno de los índices de capacidad superó el valor de 1, demostrando que en la variabilidad presenten a lo largo de los cuatro años nunca alcanzó a ser hábil. El año con mejores números corresponde al 2018, con el Cp más alto de 0.92 y la desviación estándar más baja con 1.81. Por otro lado, el año que tuvo una media más cercana al objetivo de 6 mg/L fue el 2017 con una media de 6.31 mg/L.

4.3.4 Cálculo del nivel sigma (inicial) del proceso

Por medio de una hoja de cálculo, se determinaron las oportunidades (el número de defectos que pueden ocurrir, que en este caso es “1” debido a que el único defecto es elementos fuera de los límites de especificación), el total de observaciones y el número de defectos (usando los

datos de la información histórica disponible, siendo de 2016 al 2019), los defectos por oportunidad (abreviados DPO, calculados dividiendo el número de defectos entre el producto del total de observaciones por las oportunidades), los defectos por millón de oportunidades (abreviados DPMO, calculados multiplicando los DPO por un millón), el desempeño del proceso (apodado “Yield”, obtenido de restar un valor de uno y restarle el valor de los DPO), y por último el nivel sigma (calculado utilizando la función inversa de la distribución normal estándar acumulativa del valor del desempeño del proceso), esto para ambas variables.

En la Figura 4.23 se muestra captura de pantalla del cálculo realizado para la variable de temperatura, mientras que los cálculos para el oxígeno disuelto en el agua se muestran en la _.

NIVEL SIGMA (temperatura)	2016	2017	2018	2019	Global
Oportunidades:	1	1	1	1	1
Total de observaciones:	1680	7746	4855	6054	20335
Numero de defectos:	0.0057	0.0264	0.0165	0.0206	0.06919409
Defectos Por Millon de Oportunidades:	3.402709	3.402709	3.402709	3.402709	3.402709
Defectos por Oportunidad:	0.0000034	0.0000034	0.0000034	0.0000034	0.0000034
Yield (Desempeño del Proceso) %	99.9997%	99.9997%	99.9997%	99.9997%	99.9997%
Nivel Sigma:	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000

Figura 4.23 Cálculo del nivel sigma de la temperatura (2016-2019)

Para el cálculo respecto a la temperatura, se usó un artificio matemático, dado que el número de defectos para todos los años fue de “cero”, las divisiones y los restantes cálculos no podrían realizarse, por lo que se optó por sustituir el valor de “cero” por un valor determinado, en el caso del año 2019 fue de “0.0206”, de tal forma que resultara en un nivel sigma de 6 para la temperatura del agua y un desempeño del proceso de 99.9997 %, el cuál según Escalante Vázquez (2008, pág. 17) corresponde a un nivel de “*clase mundial*”.

NIVEL SIGMA (oxígeno)	2016	2017	2018	2019	Global
Oportunidades:	1	1	1	1	1
Total de observaciones:	1584	7687	4715	5482	19468
Numero de defectos:	392	1888	261	641	3182
Defectos Por Millon de Oportunidades:	247474.75	245609.47	55355.249	116928.13	163447.71
Defectos por Oportunidad:	0.2474747	0.2456095	0.0553552	0.1169281	0.1634477
Yield (Desempeño del Proceso) %	75.2525 %	75.4391 %	94.4645 %	88.3072 %	83.6552 %
Nivel Sigma:	2.182	2.188	3.095	2.690	2.480

Figura 4.24 Cálculo del nivel sigma del oxígeno disuelto (2016-2019)

Por otro lado, referente al oxígeno disuelto, de forma global, durante el periodo de estudio se obtuvo un nivel sigma de 2.48 y un desempeño del proceso del 88.36552 %, que para Escalante Vázquez (2008, pág. 17) está dentro del “*nivel no competitivo*”, mientras que para R. M. (2008) está dentro de la categoría “*necesita mejorar*”.

4.3.5 Evaluación de los indicadores (métricas) del proyecto

Con la información obtenida en el transcurso de la fase medir, la tabla de “obtención de indicadores” (Tabla 4.16) es complementada para incluir los valores de cada variable en cada uno de los años correspondientes de la información histórica disponible durante el periodo de estudio. La evaluación de los indicadores se muestra en la Tabla 4.20.

Tabla 4.20 Indicadores del proyecto (actualizados)

Variable	Nombre	2016	2017	2018	2019	Futuro
Y1	Temperatura promedio	27.05	28.18	25.65	26.84	
Y2	Desviación estándar de la temperatura	1.42	2.42	2.42	1.91	
Y3	Capacidad del proceso (Cp) de la temperatura	2.76	2.58	2.05	1.94	
Y4	Yield (desempeño) del proceso de la temperatura	99.99997%	99.99997%	99.99997%	99.99997%	
Y5	Nivel Sigma de la temperatura	6.0	6.0	6.0	6.00	
Y6	Oxígeno disuelto promedio	7.80	6.31	5.12	4.60	
Y7	Desviación estándar del Oxígeno disuelto	3.26	3.38	1.81	1.84	
Y8	Capacidad del proceso (Cp) del oxígeno disuelto	0.41	0.42	0.92	0.68	
Y9	Yield (desempeño) del proceso del oxígeno disuelto	75.2525%	75.4391%	94.4645%	88.3072 %	
Y10	Nivel Sigma del oxígeno disuelto	2.182	2.188	3.065	2.690	
Y11	Costo de operación de calidad de agua	ND	ND	ND	\$84,600.60	

ND: no disponible.

4.4 Etapa Analizar

4.4.1 Identificación de las entradas críticas potenciales

El equipo experto se reunió para realizar una lluvia de ideas sobre las razones que pueden dar causa a la variabilidad de la temperatura del agua y del oxígeno disuelto en el agua, de las ideas se estructuró un diagrama de Ishikawa para cada variable.

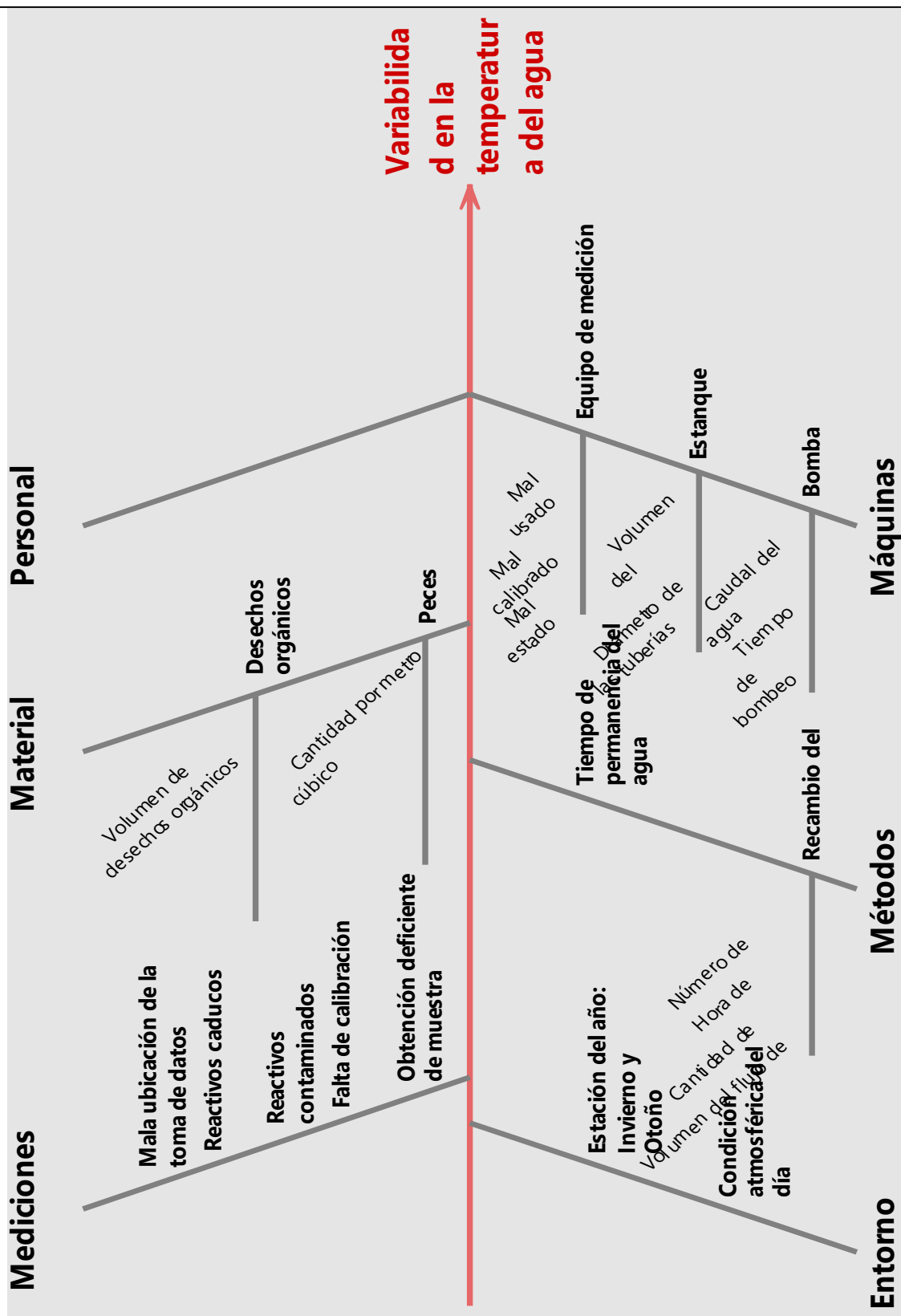


Figura 4.25 Diagrama de Ishikawa para la variabilidad en la temperatura del agua

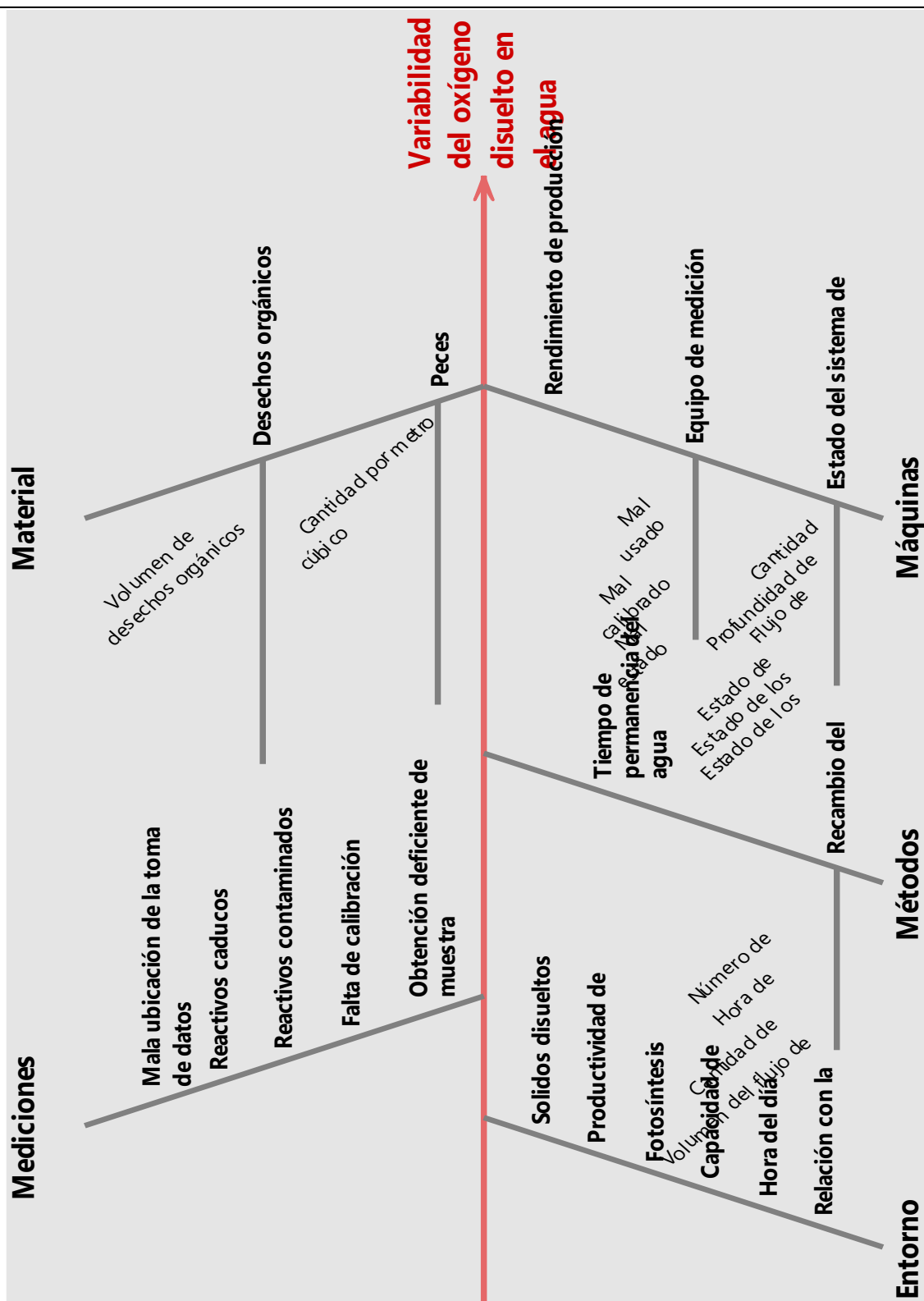


Figura 4.26 Diagrama de Ishikawa para la variabilidad en el oxígeno disuelto en el agua

4.4.2 Determinación de las variables críticas del problema y su relación

El equipo experto se reunió para determinar las variables críticas a cada efecto señalado con anterioridad en los diagramas de Ishikawa. La evaluación de las causas se estructuró dentro de una matriz de priorización, en donde se prioriza de forma horizontal las causas con base en la cantidad de puntos acumulados.

La matriz de priorización para las causas de la variabilidad de la temperatura del agua se muestra en la Figura 4.27, mientras que la matriz para las causas de la variabilidad del oxígeno disuelto se muestra en la Figura 4.28.

Causas relacionadas con la variabilidad de la temperatura del agua	Experto 1	Experto 2	Experto 3	Experto 4	Suma de puntos
Mala ubicación de la toma de datos	4	2	4	3	13
Reactivos caducos	1	1	1	1	4
Reactivos contaminados	2	1	1	1	5
Falta de calibración	2	1	1	1	5
Obtención deficiente de muestra	1	1	1	1	4
Desechos orgánicos (volumen)	1	1	1	1	4
Peces (cantidad por metro cúbico)	2	2	1	1	6
Estación del año: Invierno y Otoño	2	4	3	2	11
Condición atmosférica del día	2	5	5	3	15
Tiempo de permanencia del agua	1	1	2	1	5
Recambio del agua (frecuencia, cantidad y volumen)	2	2	1	1	6
Equipo de medición (mal uso y en mal estado)	4	3	4	2	13
Estanque (volumen y diámetro de tuberías)	1	1	1	1	4
Bomba (caudal del agua y tiempo de bombeo)	2	1	1	1	5

Figura 4.27 Determinación de las causas críticas para la variabilidad de la temperatura

Causas relacionadas con la variabilidad del oxígeno disuelto del agua	Experto 1	Experto 2	Experto 3	Experto 4	Suma de puntos
Mala ubicación de la toma de datos	3	1	3	3	10
Reactivos caducos	3	1	1	1	6
Reactivos contaminados	1	1	1	1	4
Falta de calibración	2	1	2	1	6
Obtención deficiente de muestra	1	1	2	1	5
Desechos orgánicos (volumen)	2	2	1	1	6
Peces (cantidad por metro cúbico)	3	1	2	1	7
Sólidos disueltos en el fondo	3	2	1	1	7
Productividad del fitoplancton (fotosíntesis)	3	1	2	2	8
Capacidad de carga del estanque	3	2	1	1	7
Hora del día	4	4	3	3	14
Relación con la temperatura	4	4	4	3	15
Tiempo de permanencia del agua	2	1	1	1	5
Recambio del agua (frecuencia, cantidad y volumen)	3	2	1	1	7
Rendimiento de producción	3	2	1	2	8
Equipo de medición (mal usado o en mal estado)	5	3	4	3	15
Estado del sistema de aireación (difusores y blowers)	5	3	4	4	16

Figura 4.28 Determinación de las causas críticas para la variabilidad del oxígeno disuelto

Para la variable de temperatura del agua, las causas críticas de la variabilidad son: la mala ubicación de la toma de datos y la condición atmosférica del día. Mientras que, para la variable de oxígeno disuelto en el agua, las causas prioritarias para la variabilidad son: equipo de medición en mal estado, relación con la temperatura y estado del sistema de aireación.

El “estado del sistema de aireación”, factor de importancia para autores como Boyd (2022), se compone de blowers de aire (sopladores), tubería de aire y discos difusores con membrana de burbuja fina, de estos últimos, en la Figura 4.29 se muestran tres ejemplos del estado en que los discos difusores y sus membranas llegan a estar con el paso del tiempo.



Figura 4.29 Diferentes estados de los discos difusores (De izquierda a derecha: con suciedad leve, desgastado y mohoso)

Siendo la “relación con la temperatura” determinada como una causa crítica, se realizó el análisis de correlación para determinar en qué medida la temperatura afecta a la variabilidad del oxígeno disuelto en el agua. En la Figura 4.30 se muestran los resultados del análisis de correlación, regresión lineal y su respectiva prueba de hipótesis.

Parámetros	Temperatura con Oxígeno (2016)	Temperatura con Oxígeno (2017)	Temperatura con Oxígeno (2018)	Temperatura con Oxígeno (2019)
Coefficiente de Correlación de Pearson	0.357	-0.014	0.239	0.532
Coefficiente de Determinación de la Regresión	12.77%	0.02%	5.72%	28.32%
Valor P	0.00	0.23	0.00	0.00
P < Alfa (0.05)	Si	No	Si	Si
Por lo tanto	H0 se Rechaza	H0 se Acepta	H0 se Rechaza	H0 se Rechaza
Conclusión	La variable influye	La variable no influye	La variable influye	La variable influye

Figura 4.30 Correlación de la temperatura con el oxígeno disuelto por año

Durante el año 2016, la temperatura influyó sobre el oxígeno disuelto, en la Figura 4.30 se observa un índice de correlación de Pearson de 0.357, que de acuerdo a Borda Pérez (2009) es una correlación positiva entre débil y moderada. El coeficiente de determinación para este año es de 0.1277 obtenido de la regresión, valor que en otras palabras se traduce a que la variable “temperatura” explica en un 12.77 % a la variable “oxígeno disuelto”. De la Tabla 4.3 se muestra que, durante el 2016, la información disponible incluye datos de las temporadas de invierno y otoño, por lo que la ausencia de información de la primavera o el invierno pudo afectar a la correlación anual.

En el año 2017, la temperatura no influyó sobre el oxígeno disuelto, presentando el coeficiente de correlación de Pearson con un valor de -0.014, siendo una correlación negativa muy débil o nula, y un coeficiente de determinación de 0.0002, lo que quiere decir que la variable “temperatura” explica en un 0.02 % a la variable “oxígeno disuelto”. Del 2017, la información recopilada incluye datos de todas las temporadas, siendo posible que la correlación anual haya sido afectada por las diferentes condiciones climatológicas de cada estación.

En el transcurso del 2018, la temperatura influyó sobre el oxígeno disuelto, se muestra un índice de correlación de Pearson de 0.239, el cual representa una correlación positiva entre débil y moderada, a su vez, en este año se muestra un coeficiente de determinación de 0.0572 de la regresión, lo que se traduce en que la variable “temperatura” explica en un 5.72 % a la variable “oxígeno disuelto”. La información disponible del 2018, según la Tabla 4.3, incluye las estaciones de invierno, otoño y primavera, siendo posible que la ausencia de datos correspondientes a la estación de verano haya afectado a la correlación anual.

En el último año de datos, el 2019, la temperatura influyó sobre el oxígeno disuelto, presentando el coeficiente de correlación de Pearson más grande, con un valor de 0.532, que se traduce como una correlación positiva moderada, también, se muestra un coeficiente de determinación de 0.2832, lo que quiere decir que la variable “temperatura” explica en un 28.32 % a la variable “oxígeno disuelto”. Respecto al 2019, los datos disponibles incluyen todas las estaciones del año, siendo posible que la consideración de temporadas con condiciones atmosféricas diferentes haya afectado en alguna medida la correlación anual, sin embargo, cabe mencionar que en este caso la correlación anual del 2019 resultó positiva moderada, contrastando con el caso del 2017 en donde igualmente se consideraron todas las estaciones del año y la correlación resultó nula.

En la Figura 4.31 se muestran los diagramas de dispersión elaborados por año, para los parámetros de temperatura del agua y oxígeno disuelto, con su respectivo índice de correlación de Pearson.

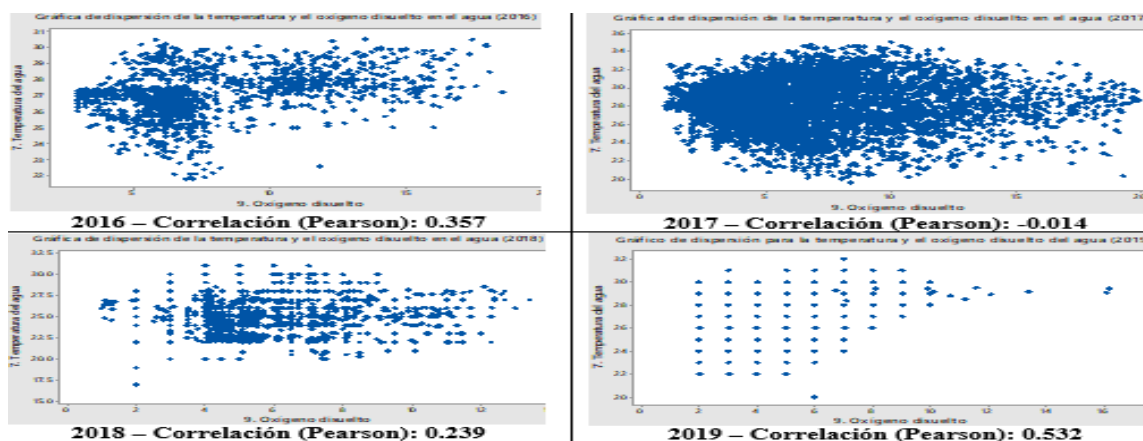


Figura 4.31 Gráficos de dispersión de la temperatura y el oxígeno disuelto por año

Para los años 2016 y 2018 se muestra, en la Figura 4.31, un ligero comportamiento proporcional en las variables, es decir, que a medida que aumenta un parámetro fisicoquímico, el otro también aumentará. Por otro lado, para el año 2017, no se aprecia un comportamiento evidente en la nube de datos del diagrama de dispersión. Particularmente, para el 2019, el comportamiento proporcional es más notable, con un aumento en la temperatura que también presenta un aumento en el oxígeno disuelto. Esto último parece contrastar con la información teórica y empírica referente a la relación química y biológica entre ambos parámetros, la cual, en la literatura se describe como una relación negativa, ya que según Castelló (2013), con el incremento de la temperatura en el agua, se presenta un decremento en el oxígeno disuelto, ya sea por el aumento de consumo de oxígeno por parte de los peces, o por la disminución de gases disueltos en el agua.

Las variables críticas, es decir, las que se determinaron como causas influyentes de la variabilidad de los dos parámetros, temperatura y oxígeno disuelto, por medio de las matrices de priorización de la Figura 4.27 y la Figura 4.28 son: mala ubicación de la toma de datos, condición atmosférica del día, relación con la temperatura, equipo de medición en mal estado y estado del sistema de aireación, los cuales, se representan en la Figura 4.32 por medio de embudos.

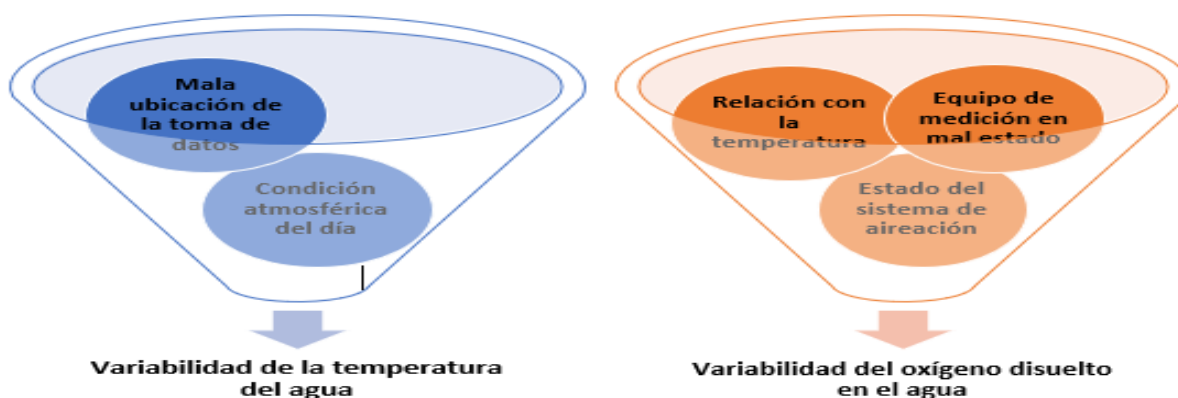


Figura 4.32 Variables críticas de la variación de la temperatura y el oxígeno disuelto

4.5 Etapa Mejorar

4.5.1 Generación de posibles soluciones para las variables críticas

El equipo experto se reunió para la realización de una lluvia de ideas para generar propuestas de solución a las causas críticas identificadas en la etapa anterior. En la Tabla 4.21 se muestran las propuestas para cada causa.

Tabla 4.21 Lluvia de ideas con las soluciones propuestas las causas críticas

Causas relacionadas con los parámetros de calidad del agua	Soluciones propuestas
Mala ubicación de la toma de datos	• Determinación de la ubicación adecuada de la toma de datos.
Condición atmosférica del día	• Compra e instalación de malla sombra para los días calurosos.
Equipo de medición en mal estado	• Compra y mantenimiento de oxímetro.
Relación con la temperatura	• Compra e instalación de malla sombra para los días calurosos.
Estado del sistema de aireación	• Sellado de fugas en el tubo de entrada de aire. • Fijar el tubo de entrada con sello. • Distribución uniforme de los discos difusores. • Sustitución de membranas para discos difusores. • Fabricación de herramienta para la sustitución de membranas. • Mantenimiento de los discos difusores. • Sustitución de los filtros de aire de los blowers. • Instalación de abrazaderas para tubería de los blowers. • Instalación de codo de 90° para la manguera de los discos difusores.

De la Tabla 4.21 nótese que la propuesta de “compra e instalación de malla sombra para los días calurosos” se encuentra tanto para una causa relacionada a la variabilidad de la temperatura, como a una causa relacionadas a la variabilidad del oxígeno disuelto.

4.5.2 Determinación y selección de las soluciones

Tras la presentación de las propuestas de solución a la empresa, el dueño y también miembro del equipo experto, aceptó la implementación de algunas de las soluciones, las cuales se muestran estructuradas en la Figura 4.33 mediante un diagrama de árbol.

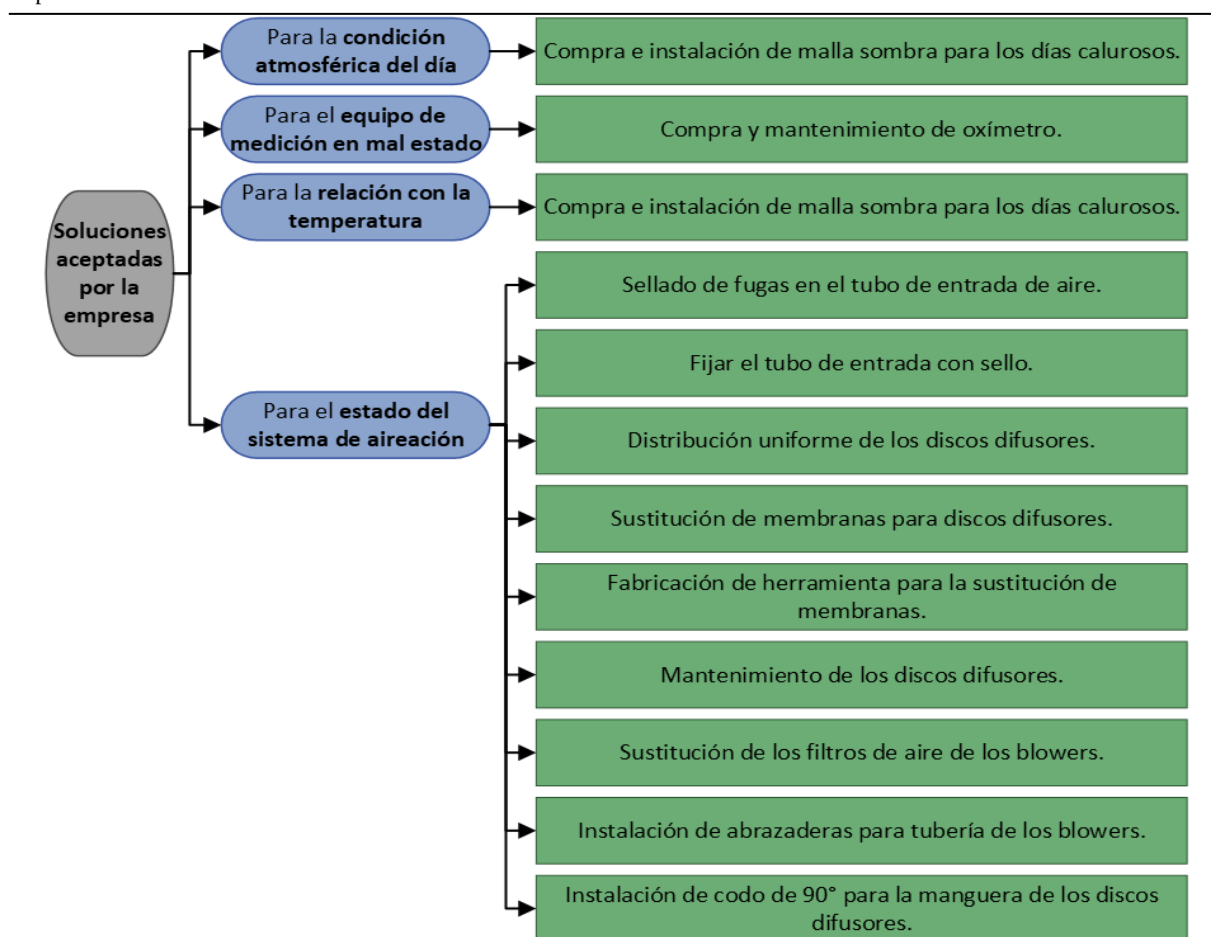


Figura 4.33 Soluciones aceptadas por la empresa

Entre las soluciones aceptadas por la empresa se encuentra la compra e instalación de malla sombra para controlar la variabilidad de la temperatura del agua de la causa “condición atmosférica del día”, mientras que, para la causa de “equipo de medición en mal estado”, se acepta la solución de compra y mantenimiento de oxímetro, por otro lado, para la “relación con la temperatura” (del oxígeno disuelto), se repite la misma propuesta de la instalación de malla sombra. Para la causa de “estado del sistema de aireación” se aceptan múltiples propuestas, como: sellar las fugas en la tubería de entrada de aire, fijar el tubo de entrada de aire con sello, distribuir uniformemente los discos difusores en los estanques de 12 metros de diámetro, sustituir las membranas de burbuja fina para los discos difusores, fabricar una herramienta que permita la sustitución práctica de las membranas, mantenimiento de los discos difusores, sustituir los filtros de aire de los blowers, instalar abrazaderas para la tubería de los blowers y, por último, instalar un codo de 90° para la manguera que conecta con los discos difusores.

4.5.3 Implementación de las soluciones seleccionadas

Pese a que la determinación de la ubicación adecuada para la toma de datos no fue una solución aceptada, se plasma la propuesta a continuación. Tomando en cuenta la experiencia de los expertos en la industria acuícola, para los estanques de forma circular con el tubo de salida en el centro, la mejor opción para la lectura de los parámetros fisicoquímicos de calidad de agua es en una ubicación que no se encuentre cerca de la entrada de agua limpia (La revolución azul, 2022). Tomando en cuenta lo anterior, tampoco se pueden tomar lecturas cerca de los discos difusores, por lo que la zona ideal para usar los oxímetros es el espacio entre cada disco difusor. La Figura 4.34 muestra un esquema de la ubicación adecuada para la toma de datos.

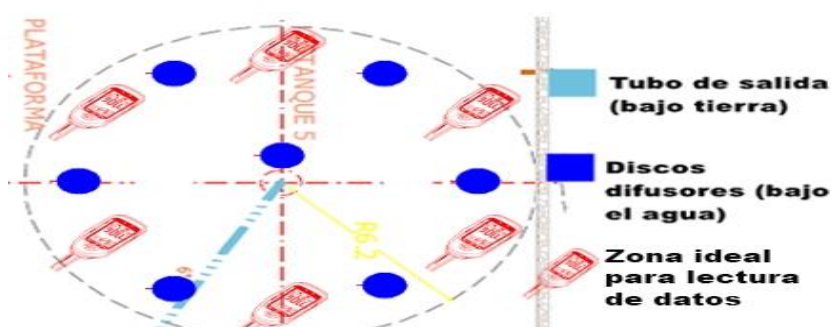


Figura 4.34 Ubicación adecuada de la toma de datos

La compra e instalación de malla sombra para los días calurosos fue la primera propuesta de solución aceptada por parte de la empresa. La malla sombra encima de los estanques regula la temperatura, de tal forma que la variabilidad sea controlada. La Figura 4.35 se muestra un ejemplo de cómo queda la propuesta de la malla sombra instalada sobre los estanques de producción de Tilapia.



Figura 4.35 Ejemplo de malla sombra para acuicultura

Siendo el diámetro de los estanques grandes de 12.4 metros más 0.6 de distancia de largo entre ellos, el largo de la zona de cultivo es de 39 metros, por otro lado, 2 metros de distancia de ancho entre los estanques, el ancho del área de cultivo es de 26.8, con un área calculada de 1045.2 metros cuadrados. En la Figura 4.36 se muestra la totalidad del área de los estanques de cultivo.

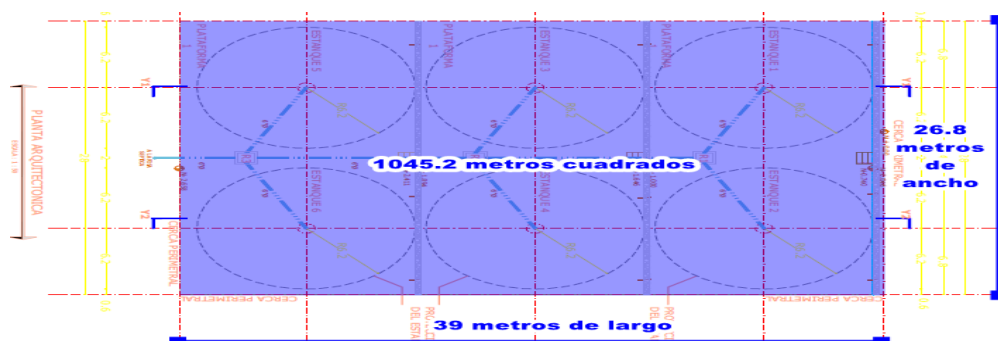


Figura 4.36 Área total de la malla sombra

Debido a que la información del proveedor DM Acuicultura indica que la malla sombra *Raschel* con un grado del 80 % de sombra puede reducir hasta en 10 °C la temperatura, se opta por la versión con grado del 50 %. Por otra parte, teniendo en cuenta que el parámetro de temperatura es estable, y ningún dato del 2019 estuvo fuera de los límites de especificación, se calcula el área de malla sombra para un solo estanque como prueba piloto, siendo el diámetro de cada estanque de 12.4 metros, el área rectangular para un estanque es de 153.76 metros cuadrados. El área parcial correspondiente para un estanque se muestra en la Figura 4.37.

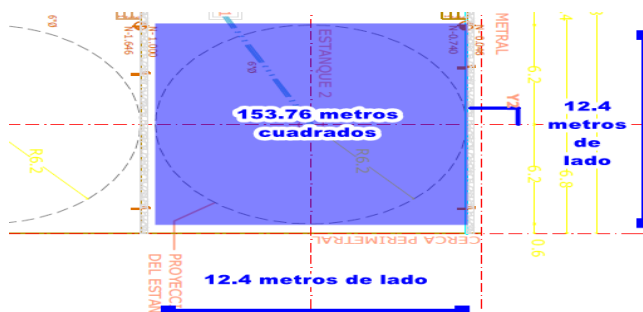


Figura 4.37 Área parcial de la malla sombra para un estanque de 6 metros de radio

La solución de compra y mantenimiento de oxímetro fue aceptada por parte de la empresa, ya que este instrumento permite la lectura de datos más precisos que el actual sistema de colorimetría, el cual había sido establecido para sustituir a un antiguo oxímetro que dejó de

funcionar. En la Figura 4.38 se muestra el antiguo oxímetro y el método de lectura por colorimetría.



Figura 4.38 Métodos de lectura anteriores (de izquierda a derecha: oxímetro, colorimetría junto a estanque y colorimetría en laboratorio)

En la Figura 4.39 se observa el medidor Óptico de Oxígeno Disuelto HI98198 con algunas de sus características, siendo más relevante la del mantenimiento mínimo.

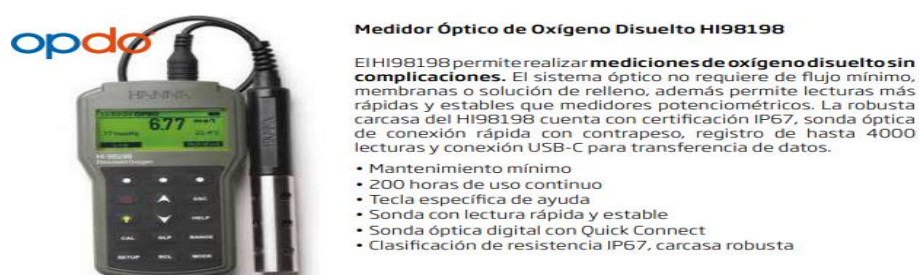


Figura 4.39 Ficha técnica del Oxímetro HI98198

Fuente: Instrumentación para la Acuicultura: Marina y Continental (HANNA instruments, 2022)

Nota: el modelo adquirido por la empresa se muestra en el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

Según HANNA instruments (2014), algunas recomendaciones para el mantenimiento del oxímetro son:

- Mantener la solución electrolítica en el nivel fijado y reemplazar periódicamente. En el reemplazo, la sonda debe ser polarizada para eliminar cualquier oxígeno residual que haya quedado en la célula.
- Evitar burbujas de aire cuando el tapón se atornilla a la sonda. Comprobar la membrana cuidadosamente, en caso de presentar rasguños, desgarros o perforaciones, se debe reemplazar.

- Calibrar periódicamente el oxímetro en aire para fijar los valores de 100% (y en solución con oxígeno en cero, de ser necesario).

Una de las primeras propuestas de mejora relacionadas al estado del sistema de aireación, fue la distribución uniforme de los discos difusores, y conforme a Boyd (1993) se incrementa la cantidad de los mismos. El equipo de trabajo experto determinó el uso de 7 discos difusores por cada estanque grande (de 12 metros de diámetro), ubicados a 1.55 metros del borde y distribuidos uniformemente para disminuir el espacio anaeróbico en el agua. En la Figura 4.40 se muestra el cambio de 6 discos difusores a 7 discos por estanque, mientras que en la Figura 4.41 se puede observar la distribución de forma lateral.

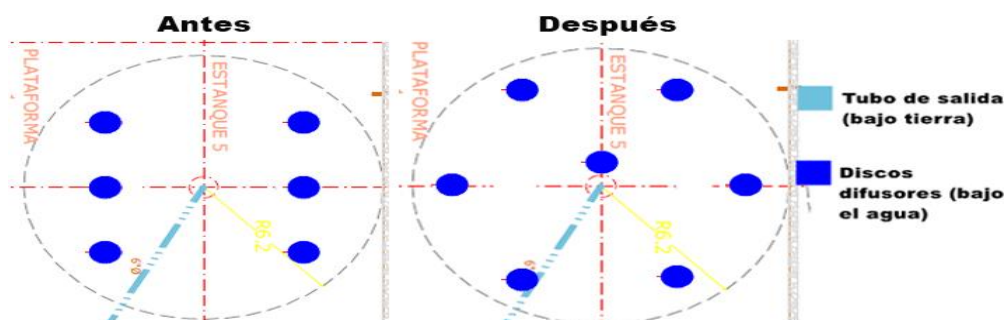


Figura 4.40 Vista aérea de la ubicación de los discos difusores en los estanques (de izquierda a derecha: distribución anterior y propuesta de distribución)

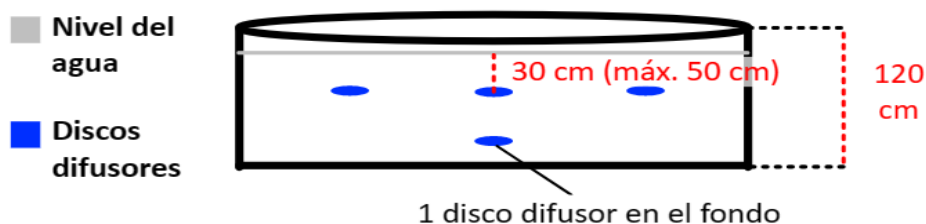


Figura 4.41 Vista lateral de la ubicación de los discos difusores en los estanques

Continuando con las mejoras al estado del sistema de aireación de los estanques de Tilapia, el equipo de trabajo realizó el sellado de la parte superior del tubo de entrada de aire, que conecta con la manguera de aire, que, a su vez, conecta finalmente con la parte inferior del disco difusor, de tal forma que el sellado previene la ocurrencia de fugas de aire en el sistema, disminuyendo la cantidad de aire que se desperdicia durante el proceso de aireación. En la Figura 4.42 se muestra una representación gráfica.

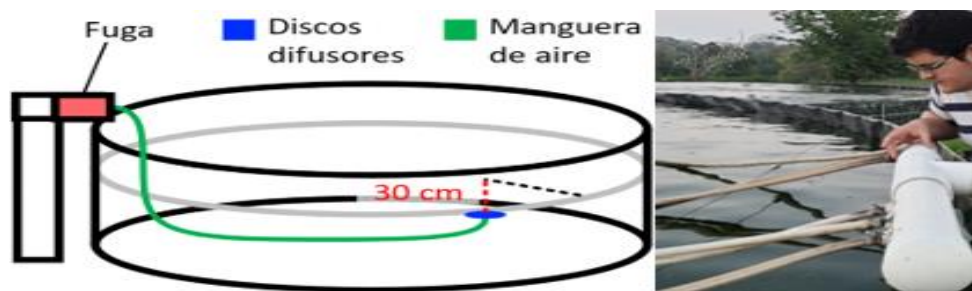


Figura 4.42 Sello en el tubo de entrada de aire (de izquierda a derecha: esquema y foto)

También, el equipo de trabajo realizó la fijación del tubo de entrada con sello en el borde del estanque, de tal forma que se reducen los movimientos que puedan causar aberturas y fugas, minimizando la cantidad de aire que se desperdicia en el sistema de aireación. Esta mejora se muestra en la Figura 4.43.

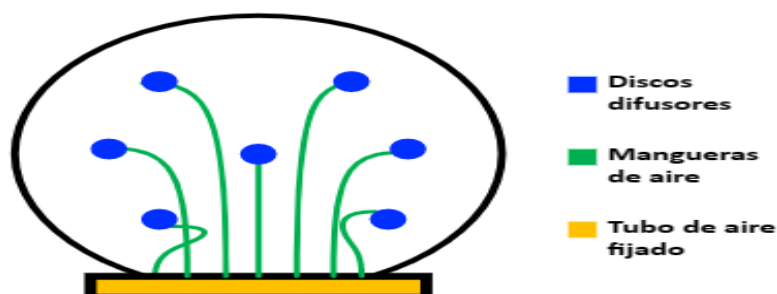


Figura 4.43 Esquema de la fijación del tubo de entrada

Conforme a la sustitución de membranas para los discos difusores, la empresa escogió la membrana de burbuja fina EDI para difusor de disco EPDM de 9" como el modelo a instalar en los estanques. La cantidad comprada fue de 50 piezas, dos para cada uno de los estanques de 6.2 metros de radio, siendo las demás membranas guardada como repuesto. En el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestra el mal estado de los discos difusores actuales.

La Figura 4.44 muestra las partes que comprenden el disco difusor, entre los cuales destaca la membrana.

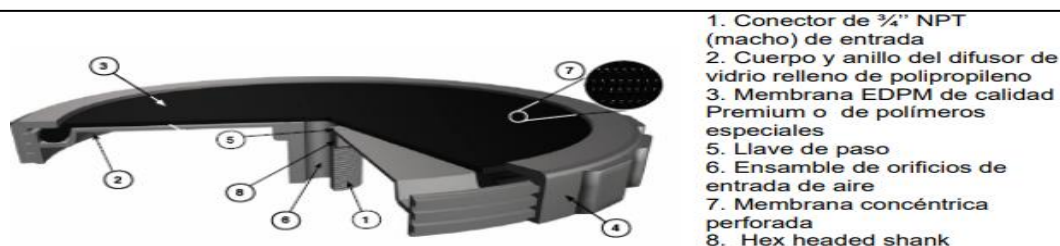


Figura 4.44 Esquema de las partes de un disco difusor de burbuja fina EDI FlexairTM
 Fuente: Ficha técnica del disco difusor de burbuja fina EDI Flexair (Jar Ingeniería y Equipos, 2006)

La adquisición de las membranas para los discos difusores creó otra área de oportunidad, puesto que la sustitución presentaba complicaciones, tanto de tiempo como en la dificultad en la manipulación con las manos, un miembro del equipo de trabajo experto diseñó y realizó la fabricación de una herramienta para facilitar la sustitución de las membranas. No se presenta esquema de la herramienta para mantener la autoría de su autor intelectual.

Respecto a la propuesta del mantenimiento de los discos difusores, conforme a Alaniz (2017), el mantenimiento de los discos difusores para procesos de acuicultura es sencillo, ya que no se tapan con tanta facilidad debido a su diseño para tratar aguas residuales con un alto contenido de materia orgánica, por lo que su limpieza resulta más práctica a comparación de las mangueras difusoras y las piedras difusoras, requiriendo estas últimas, limpieza de al menos una vez por mes. Por otro lado, Díaz y Suarez (2020) estudiaron las técnicas de limpieza de los discos difusores que se utilizan durante el proceso de tratamiento de aguas residuales, evidenciando que el lapso de tiempo en que las membranas de los discos difusores deben recibir limpieza es entre 1 y 3 años, con tratamientos como: limpieza física (que utiliza herramientas de fuerza mecánica como esponjas, escobillas o chorros de agua a presión para suciedad de baja adherencia), limpieza química (que utiliza sustancias como hipoclorito de sodio y ácido clorhídrico para suciedad de alta adherencia) y limpieza por ultrasonido (método experimental que emplea frecuencias por encima de los 20 kHz). Estos métodos de limpieza pueden evitar que la eficiencia de los discos difusores decaiga del 25 %, siempre y cuando se realicen con una constancia menor a 2 años (Rosso & Stenstrom, 2006).

Con la información anterior, se propone como prueba piloto realizar el mantenimiento de los discos difusores al menos cada seis meses para garantizar un óptimo funcionamiento. También,

se recomienda realizar una inspección visual al mes para asegurarse que el equipo esté funcionando correctamente, sin mencionar el seguimiento de las instrucciones de mantenimiento que los fabricantes determinen. En la Figura 4.45 se muestra el diagrama de Gantt que representa de forma visual las indicaciones acerca del mantenimiento.

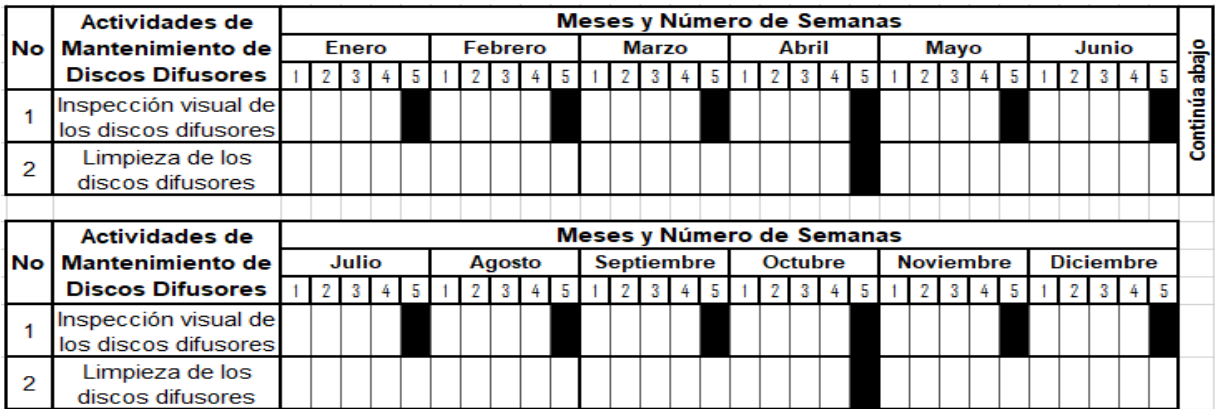


Figura 4.45 Diagrama de Gantt con las actividades de mantenimiento de los discos difusores

Conforme a la Figura 4.45, las inspecciones visuales a los discos difusores se realizarán al final de cada mes, mientras que la limpieza de los mismos será de forma semestral, ubicado en el tiempo de acuerdo a los lotes de producción de octubre-marzo (cuyo pico de ventas es el mes de abril) y de abril-septiembre (para vender en su mayoría en septiembre).

De igual forma, para el estado del sistema de aireación, el equipo de trabajo realizó la sustitución de los filtros de aire de los blowers, de tal forma que el aire que ingrese al sistema de aireación no tenga partículas que puedan causar obstrucción en la tubería, tanto en las mangueras o en las membranas de burbuja fina de los discos difusores. También, se instalaron abrazaderas nuevas en la tubería de los blowers y se ajustaron, con esto, se previene el desperdicio de aire y se evita la perdida de presión en el blower. Tanto la instalación de los filtros como de las abrazaderas puede observarse en la representación gráfica de la Figura 4.46.



Figura 4.46 Sustitución de los filtros y abrazaderas en los blowers (de izquierda a derecha: esquema de y foto de las abrazaderas ajustadas)

Por último, el equipo de trabajo realizó la instalación de codos de 90° por debajo de los discos difusores, con ello, se evitan los dobleces que obstruyan el aire en las mangueras, permitiendo que no se interrumpa el flujo en el sistema de aireación. En la Figura 4.47 se muestra una representación de la mejora implementada.

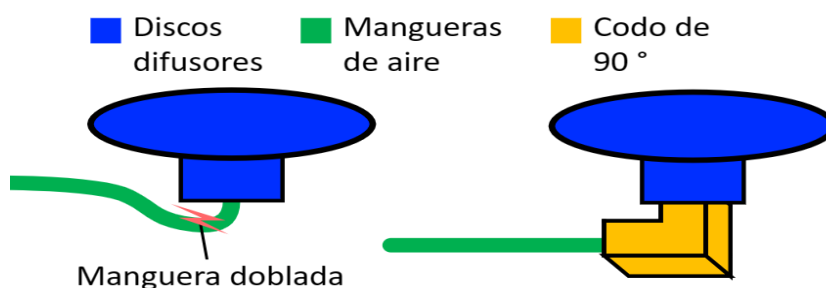


Figura 4.47 Esquema del codo de 90° para la manguera de aire del disco difusor

4.5.4 Verificación de la capacidad del proceso (final)

Tras la implementación de las soluciones en la empresa, se vuelve a realizar el análisis de capacidad del proceso, de la misma forma que en la anterior etapa Medir, utilizando la nueva información recabada del grupo piloto tras las mejoras (correspondiente a dos semanas de la primavera del 2023). En la Figura 4.48 se muestra el informe de capacidad para la variable de temperatura del agua, para la variable de oxígeno disuelto el informe de capacidad se muestra en la Figura 4.49.

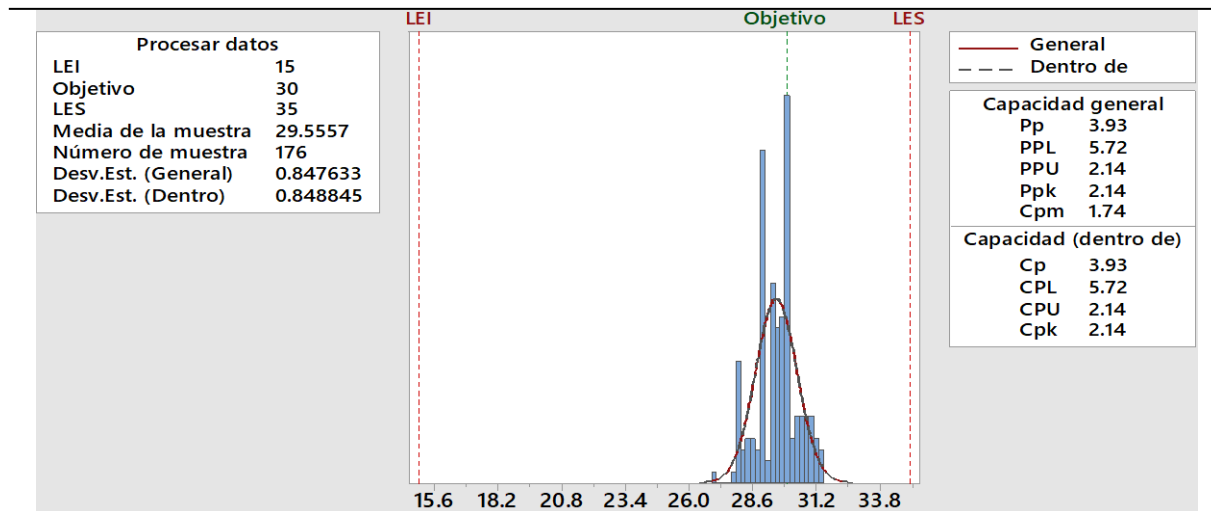


Figura 4.48 Informe de capacidad del proceso de la temperatura del agua (2023)

Como se muestra en la Figura 4.48, el valor promedio de la temperatura del agua se encuentra en 29.56 °C, por lo que se observa que la tendencia central del proceso es cercana al objetivo de 30, provocando un ligero descentrado hacia la izquierda. Como la desviación estándar “general” y “dentro” son similares, se puede inferir que se tiene un buen control. Al sumar la media más tres veces la desviación estándar general se calcula el límite real superior, la media menos tres veces la desviación estándar da como resultado el límite real inferior, que para la temperatura son 27.01 y 32.1 respectivamente, la cual es una amplitud que se encuentra dentro de los límites de especificación, por lo que el proceso es aceptable con elementos dentro de especificación.

El índice de capacidad de Taguchi (Cpm) presenta un valor de 1.74, el cual es un número mayor que 1, lo cual sugiere que el proceso está alineado con las especificaciones, demostrando la similitud entre la media del proceso, de 29.56 °C con el objetivo del proceso, de 30 °C (Gutiérrez Pulido, 2010).

El índice de capacidad potencial a corto plazo (Cp) de la temperatura del agua es de 3.93, el cual es mayor a 1.33, por lo que se determina que la habilidad potencial del proceso es adecuada. El índice de capacidad real a corto plazo (Cpk) es calculado con un valor de 2.14, debido a que es mayor que 1.25, se considera que la habilidad real del proceso es satisfactoria. Pese a lo anterior, debido a que ambos índices de capacidad son valores muy diferentes, se demuestra que el proceso no está centrado entre los límites de especificación (Atlas Consultora, 2020).

El índice de capacidad potencial a largo plazo (P_p) se encuentra en 3.93, mientras que el índice de capacidad real a largo plazo (P_{pk}) tiene un valor de 2.14, como ambos valores no son similares, el proceso no está centrado. Además, siendo similares los valores del C_p y el P_p , se infiere que la variabilidad del proceso tanto a corto plazo como a largo plazo es similar, es decir, se determina como un proceso previsible para la variable de la temperatura del agua del 2023.

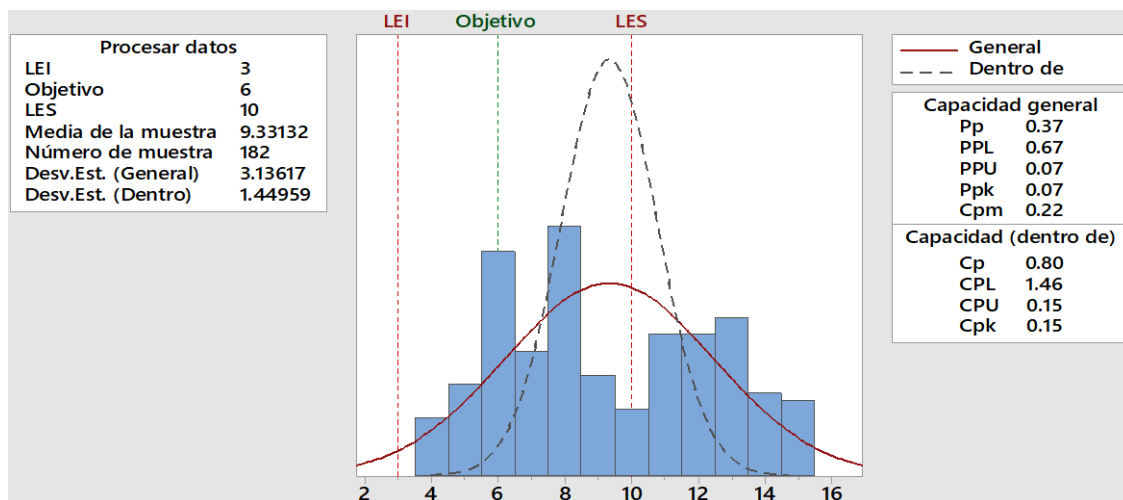


Figura 4.49 Informe de capacidad del proceso del oxígeno disuelto en el agua (2023)

De acuerdo a la Figura 4.49 el valor promedio del oxígeno disuelto fue de 9.33 mg/L, se observa que la tendencia central del proceso es superior al objetivo de 6, provocando un proceso descentrado a la derecha. Con la desviación estándar “general” y “dentro” siendo muy diferentes en su valor, se podría inferir que no se tiene un buen control sobre el proceso. En general, los datos del oxígeno varían entre -0.08 (límite real inferior) y 18.74 (límite real superior), resultando en una amplitud que se encuentra fuera de los límites de especificación, por lo que el proceso no es aceptable, presentando elementos fuera de especificación.

El índice de capacidad de Taguchi (C_{pm}) presenta un valor de 0.22, el cual es un número menor que 1, lo cual sugiere que el proceso no está alineado con las especificaciones debido a problemas de centrado o a una variabilidad excesiva, demostrando la diferencia entre la media del proceso, de 9.33 mg/L con el objetivo del proceso, de 6 mg/L (Gutiérrez Pulido, 2010).

El índice de capacidad potencial a corto plazo (C_p) del oxígeno disuelto en el agua es de 0.80, el cual es menor a 1, por lo se determina que la habilidad potencial del proceso es no adecuada y requiere modificaciones serias (Atlas Consultora, 2020). El índice de capacidad real a corto plazo (C_{pk}) es calculado con un valor de 0.15, debido a que es menor que 1, la habilidad real del proceso es clasificada como no hábil, por lo que el proceso no cumple con al menos una de sus especificaciones. A su vez, debido a que ambos índices de capacidad a corto plazo son valores muy diferentes, se demuestra que el proceso no está centrado entre los límites de especificación (Atlas Consultora, 2020).

El índice de capacidad potencial a largo plazo (P_p) se encuentra en 0.37, mientras que el índice de capacidad real a largo plazo (P_{pk}) tiene un valor de 0.07, como ambos valores no son similares, el proceso no está centrado. Además, siendo diferentes los valores del C_p y el P_p , se infiere que la variabilidad del proceso tanto a corto plazo como a largo plazo no es similar, es decir, no es un proceso previsible para el caso del oxígeno disuelto en el agua del 2023.

4.5.5 Cálculo del nivel Sigma (final) del proceso

Para la etapa Mejorar se vuelve a realizar el cálculo del nivel sigma de la misma forma que en la etapa Medir, utilizando la nueva información posterior a la implementación de las mejoras. En la Figura 4.50 se muestra la hoja de cálculo para determinar el nivel sigma de la temperatura y del oxígeno disuelto en el agua.

NIVEL SIGMA (temperatura)	2023
Oportunidades:	1
Total de observaciones:	176
Numero de defectos:	0.000599
Defectos Por Millon de Oportunidades:	3.403409091
Defectos por Oportunidad:	0.00000340
Yield (Desempeño del Proceso) %	99.9997%
Nivel Sigma:	6.000

Figura 4.50 Cálculo del nivel sigma para la temperatura (2023)

Para el cálculo del nivel sigma de la temperatura tras la implementación de las mejoras, se utilizó otro artificio matemático, dado que el número de defectos para el año 2023 fue de “cero”, cálculos no podían ser realizados, por lo que se sustituyó este valor por un valor determinado en “0.000599”, de tal forma que el nivel sigma resultara en 6 con desempeño del proceso de 99.9997 %, que según Escalante (2008) corresponde a un nivel de “clase mundial”.

NIVEL SIGMA (oxígeno)	2023
Oportunidades:	1
Total de observaciones:	182
Numero de defectos:	76
Defectos Por Millon de Oportunidades:	417582.4176
Defectos por Oportunidad:	0.4175824
Yield (Desempeño del Proceso) %	58.2418%
Nivel Sigma:	1.708

Figura 4.51 Cálculo del nivel sigma para el oxígeno disuelto (2023)

Por otro lado, referente al oxígeno disuelto, se obtuvo un nivel sigma de 1.708 y un desempeño del proceso del 58.2418 %, este valor para Escalante (2008) está clasificado en el “nivel no competitivo”, mientras que para R. M. (2008) está dentro de la categoría “necesita mejorar”.

4.5.6 Validación de la mejora del proceso

La información previamente obtenida en la etapa Medir (vista en la Tabla 4.20) se comparó con la información analizada de la etapa Mejorar, la tabla comparativa resultante puede observarse en la Tabla 4.22.

Tabla 4.22 Comparación de indicadores antes y después de la mejora

Variable	Nombre	2016	2017	2018	2019	2023
Y1	Temperatura promedio	27.05	28.18	25.65	26.84	29.5557
Y2	Desviación estándar de la temperatura	1.42	2.42	2.42	1.91	0.84
Y3	Capacidad del proceso (Cp) de la temperatura	2.76	2.58	2.05	1.94	3.93
Y4	Yield (desempeño) del proceso de la temperatura	99.99997%	99.99997%	99.99997%	99.99997%	99.999997%
Y5	Nivel Sigma de la temperatura	6.0	6.0	6.0	6.00	6.00
Y6	Oxígeno disuelto promedio	7.80	6.31	5.12	4.60	9.33
Y7	Desviación estándar del Oxígeno disuelto	3.26	3.38	1.81	1.84	3.13
Y8	Capacidad del proceso (Cp) del oxígeno disuelto	0.41	0.42	0.92	0.68	0.80
Y9	Yield (desempeño) del proceso del oxígeno disuelto	75.2525%	75.4391%	94.4645%	88.3072 %	58.2418%
Y10	Nivel Sigma del oxígeno disuelto	2.182	2.188	3.065	2.690	1.708
Y11	Costo de operación de calidad de agua	ND	ND	ND	\$84,600.60	ND

ND: no disponible.

Se analizaron los resultados obtenidos de la Tabla 4.22, comparando los resultados tras la implementación de las mejoras (año 2023), con la información del último año de datos históricos (año 2019), se tienen las siguientes conclusiones sobre la temperatura del agua:

- La temperatura promedio tuvo un incremento del 10.1 %, acercándose al valor objetivo de 30 °C determinado por la empresa.
- La desviación estándar presentó una disminución del 55 %, cumpliendo parcialmente el objetivo principal del proyecto de reducir la variabilidad para la temperatura.
- El índice de capacidad potencial del proceso (Cp) se incrementó más del 100 % manteniéndose por encima del valor 2, el cual es el correspondiente a la categoría de clase mundial (Atlas Consultora, 2020).
- El rendimiento del proceso se mantuvo en 99.9997 %, obtenido usando artificios matemáticos, al presentarse “0 defectos” en ambos casos.
- El nivel sigma se mantuvo en un valor de 6, correspondiente a un nivel de “clase mundial” (Escalante Vázquez, 2008).

De la misma forma, al analizar los indicadores tras la implementación de las mejoras, se tienen las siguientes conclusiones del oxígeno disuelto en el agua:

- El valor promedio del oxígeno disuelto incrementó un 102 %, superando el valor objetivo de 6 mg/L determinado por la empresa.
- La desviación estándar aumentó un 70.7 % con respecto al año anterior.
- El índice de capacidad potencial del proceso incrementó un 17.6 %, manteniéndose dentro de la categoría 3, requiriendo modificaciones serias (Atlas Consultora, 2020). Sin embargo, este aumento indica que el proceso tiene el potencial para mejorar su capacidad.
- El rendimiento del proceso disminuyó a un 58.24 %.
- El nivel sigma disminuyó a un valor de 1.708 con respecto al último año, permaneciendo en la categoría de los procesos que “necesitan mejorar” (Escalante Vázquez, 2008), siendo el valor más bajo entre los datos históricos.

Referente al costo de operación de la calidad del agua en la unidad acuícola, no se cuenta con información disponible para el año 2023, por lo que no se pudo demostrar una reducción de costos.

Se elaboró un diagrama de cajas y bigotes para representar visualmente la situación respecto a la variable del oxígeno disuelto, la cual se muestra en la Figura 4.52.

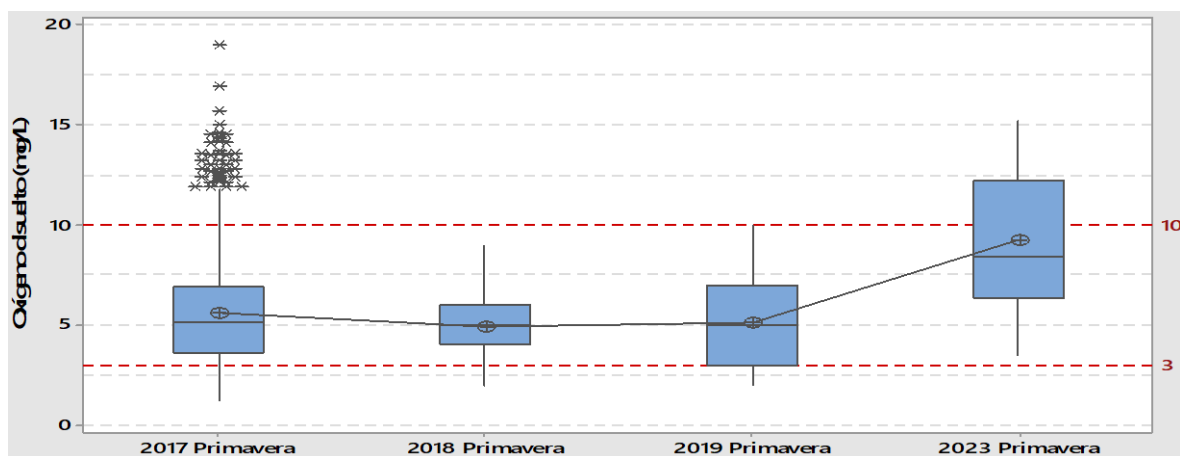


Figura 4.52 Gráfico de cajas y bigotes del oxígeno disuelto (primavera de 2017, 2018, 2019 y 2023)

Analizando la Figura 4.52, se muestra a primera instancia el aumento del oxígeno disuelto en los estanques correspondientes al año 2023, presentando cantidades mayores en cuanto al promedio (símbolo de círculo con cruz) y la mediana (símbolo de línea que divide en dos la caja), con valores de 9.33 y de 8.45 mg/L respectivamente. También, es notable la ausencia de valores por debajo de la línea de referencia de 3 de la gráfica (representando el límite de especificación inferior), por lo que, tras la implementación de las mejoras, el nivel de oxígeno disuelto en el agua nunca más llegó a un nivel crítico en que las tilapias sufrieran por la falta de oxígeno, siendo positivo para la productividad del cultivo de tilapia de la empresa. Sin embargo, es durante el 2023 se presentó mayor variabilidad, esto evidenciado por el rango inter cuartil con un valor de 5.82, en comparación de los años anteriores durante el mismo periodo, siendo de 3.3 para el 2017, 2 para el 2018 y 4 para el 2019.

Pese a lo anterior, el valor de la media de 9.33 del año 2023 es muy cercano a la línea de referencia de 10 de la gráfica (representando el límite de especificación superior), e incluso hay valores por encima, lo que demuestra el exceso de proceso del sistema de aireación, lo cual se traduce en egresos correspondientes a la energía eléctrica que no contribuyen realmente a la productividad. Por otro lado, es evidente la dispersión de los datos de dicho año, demostrando que la variabilidad no pudo ser reducida tras las mejoras, requiriendo un estudio más profundo centrado en el sistema de aireación para determinar un proceso que se ajuste a los valores críticos de la calidad, de tal forma que las muestras del oxígeno disuelto no excedan los 10 mg/L.

Debido a que el equipo experto nota una diferencia mayor entre las observaciones por la mañana (M1) y las observaciones por la tarde (M2) en el oxígeno disuelto, se decide analizar por medio de gráficos de control con límites de especificación ambos horarios en cada uno de los seis estanques, durante las dos semanas del grupo piloto con las mejoras implementadas.

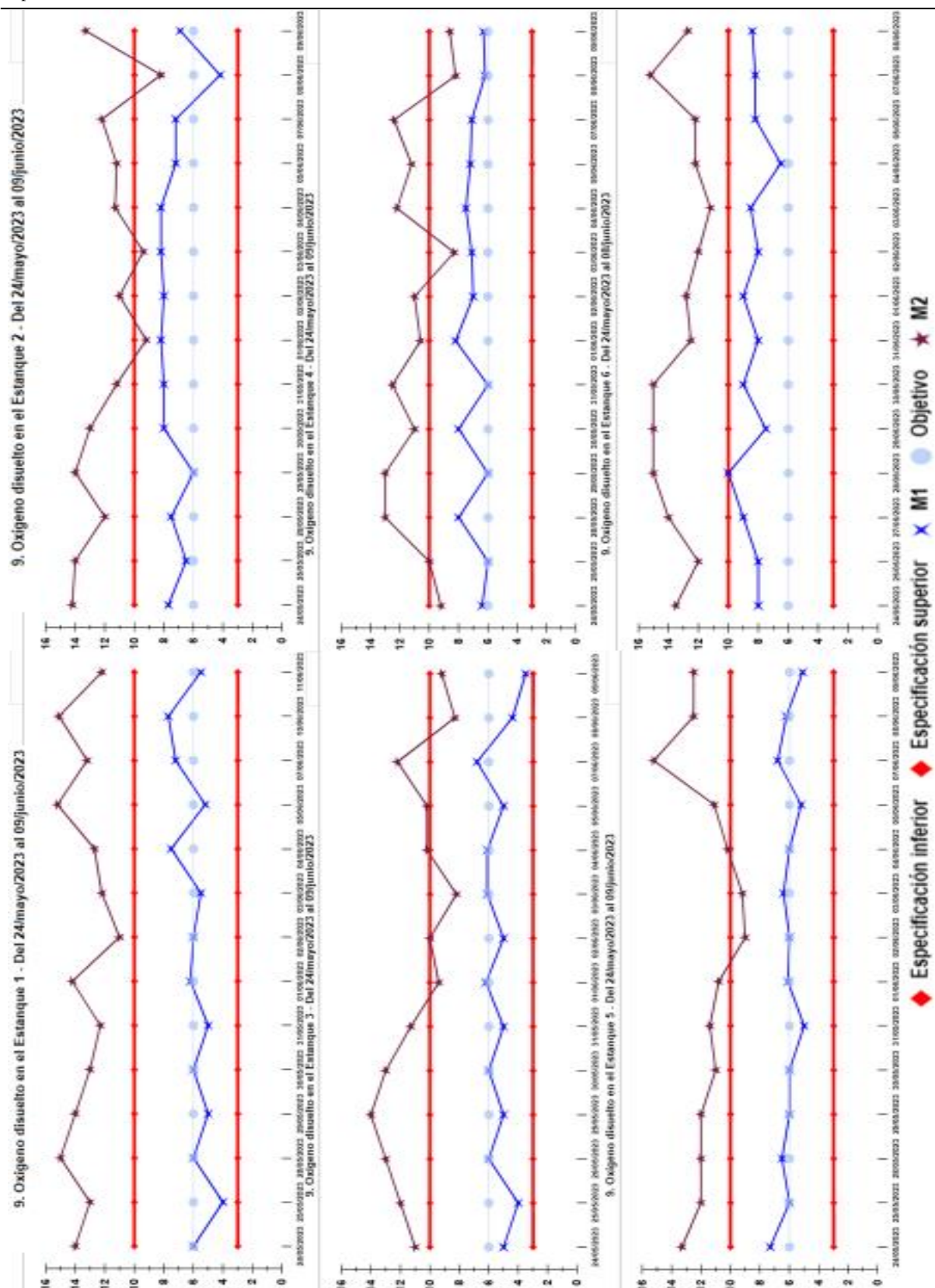


Figura 4.53 Gráficos de control para validar mejora en el oxígeno disuelto (2023)

Como se observa en los gráficos de control de la Figura 4.53, el 100 % de los datos del grupo piloto correspondientes a la mañana (M1) están dentro de especificación, sin embargo, en caso contrario, solo el 21.42 % de los datos por la tarde (M2) están dentro de especificación, demostrando que la variabilidad solo pudo ser reducida por la mañana.

Sin embargo, cabe mencionar que la presencia de valores por encima de la especificación superior durante la tarde puede ser explicado por el aumento del tiempo de uso de los blowers de aire en el sistema de aireación. Cabe mencionar que ningún dato durante la prueba piloto estuvo por debajo de la especificación inferior, por lo que las tilapias ya no sufrieron sofocación por falta de aire en los estanques.

De la misma forma, en la Figura 4.54 se realizaron gráficos de control para la temperatura del agua en los seis estanques del grupo piloto para validar la mejora por estanque. Encontrándose que para los datos de la mañana como para los datos de la tarde, el 100 % se encontraron dentro de los límites de especificación, demostrándose mejora para este parámetro de calidad del agua.

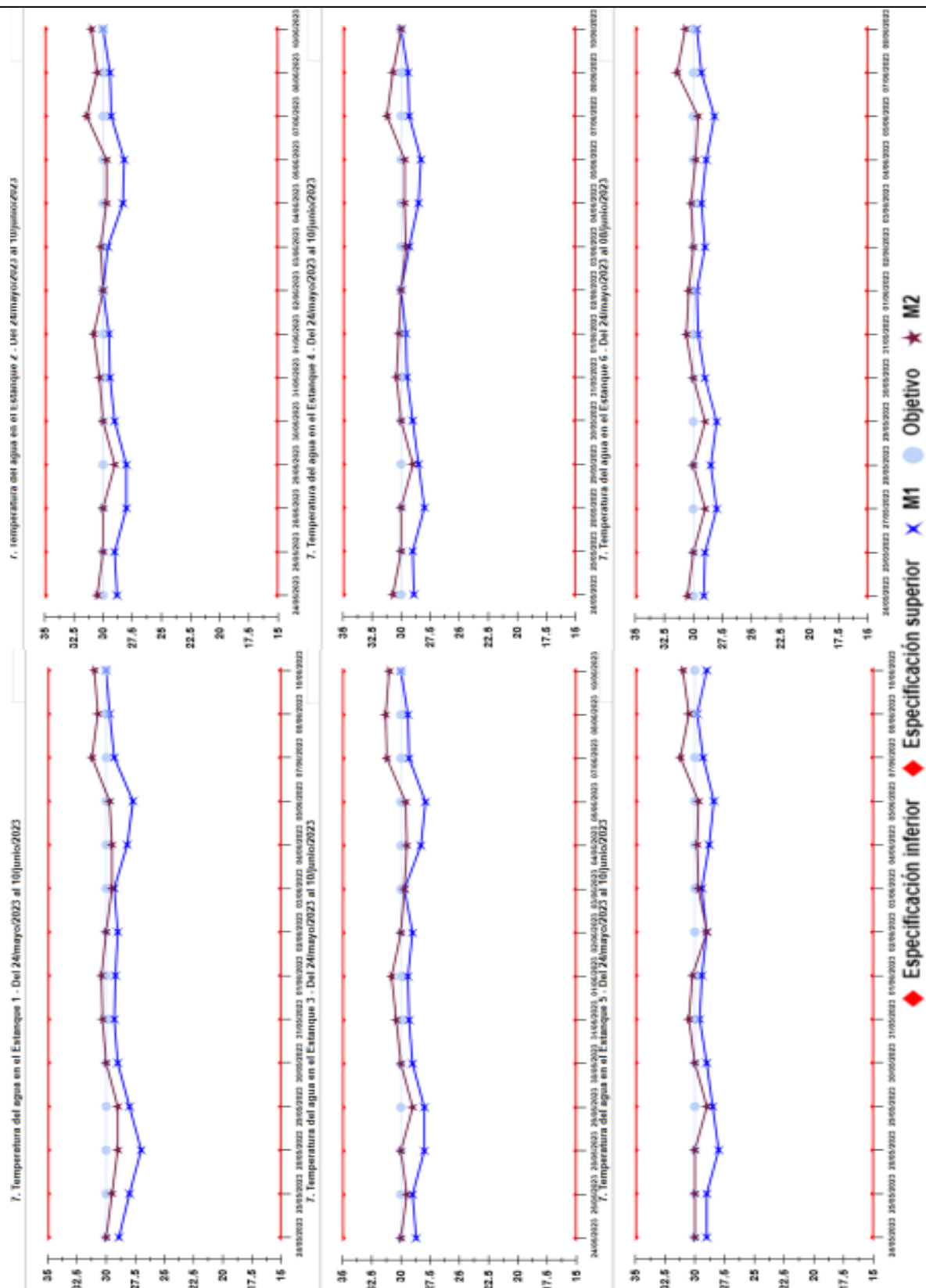


Figura 4.54 Gráficos de control para validar mejora en la temperatura del agua (2023)

4.6 Etapa Controlar

4.6.1 Diseñar el plan de estandarización

Para el cumplimiento de la fase Controlar, se realiza una lluvia de ideas con acciones dirigidas al monitoreo de los parámetros fisicoquímicos y la estandarización de las mejoras alcanzadas, la Figura 4.55 muestra las ideas seleccionadas por el equipo de trabajo.

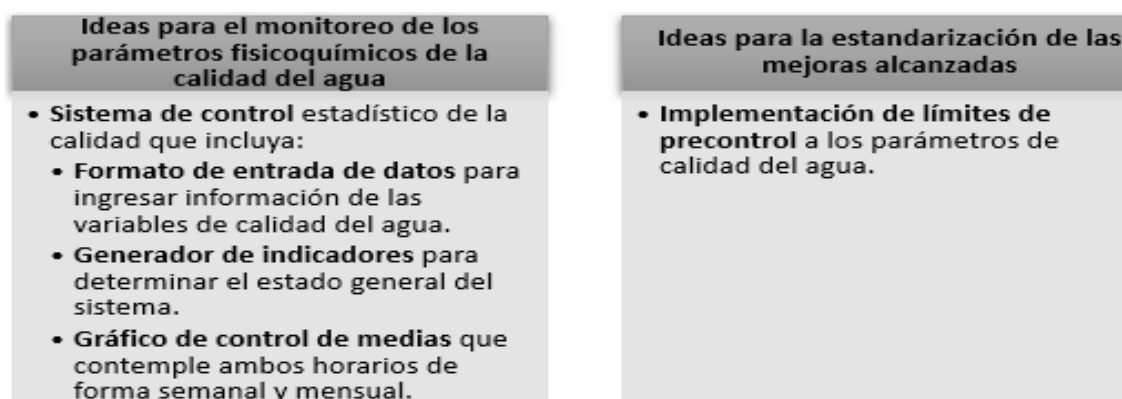


Figura 4.55 Lluvia de ideas para la etapa Controlar

4.6.2 Implementación del plan de estandarización

El sistema de control estadístico de los parámetros físico químicos incluye un formato de entrada para recolectar las lecturas de las variables de calidad del agua, una interfaz de usuario que muestre el estado general del sistema por medio de indicadores y la generación de gráficos de control a partir de la información recolectada.

El formato de entrada de datos se apoya de *Google Formularios*, dentro del cual, por medio de una tableta electrónica o una computadora con acceso a internet, se ingresan las lecturas de los parámetros de calidad del agua a una base de datos en la nube. La información recolectada incluye temperatura y el oxígeno disuelto, entre otras variables fisicoquímicas, así como la información pertinente al espacio temporal (fecha, temporada, lote, horario de la muestra) y a la ubicación (número de estanque y módulo). En la **¡Error! No se encuentra el origen de la**

referencia. Figura 4.56 se muestra una captura de pantalla del formulario en donde se ingresan las lecturas medidas.

Entrada de datos - Calidad de agua

Ingreso de datos para recopilación de información.

wmiguel.san@gmail.com (no se comparten) [Cambiar cuenta](#)

1. Fecha
Colocar fecha: día, mes y año.
Fecha: dd/mm/aaaa

1.1 Temporada
Seleccione la estación del año. Considere que el **Invierno** empieza el 21 de diciembre, la **Primavera** empieza el 20 de marzo, el **Verano** empieza el 21 de junio y el **Otoño** empieza el 23 de septiembre.
☐ Invierno

1.2 Lote
Seleccione el lote al que pertenece. Lotel de **Octubre a Marzo** o el lote de **Abril a Septiembre**.
☐ Oct-Marzo
☐ Abril-Sept
☐ Otros:

2. Hora de la muestra
Colocar **M1** si es la primera medición del día (en la mañana), **M2** si es la segunda medición del día (a medio día o en la tarde), colocar **M3** si es la tercera medición del día (atardecer, anochecer).
☐ M1
☐ M2
☐ M3

3. Estanque
Ingrese el número del estanque, no en letra (1 en vez de 'uno')
Tu respuesta

Figura 4.56 Captura de pantalla del formulario de entrada de datos de calidad del agua

La base de datos generada automáticamente por el formulario, se apoya de *Google Hoja de cálculo*, de la cual, a su vez, el sistema de control estadístico toma los datos para la generación de indicadores del estado general del sistema y la generación de gráficos de control. De esta base de datos, se pueden generar tablas dinámicas para segmentar o estratificar aún más los datos para futuros estudios. Una captura de pantalla de la base de datos puede mostrarse en la Figura 4.57.

	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	1.2 Lote	Día	Mes	Año	2. Hora de la muestra	3. Estanque	Concatenar	7. Temperatura del agua	9. Oxígeno disuelto	8. pH	Fuera de especificación (temperatura)	Fuera de especificación (oxígeno)
2	Oct-Marzo	23	10	2016	M1	1	23102016M11	27	5			
3	Oct-Marzo	23	10	2016	M1	2	23102016M12	27	4.5			
4	Oct-Marzo	23	10	2016	M1	3	23102016M13	27.3	4			
5	Oct-Marzo	23	10	2016	M1	4	23102016M14	27	4.2			
6	Oct-Marzo	23	10	2016	M1	5	23102016M15	27	3.2			
7	Oct-Marzo	23	10	2016	M1	6	23102016M16	27.3	3			
8	Oct-Marzo	23	10	2016	M1	7	23102016M17	27	4.4			
9	Oct-Marzo	23	10	2016	M1	8	23102016M18	27.4	3.3			
10	Oct-Marzo	23	10	2016	M1	9	23102016M19	27	5			
11	Oct-Marzo	23	10	2016	M1	10	23102016M110	27.3	3.5			
12	Oct-Marzo	23	10	2016	M1	11	23102016M111	27.4	4			
13	Oct-Marzo	23	10	2016	M1	12	23102016M112	27	3.8			
14	Oct-Marzo	23	10	2016	M1	15	23102016M115	27	5	7.6		

Figura 4.57 Captura de pantalla de la base de datos generada a partir del formulario

La visualización de los indicadores para el estado general del sistema incluye, una opción para elegir el año y la estación del año que el usuario desee (así como una opción “anual”), esto para ambos parámetros de calidad del agua: temperatura y oxígeno disuelto. En términos relativos, el estado general del sistema muestra los mismos indicadores utilizados durante el proyecto, como lo son: promedio del parámetro, desviación estándar del parámetro, capacidad del proceso potencial (C_p) del parámetro, el desempeño (*Yield*) del proceso y el nivel sigma. Además del valor, se muestra una columna con una comparativa con otros valores y una observación con el cual se puede interpretar de mejor forma el indicador generado. Un ejemplo de la generación visual de los indicadores para el estado general del sistema se muestra en la Figura 4.58.

Estado general del sistema				
	Año	Estación		
Seleccione	2018	Invierno		
Indicadores para la temperatura		Inicial	Comparativa	Observación
Temperatura promedio		24.95	Límite inferior (15) < Promedio < Límite superior (35)	Temperatura promedio dentro del rango.
Desviación estándar de la temperatura		1.89	Valores de temperatura entre 19.27 y 30.63	Valores de temperatura dentro del rango.
Capacidad del proceso (C_p) de la temperatura		1.76	$1.33 < C_p < 2$	Categoría: 1
Yield (desempeño) del proceso de la temperatura		99.99999%	% > 99.99966 %	Proceso óptimo.
Nivel Sigma de la temperatura		6.653	Sigma > 6	Proceso óptimo.

Figura 4.58 Captura de pantalla del estado general del sistema para la temperatura del agua (invierno 2018)

Cabe mencionar que el valor del índice de capacidad potencial del proceso (C_p) en el estado general del sistema, es el mismo valor de la capacidad potencial del proceso a largo plazo (P_p) generado en *Minitab*, debido a que ambos cálculos consideran la desviación estándar real de los datos recolectados (índice calculado a partir de la diferencia entre los límites de especificación dividido entre seis veces el valor de la desviación estándar). Sin embargo, se determinó no cambiar el nombre del indicador para una interpretación sencilla del mismo. Otra observación es el cálculo del desempeño (*Yield*), que para la fase Medir y Mejorar está calculada a partir del número de defectos por oportunidad, mientras que, en el estado general del sistema, este cálculo es la probabilidad de que los datos estén ubicados por debajo del límite superior de especificación, menos la probabilidad de que se ubiquen por debajo del límite inferior de especificación, considerando su media y desviación estándar. El cálculo del desempeño genera

que los valores del nivel sigma sean ligeramente diferentes, sin llegar a afectar su interpretación debido a que son dos formas válidas de calcular el indicador.

Por otro lado, para la generación de los gráficos de control de los parámetros de calidad del agua, se utilizó como base una plantilla anterior utilizada por la empresa, el cual constaba del ingreso de datos de forma manual para una gráfica de valores individuales con límites de especificación, la cual fue actualizada e incluida en el sistema de control estadístico para mostrar los datos de forma automática desde la base de datos, considerando la elección del usuario (parámetro de calidad del agua, fecha en que inicia la semana o el mes y el número del estanque).

La gráfica de medias construida para los parámetros de calidad del agua es una variación de la gráfica I-MR (valores individuales y media), con la única diferencia de que se grafican ambos valores de cada fecha, mostrando cada dato correspondiente al horario de la mañana (M1 línea de color azul con cruces) y al horario de la tarde (M2 línea de color morado con estrellas), de esta forma, se puede analizar el comportamiento de los diferentes momentos del día para cada parámetro. La línea central es la media de todos los datos históricos del estudio. Por otro lado, los límites de especificación superior e inferior son calculados usando el rango móvil promedio de todos los datos históricos y la constante D_2 con valor de 1.128. El cálculo de los límites de control, utilizando la información histórica correspondiente a los 4 años de información disponible, se observa en la Figura 4.59 para ambas variables de calidad del agua.

$$\begin{aligned}
 LCS_{temp} &= \bar{X} + 3 * \frac{\overline{Rm}}{D_2} = 27.08 + 3 * \frac{0.4193}{1.128} = 28.20 & LCS_{oxig} &= \bar{X} + 3 * \frac{\overline{Rm}}{D_2} = 5.66 + 3 * \frac{0.8170}{1.128} = 7.83 \\
 LC_{temp} &= \bar{X} = 27.08 & LC_{oxig} &= \bar{X} = 5.66 \\
 LCL_{temp} &= \bar{X} - 3 * \frac{\overline{Rm}}{D_2} = 27.08 - 3 * \frac{0.4193}{1.128} = 25.96 & LCL_{oxig} &= \bar{X} - 3 * \frac{\overline{Rm}}{D_2} = 5.66 - 3 * \frac{0.8170}{1.128} = 3.49
 \end{aligned}$$

Figura 4.59 Cálculo de los límites de control superior e inferior en el sistema (de izquierda a derecha: límites para la temperatura y límites para el oxígeno disuelto)

En la Figura 4.60 se muestra un ejemplo con los datos tomados en automático que conforman una semana, la primera semana del mes de enero del 2019 y la gráfica de medias semanal generada a partir de dicha información para la temperatura del agua.

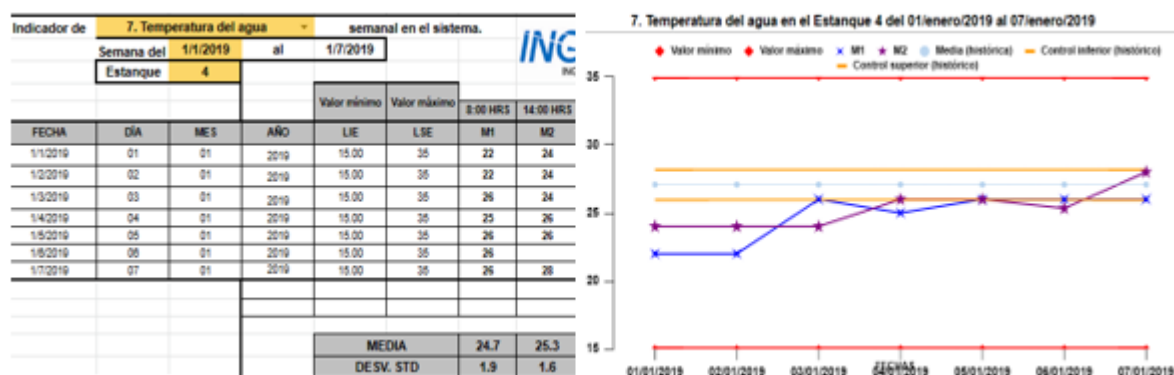


Figura 4.60 Captura de pantalla de la gráfica de medias semanal para la temperatura en el sistema de control (estanque 4, semana del 1 de enero del 2019)

Como se muestra en la gráfica de control de la Figura 4.60, el límite de control superior para la temperatura en el agua tiene un valor de 28.20 °C, mientras que el límite de control inferior es de 25.96 °C. Con la existencia de valores por debajo del límite inferior de control se considera que el proceso está fuera de control, destacando los casos de los días 1 y 2 para ambos horarios, resultan ser los valores más bajos de temperatura durante la semana. Cabe mencionar el sentido aparentemente ascendente de los datos.

De la misma forma en que se elaboran los gráficos semanales, se elabora la gráfica de medias mensual, mostrándose en la Figura 4.61 un ejemplo con los datos en automático que conforman el mes de enero y la gráfica de medias mensual generada a partir de dicha información para el oxígeno disuelto en el agua.

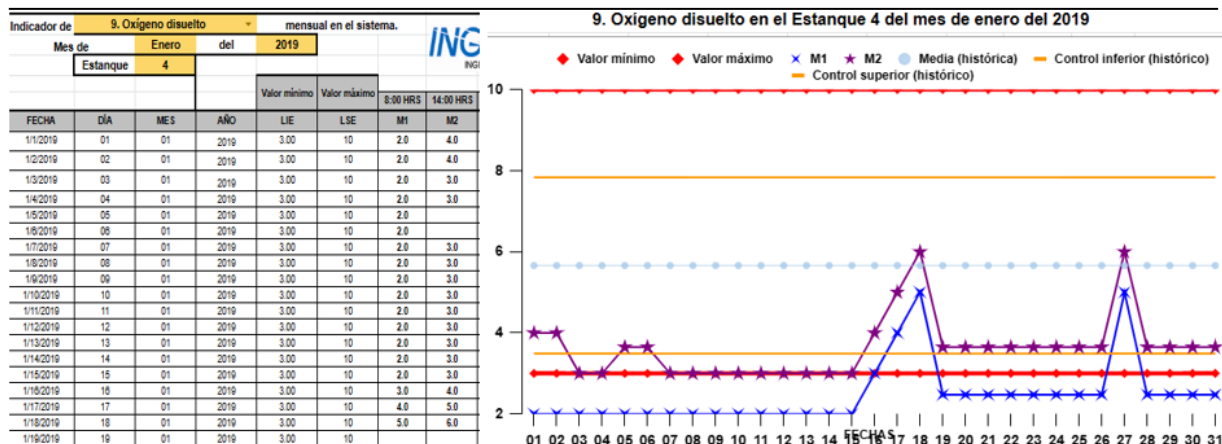


Figura 4.61 Captura de pantalla de la gráfica de medias mensual para el oxígeno disuelto en el sistema de control (estanque 4, mes de enero del 2019)

Correspondiente a el oxígeno disuelto, en la gráfica de control de la Figura 4.61 se muestra el valor del límite de control de 7.83 mg/L y el límite de control inferior con un valor de 3.49 mg/L (ambos representados de igual forma con una línea amarilla), así mismo, se detectan numerosos elementos por debajo, no solo del límite de control inferior, sino también de la especificación inferior, por lo que se considera que la variable está fuera de especificación.

Según Griful y Canela (2010), hay distintos conjuntos de reglas para identificar procesos fuera de control, desde las reglas de Western Electric, las de Ford, las de SAS, entre otros, de los cuales destacan algunas reglas que pueden distinguirse con practicidad en las gráficas de medias del sistema de control:

- Rachas: 7 puntos consecutivos por encima de la línea central (media de medias).
- Tendencia: 6 puntos consecutivos en dirección ascendente o descendente.
- Ciclos: serie de puntos que forman una secuencia repetitiva.
- Un punto fuera de los límites de control.

Para la estandarización de las mejoras logradas, se realiza la implementación de los límites de precontrol de los parámetros de temperatura y oxígeno disuelto, los cuales se apoyan del sistema de control para mostrar, por medio de colores, la situación en que el valor se encuentra según la clasificación del precontrol, siguiendo el patrón de colores del semáforo: la zona roja representa los valores fuera de especificación (valores más allá de los límites de especificación), la zona

de precaución visible de color amarillo, representa los valores más allá de los límites de precontrol (valores fuera de los límites de precontrol) y la zona central mostrada de color verde representa los valores cercanos al punto medio (valores fuera de los límites de precontrol).

El punto medio, también conocido como valor nominal o como valor objetivo, es el promedio de los límites de especificación y espacialmente es la parte media de los datos). En su estudio sobre el precontrol óptimo, Giner (2014) explica diferentes variantes del precontrol, siendo la versión original el precontrol clásico, el cual se implementa en el sistema de control con algunas modificaciones en su estructura original.

En la Figura 4.62 se muestran los cálculos para los límites de precontrol de la variable de temperatura y una gráfica semáforo, mientras que los cálculos y la gráfica para la variable de oxígeno disuelto se muestran en la Figura 4.63.

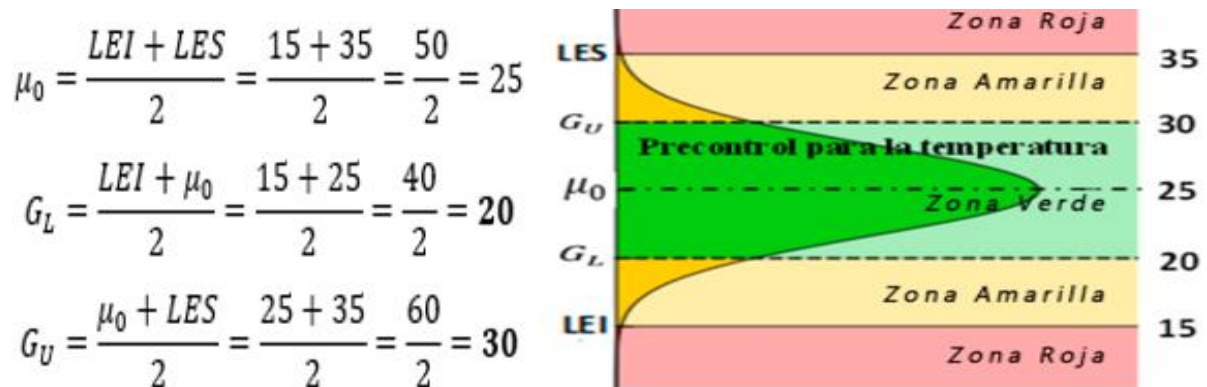


Figura 4.62 Precontrol para la temperatura (de izquierda a derecha: cálculos de límites de precontrol y gráfica semáforo)

En la figura 4.49 se presenta una gráfica de precontrol de tipo semáforo (Vicent, 2014), en donde se observa que los valores de temperatura superiores a 30 °C y al mismo tiempo inferiores a 35 °C se consideran dentro de la zona amarilla (zona de precaución), al igual que los inferiores a 20 °C y superiores a 15 °C. Para la zona verde (zona central) se consideran los valores mayores a 20 °C, pero inferiores a 30 °C. La zona roja considera los valores más allá de los límites de referencia de la empresa, las lecturas superiores a 35 °C e inferiores a 15 °C se consideran fuera de especificación.

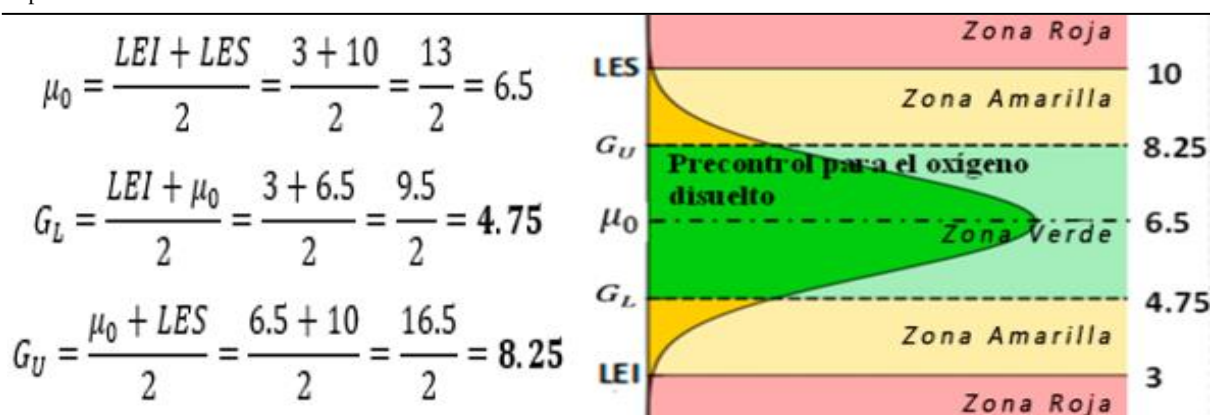


Figura 4.63 Precontrol para el oxígeno disuelto (de izquierda a derecha: cálculos de límites de precontrol y gráfica semáforo)

Como se muestra en la Figura 4.63, los valores de oxígeno disuelto superiores a 8.25 mg/L pero inferiores a 10 mg/L se consideran dentro de la zona amarilla (zona de precaución), al igual que los inferiores a 4.75 mg/L y superiores a 3 mg/L. Para la zona verde (zona central) se consideran los valores mayores a 4.75 mg/L, pero inferiores a 8.25 mg/L. Respecto a la zona roja, se consideran los valores de los límites de referencia de la empresa, las lecturas superiores a 10 mg/L e inferiores a 3 mg/L se consideran fuera de especificación.

El algoritmo de precontrol clásico explicado por Mackertich (1990) se adapta al sistema de control establecido, el cual recaba los datos del proceso de medición de los parámetros de calidad del agua de los estanques, para ambas variables fisicoquímicas, de la siguiente forma:

a) **Fase 1 de cualificación**, realizado al inicio de cada mes.

1. **Paso 1.** Observar la primera lectura en el sistema de control, correspondientes al inicio del mes (o el siguiente a los analizados previamente).
 - i. Si la lectura es “V” de verde o “A” de amarilla, ir al **paso 2**.
 - ii. Si la lectura es “R” de roja, el algoritmo se detiene y se clasifica como “Proceso NO cualificado”. Posteriormente se realizan los ajustes al estanque (del parámetro fuera de control) y se regresa al **paso 1**.
2. **Paso 2.** Observar las lecturas siguientes a los analizados previamente.
 - i. Si hay menos de 5 días en “V” de verde y menos de 2 días en “A” de amarillo, o hay 1 en “R” de rojo, se regresa al **paso 1**.

- ii. Si hay 5 o más con “V” de verde y 2 o más con “A” de amarillo, ir al **paso 3**.

3. **Paso 3.**

- i. Si hay 5 lecturas consecutivas con “V” de verde, el algoritmo se detiene y se clasifica como “Proceso cualificado”. Posteriormente ir a la **fase de mantenimiento**.
- ii. Si hay 2 lecturas consecutivas con “A” de amarillo, el algoritmo se detiene y se clasifica como “Proceso NO cualificado”. Posteriormente se realizan los ajustes al estanque (del parámetro fuera de control) y se regresa al **paso 1**.

b) **Fase 2 de mantenimiento**, realizado de forma periódica con las lecturas posteriores a las analizadas anteriormente.

- 1. **Paso 1.** Observar la lectura siguiente (o el día siguiente) a los analizados previamente.
 - i. Si la lectura es “V” de verde, el algoritmo se detiene y se clasifica como “Proceso ajustado”. Esperar hasta la próxima lectura programada e ir al inicio de la **fase 2 de mantenimiento**.
 - ii. Si la lectura es “R” de roja, el algoritmo se detiene y se clasifica como “Proceso NO ajustado”. Posteriormente se realizan los ajustes al estanque (del parámetro fuera de control) y se regresa a la **fase 1 de cualificación (paso 1)**.
 - iii. Si la lectura es “A” de amarillo, ir al **paso 2**.
- 2. **Paso 2.** Observar el día siguiente a los analizados previamente.
 - i. Si la segunda pieza es “V” de verde, se detiene el algoritmo y se clasifica como “Proceso ajustado”. Esperar hasta la próxima lectura programada e ir al inicio de la **fase 2**.
 - ii. Si la segunda pieza es “A” de amarilla de nuevo o “R” de roja, se detiene el algoritmo y se clasifica como “Proceso NO ajustado”. Posteriormente se realizan los ajustes al estanque (del parámetro fuera de control) y se regresa a la **fase de cualificación (paso 1)**.

En la Figura 4.64 se muestra el precontrol adaptado en el sistema de control, usando la información histórica disponible como prueba piloto, en específico, los mismos datos mostrados en el ejemplo de gráficos de control de la Figura 4.60 y la Figura 4.61, de tal forma que ambos métodos de control puedan compararse.

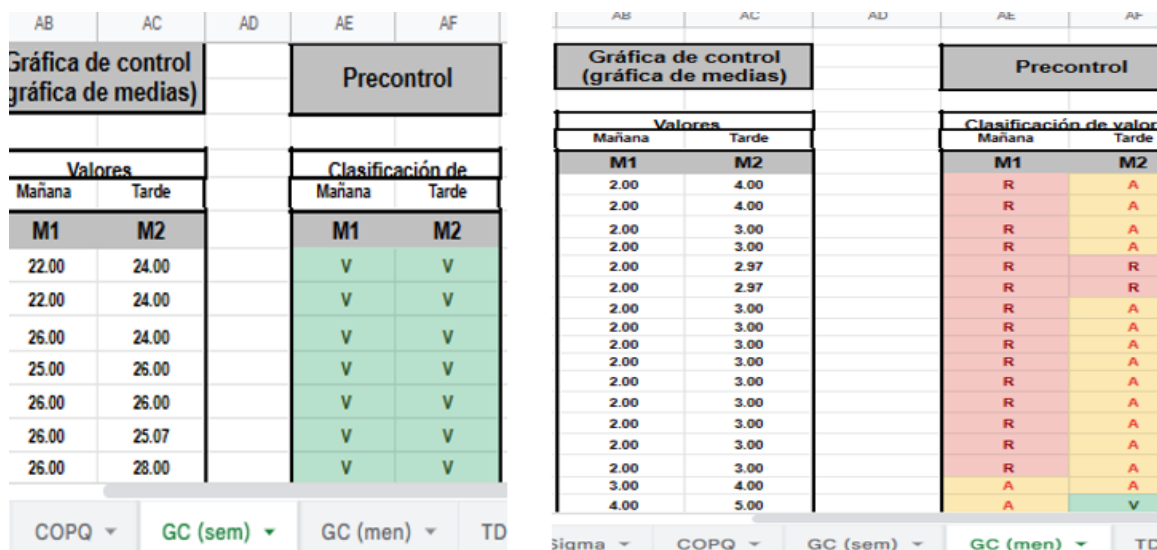


Figura 4.64 Precontrol implementado en el sistema de control (de izquierda a derecha: ejemplo semanal de temperatura y ejemplo mensual de oxígeno disuelto)

Aplicando la adaptación del algoritmo del precontrol clásico a los datos mostrados en la Figura 4.64, a modo de prueba piloto, se obtiene lo siguiente:

- Para la variable de **temperatura del agua**:
 - **Fase 1 de cualificación**, realizado al inicio de cada mes.
 - **Paso 1.** Observar la primera lectura en el sistema de control correspondiente al inicio del mes.
 - Como la lectura fue “V” de verde, ir al **paso 2**.
 - **Paso 2.** Observar los días siguientes a los analizados previamente (a partir del dato número 2).
 - Como hay 5 o más con “V” de verde, ir al **paso 3**.
 - **Paso 3.**
 - Como hay 5 lecturas consecutivas con “V” de verde, el algoritmo se detiene y se clasifica como “Proceso cualificado”. Posteriormente ir a la **fase de mantenimiento**.

- **Fase 2 de mantenimiento**, realizado de forma periódica con las lecturas posteriores a las analizadas anteriormente (a partir de dato número 6).
 - **Paso 1.** Observar la lectura siguiente.
 - Como la lectura es “V” de verde, el algoritmo se detiene y se clasifica como “Proceso ajustado”. Esperar hasta la próxima lectura programa e ir al inicio de la **fase 2 de mantenimiento**.
- **Fase 2 de mantenimiento**, realizado de forma periódica con las lecturas posteriores a las analizadas anteriormente (a partir de dato número 6 y así sucesivamente).
 - **Paso 1.** Observar la lectura siguiente.
 - Como la lectura es “V” de verde, el algoritmo se detiene y se clasifica como “Proceso ajustado”. Esperar hasta la próxima lectura programa e ir al inicio de la **fase 2 de mantenimiento** (así sucesivamente).
- Para la variable de oxígeno disuelto en el agua:
 - **Fase 1 de cualificación**, realizado a inicios de cada mes.
 - **Paso 1.** Observar la primera lectura en el sistema de control, correspondientes al inicio del mes (o el siguiente a los analizados previamente).
 - Como la primera lectura (en la columna M1) es “R” de roja, el algoritmo se detiene y se clasifica como “Proceso NO cualificado”. Posteriormente se realizan los ajustes al estanque (del parámetro de oxígeno disuelto) y se regresa al paso 1.
 - **Paso 1.** Observar la primera lectura en el sistema de control, correspondientes al inicio del mes (o el siguiente a los analizados previamente).
 - Como la segunda lectura (ubicada en la columna M2) es “A” de amarillo, el algoritmo continúa al **paso 2**.
 - **Paso 2.** Observar las lecturas siguientes a los analizados previamente (a partir de la lectura 3).

- Como hay menos de 5 días con “V” de verde o 1 con “R” de rojo, se regresa al **paso 1**.
- (se repite el proceso del **paso 1** y del **paso 2** en bucle, ya que nunca se encontraron las condiciones necesarias para ir al **paso 3**).
- Nunca se llegó a la **fase 2 de mantenimiento**.

De la adaptación para la variable de temperatura del agua se obtuvo una clasificación de “Proceso cualificado” en la fase 1 de cualificación, que a su vez me mantuvo como “Proceso ajustado” en la fase 2 de mantenimiento.

Por otro lado, la variable de oxígeno disuelto en el agua obtuvo una clasificación de “Proceso NO cualificado” en la fase 1 de cualificación, además, no se reunieron las condiciones necesarias para avanzar al paso 3, por lo que nunca se llegó a la fase 2 de mantenimiento con este parámetro fisicoquímico.

4.6.3 Retroalimentación a la empresa sobre la implementación

Una vez implementado el plan de estandarización, se le da retroalimentación a la empresa sobre las dudas generadas durante las diferentes fases de metodología “*R-DMAIC*” y de la técnica Seis Sigma. A su vez, se deja como recomendación la realización oportuna de las actividades de control, las cuales comprenden la actualización constante del sistema de control, el cálculo del nivel sigma y el análisis de la capacidad del proceso, las fechas propuestas se muestran en la Figura 4.65.

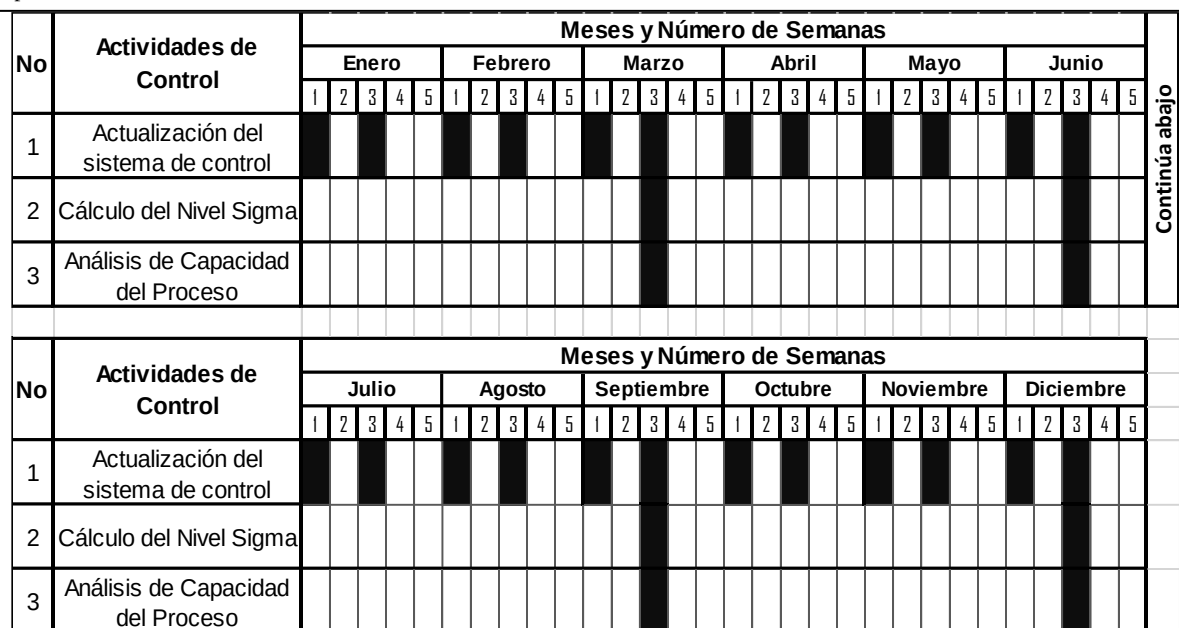


Figura 4.65 Diagrama de Gantt de las actividades de control

Como se muestra en la Figura 4.65 la actualización del sistema de control se debe realizar a principios y a mediados de cada mes (primera semana y tercera semana), por su parte, tanto el cálculo del nivel sigma como el análisis de la capacidad del proceso se deben hacer durante cada cambio de estación del año (la tercera semana de marzo, de junio, de septiembre y de diciembre).

Además, se estructuró una guía con pasos detallados para el uso del sistema de control, el cual incluye información sobre el uso del formato de entrada de datos, generación de indicadores, generación de gráficos de control, aplicación de precontrol e instrucciones para la actualización del sistema de control. La portada y el índice de la guía de uso del sistema de control puede verse en la Figura 4.66.

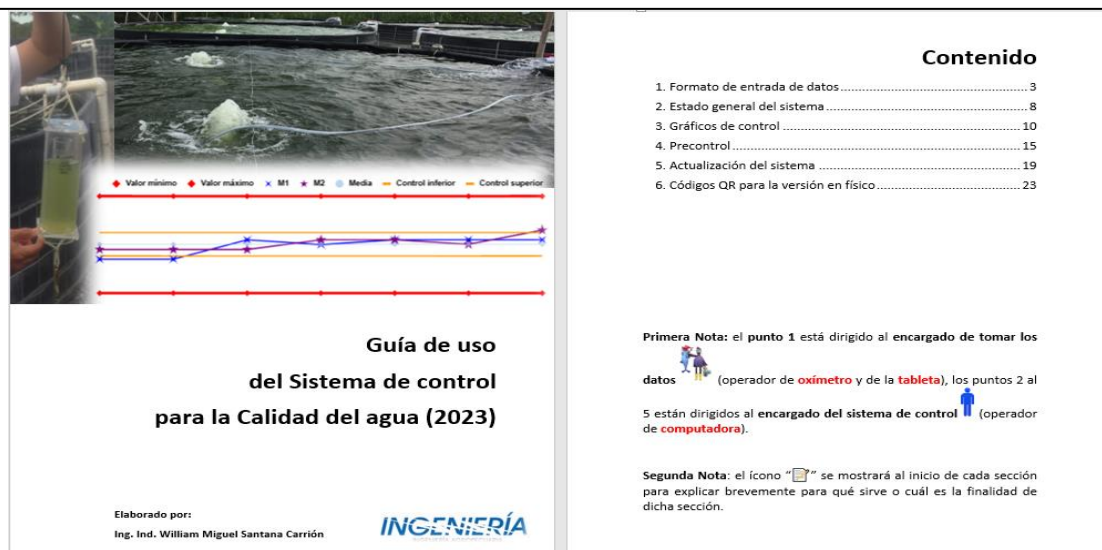


Figura 4.66 Captura de pantalla de la guía de uso del Sistema de control para la Calidad del agua

La guía de uso del sistema de control para la calidad del agua fue entregado a la empresa en formato digital y en formato físico. Así mismo, se elaboraron diversos vídeos tutoriales para capacitar al encargado de tomar las lecturas (operador de oxímetro y tableta) y al encargado del sistema de control (operador de computadora). Capturas de pantalla de las portadas de los vídeos tutoriales se muestran en la Figura 4.67.

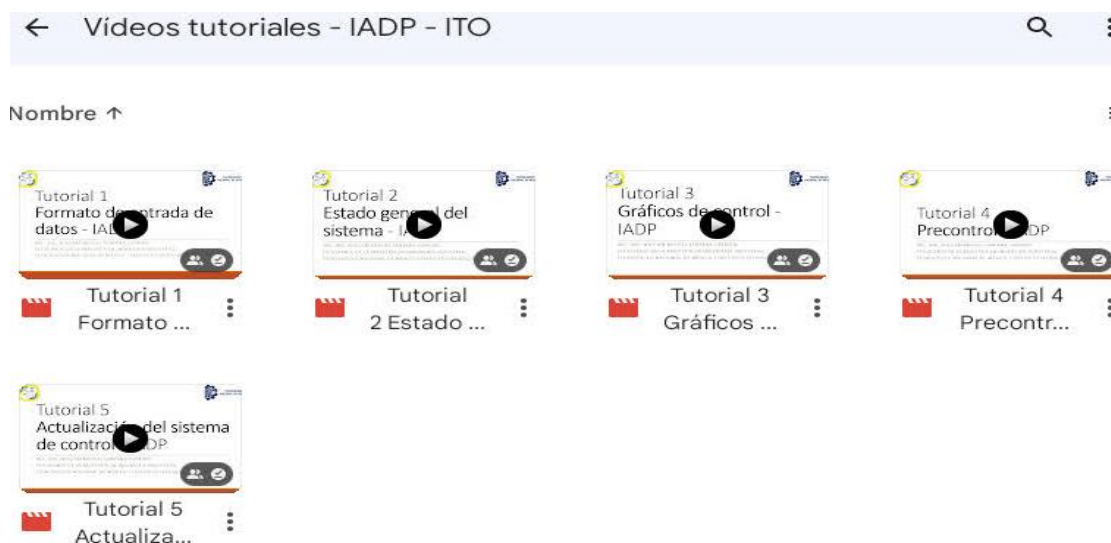


Figura 4.67 Captura de pantalla de los vídeos tutoriales en una carpeta de Google Drive

Capítulo 5. Resultados

Los resultados obtenidos durante el desarrollo del trabajo fueron principalmente aquellos relacionados directamente con los objetivos generales y específicos, los cuales se detallan a continuación.

Por medio del cociente de variación, se comparan las estaciones del 2019, siendo este el último año de la información histórica disponible, con la estación de primavera del 2023 correspondiente al grupo piloto tras las mejoras implementadas, usando esta temporada debido a que durante el término de la tesis se iniciaba un lote que implicaba un atraso. La gráfica de barras para el cociente de variación (CV) de la temperatura se muestra en la Figura 5.1 mientras que para el CV del oxígeno disuelto se observa en la Figura 5.2.

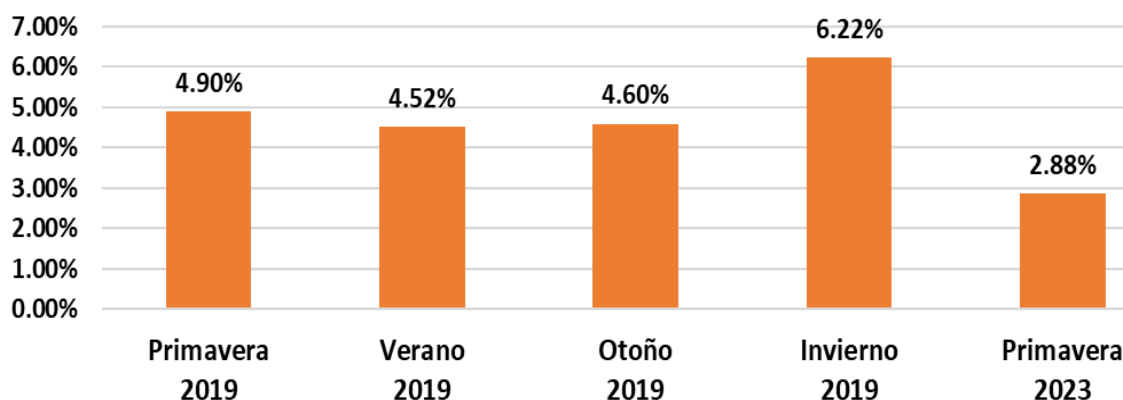


Figura 5.1 Cociente de variación de la temperatura del agua (2019 y 2023)

Como se muestra en la Figura 5.1, el CV durante el grupo piloto para la temperatura del agua tuvo un valor del 2.88 %, que en un principio es menor al 5 % propuesto durante el estudio como margen aceptable de calidad.

Comparado con la primavera anterior, se obtuvo una mejora en la disminución de 2.02 %, por otro lado, comparado con la estación directamente anterior, la de invierno, se obtuvo una disminución de 3.34 %, demostrando resultados en la disminución de variación en el parámetro de calidad de agua de la temperatura.

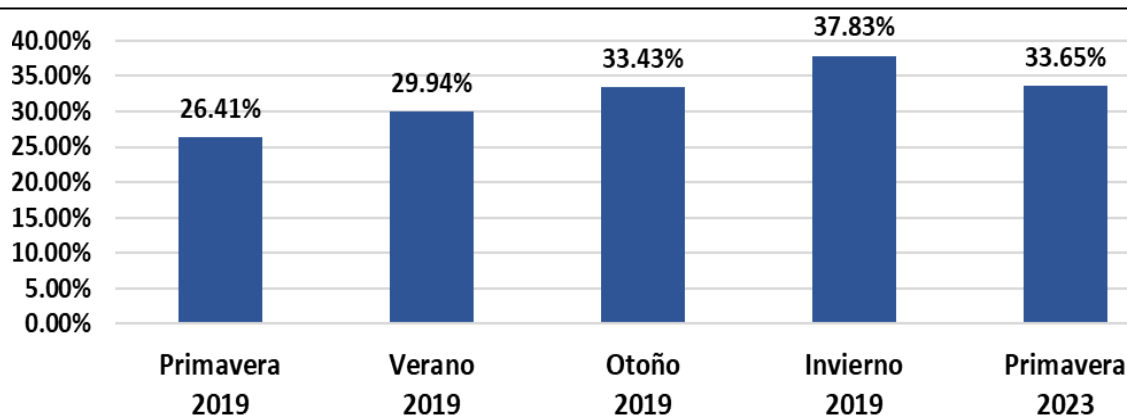


Figura 5.2 Cociente de variación del oxígeno disuelto (2019 y 2023)

Observándose en la Figura 5.2 el CV durante el grupo piloto para el oxígeno disuelto en el agua tuvo un valor del 33.65 %, que en primera instancia no es menor al 5 % propuesto durante el estudio como margen aceptable de calidad.

Comparado con la primavera anterior, no se obtuvo una mejora, mostrándose un aumento de 7.24 %, sin embargo, comparado con la estación anterior, la de invierno, se obtuvo una disminución de 4.18 %, demostrando la necesidad de realizar un estudio a profundidad para analizar las condiciones necesarias para disminuir la variación en el oxígeno disuelto, ya que los valores altos registrados durante el horario de la tarde, los cuales son mayores a los datos por la mañana, afectan directamente a la variabilidad del parámetro.

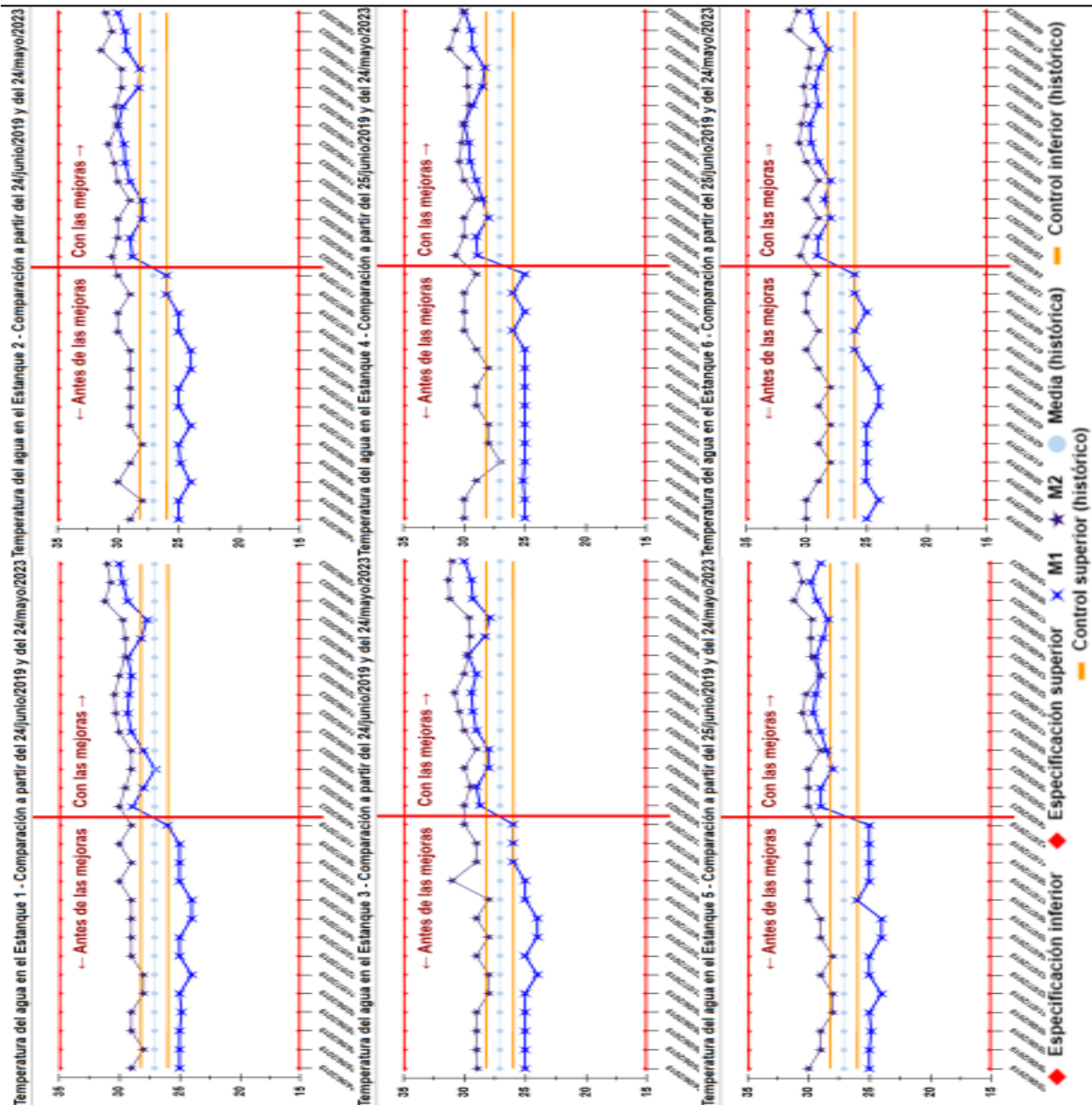


Figura 5.3 Gráficos de control comparativos de la temperatura del agua (2019 y 2023)

Analizando la Figura 5.3, se compara la temperatura del agua durante las dos primeras semanas verano del 2019 con las dos semanas del grupo piloto correspondientes a finales de la primavera del 2023, se aprecia que antes de la implementación de las mejoras, los datos de ambos horarios parecen seguir un comportamiento paralelo, estando los datos de la mañana por debajo del límite de control inferior mientras que por la tarde se encuentran por encima del límite de control superior, demostrando que la variable, a pesar que siempre está dentro de los límites de especificación, no se encuentra bajo control estadístico.

Con respecto a los datos posteriores a la mejora, el comportamiento de los datos de la mañana parece guardar similitud con los datos recopilados por la tarde, estando la mayoría de los datos por encima del límite de control superior, cabe mencionar que todos los datos que corresponden al horario de la tarde se encuentran por encima del límite de control superior, conservando similitud con el comportamiento antes de las mejoras. El aumento de la temperatura tras las mejoras, es positivo ya que esta característica en los estanques, favorece al metabolismo de las tilapias, logrando pesos mayores por cada pez.

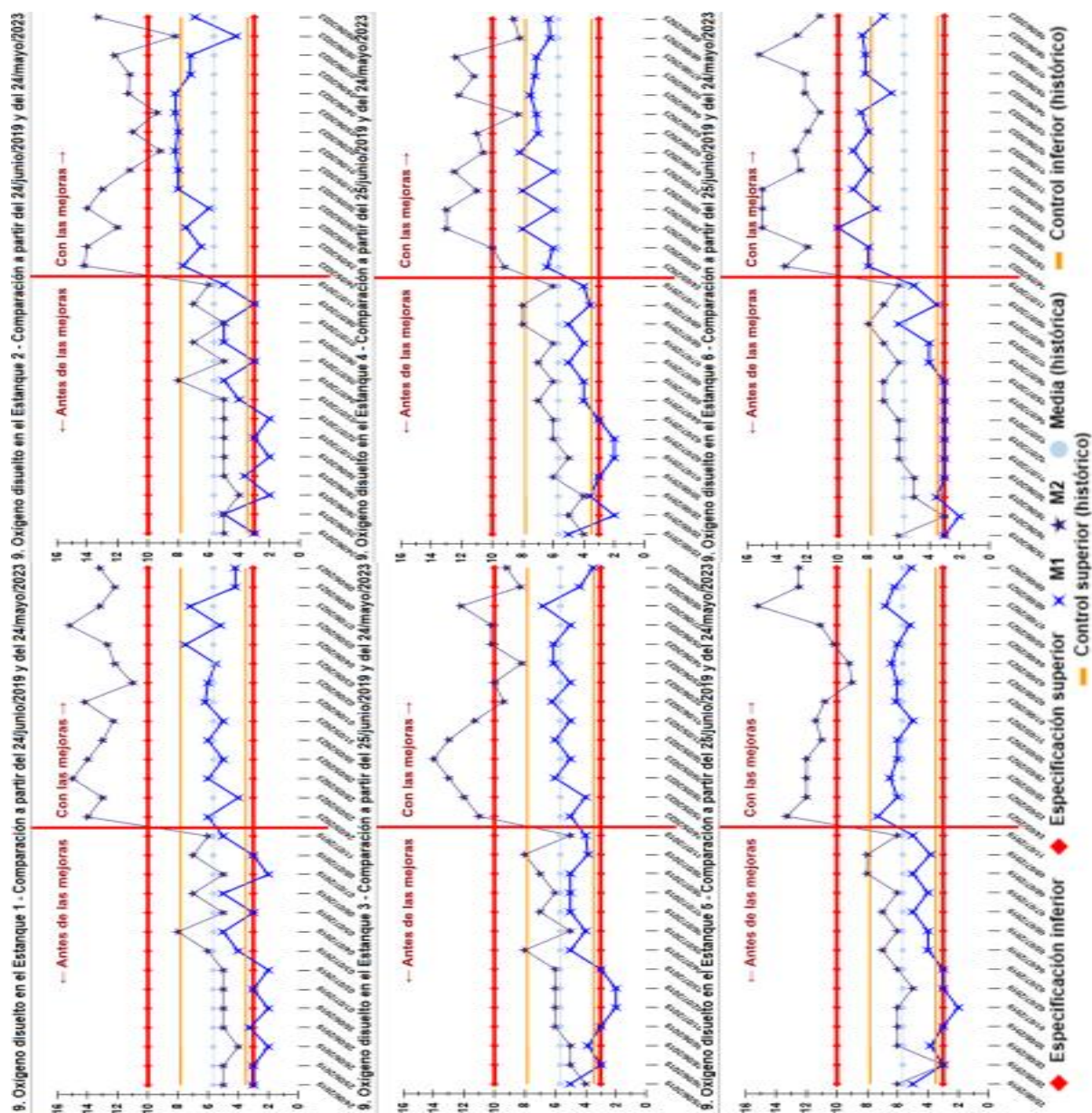


Figura 5.4 Gráficos de control comparativos del oxígeno disuelto (2019 y 2023)

Comparando, por medio de la Figura 5.4, las dos primeras semanas verano del 2019 con las dos semanas del grupo piloto correspondientes a finales de la primavera del 2023, se aprecia que antes de la implementación de las mejoras, la gran mayoría de las lecturas tomadas en los estanques durante la tarde (identificadas con la línea morada en los gráficos de control) está dentro de los límites de control (líneas amarillas), sin embargo, con el caso de las lecturas de la mañana (línea azul), se encuentran datos por debajo del límite de especificación inferior.

Con respecto a los datos posteriores a la mejora, sucede una situación inversa, la mayoría de las lecturas de la mañana están dentro de los límites de control, con excepción del estanque 6, por otro lado, respecto a los datos de la tarde, todos los puntos superan el límite de control superior, incluso, hay datos por encima de la especificación superior, demostrando un exceso en el uso del sistema de aireación durante la tarde, usándose más tiempo del necesario, impactando directamente en el consumo eléctrico que no está siendo aprovechado en el cultivo de tilapia. Cabe mencionar que, tras las mejoras, ningún dato estuvo por debajo de la especificación inferior, esto es positivo, ya que se logró que ninguno de los estanques se quede sin oxígeno y que las tilapias no se sofoquen por falta de oxígeno disuelto en el agua.

Mediante el cálculo del nivel sigma, se compara el año 2019 y el 2023, la información de dichos cálculos se encuentra en la Tabla 5.1 para la temperatura y en la Tabla 5.2 para el oxígeno disuelto.

Tabla 5.1 Niveles sigma de la temperatura (2019 y 2023)

NIVEL SIGMA (temperatura)	2019	2023
Oportunidades:	1	1
Total de observaciones:	6054	176
Numero de defectos:	0.0206	0.00059888
Defectos Por Millón de Oportunidades:	3.402709	3.402709
Defectos por Oportunidad:	0.0000034	0.0000034
Yield (Desempeño del Proceso) %	99.9997 %	99.9997 %
Nivel Sigma:	6.000	6.000

Como se muestra en la Tabla 5.1, el nivel sigma se mantuvo con un valor de 6 entre el 2019 y el 2023, siendo utilizado un artificio matemático explicado en el capítulo anterior, al no encontrarse defectos en las lecturas de temperatura. Este valor de nivel sigma significa que el proceso está dentro de la categoría de proceso óptimo, con una calidad de clase mundial (Escalante Vázquez, 2008).

Tabla 5.2 Niveles sigma del oxígeno disuelto (2019 y 2023)

NIVEL SIGMA (oxígeno)	2019	2023
Oportunidades:	1	1
Total de observaciones:	5482	182
Numero de defectos:	641	76
Defectos Por Millón de Oportunidades:	116928.13	417582.42
Defectos por Oportunidad:	0.1169281	0.4175824
Yield (Desempeño del Proceso) %	88.3072 %	58.2418 %
Nivel Sigma:	2.690	1.708

Con la información de la Tabla 5.2, es evidente notar la disminución del nivel sigma, con una diferencia de 0.982, pasando de 2.69 durante el 2019 a 1.708 durante el grupo piloto del 2023, cabe mencionar que, en ambos periodos de estudio, el nivel sigma se mantiene en la categoría de: proceso que necesita mejorar (Escalante Vázquez, 2008). Lo anterior demuestra que la variación del proceso no logró ser disminuida lo suficiente como para dejar de presentar elementos fuera de especificación, siendo estos los casos de las lecturas de la tarde, que muestran en la Figura 5.4 valores muy altos comparados a los de la mañana.

En cuanto a la capacidad potencial (C_p) y real (C_{pk}) de los parámetros de calidad del agua en la unidad acuícola, se muestran a continuación los informes de capacidad para ambos años y para ambas variables, iniciando con la variable de temperatura del 2019 en la Figura 5.5 y finalizando con la variable del oxígeno del 2023 en la Figura 5.8.

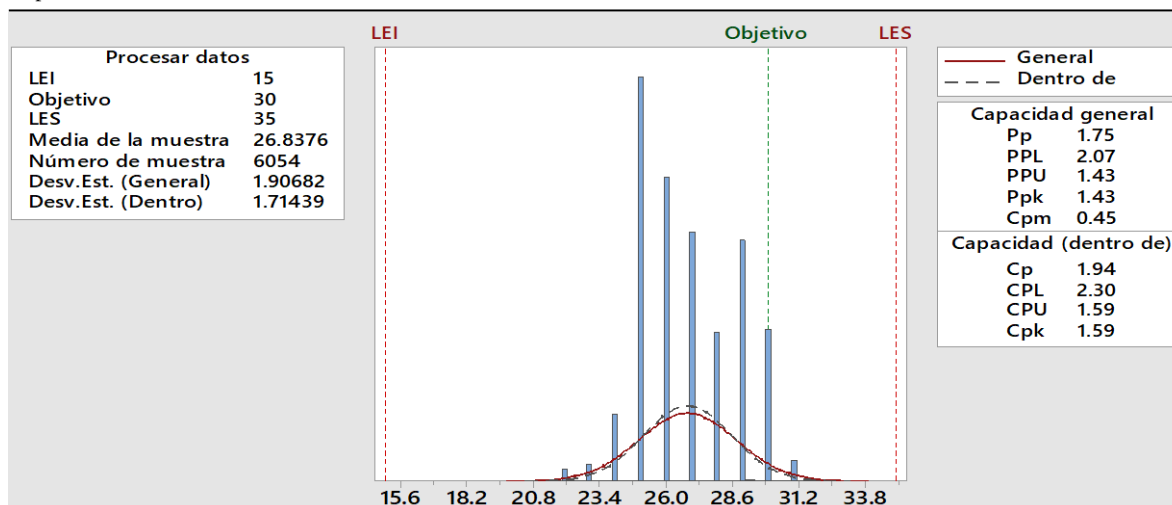


Figura 5.5 Informe de capacidad del proceso de la temperatura del agua (2019)

Como se muestra en la Figura 4.18, el índice de capacidad potencial a corto plazo (C_p) de la temperatura del agua durante el 2019 es de 1.94, siendo este valor mayor a 1.33, se determina que la capacidad potencial del proceso es adecuada. El índice de capacidad real a corto plazo (C_{pk}) es calculado con un valor de 1.59, como es mayor a 1.25, la habilidad real del proceso de clasifica como buena. además, debido a que ambos índices de capacidad son valores cercanos, se demuestra que el proceso está centrado entre los límites de especificación (Atlas Consultora, 2020).

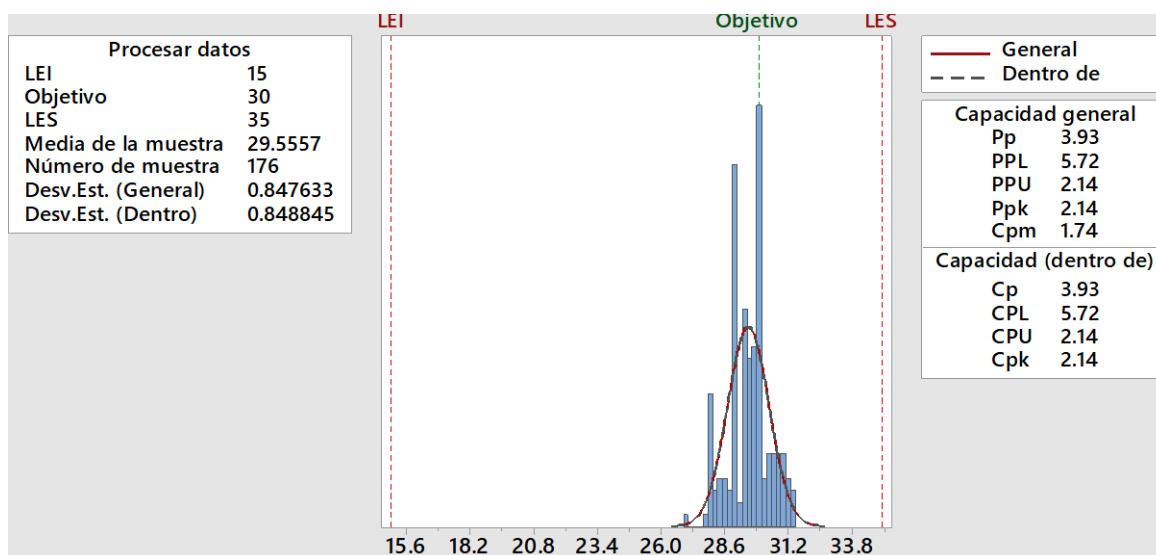


Figura 5.6 Informe de capacidad del proceso de la temperatura del agua (2023)

Como se observa en la Figura 4.48, el índice de capacidad potencial a corto plazo (C_p) de la temperatura del agua durante el 2023 es de 3.93, el cual es mayor a 1.33, por lo que se determina que la habilidad potencial del proceso es adecuada. El índice de capacidad real a corto plazo (C_{pk}) es calculado con un valor de 2.14, debido a que es mayor que 1.25, se considera que la habilidad real del proceso es satisfactoria. Pese a lo anterior, debido a que ambos índices de capacidad son valores muy diferentes, se demuestra que el proceso no está centrado entre los límites de especificación (Atlas Consultora, 2020).

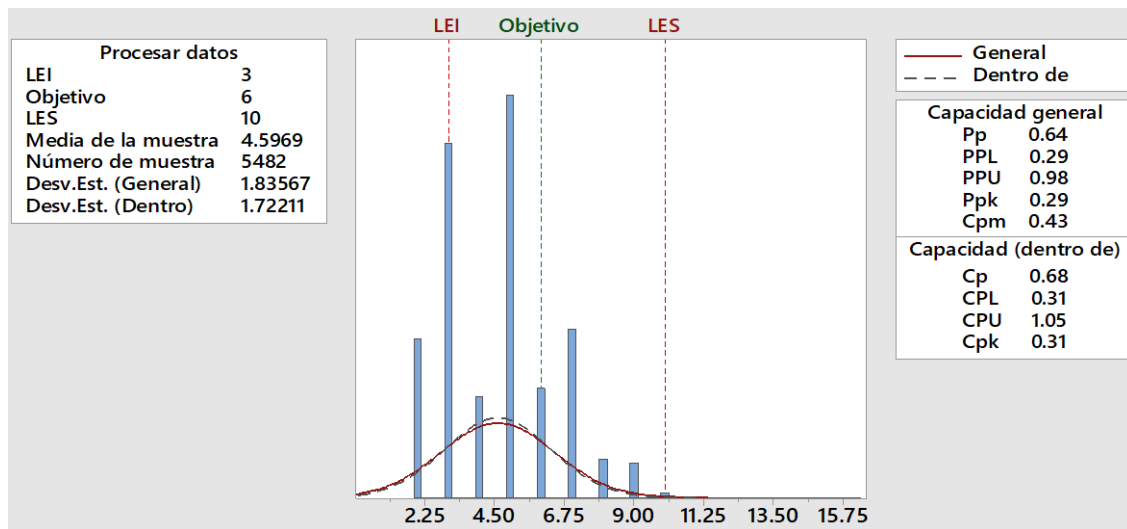


Figura 5.7 Informe de capacidad del proceso del oxígeno disuelto en el agua (2019)

De acuerdo a la Figura 4.22, el índice de capacidad potencial a corto plazo (C_p) del oxígeno disuelto en el agua durante el 2019 es de 0.68, el cual es menor a 1, por lo que se determina que la habilidad potencial del proceso es no adecuada y necesita modificaciones serias. El índice de capacidad real es calculado con un valor de 0.31, debido a que es menor que 0.67, la habilidad real del proceso es clasificado como no hábil (Atlas Consultora, 2020).

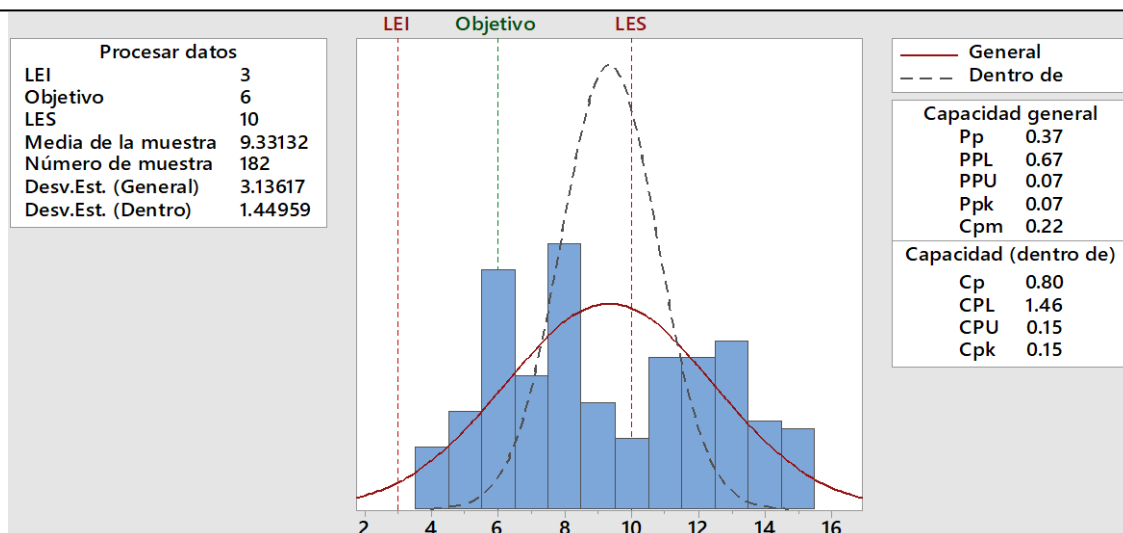


Figura 5.8 Informe de capacidad del proceso del oxígeno disuelto en el agua (2023)

De acuerdo a la Figura 4.49 el índice de capacidad potencial a corto plazo (C_p) del oxígeno disuelto en el agua durante el 2023 es de 0.80, el cual es menor a 1, por lo se determina que la habilidad potencial del proceso es no adecuada y requiere modificaciones serias (Atlas Consultora, 2020). El índice de capacidad real a corto plazo (C_{pk}) es calculado con un valor de 0.15, debido a que es menor que 1, la habilidad real del proceso es clasificada como no hábil, por lo que el proceso no cumple con al menos una de sus especificaciones. A su vez, debido a que ambos índices de capacidad a corto plazo son valores muy diferentes, se demuestra que el proceso no está centrado entre los límites de especificación (Atlas Consultora, 2020).

Con los informes de capacidad realizados, se pueden comparar los índices de capacidad con sus respectivas categorías, mostrándose la comparación para la temperatura en la Tabla 5.3 y para el oxígeno disuelto en la Tabla 5.4.

Tabla 5.3 Comparación de índices C_p de la temperatura (2019 y 2023)

C_p	Categoría del proceso	Descripción del proceso	Temperatura 2019	Temperatura 2023
$C_p \geq 2$	Clase mundial	Seis Sigma		3.93
$1.33 \leq C_p < 2$	1	Adecuado	1.94	
$1 \leq C_p < 1.33$	2	Requiere control estricto		
$0.67 \leq C_p < 1$	3	Requiere modificaciones serias		
$C_p < 0.67$	4	No adecuado		

En la Tabla 5.3 se muestra que la capacidad del proceso de la temperatura durante el 2019 tiene un valor de 1.94, la cual encuentra en la categoría 1, siendo un proceso adecuado, mientras que la capacidad del proceso para el 2023 incrementó hasta un valor de 3.93, con lo cual alcanza la categoría de clase mundial, siendo un proceso Seis Sigma. Por lo tanto, la implementación de este proyecto contribuyó a aumentar la capacidad del proceso para la variable de temperatura del agua.

Tabla 5.4 Comparación de índices Cp del oxígeno disuelto (2019 y 2023)

Cp	Categoría del proceso	Descripción del proceso	Oxígeno 2019	Oxígeno 2023
$Cp \geq 2$	Clase mundial	Seis Sigma		
$1.33 \leq Cp < 2$	1	Adecuado		
$1 \leq Cp < 1.33$	2	Requiere control estricto		
$0.67 \leq Cp < 1$	3	Requiere modificaciones serias	0.68	0.80
$Cp < 0.67$	4	No adecuado		

Como se muestra en la Tabla 5.4, la capacidad del proceso del oxígeno disuelto durante el 2019 tiene un valor de 0.68, encontrándose en la categoría 3, siendo un proceso que requiere modificaciones serias, mientras que la capacidad del proceso para el 2023 incrementó a 0.80 pero manteniéndose en la misma categoría. Por lo tanto, la implementación de este proyecto contribuyó a aumentar también la capacidad del proceso para la variable del oxígeno disuelto en el agua.

Conclusiones y recomendaciones

La mejora continua es primordial para cualquier empresa que busque mejorar la calidad de sus productos, incluyendo, el control de la variabilidad en las características críticas de calidad. Respecto a la acuicultura, las unidades acuícolas tienen el beneficio en estandarizar las variables fisicoquímicas de la calidad del agua. Por medio de la metodología R-DMAIC de Seis Sigma, se reconoció como área de oportunidad la variación en los parámetros fisicoquímicos de oxígeno disuelto y la temperatura del agua.

El cumplimiento de los objetivos específicos se describe a continuación. El análisis a los datos históricos correspondientes a 4 años es realizado en la etapa Reconocer del R-DMAIC, considerando aspectos como la estación del año, el estanque y la hora del muestreo, logrando calcular los valores del promedio y la desviación estándar. A partir de ambos estadísticos, se determinaron los cocientes de variación (CV) dividiendo los valores de la media entre los valores de la desviación. Al definir los límites de referencia, durante la etapa Definir, se identificaron las características críticas de calidad (CTQs): los valores máximos y mínimos descritos por la empresa. Al medir la capacidad potencial (Cp) y real (Cpk) de las variables, durante la etapa Medir, se elaboró por cada año un análisis de capacidad en Minitab. En la etapa Mejorar se realizó de nuevo con los datos tras las mejoras. Al desarrollarse la etapa Mejorar, se generaron e implementaron diversas propuestas para disminuir la variabilidad en ambos parámetros. Así mismo, durante la etapa de Control, se logró establecer un sistema de control estadístico de calidad y crear material visual para capacitar a la empresa. Respecto al objetivo principal, se logró reducir la variabilidad en la temperatura del agua, pasando de una desviación estándar de 1.91 a 0.85, mientras que, para el oxígeno disuelto, no se logró la reducción de variabilidad debido al comportamiento desemejante entre los datos de la mañana que por la tarde, en este último caso, los valores resultan ser más altos, lo que representan un sobre proceso de los mecanismos de aireación, y esto se traduce como un desperdicio de energía eléctrica y gasto monetario innecesario, sirviendo como un área de oportunidad para futuros estudios.

Con el desarrollo de este trabajo de investigación, se demostró que la implementación de Seis Sigma, es posible y factible, resultando en efectos como la reducción de la variabilidad en los

parámetros de calidad de agua y la estandarización de los procesos acuícolas. Cabe mencionar que la implementación de esta técnica marca un precedente, no solo entre la Ingeniería Industrial y la acuicultura veracruzana, sino también, entre Seis Sigma y el cultivo de tilapia en el mundo. Con este proyecto, se asientan las bases para la generación de más proyectos de investigación para la Maestría en Ingeniería Industrial, aportando a la línea de investigación de Sistemas de Mejoramiento Empresarial y coadyuvando a las metas del cuerpo académico ITO – CA – 09, al ampliar la línea de investigación al sector agropecuario. Además, esta investigación aportó conocimiento y colaboración a los Programas Nacionales Estratégicos (ProNaCes) de Soberanía alimentaria y Agua, del mismo modo, contribuyó con dos objetivos de desarrollo sustentable (ODS) de la FAO en la agenda 2030: el objetivo número doce, producción y consumo responsables; y el objetivo número catorce, vida marina.

Como sugerencias de investigaciones futuras de ingeniería industrial, se dan a continuación algunas recomendaciones. El análisis del sistema de medición (MSA) puede evaluar la calidad del instrumento de medición y determinar si es adecuado, precisos o confiable, en específico, el análisis de repetibilidad y reproducibilidad (R&R) podrá medir la variabilidad en la obtención de los datos. El diseño de experimentos (DOE) permitirá evaluar el impacto de diversos factores en la calidad del agua y a su vez, en el crecimiento de los peces, estos factores pueden incluir los parámetros fisicoquímicos estudiados en este trabajo de investigación, así como también otras variables como los sólidos disueltos totales (TDS) en el agua, el pH e incluso la concentración de amoníaco y nitritos, de tal forma que se evalúe y optimice la calidad del agua. La digitalización de la documentación puede ahorrar espacio físico, reducir el impacto ambiental, y mejorar la accesibilidad para las partes interesadas. La filosofía de la Manufactura Esbelta puede identificar y eliminar desperdicios en alimentos, energía y agua, en específico el uso excesivo de productos químicos, falta de monitoreo y falta de mantenimiento en las máquinas y equipos. El estudio del sistema de aireación permitirá evaluar el diseño del sistema de aireación, que incluye la tubería de aire, los blowers y los discos difusores de burbuja fina, de tal forma que se determinen las dimensiones y ubicaciones adecuadas, así como también, evaluar la eficiencia energética del sistema para reducir el consumo eléctrico durante el proceso de aireación.

Referencias bibliográficas

- AENOR. (2012). *Lean certification: certificación de un sistema de gestión lean*. España: Asociación Española de Normalización y Certificación. Recuperado el 02 de junio de 2022
- AENOR. (diciembre de 2012). Métodos cuantitativos en la mejora de procesos. Seis Sigma. Parte 1: Metodología DMAIC UNE-ISO 13053-1:2011. 15-18. España: Asociación Española de Normalización y Certificación. Recuperado el 03 de junio de 2022
- AIAG. (2008). *Análisis de modos y efectos de fallas potenciales: Manual de Referencia* (Cuarta Edición ed.). Automotive Industry Action Group. Recuperado el 20 de septiembre de 2022, de https://www.academia.edu/8708638/Manual_AMEF_4_2008_Espanol
- AICM. (6 de agosto de 2021). *Dependencias: SADER / SENASICA*. Recuperado el 14 de junio de 2022, de Sitio Web del AICM.: <https://www.aicm.com.mx/dependencias/sader-senasica>
- Alaniz, J. A. (2017). *Sistemas de aereación*. Recuperado el 21 de diciembre de 2022, de PMA de Sinaloa: <https://pmadesinaloa.com.mx/blogs/detalle/8>
- Amábilis Sosa, L. E., Sánchez Jiménez, Á. G., Ramírez Medina, H. K., & Rochín Medina, J. J. (2020). *Estudio descriptivo y correlacional en el desperdicio de hortalizas en los restaurantes de Culiacán, Sinaloa*. Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Culiacán. Recuperado el 13 de agosto de 2022
- Antonio Benito, G., Hurtado Moreno, J. J., Ávila Martínez, B., Medina Lerma, C. M., & Martínez García, R. I. (2020). Implementación de Six Sigma (DMAIC) para reducir piezas defectuosas en una empresa de calzado. *Journal CIM, Volumen 8*(Número 1), 915. Recuperado el 12 de agosto de 2022, de http://depi.orizaba.tecnm.mx/Journals/Journal_CIM_2020.pdf
- Argüelles López, C., & Miranda Castro, J. (2021). *Plan de Mantenimiento Preventivo a La Flotilla de Taxis de La Empresa Satelitaxi*. Instituto Tecnológico Superior de Martínez de la Torre. Recuperado el 12 de agosto de 2022
- Ariav, R., & Wajsbrot, N. (12 de septiembre de 2021). *Virus de la Tilapia del Lago: signos clínicos, diagnóstico de la enfermedad y prevención*. (Panorama Acuicola Magazine) Recuperado el 12 de marzo de 2023, de Panorama Acuicola Magazine:

- <https://panoramaacuicola.com/2021/09/12/virus-de-la-tilapia-del-lago-signos-clinicos-diagnostico-de-la-enfermedad-y-prevencion/>
- Arranz Barradas, C. (Mayo/Junio de 2003). ¿Qué es en realidad "Seis Sigma" / "Six Sigma"? *Gestión de Negocios*(3).
- Asiain Hoyos, A., Fernandez Díaz, B., Suarez Santa Cruz, C. A., Platas Guevara, F., & Reta Mendiola, J. L. (2011). *Manual de acuacultura para la producción de mojarra tilapia (Oreochromis spp.). Mejoramiento de la producción de mojarra tilapia a partir de Grupos de Crecimiento Productivo Simultáneo*. (Primera ed.). Colegio de Postgraduados. doi:607-715-001-0
- Asin, H. R., Pelegrin, K. D., & Escandón, O. B. (2009). Monitoreo de la calidad del agua de la acuicultura para su uso en el riego agrícola. *Hombre Ciencia y Tecnología*. Recuperado el 07 de noviembre de 2021, de <http://www.ciencia.gtmo.inf.cu/index.php/htc/article/view/328/313>
- ASQ. (2022). *What is Six Sigma?* Recuperado el 03 de junio de 2022, de American Society for Quality: <https://asq.org/quality-resources/six-sigma>
- Atlas Consultora. (23 de septiembre de 2020). *Capacidad de procesos: métricas de calidad y estrategia Seis Sigma*. (I. Antonucci, Editor) Recuperado el 24 de julio de 2021, de Atlas Consultora: <https://www.atlasconsultora.com/capacidad-de-procesos/#:~:text=De%20donde%20se%20interpreta%20que,que%20sea%20de%20Clase%20Mundial>
- Baca Urbina, G. (2015). *Introducción a la ingeniería industrial*. Grupo Editorial Patria. Recuperado el 16 de agosto de 2022
- Betancio Rodríguez, A. Y. (2016). *Diseño y planeación de un programa piloto para la aplicación de la tecnología Biofloc en acuicultura rural*. Reporte de servicio social, Universidad Autónoma Chapingo, Dirección General de Difusión Cultural y Servicio, Tierra Blanca.
- Betanzo Torres, E. A. (2019). *La acuicultura en México y el uso de tecnología biofloc como alternativa sustentable: análisis de adopción, desarrollo y comparativo con otras tecnologías para el cultivo de tilapia (Oreochromis niloticus)*. México: El Colegio de Veracruz. Recuperado el 25 de junio de 2023

- Betanzo Torres, E. A., Piñar Álvarez, M. d., Sierra Carmona, C. G., Santamaria, L. E., Loeza Mejía, C.-I., Marín Muñiz, J. L., & Sandoval Herazo, L. C. (2021). Proposal of Ecotechnologies for Tilapia (*Oreochromis niloticus*) Production in Mexico: Economic, Environmental, and Social Implications. *Sustainability* , 13(12). Recuperado el 29 de junio de 2023, de <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/12/6853>
- Borda Pérez, M., Tuesca Molina, R., & Navarro Lechuga, E. (2009). *Metodos Cuantativos Herramientas para la Investigacion en Salud* (Segunda ed.). Universidad del Norte. Recuperado el 29 de 11 de 2022
- Boyd, C. E. (13 de noviembre de 2017). Understanding water quality variables for aquaculture. *Global Aquaculture Advocate*. Recuperado el 03 de mayo de 2023, de <https://www.globalseafood.org/advocate/water-quality-variables/>
- Boyd, C. E. (13 de agosto de 2018). Cambio constante de pH inevitable, completamente normal. *Global Aquaculture Advocate*. Recuperado el 03 de mayo de 2023, de <https://www.globalseafood.org/advocate/cambio-constante-de-ph-inevitable-completamente-normal/>
- Boyd, C. E. (20 de agosto de 2018). Dissolved oxygen dynamics. *Dissolved oxygen dynamics*. Recuperado el 03 de agosto de 2023, de <https://www.globalseafood.org/advocate/dissolved-oxygen-dynamics/>
- Boyd, C. E. (10 de octubre de 2022). El oxígeno disuelto es una preocupación importante en la acuicultura. Este es el por qué. *Responsible Seafood Advocate*. Recuperado el 03 de mayo de 2023, de <https://www.globalseafood.org/advocate/el-oxigeno-disuelto-es-una-preocupacion-importante-en-la-acuicultura-este-es-el-por-que/#:~:text=El%20ox%C3%ADgeno%20disuelto%20es%20una%20preocupaci%C3%B3n%20importante%20en,crecimiento%20lento%20y%20mayor%20suscept>
- Boyd, C. E., & Moore, J. M. (Agosto de 1993). Factors Affecting the Performance of Diffused-Air Aeration Systems for Aquaculture. *Journal of Applied Aquaculture*, 2(2), 1-12. doi:10.1300/J028v02n02_01
- Carrión Ortega, H. G., & Guerrero Palomino, C. D. (2019). *Diseño de un programa de control automatizado para la calidad del agua en el proceso acuícola de la tilapia en Nambelle - San Ignacio*. Jaén: Universidad Nacional de Jaén. Recuperado el 27 de octubre de 2021

- Castelló i Orvay, F. (2013). *Piscicultura marina en Latinoamérica. Bases científicas y técnicas para su desarrollo*. Barcelona: Edicions Universitat Barcelona. Recuperado el 12 de diciembre de 2022
- Castillo Corella, E., Acosta Acosta, Y., Betancourt Santos, N. N., Castellanos Mc Cook, E. L., Matos Gómez, A. M., Cobos Tellez, V., & Jover Cerdá, M. (2002). Utilización de la pulpa de café en la alimentación de alevines de tilapia roja. *AquaTIC: revista electrónica de acuicultura*(16). Recuperado el 23 de octubre de 2021, de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7444766>
- Castro Rivera, R., Hernández Girón, J. d., & Aguilar Benítez, G. (enero-junio de 2004). Evaluación del crecimiento de alevines de tres especies de Tilapia (*Oreochromis* sp.) en aguas duras, en la región de la Cañada, Oaxaca, México. *AquaTIC*, 38-43. Recuperado el octubre de 2021, de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49402005>
- CEDRSSA. (2015). *La acuacultura*. Cámara de Diputados del Congreso de la Unión, Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria. Recuperado el 25 de julio de 2022, de <http://www.cedrssa.gob.mx/files/b/13/8126La%20acuacultura.pdf>
- Coba Robalino, J. L., & Hernández Angulo, B. N. (2018). *Implementación de un sistema autónomo inalámbrico para la alimentación de tilapia, basado en supervisión de variables climáticas y control de calidad de agua*. Trabajo de titulación, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Informática y Electrónica, Ecuador . Recuperado el 2021 de noviembre de 07, de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/9245/1/108T0266.pdf>
- Colagrosso, A. (2015). *Instalación y manejo de sistemas de cultivo acuapónicos a pequeña escala*. Costa Rica: Youcanprint. Recuperado el 12 de diciembre de 2022
- CONAPESCA. (2012). *Criterios Técnicos y Económicos para la Producción Sustentable de Tilapia en México*. Comité Sistema Producto Tilapia de México AC. Recuperado el 18 de diciembre de 2022, de <https://www.gob.mx/conapesca/documentos/bibliografia-pesquera-y-acuicola>
- CONAPESCA. (4 de junio de 2015). *Ley General de Pesca y Acuacultura Sustentables. Documentos de la Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca*. Recuperado el 28 de julio

- de 2022, de <https://www.gob.mx/conapesca/documentos/ley-general-de-pesca-y-acuacultura-sustentables>
- CONAPESCA. (27 de agosto de 2018). Produce acuacultura mexicana más de 400 mil toneladas de pescados y mariscos. *Publicaciones Recientes de la Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca*. Recuperado el 25 de julio de 2022, de <https://www.gob.mx/conapesca/prensa/produce-acuacultura-mexicana-mas-de-400-mil-toneladas-de-pescados-y-mariscos-172466>
- Cosap. (2018). Capacitación: plática de formación: Enfermedades Transmitidas por Alimentos (ETA). 2. Tierra Blanca, Veracruz, México: Comité de Sanidad Acuícola y Pesquero Veracruzano, A.C. Recuperado el 27 de marzo de 2022
- Cristiane Justi, K., das Graças Padre, R., Hayashi, C., Soares, C. M., & Vergílio, J. (2005). Efeito da temperatura da água sobre desempenho e perfil de ácidos graxos de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 24(4). Recuperado el 23 de octubre de 2021, de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=303126477009>
- Cruz Marca, J. C. (2019). *Implementación del ciclo de Deming para mejorar la productividad en el área de operaciones de la empresa MDY S.A.C, Lince-2019*. Lima, Perú: Universidad César Vallejo. Recuperado el 30 de mayo de 2022
- Cruz, D. (2019). Aplicación de Lean Six Sigma para la reducción de costos operativos en la industria restaurantera. *Congreso de Ingeniería y Arquitectura*. Recuperado el 07 de noviembre de 2021, de <http://repositorio.uca.edu.sv/jspui/bitstream/11674/3822/1/Revista%20CONIA%202019%202020-04-N21%20%281%29.pdf>
- De la Ossa V., J. L., & Botero A., L. M. (2003). *Guía para la cría, manejo y aprovechamiento sostenible de algunas especies animales promisorias y otras domésticas*. Convenio Andrés Bello. Recuperado el 18 de diciembre de 2022
- Delfín Portela, E., Sandoval-Herazo, L. C., Reyes González, D., Mata Alejandro, H., López Méndez, M. C., Fernández Lambert, G., & Betanzo Torres, E. A. (2023). Grid-Connected Solar Photovoltaic System for Nile Tilapia Farms in Southern Mexico: Techno-Economic and Environmental Evaluation. *Applied Sciences*, 13(1), 570. Recuperado el 25 de junio de 2023, de <https://doi.org/10.3390/app13010570>

- Díaz Esteban, D. S., & Suarez Angarita, J. D. (2020). *Evaluación de Técnicas de Limpieza en Membranas Difusoras de Burbuja Fina Empleadas en Procesos Aeróbicos para Tratamiento de Agua Residual*. Cajicá: Universidad Militar Nueva Granada. Recuperado el 30 de diciembre de 2022
- Duque Marín, R., & Cuenca Zambrano, M. (2018). Cultivo de tilapia en jaulas en la represa San Vicente de Colonche. *Journal of business and entrepreneurial studies*, 2(2). Recuperado el 28 de octubre de 2021, de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=573668149001>
- El Independiente. (11 de diciembre de 2020). *Japón sacrifica cientos de miles de pollos por un brote de gripe aviar*. Recuperado el 08 de noviembre de 2021, de <https://www.elindependiente.com/vida-sana/2020/12/11/japon-sacrifica-cientos-de-miles-de-pollos-por-un-brote-de-gripe-aviar/>
- El-Sayed, A.-F. M. (2019). *Tilapia Culture* (Segunda ed.). Recuperado el 08 de noviembre de 2021
- Escalante Vázquez, E. J. (2006). *Análisis y mejoramiento de la calidad*. Editorial Limusa. Recuperado el 20 de septiembre de 2022
- Escalante Vázquez, E. J. (2008). *Seis-Sigma: Metodología y técnicas* (Primera ed.). (G. Noriega, Ed.) México: Limusa. Recuperado el 2022
- Escalante Vázquez, E. J. (2008). *Seis-Sigma: Metodología y técnicas* (Primera ed.). (G. Noriega, Ed.) México: Limusa. doi:978-668-18-6391-3
- Escalante Vázquez, E. J. (2013). *Seis-Sigma: Metodología y técnicas* (Segunda ed.). (G. N. Editores, Ed.) México: Limusa. doi:978-607-05-0448-8
- Fallas, J. (2012). *Análisis de la varianza*. Universidad para la Cooperación Internacional. Recuperado el 21 de abril de 2021
- FAO. (2012). *Buenas Prácticas Pecuarias (BPP) para la producción y comercialización porcina familiar*. doi:978-92-5-306794-7
- FAO. (2022). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2022*. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Recuperado el 29 de junio de 2023
- FAO. (2022). *Perfil de riesgo – Estreptococo del grupo B (EGB) / Streptococcus agalactiae tipo de secuencia (ST) 283 en pescado de agua dulce*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Recuperado el 14 de diciembre de 2022
-

- FAO. (2023). *Producción y productos avícolas: Sanidad animal*. Recuperado el 11 de marzo de 2023, de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura: <https://www.fao.org/poultry-production-products/production/animal-health/es/>
- Flores Ávila, L. C. (2002). *Tesis Doctoral*. Recuperado el 15 de marzo de 2023
- Fons Jareño, I. (2020). *Implantación de la metodología Lean Seis Sigma en un proceso de mantenimiento aeronáutico*. Trabajo Fin de Grado, Universidad de Sevilla, Departamento de Organización y Gestión de Empresas. Recuperado el 15 de agosto de 2022, de <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/102177/TFG-2909-FONS%20JARE%c3%91O.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Franklin Uruga, J. J., & Sánchez Flores, J. (2008). *Mejora del proceso de confección de PESA Uniformes S.A de C.V*. Tecnológico de Monterrey. Recuperado el 15 de agosto de 2022, de <https://repositorio.tec.mx/handle/11285/570005>
- Fuentes, M., Herrera, R. E., Lerma, F. A., & Saucedo, S. R. (2021). Reducción de desperdicio en proceso de fabricación de faro automotriz. *Ciencia en la frontera: revista de ciencia y tecnología de la UACJ*, XVI, 51-64. Recuperado el 10 de agosto de 2022, de <http://erevistas.uacj.mx/ojs/index.php/cienciafrontera/article/view/4886/5753>
- Furterer, S. L. (2013). *Lean Six Sigma Case Studies in the Healthcare Enterprise*. Springer Science & Business Media. Recuperado el 20 de septiembre de 2022
- García Horta, C. (2013). *Aplicación de Herramientas de Seis Sigma en un Proceso de Empaque en una Empresa de Manufactura*. Ensenada, Baja California: Universidad Autónoma de Baja California. Recuperado el 17 de agosto de 2022
- García-Bustos, S., Mera-Intriago, E., Debón, A., Bustamante, I., & Álvarez, I. (abril-junio de 2020). Aplicación de gráficos de control para detectar anomalías en la mortalidad de niños en Ecuador. *Papeles de población*, 26(104). doi:2448-7147
- Gelvez García, N. Y., & Romero Villalobos, O. A. (2018). *Diseño de un prototipo de sistema web para el monitoreo y control de la calidad del agua en los estanques de cultivo de tilapias en la finca allegro en San Francisco Cundinamarca*. Facultad de Ingeniería. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Recuperado el 27 de octubre de 2021
- Giner Bosch, V. (2014). *Precontrol óptimo. Caracterización, análisis y técnicas de resolución*. Universitat Politècnica de Valencia. Recuperado el 1 de enero de 2023

- Gómez Alfonso, E. (julio-diciembre de 2013). Cálculo de los costos de calidad en la unidad empresarial de base producciones varias, cienfuegos. *Revista Científica "Visión de Futuro"*, 17(2), 114-131. Recuperado el 14 de agosto de 2022, de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=357935481004>
- Gómez Fraile, F., Villar Barrio, J. F., & Tejero Monzón, M. (2003). *Seis Sigma*. FC Editorial. Recuperado el 03 de octubre de 2022
- González Álvarez, R., Barrera García, A., & Guerra Morffi, A. B. (29 de abril de 2022). Evaluación de la estabilidad y análisis de la capacidad del proceso de producción de una empresa de pastas alimenticias. *Revista Científica "Visión de Futuro"*, 26(1), 206-230. Recuperado el 07 de agosto de 2022, de <https://www.redalyc.org/journal/3579/357967638011/>
- González Hidalgo, K., Polo García, U., & Torres López, A. (2018). *Generación de un plan de acción para la optimización del proceso de llenado de Gas L.P. cilíndrico y estacionario mediante el modelado de líneas de espera en el área de anden*. Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Apizaco. Recuperado el 13 de agosto de 2022, de <https://rinacional.tecnm.mx/handle/TecNM/632>
- Grifol Ponsati, E., & Canela Campos, M. Á. (2010). *Gestión de la calidad*. Univ. Politèc. de Catalunya. Recuperado el 10 de enero de 2023
- Gutiérrez Alcalá, R. (25 de agosto de 2019). *El huevo, el alimento con proteína animal que más consumimos*. Recuperado el 08 de noviembre de 2021, de Gaceta UNAM: <https://www.gaceta.unam.mx/el-huevo-el-alimento-con-proteina-animal-que-mas-consumimos/>
- Gutiérrez Pulido, H. (2010). *Calidad total y productividad*, (Tercera ed.). McGraw-Hill. Recuperado el 21 de 08 de 2023
- HANNA instruments. (01 de marzo de 2014). Medición del oxígeno disuelto. España. Recuperado el 18 de diciembre de 2022, de <https://www.hannainst.es/blog/83/medicion-del-oxigeno-disuelto>
- HANNA instruments. (16 de marzo de 2022). Instrumentación para la Acuicultura: Marina y Continental. España. Recuperado el 22 de diciembre de 2022, de <https://www.hannainst.es/img/catalogos/ficheros/catalogo-acuicultura-hanna.pdf>

- Hansen, B. L., & Ghare, P. M. (1989). *Control de calidad: teoría y aplicaciones*. Ediciones Díaz de Santos. Recuperado el 20 de septiembre de 2022
- Harrington, H. J. (1990). *El coste de la mala calidad*. Ediciones Díaz de Santos. Recuperado el 20 de septiembre de 2022
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (Sexta ed.). McGraw Hill Education. Recuperado el 25 de junio de 2023
- INAPESCA. (21 de marzo de 2018). *Acuicultura comercial*. Recuperado el 21 de diciembre de 2022, de Instituto Nacional de Pesca: <https://www.gob.mx/inapesca/acciones-y-programas/acuicultura-tilapia>
- Ingle de la Mora, G., Villareal-Delgado, E. L., Arredondo-Figueroa, J. L., Ponce-Palafox, J. T., & Barriga-Sosa, I. d. (2003). Evaluación de algunos parámetros de calidad del agua en un sistema cerrado de recirculación para la acuicultura, sometido a diferentes cargas de biomasa de peces. *Hidrobiológica*, 13(4). Recuperado el 23 de octubre de 2021, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-88972003000400001&script=sci_arttext
- Ishikawa, K. (2003). *¿Qué es el control total de calidad?* (M. Cárdenas, Trad.) Editorial Norma. doi:9580470405
- Jar Ingeniería y Equipos. (noviembre de 2006). Disco difusor de burbuja fina EDI Flexair. Recuperado el 20 de diciembre de 2022, de <https://www.aguamarket.com/sql/productos/catalogos/8942.pdf>
- Jara Moreno, F. M., & Rosales Loayza, A. G. (2020). *Implementación de la herramienta AMEF para reducir mermas en la producción de textos escolares* Editorial Bruño, Ate Vitarte 2020. Lima, Perú: Universidad César Vallejo. Recuperado el 17 de agosto de 2022
- Jesús Ramírez, F., Castillo Pérez, K., Álvarez González, C. A., Uscanga Martínez, A., & Márquez Couturier, G. (Diciembre de 2007). Enfermedades más comunes en el cultivo de tilapia. *Revista Agro Región*, 10. Recuperado el 12 de marzo de 2023, de <https://agroregion.com/articulo?id=202>
- Jiménez Guzmán, F. (1988). *Parasitos y enfermedades de la tilapia*. FONDEPESCA. Recuperado el 18 de diciembre de 2022, de <https://cd.dgb.uanl.mx/handle/201504211/6834>
-

- Joaquín Amat, R. (junio de 2016). *Correlación lineal y Regresión lineal simple*. Recuperado el 04 de junio de 2021, de Cienciadedatos: https://www.cienciadedatos.net/documentos/24_correlacion_y_regresion_lineal
- Kapetsky, J. M. (1997). *Una evaluación estratégica de la potencialidad para la piscicultura dulceacuicola en America Latina*. Food & Agriculture Org. Recuperado el 18 de diciembre de 2022
- La revolución azul. (9 de agosto de 2022). *Instala tubo para salida de agua en estanque de geomembrana de 6 metros de diametro*. Recuperado el 22 de noviembre de 2022, de YouTube: https://www.youtube.com/watch?v=wAFPMaVdeqA&lc=UgyYmt7eeXtS1zVGzR54AaABAg.9j47JotWWaV9j4Ul9_Cnf6
- La Vanguardia. (17 de noviembre de 2020). *Alemania podría sacrificar hasta 70.000 pollos al encontrar gripe aviar en otra granja*. Recuperado el 08 de noviembre de 2021, de La Vanguardia: <https://www.lavanguardia.com/vida/20201117/49524197126/alemania-sacrifica-pollos-encontrar-gripe-aviar-granja.html>
- Laoyan, S. (02 de noviembre de 2022). *Six Sigma: todo lo que necesitas saber sobre esta metodología de mejora de procesos*. Recuperado el 15 de diciembre de 2022, de Asana: <https://asana.com/es/resources/six-sigma>
- Lefcovich, M. L. (2009). *Control y reducción de costos mediante el control estadístico de procesos*. El Cid Editor. Recuperado el 25 de agosto de 2022
- Lima Rodríguez, F., Tenopala Hernández, C., Torres López, A., Montiel Huerta, M. E., & Vargas Matamoros, K. L. (2021). Aplicación de herramientas Lean Six Sigma para el análisis del nivel de desperdicio en un proceso de tampografía en una MIPYME. *Revista Arbitrada del Centro de Investigación y Estudios Gerenciales*. Recuperado el 2021 de noviembre de 07, de [https://www.grupocieg.org/archivos_revista/Ed.47\(421-437\)%20Lima%20et%20al_articulo_id739.pdf](https://www.grupocieg.org/archivos_revista/Ed.47(421-437)%20Lima%20et%20al_articulo_id739.pdf)
- López Lemos, P. (2016). *Herramientas para la mejora de la Calidad*. FEMETAL. Recuperado el 03 de octubre de 2022
- López Velasco, R. E., Santana Carrión, W. M., Moctezuma Ramos, M., Gurruchaga Rodríguez, M. E., & González Huerta, M. A. (2021). Uso de herramientas de calidad para diseñar una red de egresados. *Journal CIM*, 9(1), 711-725. Recuperado el 15 de agosto de 2022,

- de
http://depi.orizaba.tecnm.mx/Journals/REVISTA%20CIM%202021%20FINAL%20VER_1.7.pdf
- Maciariello, J. A. (2006). *Peter F. Drucker on Executive Leadership and Effectiveness*. Recuperado el 14 de abril de 2022, de https://www.academia.edu/26154614/Peter_F_Drucker_on_Executive_Leadership_and_Effectiveness
- Mackertich, N. A., & Shainin, D. (1990). Precontrol versus Control Charting: A Critical Comparison. *Quality Engineering*, 2, 260. Recuperado el 3 de enero de 2023
- Márquez Castillo, M. P., Barrios Lucas, C. C., & Cabrera Toledo, D. J. (2016). *Evaluación de abonos orgánicos para la producción de chile de agua capsicum annum L. en ambientes controlados*. Oaxaca: Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Comitancillo. Recuperado el 13 de agosto de 2022
- Martínez, J. A., Olvera Torres, F., Hernández Carnalla, L., & Luna Fernández, V. (2021). Reducción del desperdicio en los procesos: urdido y engomado para la fabricación de toallas. *Journal CIM*, 9(1), 457-471. Recuperado el 13 de agosto de 2022, de http://depi.orizaba.tecnm.mx/Journals/REVISTA%20CIM%202021%20FINAL%20VER_1.7.pdf
- Minitab, LLC. (2022). *Análisis de capacidad*. Recuperado el 19 de septiembre de 2022, de Soporte de Minitab Engage: <https://support.minitab.com/es-mx/engage/help-and-how-to/tools/forms/form-tools/statistical-analysis/capability-analysis/>
- Minitab, LLC. (2022). *Revisión general de Correlación*. Recuperado el 20 de septiembre de 2022, de Soporte de Minitab 21: <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/21/help-and-how-to/statistics/basic-statistics/how-to/correlation/before-you-start/overview/>
- Miranda Chavez, W. J., Montoya Cárdenas, G. A., Vilcara Cárdenas, E. A., & Díaz Dumont, J. R. (Julio-Septiembre de 2021). Metodología lean para reducción de piezas no conformes, detectadas por control de calidad, previo al despacho. *Revista de investigación científica y tecnológica Alpha Centauri*, 02(03). Recuperado el 14 de agosto de 2022, de <http://www.journalalphacentauri.com/index.php/revista/article/view/52/45>
-

- Morales Guzmán, J. A., Hernández Paredes, J., Guzmán Núñez, V. H., & Orozco Trujillo, C. (2019). *Reducción de reclamos al área de calidad recibo por parte de producción*. Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Sur de Guanajuato. Recuperado el 15 de agosto de 2022
- Muñoz Duque, S. E., García González, J. J., Correa Londoño, G., Atencio García, V. J., & Pardo Carrasco, S. C. (2012). Efectos del perifiton sobre los parámetros fisicoquímicos del agua en estanques con policultivo de de tilapia *Oreochromis niloticus* y Bocachico *Prochilodus magdalenae*. *Revista Lasallista de Investigación*, 9(1). Recuperado el 09 de octubre de 2021, de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=69524955002>
- Narayanan, N. (2012). Value Engineering the DMAIC way. *2nd Asian Value Engineering Conference* . Recuperado el 03 de junio de 2022, de <https://ssa-tech.com/Articles/VE-article.pdf>
- Navarrete Méndez, R. d., & Casique Guerrero, A. (2019). *Cultura organizacional y su relación con el estrés en trabajadores de una empresa metal-mecánica en Celaya*. Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Celaya. Recuperado el 13 de agosto de 2022
- Nicovita. (19 de abril de 2002). *Manual de crianza tilapia*. (P. Flores, Ed.) Recuperado el 18 de diciembre de 2022, de <http://www.industriaacuicola.com/biblioteca/Tilapia/Manual%20de%20crianza%20de%20tilapia.pdf>
- Niebel, B. W., & Freivalds, A. (2009). *Ingeniería industrial. Métodos, estándares y diseño del trabajo* (Duodécima edición ed.). (C. R. Cordero Pedraza, & J. E. Murrieta Murrieta, Trads.) McGraw Hill. doi:978-970-10-6962-2
- Núñez Esquivel, J., Muñoz Campos, A. A., Gamboa Olivares, D. d., Torreblanca Zorilla, A., & Corona Mayoral, E. E. (2021). Aplicación de la metodología DMAIC con efecto de aplicación esbelto para auditorías de calidad efectivas en Metalyzinc S.A. de C.V. *Journal CIM*, 599-613. Recuperado el 13 de agosto de 2022, de http://depi.orizaba.tecnm.mx/Journals/REVISTA%20CIM%202021%20FINAL%20VER_1.7.pdf
- Ojeda Burgos, L. D. (2015). Aplicación de Metodología DMAIC-Seis Sigma para Disminuir el Costo de Inventario del Proceso de Re-trabajo en una Compañía de Dispositivos

- Médicos. *Artículos de Proyectos de Ingeniería en Manufactura Competitiva*. Recuperado el 17 de agosto de 2022, de <http://prcrepository.org/xmlui/handle/20.500.12475/693>
- Olivo Gutiérrez, M., Verduzco Ramírez, J., García Díaz, N., Villalobos Gómez, J., & Olivo Gutiérrez, A. (julio-diciembre de 2018). Prototipo para el monitoreo automatizado de parámetros de calidad del agua en una granja de camarón. *Científica*, 22(2), 87-95. Recuperado el 28 de octubre de 2021, de <https://www.redalyc.org/jatsRepo/614/61458109001/61458109001.pdf>
- ONU. (2 de agosto de 2021). *Alerta en América: la peste porcina africana ha sido detectada en la República Dominicana*. Recuperado el 08 de noviembre de 2021, de Noticias ONU: <https://news.un.org/es/story/2021/08/1495042>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (24 de noviembre de 2016). 2. *Mejora de la calidad de agua en los estanques*. (Food and Agriculture Organization (FAO)) Recuperado el 20 de diciembre de 2022, de FAO Training Series: https://www.fao.org/fishery/static/FAO_Training/FAO_Training/General/x6709s/x6709s02.htm
- Ornelas-Luna, R., Aguilar-Palomino, B., & Hernández-Díaz, A. (septiembre-octubre de 2017). Un enfoque sustentable al cultivo de tilapia. *Acta Universitaria*, 27(5). Recuperado el 28 de octubre de 2021, de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=41653410003>
- Osorio, J. C., Manotas, D. F., & Rivera, L. (2017). Priorización de riesgos operacionales para un proveedor de tercera parte logística - 3PL. *Información tecnológica*, 28(4), 135-144. doi:0716-8756
- Padilla, L. (Enero de 2010). Manufactura esbelta/ágil. *Revista Ingeniería Primero* (15), 64-69. doi:2076-3166
- Pineda Morán, J. C. (2016). *Implementación del control estadístico para la calidad en la empresa "Sofos Multisport" en la línea de confección de calentadores para mejorar la capacidad del proceso y productividad*. Quito: Escuela Politécnica Nacional. Recuperado el 17 de agosto de 2022
- Plazas Pemberthy, L. A., & Paz Ruiz, N. E. (1 de julio de 2019). Diseño e implementación de un sistema de monitoreo de parámetros de calidad de agua en cultivo de tilapia en una granja piscícola del departamento del Cauca. *Revista Especializada en Tecnología e*
-

- Ingeniería*, 13(2). Recuperado el 23 de octubre de 2021, de <https://core.ac.uk/display/322589501>
- Poblano Ojinaga, F. A., Delgadillo Ramírez, C. Y., Poblano Ojinaga, A. E., Pineda Armendáriz, E. R., & Pedroza Figueroa, B. (2021). Incremento en el margen de ganancia de proyectos metal-mecánicos aplicando la metodología Seis Sigma. *Journal CIM*, 9(1), 449-463. Recuperado el 13 de agosto de 2022, de http://depi.orizaba.tecnm.mx/Journals/REVISTA%20CIM%202021%20FINAL%20VER_1.7.pdf
- R. M., J. A. (21 de mayo de 2008). *Six Sigma: La Empresa hacia el Error Cero*. Recuperado el 08 de octubre de 2022, de República: <https://www.republica.com/economia/empresayeconomia/six-sigma-la-empresa-hacia-el-error-cero-20080521-07001508303/>
- Ramírez Yañez, L. R. (01 de enero de 2003). *Modelo para el desarrollo de la fase de reconocimiento previa al DMAIC de Seis Sigma*. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. Recuperado el 03 de junio de 2022
- Ramos, A. P., De Antón, R. M., & Guidi, E. (2019). Implementación del listado de verificación preoperatorio de enfermería para cirugía segura. *JOURNAL OF NEGATIVE & NO POSITIVE RESULTS*, 5(8). Recuperado el 15 de agosto de 2022, de <https://www.redalyc.org/journal/5645/564568058003/>
- Reato, C., & Socconini, L. (2019). *Lean six sigma: sistema de gestión para liderar empresas*. Marge Books. Recuperado el 31 de mayo de 2022
- Redacción Espejo. (8 de julio de 2022). La producción pesquera y acuícola alcanza niveles récord. *Espejo. Las cosas como son*. Recuperado el 25 de julio de 2022, de <https://revistaespejo.com/2022/07/08/la-produccion-pesquera-y-acuicola-alcanza-niveles-record/>
- Rodríguez Muñoz, R., & Pérez Fernández, D. R. (2018). Perfeccionamiento de la gestión por procesos en una universidad. *Revista Científica "Visión de Futuro"*, 22(2). Recuperado el 15 de agosto de 2022, de <https://www.redalyc.org/journal/3579/357959312011/>
- Rosso, D., & Stenstrom, M. K. (01 de agosto de 2006). Economic Implications of Fine-Pore Diffuser Aging. *Water Environment Research*, 78(8), 810-815. doi:106143006X101683
-

- Saavedra Torres, R. (2018). *Uso de una red de sensores para el monitoreo en tiempo real de la calidad del agua en los estanques de alevinos de tilapia de la estación pesquera Ahuashiyacu - Tarapoto*. Universidad Nacional de San Martín-Tarapoto. Recuperado el 2021 de noviembre de 07, de <http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/3265/FISI%20-%20Roman%20Saavedra%20Torres.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- SADER. (09 de abril de 2019). *Acuicultura, producción y conservación de organismos acuáticos*. Recuperado el 25 de julio de 2022, de Gobierno de México: <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/acuicultura-produccion-y-conservacion-de-organismos-acuaticos>
- SADER. (02 de diciembre de 2020). *Contribuye industria avícola al crecimiento económico y la seguridad alimentaria del país: Agricultura*. Recuperado el 11 de marzo de 2023, de Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural: <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/contribuye-industria-avicola-al-crecimiento-economico-y-la-seguridad-alimentaria-del-pais-agricultura?tab=>
- SADER. (28 de octubre de 2021). *Sector avícola, estratégico en las metas de autosuficiencia alimentaria en el país: Agricultura*. Recuperado el 11 de marzo de 2023, de Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural: <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/sector-avicola-estrategico-en-las-metas-de-autosuficiencia-alimentaria-en-el-pais-agricultura?idiom=es>
- SADER. (15 de julio de 2021). *Sector pecuario mexicano*. Recuperado el 11 de marzo de 2023, de Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural: <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/sector-pecuario-mexicano-277315>
- Salinas, J., A. Báez, Y., Limón, J., & Tiznado, A. (2010). Aplicación de la metodología de seis sigma para lograr la reducción de PPMS en el proceso de ensamblaje de bobina a domo en bocinas de 19 7 25 mm. *Memorias del Cuarto Congreso Internacional de Ingeniería Vertice 2010*, 47. doi:0615361919
- Sánchez González, J., Rivera C., A. E., Pérez J., M. I., Andrade Q., M., Tovar G., J. L., Cruz L., A., & Reynaga O., M. G. (Octubre-Diciembre de 1995). Concentración del Fibrinógeno y Lípidos Plasmáticos. Contribuciones pre-analíticas de la variabilidad biológica. *Patología Clínica*, 42(4), 169-181. Recuperado el 2022 de noviembre de 17
-

- Santoyo Telles, F., Mariscal Romero, J., Gómez Galindo, C., & Gutiérrez Pulido, H. (2019). Relaciones talla-peso y factor de condición de la tilapia *Oreochromis niloticus* en cinco cuerpos de agua del estado de Jalisco, México. *Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias: CIBA*, 8(16), 82-105. Recuperado el 29 de octubre de 2021, de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7361204>
- SENASICA. (2008). Manual de Buenas Prácticas de Producción Acuícola de Tilapia para la Inocuidad Alimentaria. (Primera). (A. García Ortega, & O. Calvario Martínez, Recopiladores) México. Recuperado el 13 de septiembre de 2021, de <https://bit.ly/3DDTh9p>
- SENASICA. (28 de febrero de 2019). *Producción porcícola genera desarrollo*. Recuperado el 11 de marzo de 2023, de Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria: <https://www.gob.mx/senasica/articulos/produccion-porcicola-genera-desarrollo?idiom=es>
- SENASICA. (22 de marzo de 2022). *Crece la producción de carne de cerdo en México*. Recuperado el 11 de marzo de 2023, de Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria: <https://www.gob.mx/senasica/articulos/crece-la-produccion-de-carne-de-cerdo-en-mexico?idiom=es>
- SENASICA. (01 de abril de 2022). *Inocuidad agroalimentaria, acuícola y pesquera*. Recuperado el 14 de junio de 2022, de Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria: <https://www.gob.mx/senasica/acciones-y-programas/direccion-general-de-inocuidad-agroalimentaria-acuicola-y-pesquera>
- Soleimannejed, F. (2004). *Six Sigma, Basic Steps & Implementation*. AuthorHouse. Recuperado el 20 de septiembre de 2022
- Srinivasan, K., Muthu, S., Devadasan, S., & Sugumaran, C. (2016). Six Sigma through DMAIC phases: a literature review. *International Journal of Productivity and Quality Management*, 17(2), 240. Recuperado el 2023 de mayo de 01, de https://econpapers.repec.org/article/idsijpqma/v_3a17_3ay_3a2016_3ai_3a2_3ap_3a236-257.htm
- Thamke, M. (2020). *Implementing Lean Six Sigma to Marine Products Industry in India*. Vaasan ammattikorkeakoulu University of Applied Sciences. Recuperado el 2023 de mayo de 01

- Timmons, M. B., Ebeling, J. M., Wheaton, F. W., Summerfelt, S. T., & Vinci, B. J. (2002). *Sistemas de recirculación para la acuicultura* (Segunda ed.). (G. Parada Rebolledo, & M. Hevia Werkmeister, Trads.) Fundación Chile. Recuperado el 31 de agosto de 2022
- Torres Velásquez, J. A. (2019). Una aplicación de la carta de control para medias y rangos ($\bar{X}$ -R) y análisis de capacidad del proceso (ACP), en la producción de sobres de azúcar personalizados bajo el supuesto de normalidad. *Avances: Investigacion en Ingeniería*, 16(2), 20-35. doi:1794-4953
- Tovar, A. (2007). *CPIMC. Un modelo de administración por procesos*. Panorama Editorial. Recuperado el 21 de septiembre de 2022
- Valbuena-Villarreal, R., & Cruz-Casallas, P. E. (2006). Efecto del peso corporal y temperatura del agua sobre el consumo de oxígeno de tilapia roja (*Oreochromis* sp). *Orinoquia*, 10(1). Recuperado el 09 de noviembre de 2021, de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=89610107>
- Vargas Sabadías, A. (1995). *Estadística descriptiva e inferencial*. Univ de Castilla La Mancha. Recuperado el 20 de septiembre de 2022
- Vásquez Gamboa, L. (2011). *Alimentación, bienestar y calidad del agua en la producción de tilapia del Nilo oreochromis niloticus linnaeus 1758 en sistemas de recirculación*. Universidad Politécnica de Madrid. Recuperado el 09 de octubre de 2021
- Vásquez-Salazar, R. D., Pupo-Urrutia, A. C., & Jiménez-Aguas, H. J. (enero-junio de 2014). Sistema energéticamente eficiente y de bajo costo para controlar la temperatura y aumentar el oxígeno en estanques de cultivo de alevines de tilapia roja. *Facultad de Ingeniería*, 23(36). Recuperado el 27 de octubre de 2021, de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=413937007002>
- Vázquez Caracas, U., & Méndez Ramírez, M. C. (2020). *Propuesta de estandarización del proceso en la lavandería CONFETEX mediante el análisis de las 8D confecciones Textiles de Teziutlán, S.A. de C.V.* Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán. Recuperado el 13 de agosto de 2022
- Vicent, G.-B. (2014). *Precontrol óptimo. Caracterización, análisis y técnicas de resolución*. Valencia: Universitat Politècnica de Valencia. Recuperado el 15 de diciembre de 2022

- Vilar Barrio, J. F., Gómez Fraile, F., & Tejero Monzón, M. (1997). *Las siete nuevas herramientas para la mejora de la calidad*. FC Editorial. Recuperado el 04 de octubre de 2022
- Walter Stachú, S. (2009). *Identificación de la problemática mediante Pareto e Ishikawa*. El Cid Editor. Recuperado el 16 de agosto de 2022
- Yañez Varela, J. A., Viguera-Carmona, S. E., Montes García, M. M., & Martínez Delgadillo, S. A. (2021). *Journal CIM*, 9(1), 1330-1344. Recuperado el 13 de agosto de 2022, de http://depi.orizaba.tecnm.mx/Journals/REVISTA%20CIM%202021%20FINAL%20VER_1.7.pdf
- Zamora Fonseca, R., Curbelo Hernández, M. A., Cañedo Iglesias, C. M., & Núñez Chaviano, K. (2012). Los procedimientos de un sistema de gestión de información: Un estudio de caso de la Universidad de Cienfuegos. *Biblios*(46). doi:1562-4730

Anexos

Anexo 1. Media y desviación estándar de la temperatura del agua en el año 2016

	A	B	C	D	E	F	G	H
4			Año 1.1 Tempc Valores					
5			2016					
6			Invierno			Otoño		
7	3. Estanque 2. Hora de		AVERAGE	STDEV de	AVERAGE	STDEV de	AVERAGE	STDEV de
8	1	M1	24.80	0.70	26.46	0.92	26.35	0.99
9		M2	26.07	0.71	28.46	0.93	28.27	1.12
10	Total 1		25.43	0.94	27.39	1.36	27.25	1.42
11	2	M1	25.20	0.79	26.27	1.22	26.08	1.22
12		M2	26.45	1.20	27.76	1.40	27.58	1.44
13	Total 2		25.70	1.13	26.97	1.50	26.77	1.52
14	3	M1	25.18	1.30	26.58	1.10	26.43	1.19
15		M2	26.17	2.45	28.30	1.19	28.14	1.40
16	Total 3		25.55	1.72	27.38	1.43	27.21	1.54
17	4	M1	25.34	0.91	26.23	1.19	26.07	1.19
18		M2	25.65	0.56	27.34	1.39	27.10	1.43
19	Total 4		25.47	0.78	26.74	1.40	26.54	1.39
20	5	M1	25.51	0.73	26.23	1.12	26.10	1.09
21		M2	26.95	1.04	27.28	1.44	27.23	1.39
22	Total 5		26.09	1.11	26.71	1.38	26.61	1.35
23	6	M1	25.66	0.99	26.56	0.96	26.40	1.02
24		M2	26.70	0.64	28.17	1.35	27.96	1.37
25	Total 6		26.07	0.99	27.30	1.40	27.11	1.42
26	7	M1	25.58	0.51	26.28	1.12	26.16	1.07
27		M2	26.70	1.01	27.28	1.62	27.20	1.55
28	Total 7		26.03	0.91	26.74	1.45	26.63	1.40
29	8	M1	26.09	1.01	26.57	1.09	26.48	1.08
30		M2	26.45	1.05	28.17	1.20	27.93	1.31
31	Total 8		26.23	1.00	27.31	1.39	27.14	1.39
32	9	M1	25.13	1.12	26.01	1.15	25.86	1.19
33		M2	26.50	1.39	27.31	1.39	27.20	1.41
34	Total 9		25.68	1.37	26.61	1.42	26.46	1.45
35	10	M1	25.53	1.01	26.50	1.02	26.34	1.07
36		M2	26.38	2.10	28.22	1.34	27.96	1.57
37	Total 10		25.87	1.53	27.30	1.45	27.07	1.55
38	11	M1	25.70	0.87	26.72	0.96	26.54	1.01
39		M2	27.22	0.56	28.42	1.32	28.28	1.31
40	Total 11		26.24	1.06	27.51	1.42	27.32	1.44
41	12	M1	25.97	1.00	26.76	0.95	26.66	0.98
42		M2	27.33	0.49	28.62	1.31	28.53	1.31
43	Total 12		26.42	1.07	27.63	1.46	27.51	1.47
44	15	M1	25.51	1.03	26.53	0.59	26.35	0.78
45		M2	26.88	1.06	28.17	1.00	28.02	1.08
46	Total 15		26.00	1.21	27.30	1.15	27.10	1.24
47	16	M1	25.78	1.83	26.79	0.63	26.61	1.00
48		M2	26.74	0.72	28.42	1.05	28.22	1.15
49	Total 16		26.12	1.56	27.55	1.18	27.34	1.33
50	17	M1	25.44	0.90	26.78	0.58	26.55	0.82
51		M2	26.72	0.75	28.25	0.87	28.07	0.99
52	Total 17		25.90	1.04	27.47	1.04	27.24	1.17
53	18	M1	25.66	1.09	26.70	0.63	26.52	0.82
54		M2	26.86	1.03	28.37	0.99	28.20	1.09
55	Total 18		26.09	1.19	27.49	1.17	27.28	1.27
56	19	M1	25.54	1.02	26.66	0.64	26.46	0.82
57		M2	26.90	0.91	28.31	1.04	28.15	1.12
58	Total 19		26.03	1.16	27.43	1.19	27.23	1.28
59	20	M1	25.34	1.01	26.60	0.69	26.39	0.89
60		M2	26.40	1.06	28.32	1.04	28.06	1.23
61	Total 20		25.77	1.13	27.41	1.22	27.15	1.35
62	Suma total		25.94	1.16	27.24	1.37	27.05	1.42

Anexo 2. Media y desviación estándar de la temperatura del agua en el año 2017

-	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	-
5	2017										Total 2017
6	Invierno		Otoño		Primavera		Verano		In		In
7	dε AVERAGE	STDEV	dε AVERAGE	STDEV	dε AVERAGE	STDEV	dε AVERAGE	STDEV	dε AVERAGE	STDEV	dε AVERAGE
8	25.45	1.34	26.48	1.70	28.59	1.84	29.00	1.06	27.65	2.03	
9	27.36	1.38	28.58	2.13	31.08	1.78	31.60	1.66	30.12	2.41	
10	26.16	1.64	27.33	2.14	29.64	2.19	30.16	1.87	28.68	2.51	
11	24.66	1.45	26.02	1.68	27.81	0.96	28.54	0.95	26.95	1.97	
12	26.27	1.82	27.53	2.11	30.40	1.42	31.27	1.51	29.27	2.63	
13	25.25	1.77	26.63	2.00	28.94	1.75	29.73	1.83	27.91	2.54	
14	24.88	1.29	26.57	1.95	27.87	1.13	28.78	0.99	27.32	2.01	
15	26.25	1.84	28.62	2.57	30.45	1.44	31.46	1.55	29.80	2.65	
16	25.39	1.65	27.36	2.41	29.00	1.81	29.97	1.84	28.35	2.60	
17	24.36	1.31	26.80	1.49	27.58	1.23	28.61	1.10	27.22	2.11	
18	25.48	1.35	27.33	1.08	29.89	1.57	31.29	1.61	29.67	2.75	
19	24.78	1.42	26.91	1.39	28.59	1.80	29.80	1.90	28.24	2.68	
20	24.78	1.39	25.93	1.55	28.22	1.39	28.64	0.96	27.03	2.01	
21	25.98	1.49	27.00	1.98	30.20	1.53	31.24	1.34	28.94	2.65	
22	25.23	1.53	26.36	1.81	29.07	1.75	29.77	1.72	27.82	2.48	
23	25.01	1.12	26.40	1.84	28.73	1.46	29.02	1.00	27.23	2.13	
24	26.48	1.64	28.14	2.22	30.66	1.50	31.45	1.50	29.31	2.61	
25	25.56	1.51	27.11	2.17	29.57	1.76	30.07	1.73	28.09	2.55	
26	24.81	1.48	25.78	1.66	28.28	1.36	28.54	0.85	27.00	2.04	
27	25.80	1.32	26.74	2.04	30.49	1.71	31.05	1.27	28.90	2.74	
28	25.18	1.50	26.17	1.88	29.25	1.87	29.63	1.63	27.79	2.53	
29	24.80	1.35	26.41	1.60	28.53	1.28	28.64	1.03	27.24	1.99	
30	26.24	1.89	28.16	1.95	30.48	1.73	30.99	1.49	29.27	2.46	
31	25.33	1.71	27.11	1.94	29.32	1.76	29.65	1.70	28.06	2.40	
32	24.38	1.61	25.75	1.69	27.55	1.19	28.57	0.90	26.74	2.10	
33	25.70	1.89	26.63	2.11	29.79	1.36	31.10	1.35	28.62	2.81	
34	24.87	1.83	26.10	1.91	28.52	1.68	29.64	1.67	27.51	2.59	
35	24.77	1.81	26.43	1.65	27.99	1.04	28.70	0.87	27.18	1.96	
36	26.81	1.75	28.00	2.00	30.36	1.37	31.31	1.31	29.48	2.36	
37	25.53	2.04	27.07	1.95	29.03	1.68	29.83	1.69	28.14	2.42	
38	24.98	1.66	26.69	1.69	28.29	1.33	28.75	0.93	27.38	1.97	
39	27.05	1.80	28.65	2.21	30.40	1.71	31.39	1.30	29.76	2.35	
40	25.75	1.98	27.47	2.14	29.20	1.83	29.91	1.71	28.37	2.43	
41	25.24	1.41	26.76	1.33	28.63	1.21	28.30	0.89	27.52	1.65	
42	27.35	1.54	28.72	1.93	30.90	1.42	30.98	1.36	29.92	2.05	
43	26.02	1.77	27.55	1.86	29.60	1.72	29.46	1.73	28.52	2.17	
44	25.16	1.72	26.54	1.53	28.19	1.17	28.56	0.78	27.41	1.74	
45	26.61	1.95	27.89	1.92	29.98	1.37	30.61	1.24	29.20	2.15	
46	25.75	1.94	27.08	1.82	28.96	1.54	29.46	1.43	28.16	2.11	
47	25.07	1.82	26.74	1.74	28.74	1.33	28.89	0.86	27.70	1.98	
48	26.75	1.71	28.31	2.09	30.38	2.05	31.12	1.20	29.60	2.35	
49	25.75	1.95	27.37	2.04	29.45	1.86	29.87	1.51	28.50	2.34	
50	25.12	1.52	26.30	1.70	28.90	1.22	28.60	0.82	27.41	1.96	
51	26.64	1.48	27.48	2.05	30.51	1.34	30.54	1.17	29.10	2.27	
52	25.71	1.67	26.77	1.93	29.58	1.50	29.44	1.38	28.11	2.25	
53	25.31	1.38	26.60	1.61	29.17	1.28	28.74	0.90	27.63	1.91	
54	26.78	1.53	28.09	2.01	30.94	1.39	30.95	1.33	29.51	2.29	
55	25.87	1.60	27.20	1.92	29.90	1.58	29.69	1.55	28.40	2.27	
56	25.33	1.37	26.50	1.62	28.27	1.25	28.49	0.90	27.39	1.76	
57	26.94	1.61	27.79	2.03	30.23	1.47	30.68	1.30	29.28	2.19	
58	25.95	1.66	27.02	1.90	29.11	1.66	29.45	1.54	28.18	2.16	
59	25.09	1.49	26.37	1.75	28.43	1.31	28.68	0.94	27.41	1.94	
60	26.86	1.72	28.02	2.08	30.40	1.57	31.17	1.39	29.55	2.34	
61	25.78	1.79	27.02	2.05	29.28	1.73	29.76	1.69	28.30	2.36	
62	25.52	1.75	26.97	2.02	29.25	1.78	29.73	1.69	28.18	2.42	

Anexo 3. Media y desviación estándar de la temperatura del agua en el año 2018

	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	
4												
5		2018										
6		Invierno		Otoño		Primavera		Verano		Total 2018		
7		AVERAGE	STDEV	AVERAGE	STDEV	AVERAGE	STDEV	AVERAGE	STDEV	AVERAGE	STDEV	
8	2.03	23.70	1.48	23.05	1.58	27.53	0.63	#DIV/0!	#DIV/0!	23.85	1.93	#
9	2.41	25.50	1.85	24.64	1.91	30.00	0.00	#DIV/0!	#DIV/0!	25.79	2.48	#
10	2.51	24.50	1.87	23.84	1.91	28.93	1.31	#DIV/0!	#DIV/0!	24.78	2.41	#
11	1.97	23.95	1.38	23.14	1.64	27.42	0.73	#DIV/0!	#DIV/0!	23.99	1.78	
12	2.63	25.98	1.87	24.75	1.94	29.92	0.28	#DIV/0!	#DIV/0!	26.00	2.31	
13	2.54	24.88	1.91	23.95	1.96	28.78	1.38	#DIV/0!	#DIV/0!	24.95	2.28	
14	2.01	23.75	1.52	23.68	1.94	27.21	0.63	#DIV/0!	#DIV/0!	24.73	2.18	
15	2.65	25.60	1.80	25.24	2.07	29.38	0.90	#DIV/0!	#DIV/0!	26.64	2.49	
16	2.60	24.58	1.88	24.46	2.14	28.29	1.33	#DIV/0!	#DIV/0!	25.65	2.52	
17	2.11	23.56	1.32	23.69	1.92	27.29	0.64	#DIV/0!	#DIV/0!	24.58	2.14	
18	2.75	25.24	1.72	25.21	2.09	29.50	0.93	#DIV/0!	#DIV/0!	26.46	2.56	
19	2.68	24.30	1.72	24.45	2.14	28.40	1.37	#DIV/0!	#DIV/0!	25.47	2.53	
20	2.01	23.97	1.30	24.38	2.33	27.31	0.70	#DIV/0!	#DIV/0!	24.87	1.98	
21	2.65	25.97	1.85	25.93	1.85	29.45	0.86	#DIV/0!	#DIV/0!	26.96	2.26	
22	2.48	24.88	1.86	25.19	2.21	28.41	1.33	#DIV/0!	#DIV/0!	25.88	2.36	
23	2.13	24.08	1.42	23.94	1.92	27.51	0.64	#DIV/0!	#DIV/0!	24.38	1.85	
24	2.61	26.06	1.81	25.50	2.08	29.60	0.83	#DIV/0!	#DIV/0!	26.29	2.20	
25	2.55	24.97	1.88	24.73	2.14	28.59	1.29	#DIV/0!	#DIV/0!	25.29	2.23	
26	2.04	23.98	1.36	23.77	2.16	27.52	0.74	#DIV/0!	#DIV/0!	24.33	1.88	
27	2.74	25.93	1.90	25.31	2.30	29.80	0.56	#DIV/0!	#DIV/0!	26.26	2.35	
28	2.53	24.87	1.89	24.59	2.34	28.70	1.32	#DIV/0!	#DIV/0!	25.26	2.32	
29	1.99	24.15	1.44	23.56	1.74	27.45	0.50	#DIV/0!	#DIV/0!	24.84	2.03	
30	2.46	26.16	1.74	25.40	1.89	29.40	0.81	#DIV/0!	#DIV/0!	26.87	2.24	
31	2.40	25.07	1.87	24.45	2.02	28.43	1.19	#DIV/0!	#DIV/0!	25.80	2.36	
32	2.10	24.00	1.40	23.96	1.84	27.58	0.50	#DIV/0!	#DIV/0!	24.84	2.06	
33	2.81	25.98	1.86	25.65	1.89	29.58	0.78	#DIV/0!	#DIV/0!	26.83	2.33	
34	2.59	24.90	1.90	24.79	2.04	28.58	1.20	#DIV/0!	#DIV/0!	25.79	2.41	
35	1.96	24.18	1.39	23.71	1.90	27.47	0.73	#DIV/0!	#DIV/0!	24.86	2.09	
36	2.36	26.16	1.84	25.34	2.11	29.60	0.87	#DIV/0!	#DIV/0!	26.84	2.44	
37	2.42	25.08	1.89	24.51	2.16	28.53	1.34	#DIV/0!	#DIV/0!	25.80	2.47	
38	1.97	23.76	1.42	23.76	1.90	27.43	0.63	#DIV/0!	#DIV/0!	24.73	2.17	
39	2.35	25.59	1.69	25.35	2.06	29.59	0.82	#DIV/0!	#DIV/0!	26.67	2.48	
40	2.43	24.58	1.79	24.53	2.12	28.49	1.31	#DIV/0!	#DIV/0!	25.65	2.51	
41	1.65	24.41	1.48	23.78	1.77	27.37	0.75	#DIV/0!	#DIV/0!	25.00	1.99	
42	2.05	26.41	1.82	25.49	2.05	29.32	0.93	#DIV/0!	#DIV/0!	26.98	2.26	
43	2.17	25.32	1.92	24.61	2.08	28.34	1.29	#DIV/0!	#DIV/0!	25.94	2.34	
44	1.74	24.08	1.42	24.17	2.25	27.58	0.51	#DIV/0!	#DIV/0!	24.69	1.88	
45	2.15	26.38	1.76	26.13	1.65	29.80	0.56	#DIV/0!	#DIV/0!	27.03	2.09	
46	2.11	25.18	1.96	25.29	2.04	28.73	1.25	#DIV/0!	#DIV/0!	25.84	2.30	
47	1.98	24.32	1.52	23.77	1.91	27.79	1.05	#DIV/0!	#DIV/0!	24.48	1.96	
48	2.35	26.17	1.83	25.31	2.13	29.70	0.88	#DIV/0!	#DIV/0!	26.28	2.26	
49	2.34	25.17	1.91	24.52	2.16	28.78	1.36	#DIV/0!	#DIV/0!	25.34	2.29	
50	1.96	24.06	1.40	24.64	1.97	27.45	0.88	#DIV/0!	#DIV/0!	25.24	2.04	
51	2.27	26.17	1.86	26.16	1.85	29.74	0.54	#DIV/0!	#DIV/0!	27.47	2.29	
52	2.25	25.06	1.94	25.53	1.97	28.61	1.36	#DIV/0!	#DIV/0!	26.34	2.43	
53	1.91	24.21	1.40	23.66	1.91	27.43	0.56	#DIV/0!	#DIV/0!	24.81	2.04	
54	2.29	26.18	1.78	25.26	2.07	29.68	0.89	#DIV/0!	#DIV/0!	26.79	2.42	
55	2.27	25.11	1.86	24.46	2.14	28.55	1.35	#DIV/0!	#DIV/0!	25.76	2.43	
56	1.76	24.23	1.43	23.65	1.89	27.49	0.57	#DIV/0!	#DIV/0!	24.82	2.06	
57	2.19	26.17	1.80	25.24	2.12	29.70	0.72	#DIV/0!	#DIV/0!	26.78	2.43	
58	2.16	25.12	1.87	24.43	2.15	28.59	1.29	#DIV/0!	#DIV/0!	25.76	2.45	
59	1.94	24.08	1.40	24.80	2.23	27.50	0.61	#DIV/0!	#DIV/0!	25.27	2.02	
60	2.34	26.19	1.84	26.42	1.67	29.73	0.68	#DIV/0!	#DIV/0!	27.49	2.27	
61	2.36	25.07	1.93	25.70	2.00	28.61	1.29	#DIV/0!	#DIV/0!	26.34	2.41	
62	2.42	24.95	1.89	24.51	2.12	28.52	1.30	#DIV/0!	#DIV/0!	25.65	2.42	

Anexo 4. Media y desviación estándar de la temperatura del agua en el año 2019

	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM
5	2019										Suma
6	Invierno		Otoño		Primavera		Verano		Total 2019		
7	d	€ AVERAGE	STDEV	d	€ AVERAGE	STDEV	d	€ AVERAGE	STDEV	d	€ AVERAGE
8	3	#DIV/0!	#DIV/0!	26.25	0.89	25.00	0.00	25.14	0.74	25.36	0.87
9	8	#DIV/0!	#DIV/0!	28.50	0.58	27.50	3.54	28.81	1.33	28.70	1.39
10	1	#DIV/0!	#DIV/0!	27.00	1.35	26.25	2.50	27.03	2.14	26.99	2.04
11	8	25.19	1.38	26.29	1.22	25.00	0.00	25.24	0.79	25.76	1.24
12	1	25.87	1.19	27.77	1.09	27.50	3.54	28.97	1.25	27.86	1.61
13	8	25.52	1.31	26.94	1.38	26.25	2.50	27.17	2.15	26.76	1.77
14	8	24.00	#DIV/0!	26.23	1.20	#DIV/0!	#DIV/0!	25.40	0.87	25.94	1.18
15	9	26.00	#DIV/0!	27.89	1.08	#DIV/0!	#DIV/0!	28.96	1.32	28.26	1.30
16	2	25.00	1.41	26.98	1.41	#DIV/0!	#DIV/0!	27.25	2.11	27.05	1.70
17	4	25.15	1.35	26.25	1.19	#DIV/0!	#DIV/0!	25.36	0.76	25.80	1.23
18	6	26.00	1.29	27.95	1.20	#DIV/0!	#DIV/0!	29.04	1.37	27.87	1.66
19	3	25.56	1.37	27.02	1.46	#DIV/0!	#DIV/0!	27.27	2.16	26.79	1.78
20	8	25.23	1.28	26.23	1.20	29.00	#DIV/0!	25.24	0.83	25.66	1.29
21	6	26.44	1.48	27.98	1.23	29.50	0.71	29.04	1.13	27.70	1.66
22	6	25.76	1.49	27.02	1.49	29.33	0.58	27.21	2.15	26.61	1.79
23	5	25.08	1.25	26.23	1.20	25.40	0.74	25.44	0.87	25.53	1.15
24	0	27.24	1.92	27.95	1.22	29.13	1.09	29.19	1.08	28.32	1.61
25	3	26.01	1.90	27.01	1.48	27.26	2.09	27.38	2.13	26.84	1.97
26	8	25.04	1.31	26.25	1.19	25.46	0.73	25.48	0.82	25.52	1.16
27	5	27.00	1.90	27.89	1.10	28.95	1.07	29.07	1.11	28.17	1.60
28	2	25.90	1.86	26.99	1.41	27.21	1.98	27.35	2.06	26.77	1.92
29	3	25.09	1.28	26.26	1.20	25.38	0.74	25.38	0.78	25.49	1.11
30	4	27.03	1.92	27.93	1.15	28.88	1.04	28.97	1.14	28.25	1.54
31	6	25.93	1.85	27.02	1.44	27.12	1.97	27.23	2.05	26.80	1.92
32	6	25.13	1.23	26.25	1.19	25.30	0.59	25.31	0.81	25.46	1.06
33	3	27.03	1.93	27.86	1.07	29.04	1.03	29.03	1.28	28.31	1.59
34	1	25.95	1.83	26.98	1.39	27.16	2.06	27.23	2.16	26.81	1.95
35	9	25.07	1.29	26.25	1.19	25.37	0.66	25.45	0.87	25.50	1.09
36	4	27.27	2.04	27.91	1.14	29.08	0.94	28.87	1.26	28.43	1.50
37	7	25.97	1.96	27.00	1.43	27.22	2.03	27.22	2.03	26.88	1.96
38	7	25.11	1.32	26.24	1.23	25.36	0.64	25.45	0.83	25.52	1.07
39	8	27.21	2.16	27.95	1.18	28.95	0.97	28.97	1.30	28.43	1.51
40	1	26.02	2.02	27.00	1.48	27.13	1.98	27.27	2.08	26.90	1.95
41	9	25.75	0.72	26.00	0.93	25.54	0.82	25.38	0.97	25.59	0.84
42	6	27.96	1.74	29.00	1.58	29.10	0.95	29.07	1.47	28.88	1.33
43	4	26.67	1.66	27.15	1.91	27.32	1.99	27.33	2.24	27.18	1.98
44	8	25.26	1.36	26.33	1.15	25.57	0.88	25.00	0.00	25.64	1.18
45	9	27.06	1.95	27.98	1.16	29.05	0.93	28.50	1.00	28.25	1.56
46	0	26.01	1.85	27.07	1.42	27.29	1.96	26.75	1.98	26.85	1.89
47	6	25.26	1.36	26.26	1.13	25.53	0.90	26.00	0.00	25.63	1.17
48	6	27.09	2.01	27.91	1.12	29.02	1.01	29.00	0.82	28.25	1.58
49	9	26.02	1.88	27.01	1.39	27.27	1.99	27.50	1.69	26.85	1.90
50	4	25.26	1.36	26.25	1.14	25.45	0.85	25.00	0.00	25.58	1.16
51	9	27.03	1.93	27.93	1.15	28.93	0.96	29.00	1.41	28.20	1.54
52	3	26.00	1.83	27.01	1.42	27.18	1.96	27.00	2.33	26.79	1.88
53	4	25.25	1.35	26.26	1.13	25.52	0.83	25.00	0.00	25.60	1.15
54	2	27.05	1.92	27.95	1.20	29.08	1.02	28.50	0.58	28.27	1.59
55	3	25.99	1.84	27.03	1.43	27.29	2.01	26.75	1.91	26.84	1.91
56	6	25.26	1.36	26.28	1.12	25.51	0.85	25.00	0.00	25.61	1.16
57	3	27.06	1.95	27.89	1.08	29.03	0.98	28.50	0.58	28.23	1.55
58	5	26.01	1.85	27.01	1.36	27.26	1.99	26.75	1.91	26.82	1.89
59	2	25.25	1.36	26.26	1.13	25.44	0.88	25.00	0.00	25.57	1.17
60	7	27.02	1.99	27.98	1.19	28.92	1.30	29.00	0.00	28.20	1.67
61	1	25.99	1.87	27.04	1.44	27.17	2.07	27.00	2.14	26.79	1.94
62	2	25.97	1.82	27.01	1.42	27.22	2.00	27.22	2.09	26.84	1.91

Anexo 5. Media y desviación estándar del oxígeno disuelto en el agua en el año 2016

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
4			Año	1.1	Tempc	Valores			
5			2016				Total 2016		2017
6			Invierno		Otoño				Invierno
7	3. Estanq	2. Hora de	AVERAGE	STDEV	d	AVERAGE	STDEV	d	AVERAGE
8	1	M1	6.53	0.84	6.06	1.58	6.09	1.54	7.74
9		M2	9.55	1.34	10.95	2.90	10.87	2.84	9.25
10	Total 1		7.74	1.88	8.23	3.32	8.19	3.24	8.29
11	2	M1	7.15	1.81	5.95	1.26	6.14	1.41	8.24
12		M2	7.82	2.07	10.56	2.79	10.20	2.85	10.63
13	Total 2		7.41	1.86	8.01	3.10	7.92	2.95	9.10
14	3	M1	6.60	2.64	5.96	1.51	6.03	1.64	7.07
15		M2	6.25	1.77	11.05	3.24	10.76	3.36	10.40
16	Total 3		6.50	2.28	8.18	3.50	8.03	3.43	8.31
17	4	M1	6.26	1.53	5.68	1.35	5.78	1.39	6.82
18		M2	5.72	0.91	9.41	2.70	8.92	2.83	7.31
19	Total 4		6.05	1.31	7.34	2.77	7.15	2.64	7.00
20	5	M1	6.50	1.28	5.76	1.54	5.88	1.51	6.34
21		M2	5.98	2.04	9.07	2.66	8.66	2.78	7.23
22	Total 5		6.30	1.55	7.22	2.67	7.08	2.55	6.67
23	6	M1	6.48	1.55	5.54	1.41	5.69	1.46	6.00
24		M2	6.44	1.38	11.23	3.51	10.60	3.68	6.79
25	Total 6		6.46	1.42	8.05	3.81	7.81	3.60	6.29
26	7	M1	6.31	0.70	5.82	1.56	5.90	1.46	6.21
27		M2	7.32	2.87	9.09	2.29	8.86	2.41	7.25
28	Total 7		6.70	1.82	7.26	2.51	7.18	2.42	6.59
29	8	M1	6.53	1.84	5.81	1.38	5.92	1.46	6.20
30		M2	7.70	1.71	11.86	3.58	11.31	3.67	9.26
31	Total 8		6.98	1.82	8.47	3.97	8.25	3.76	7.33
32	9	M1	6.39	1.33	6.08	1.26	6.13	1.26	6.76
33		M2	8.24	2.84	11.61	3.14	11.17	3.27	9.71
34	Total 9		7.10	2.15	8.52	3.57	8.31	3.43	7.85
35	10	M1	7.16	3.50	6.04	1.56	6.22	1.99	6.12
36		M2	9.48	2.46	12.37	4.12	11.99	4.04	10.38
37	Total 10		8.05	3.25	8.83	4.32	8.71	4.18	7.69
38	11	M1	6.40	1.63	5.64	1.35	5.76	1.41	5.90
39		M2	8.45	1.82	10.22	2.52	9.95	2.49	10.00
40	Total 11		7.28	1.95	7.65	3.00	7.60	2.85	7.42
41	12	M1	5.60	0.55	5.64	1.38	5.63	1.30	5.64
42		M2	6.37	1.64	9.84	2.30	9.55	2.44	8.36
43	Total 12		5.86	1.01	7.51	2.79	7.33	2.70	6.65
44	15	M1	7.58	3.13	5.63	1.02	5.93	1.66	7.61
45		M2	14.38	2.77	9.48	2.86	10.18	3.30	11.21
46	Total 15		10.49	4.52	7.38	2.82	7.85	3.30	9.08
47	16	M1	7.29	3.38	5.72	1.06	5.96	1.69	6.02
48		M2	12.18	2.88	9.43	2.64	9.82	2.82	11.17
49	Total 16		9.39	3.95	7.41	2.68	7.71	2.97	8.08
50	17	M1	7.28	2.54	5.76	0.96	6.00	1.41	6.26
51		M2	13.97	4.17	8.62	2.48	9.39	3.31	11.50
52	Total 17		10.14	4.69	7.06	2.31	7.53	2.97	8.32
53	18	M1	7.30	2.75	5.52	1.10	5.80	1.58	5.74
54		M2	13.23	4.90	9.63	2.99	10.14	3.49	11.63
55	Total 18		9.84	4.75	7.39	2.98	7.76	3.39	8.03
56	19	M1	6.11	3.67	5.36	1.08	5.48	1.71	4.54
57		M2	11.40	3.44	10.59	3.15	10.71	3.16	10.36
58	Total 19		8.38	4.38	7.74	3.46	7.84	3.59	6.83
59	20	M1	6.13	3.74	5.59	1.15	5.68	1.76	5.40
60		M2	13.44	1.78	10.96	3.37	11.26	3.30	12.05
61	Total 20		8.94	4.79	8.04	3.61	8.17	3.78	8.06
62	Suma total		7.87	3.38	7.79	3.24	7.80	3.26	7.61

Anexo 6. Media y desviación estándar del oxígeno disuelto en el agua en el año 2017

	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	
4											
5	2017										Total 2017
6	Invierno		Otoño		Primavera		Verano		Invi		
7	V d€	AVERAGE	STDEV d€	AVERAGE	STDEV d€	AVERAGE	STDEV d€	AVERAGE	STDEV d€	AVERAGE	STDEV d€
8	5.54	7.74	3.03	7.61	3.20	6.29	3.13	4.41	1.72	6.26	3.08
9	2.84	9.25	3.60	11.01	4.94	8.37	2.87	7.32	2.66	8.87	3.93
10	3.24	8.29	3.29	8.98	4.31	7.17	3.18	5.71	2.62	7.35	3.69
11	2.41	8.24	3.41	6.79	2.61	5.07	1.96	4.35	1.89	5.89	2.82
12	2.85	10.63	3.64	10.42	3.42	6.69	1.88	7.46	2.66	8.70	3.37
13	2.95	9.10	3.65	8.26	3.45	5.77	2.07	5.71	2.73	7.06	3.36
14	2.64	7.07	2.72	5.75	1.86	5.01	2.40	4.05	1.46	5.20	2.27
15	3.36	10.40	3.83	9.74	3.01	6.38	1.83	7.27	2.52	8.21	3.14
16	3.43	8.31	3.54	7.28	3.06	5.60	2.26	5.48	2.57	6.45	3.05
17	2.39	6.82	2.51	6.21	2.02	4.76	2.06	3.54	1.31	4.76	2.31
18	2.83	7.31	2.47	8.96	2.61	6.88	1.85	7.07	2.29	7.15	2.25
19	2.64	7.00	2.48	7.13	2.52	5.69	2.22	5.11	2.52	5.77	2.57
20	2.51	6.34	2.21	5.75	2.14	4.95	1.66	3.81	1.53	5.11	2.10
21	2.78	7.23	3.54	7.24	3.38	7.76	1.78	6.96	2.04	7.28	2.69
22	2.55	6.67	2.78	6.36	2.80	6.17	2.21	5.21	2.37	6.02	2.59
23	2.46	6.00	1.94	5.45	2.08	4.45	1.60	3.62	1.56	4.88	2.05
24	3.68	6.79	2.10	9.96	3.42	7.61	2.36	7.09	2.56	8.18	3.12
25	3.60	6.29	2.02	7.28	3.49	5.83	2.51	5.16	2.69	6.25	3.03
26	2.46	6.21	1.98	5.37	2.11	4.58	1.54	3.66	1.36	4.81	1.97
27	2.41	7.25	2.72	7.59	3.57	6.97	1.78	7.25	2.38	7.29	2.72
28	2.42	6.59	2.32	6.27	2.99	5.60	2.02	5.25	2.59	5.84	2.61
29	2.46	6.20	2.00	5.90	2.26	4.02	1.33	3.75	1.46	4.93	2.11
30	3.67	9.26	2.45	11.63	4.39	6.48	1.84	7.26	2.58	8.74	3.78
31	3.76	7.33	2.62	8.21	4.32	5.04	1.98	5.32	2.68	6.51	3.47
32	2.26	6.76	1.84	6.18	2.33	4.12	1.56	3.57	1.37	5.08	2.28
33	3.27	9.71	3.45	10.67	3.13	7.18	2.09	7.12	2.12	8.65	3.14
34	3.43	7.85	2.91	7.99	3.47	5.43	2.35	5.11	2.47	6.56	3.19
35	2.99	6.12	1.89	6.16	2.31	4.26	2.00	3.48	1.30	4.93	2.25
36	3.04	10.38	2.88	13.14	4.15	7.62	2.60	7.84	2.59	9.76	3.99
37	3.18	7.69	3.08	8.97	4.68	5.74	2.83	5.39	2.93	6.95	3.90
38	2.41	5.90	1.72	5.44	2.20	3.89	1.87	3.32	1.18	4.53	2.06
39	2.49	10.00	3.24	11.64	3.39	7.32	2.01	7.41	2.40	8.93	3.33
40	2.85	7.42	3.10	7.82	4.06	5.39	2.57	5.15	2.74	6.35	3.43
41	2.30	5.64	1.55	4.74	1.67	3.99	1.47	3.24	1.23	4.18	1.67
42	2.44	8.36	3.53	6.17	3.48	8.00	2.75	6.14	2.26	6.85	3.04
43	2.70	6.65	2.78	5.31	2.64	5.71	2.90	4.53	2.28	5.30	2.69
44	2.66	7.61	2.62	5.50	1.90	4.31	1.22	3.33	1.05	4.74	2.12
45	3.30	11.21	3.72	11.14	2.80	7.53	2.24	6.48	2.87	8.61	3.53
46	3.30	9.08	3.56	7.75	3.60	5.70	2.35	4.74	2.59	6.38	3.39
47	2.69	6.02	1.85	4.53	1.89	3.89	1.07	3.19	1.24	4.14	1.75
48	2.82	11.17	4.14	10.63	3.34	7.50	2.25	7.35	3.10	8.73	3.50
49	2.97	8.08	3.90	6.97	3.94	5.45	2.46	5.05	3.07	6.09	3.48
50	2.41	6.26	1.65	5.43	1.69	3.58	1.05	3.21	1.06	4.43	1.82
51	3.31	11.50	3.61	12.08	3.37	6.56	1.65	6.95	2.46	8.98	3.76
52	2.97	8.32	3.65	8.11	4.12	4.83	1.99	4.88	2.60	6.34	3.59
53	2.58	5.74	1.86	4.26	1.60	3.24	0.96	3.20	1.26	3.91	1.66
54	3.49	11.63	3.83	11.70	2.97	6.25	1.28	7.31	3.42	9.04	3.85
55	3.39	8.03	4.01	7.24	4.29	4.49	1.85	5.02	3.19	6.04	3.76
56	2.71	4.54	1.42	5.16	1.91	3.85	1.26	2.92	1.02	4.05	1.71
57	3.16	10.36	3.03	11.93	3.65	7.54	2.49	6.71	2.77	8.83	3.74
58	3.59	6.83	3.60	7.87	4.30	5.43	2.63	4.61	2.74	6.06	3.62
59	2.76	5.40	2.02	5.20	2.08	3.53	1.04	2.83	1.08	4.08	1.92
60	3.30	12.05	3.61	12.39	4.06	7.80	2.58	6.83	2.80	9.26	4.10
61	3.78	8.06	4.28	8.03	4.63	5.41	2.83	4.61	2.84	6.27	3.97
62	3.26	7.61	3.31	7.57	3.92	5.58	2.50	5.11	2.70	6.31	3.38

Anexo 7. Media y desviación estándar del oxígeno disuelto en el agua en el año 2018

	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	
4											
5	2018										Total 2018
6	Invierno		Otoño		Primavera		Verano		Invi		
7	dε	AVERAGE	STDEV	dε	AVERAGE	STDEV	dε	AVERAGE	STDEV	dε	AVERAGE
8	.08	5.59	1.59	2.70	0.46	3.95	0.95	#DIV/0!	#DIV/0!	4.34	1.82
9	.93	6.93	2.09	4.47	0.86	5.39	1.05	#DIV/0!	#DIV/0!	5.76	1.95
10	.69	6.18	1.94	3.55	1.12	4.70	1.22	#DIV/0!	#DIV/0!	5.00	2.00
11	.82	4.86	1.52	2.80	0.61	4.02	0.95	#DIV/0!	#DIV/0!	4.18	1.57
12	.37	6.71	1.49	4.52	0.84	5.33	1.15	#DIV/0!	#DIV/0!	5.89	1.63
13	.36	5.70	1.76	3.62	1.13	4.68	1.24	#DIV/0!	#DIV/0!	4.98	1.81
14	.27	5.52	1.46	2.77	0.68	3.75	0.75	#DIV/0!	#DIV/0!	4.09	1.59
15	.14	7.04	1.97	4.66	0.81	5.44	1.14	#DIV/0!	#DIV/0!	5.67	1.70
16	.05	6.17	1.85	3.69	1.20	4.59	1.28	#DIV/0!	#DIV/0!	4.84	1.82
17	.31	4.97	1.69	2.90	0.67	3.77	0.74	#DIV/0!	#DIV/0!	4.00	1.51
18	.25	6.46	1.86	4.62	0.85	5.46	1.00	#DIV/0!	#DIV/0!	5.55	1.55
19	.57	5.63	1.91	3.74	1.15	4.62	1.22	#DIV/0!	#DIV/0!	4.74	1.71
20	.10	4.77	1.41	2.95	0.66	3.71	0.75	#DIV/0!	#DIV/0!	4.24	1.37
21	.69	6.41	1.65	4.75	0.77	5.43	0.87	#DIV/0!	#DIV/0!	5.85	1.49
22	.59	5.52	1.73	3.89	1.16	4.60	1.18	#DIV/0!	#DIV/0!	5.02	1.64
23	.05	4.89	1.60	2.84	0.50	3.74	0.59	#DIV/0!	#DIV/0!	4.15	1.58
24	.12	6.46	1.74	4.60	0.82	5.67	1.06	#DIV/0!	#DIV/0!	5.74	1.65
25	.03	5.60	1.84	3.71	1.11	4.78	1.30	#DIV/0!	#DIV/0!	4.91	1.80
26	.97	4.95	1.61	3.01	0.73	3.59	0.76	#DIV/0!	#DIV/0!	4.36	1.62
27	.72	6.43	1.71	4.62	0.95	5.64	0.74	#DIV/0!	#DIV/0!	5.86	1.64
28	.61	5.63	1.81	3.83	1.17	4.66	1.28	#DIV/0!	#DIV/0!	5.08	1.79
29	.11	4.91	1.64	3.03	0.90	3.89	0.77	#DIV/0!	#DIV/0!	4.24	1.53
30	.78	6.53	1.74	4.78	0.57	5.44	0.97	#DIV/0!	#DIV/0!	5.83	1.54
31	.47	5.65	1.87	3.88	1.16	4.66	1.17	#DIV/0!	#DIV/0!	5.00	1.73
32	.28	5.00	1.66	2.83	0.63	3.72	0.72	#DIV/0!	#DIV/0!	4.15	1.57
33	.14	6.70	1.83	4.62	0.79	5.45	1.03	#DIV/0!	#DIV/0!	5.82	1.67
34	.19	5.78	1.93	3.70	1.15	4.58	1.24	#DIV/0!	#DIV/0!	4.94	1.82
35	.25	5.18	1.70	2.79	0.52	3.73	0.80	#DIV/0!	#DIV/0!	4.12	1.62
36	.99	6.90	1.84	4.66	0.79	5.80	0.93	#DIV/0!	#DIV/0!	5.92	1.65
37	.90	5.96	1.96	3.69	1.15	4.76	1.35	#DIV/0!	#DIV/0!	4.97	1.87
38	.06	5.06	1.84	2.84	0.70	3.98	1.20	#DIV/0!	#DIV/0!	4.09	1.69
39	.33	6.76	2.31	4.68	0.72	5.53	1.06	#DIV/0!	#DIV/0!	5.71	1.80
40	.43	5.80	2.21	3.73	1.16	4.76	1.36	#DIV/0!	#DIV/0!	4.85	1.92
41	.67	5.16	1.57	2.97	0.72	4.01	1.05	#DIV/0!	#DIV/0!	4.30	1.57
42	.04	7.00	1.74	4.84	0.58	5.57	1.14	#DIV/0!	#DIV/0!	6.02	1.64
43	.69	6.00	1.88	3.86	1.14	4.79	1.35	#DIV/0!	#DIV/0!	5.12	1.82
44	.12	4.88	1.11	3.33	0.58	3.92	0.70	#DIV/0!	#DIV/0!	4.68	1.12
45	.53	6.86	1.10	5.03	0.05	6.07	1.07	#DIV/0!	#DIV/0!	6.61	1.16
46	.39	5.83	1.48	4.30	0.96	5.12	1.42	#DIV/0!	#DIV/0!	5.64	1.50
47	.75	5.23	1.62	2.97	0.70	4.02	0.67	#DIV/0!	#DIV/0!	4.43	1.69
48	.50	6.88	1.60	4.82	0.76	5.93	1.00	#DIV/0!	#DIV/0!	6.07	1.61
49	.48	5.98	1.81	3.90	1.18	5.13	1.29	#DIV/0!	#DIV/0!	5.22	1.84
50	.82	5.09	1.25	4.10	1.91	4.32	0.67	#DIV/0!	#DIV/0!	4.80	1.17
51	.76	7.20	1.51	5.08	0.72	6.29	0.86	#DIV/0!	#DIV/0!	6.76	1.39
52	.59	6.08	1.73	4.71	1.26	5.36	1.26	#DIV/0!	#DIV/0!	5.78	1.61
53	.66	5.13	1.62	3.13	0.74	4.29	0.70	#DIV/0!	#DIV/0!	4.40	1.52
54	.85	7.06	1.70	4.81	0.72	6.36	0.84	#DIV/0!	#DIV/0!	6.23	1.60
55	.76	6.02	1.91	3.98	1.11	5.37	1.30	#DIV/0!	#DIV/0!	5.29	1.80
56	.71	5.15	1.55	3.09	0.71	4.45	0.87	#DIV/0!	#DIV/0!	4.43	1.51
57	.74	6.96	1.65	4.77	0.80	6.50	0.94	#DIV/0!	#DIV/0!	6.21	1.59
58	.62	5.98	1.83	3.93	1.13	5.52	1.37	#DIV/0!	#DIV/0!	5.29	1.78
59	.92	5.12	1.30	4.07	1.85	4.64	1.12	#DIV/0!	#DIV/0!	4.93	1.27
60	.10	7.38	1.55	5.10	0.14	6.40	0.99	#DIV/0!	#DIV/0!	6.94	1.46
61	.97	6.17	1.82	4.66	1.21	5.55	1.37	#DIV/0!	#DIV/0!	5.91	1.69
62	.38	5.86	1.85	3.79	1.15	4.91	1.33	#DIV/0!	#DIV/0!	5.12	1.81

Anexo 8. Media y desviación estándar del oxígeno disuelto en el agua en el año 2019

	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM
4											
5	2019										
6	Total 2019										
7	Suma										
8	Invierno	Otoño	Primavera	Verano							
9	dé AVERAGE	STDEV	dé AVERAGE	STDEV	dé AVERAGE	STDEV	dé AVERAGE	STDEV	dé AVERAGE	STDEV	dé AVERAGE
10	2	#DIV/0!	3.67	1.03	3.00	0.00	3.38	1.32	3.41	1.24	5
11	5	#DIV/0!	6.00	2.00	5.00	0.00	5.81	1.49	5.78	1.49	7
12	0	#DIV/0!	4.60	1.84	4.00	1.15	4.63	1.86	4.59	1.81	6
13	7	2.25	3.02	1.02	3.00	0.00	3.66	1.52	3.08	1.23	4
14	3	3.43	4.32	1.47	5.00	0.00	5.77	1.50	4.72	1.62	7
15	1	2.80	3.59	1.39	4.00	1.15	4.75	1.84	3.86	1.64	5
16	9	4.00	3.12	0.98	#DIV/0!	#DIV/0!	4.12	1.45	3.45	1.23	4
17	0	5.00	4.65	1.43	#DIV/0!	#DIV/0!	6.33	1.71	5.30	1.73	7
18	2	4.50	3.81	1.42	#DIV/0!	#DIV/0!	5.27	1.93	4.33	1.75	5
19	1	2.55	3.06	1.00	#DIV/0!	#DIV/0!	4.24	1.56	3.26	1.32	4
20	5	3.72	4.60	1.55	#DIV/0!	#DIV/0!	6.37	1.74	4.97	1.81	6
21	1	3.11	3.76	1.49	#DIV/0!	#DIV/0!	5.35	1.96	4.07	1.78	5
22	7	3.19	3.21	1.24	3.00	#DIV/0!	4.76	1.45	3.50	1.40	4
23	9	4.82	4.56	1.40	6.50	0.71	6.48	1.60	5.15	1.79	6
24	4	3.87	3.82	1.47	5.33	2.08	5.65	1.75	4.25	1.79	5
25	8	3.27	3.23	1.10	3.24	1.04	4.64	1.63	3.45	1.27	4
26	5	5.30	4.70	1.39	5.68	1.08	6.41	1.55	5.42	1.64	6
27	0	4.10	3.89	1.43	4.46	1.61	5.56	1.81	4.36	1.75	5
28	2	3.28	3.29	0.96	3.19	0.96	4.60	1.44	3.43	1.18	4
29	4	4.92	4.84	1.48	5.46	1.25	6.41	1.72	5.30	1.78	6
30	9	3.97	3.99	1.44	4.32	1.59	5.54	1.82	4.30	1.75	5
31	3	3.23	3.29	1.05	3.20	0.88	4.45	1.53	3.39	1.14	4
32	4	4.87	5.02	1.50	5.68	1.21	6.55	1.46	5.48	1.58	7
33	3	3.92	4.07	1.54	4.44	1.63	5.53	1.82	4.37	1.71	5
34	7	3.19	3.17	1.08	3.30	0.93	4.66	1.52	3.41	1.21	4
35	7	4.79	4.86	1.37	5.68	1.10	6.48	1.36	5.41	1.46	6
36	2	3.86	3.94	1.48	4.48	1.57	5.60	1.70	4.35	1.66	5
37	2	3.30	3.31	1.08	3.22	0.90	4.62	1.50	3.45	1.17	4
38	5	5.25	4.86	1.30	5.79	1.03	6.45	1.59	5.58	1.46	7
39	7	4.06	4.01	1.41	4.50	1.61	5.57	1.79	4.44	1.69	5
40	9	3.20	3.21	1.05	3.33	1.08	4.69	1.54	3.47	1.27	4
41	0	5.34	5.00	1.28	5.81	1.10	6.48	1.57	5.66	1.61	7
42	2	4.04	4.02	1.46	4.56	1.65	5.62	1.79	4.50	1.81	5
43	7	2.77	3.64	1.12	3.66	1.27	4.87	1.52	3.67	1.39	4
44	4	4.00	5.67	1.03	5.98	1.07	6.65	1.52	5.76	1.56	6
45	2	3.24	4.35	1.46	4.83	1.65	5.82	1.75	4.66	1.80	5
46	2	3.44	3.76	1.49	3.91	1.08	3.67	1.15	3.70	1.26	4
47	6	5.40	5.36	1.66	6.86	1.09	6.00	1.15	6.03	1.69	7
48	0	4.28	4.48	1.75	5.42	1.83	5.00	1.63	4.79	1.88	5
49	9	3.45	3.85	1.45	4.04	1.08	3.67	1.15	3.78	1.26	4
50	1	5.37	5.44	1.52	7.03	1.10	6.00	1.15	6.12	1.65	7
51	4	4.27	4.57	1.67	5.58	1.85	5.00	1.63	4.88	1.87	5
52	7	3.55	4.00	1.46	4.23	1.02	3.67	1.15	3.92	1.27	4
53	9	5.47	5.47	1.64	7.05	1.26	6.00	1.15	6.17	1.77	7
54	1	4.37	4.66	1.70	5.68	1.82	5.00	1.63	4.98	1.90	5
55	2	3.41	4.00	1.39	4.49	0.93	2.67	0.58	3.95	1.25	4
56	0	5.38	5.56	1.71	7.09	1.25	6.00	1.15	6.19	1.79	7
57	0	4.25	4.71	1.72	5.83	1.71	4.57	1.99	5.00	1.89	5
58	1	3.36	4.00	1.41	4.56	0.86	3.67	1.15	3.98	1.28	4
59	9	5.47	5.53	1.59	7.28	1.21	6.00	1.15	6.29	1.81	7
60	8	4.26	4.69	1.68	5.96	1.73	5.00	1.63	5.07	1.93	5
61	7	3.47	4.13	1.47	4.59	0.96	3.67	1.15	4.06	1.30	4
62	6	5.58	5.52	1.61	7.35	1.27	6.00	1.15	6.35	1.88	7
63	9	4.37	4.76	1.68	6.01	1.78	5.00	1.63	5.14	1.96	5
64	1	4.05	4.18	1.59	5.12	1.81	5.37	1.83	4.60	1.84	5

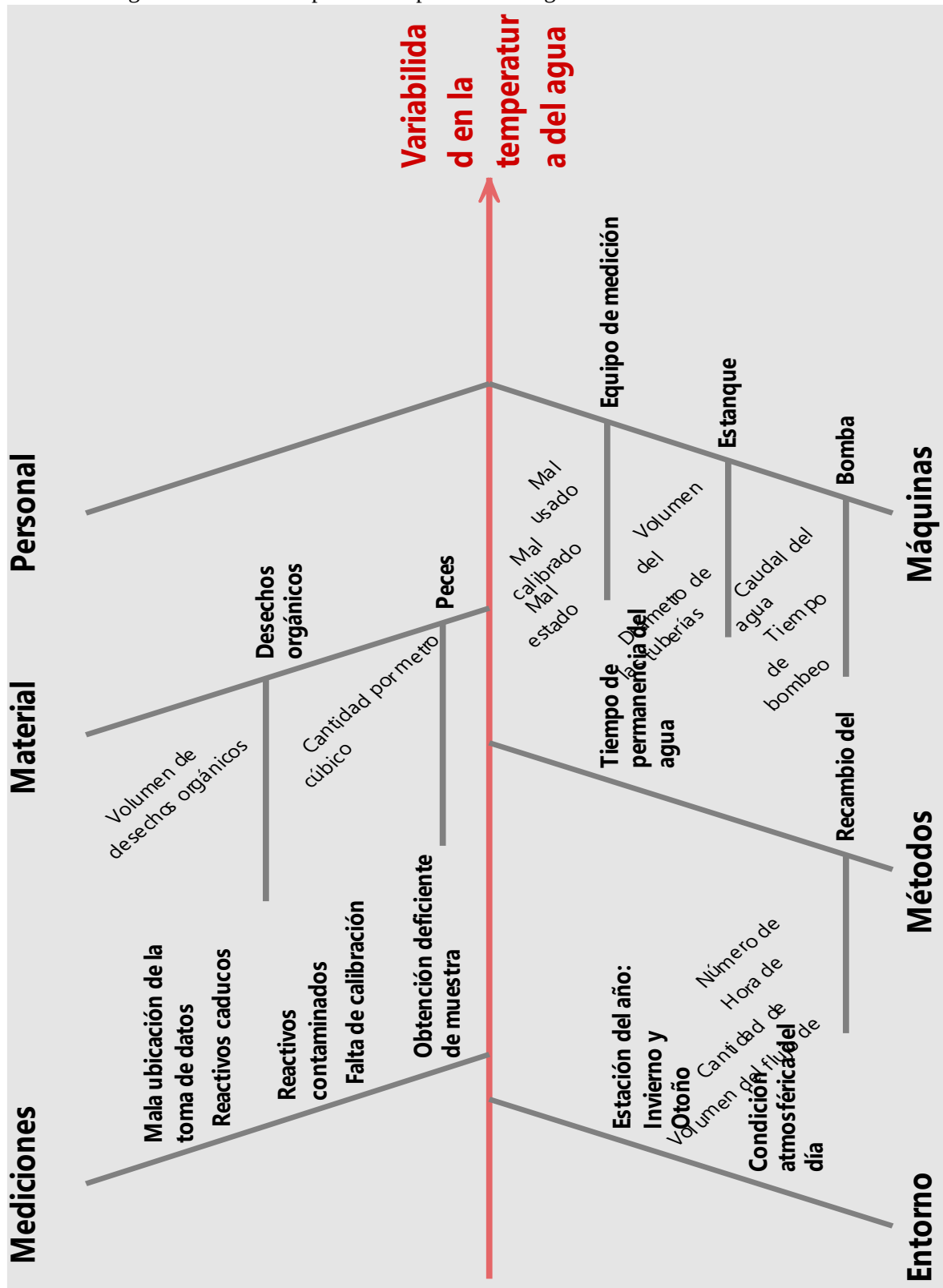
Anexo 9. Cicientes de variación de la temperatura del agua por temporada

Estan- ques y hora	2016		2017				2018			2019				Frecue ncia: datos encima de 5 %
	Otoño	Invier no	Prima vera	Veran o	Otoño	Invier no	Prima vera	Otoño	Invier no	Prima vera	Veran o	Otoño	Invier no	
1	5.0%	3.7%	7.4%	6.2%	7.8%	6.3%	4.5%	8.0%	7.6%	9.5%	7.9%	5.0%		8
1 M1	3.5%	2.8%	6.4%	3.7%	6.4%	5.3%	2.3%	6.9%	6.3%	0.0%	3.0%	3.4%		5
1 M2	3.3%	2.7%	5.7%	5.2%	7.4%	5.0%	0.0%	7.8%	7.3%	12.9%	4.6%	2.0%		7
2	5.6%	4.4%	6.0%	6.1%	7.5%	7.0%	4.8%	8.2%	7.7%	9.5%	7.9%	5.1%	5.1%	11
2 M1	4.6%	3.1%	3.4%	3.3%	6.4%	5.9%	2.7%	7.1%	5.8%	0.0%	3.1%	4.7%	5.5%	5
2 M2	5.0%	4.5%	4.7%	4.8%	7.6%	6.9%	0.9%	7.9%	7.2%	12.9%	4.3%	3.9%	4.6%	6
3	5.2%	6.7%	6.2%	6.1%	8.8%	6.5%	4.7%	8.8%	7.7%		7.8%	5.2%	5.7%	11
3 M1	4.1%	5.2%	4.1%	3.4%	7.3%	5.2%	2.3%	8.2%	6.4%		3.4%	4.6%		5
3 M2	4.2%	9.4%	4.7%	4.9%	9.0%	7.0%	3.1%	8.2%	7.0%		4.5%	3.9%		5
4	5.2%	3.1%	6.3%	6.4%	5.2%	5.7%	4.8%	8.7%	7.1%		7.9%	5.4%	5.4%	10
4 M1	4.5%	3.6%	4.5%	3.9%	5.6%	5.4%	2.3%	8.1%	5.6%		3.0%	4.5%	5.4%	5
4 M2	5.1%	2.2%	5.2%	5.2%	3.9%	5.3%	3.2%	8.3%	6.8%		4.7%	4.3%	5.0%	6
5	5.2%	4.2%	6.0%	5.8%	6.9%	6.1%	4.7%	8.8%	7.5%	2.0%	7.9%	5.5%	5.8%	10
5 M1	4.3%	2.9%	4.9%	3.4%	6.0%	5.6%	2.6%	9.6%	5.4%		3.3%	4.6%	5.1%	5
5 M2	5.3%	3.9%	5.1%	4.3%	7.3%	5.7%	2.9%	7.1%	7.1%	2.4%	3.9%	4.4%	5.6%	7
6	5.1%	3.8%	5.9%	5.8%	8.0%	5.9%	4.5%	8.7%	7.5%	7.7%	7.8%	5.5%	7.3%	11
6 M1	3.6%	3.9%	5.1%	3.4%	7.0%	4.5%	2.3%	8.0%	5.9%	2.9%	3.4%	4.6%	5.0%	4
6 M2	4.8%	2.4%	4.9%	4.8%	7.9%	6.2%	2.8%	8.2%	7.0%	3.8%	3.7%	4.4%	7.1%	5
7	5.4%	3.5%	6.4%	5.5%	7.2%	5.9%	4.6%	9.5%	7.6%	7.3%	7.5%	5.2%	7.2%	11
7 M1	4.2%	2.0%	4.8%	3.0%	6.4%	6.0%	2.7%	9.1%	5.7%	2.9%	3.2%	4.5%	5.2%	5
7 M2	5.9%	3.8%	5.6%	4.1%	7.6%	5.1%	1.9%	9.1%	7.3%	3.7%	3.8%	4.0%	7.0%	7
8	5.1%	3.8%	6.0%	5.7%	7.2%	6.7%	4.2%	8.3%	7.5%	7.3%	7.5%	5.3%	7.1%	11
8 M1	4.1%	3.9%	4.5%	3.6%	6.0%	5.4%	1.8%	7.4%	6.0%	2.9%	3.1%	4.6%	5.1%	5
8 M2	4.2%	4.0%	5.7%	4.8%	6.9%	7.2%	2.8%	7.4%	6.7%	3.6%	3.9%	4.1%	7.1%	6
9	5.3%	5.4%	5.9%	5.6%	7.3%	7.3%	4.2%	8.2%	7.6%	7.6%	7.9%	5.2%	7.0%	12
9 M1	4.4%	4.5%	4.3%	3.1%	6.6%	6.6%	1.8%	7.7%	5.8%	2.3%	3.2%	4.5%	4.9%	4
9 M2	5.1%	5.3%	4.6%	4.3%	7.9%	7.4%	2.6%	7.4%	7.2%	3.5%	4.4%	3.8%	7.1%	7
10	5.3%	5.9%	5.8%	5.7%	7.2%	8.0%	4.7%	8.8%	7.5%	7.4%	7.5%	5.3%	7.5%	12
10 M1	3.8%	4.0%	3.7%	3.0%	6.2%	7.3%	2.6%	8.0%	5.8%	2.6%	3.4%	4.5%	5.1%	5
10 M2	4.8%	7.9%	4.5%	4.2%	7.1%	6.5%	2.9%	8.3%	7.0%	3.2%	4.4%	4.1%	7.5%	6
11	5.2%	4.1%	6.3%	5.7%	7.8%	7.7%	4.6%	8.6%	7.3%	7.3%	7.6%	5.5%	7.8%	11
11 M1	3.6%	3.4%	4.7%	3.2%	6.3%	6.7%	2.3%	8.0%	6.0%	2.5%	3.3%	4.7%	5.3%	5
11 M2	4.6%	2.1%	5.6%	4.1%	7.7%	6.7%	2.8%	8.1%	6.6%	3.3%	4.5%	4.2%	8.0%	6
12	5.3%	4.1%	5.8%	5.9%	6.8%	6.8%	4.6%	8.5%	7.6%	7.3%	8.2%	7.0%	6.2%	11
12 M1	3.6%	3.8%	4.2%	3.1%	5.0%	5.6%	2.7%	7.5%	6.1%	3.2%	3.8%	3.6%	2.8%	3
12 M2	4.6%	1.8%	4.6%	4.4%	6.7%	5.6%	3.2%	8.0%	6.9%	3.3%	5.0%	5.5%	6.2%	7
15	4.2%	4.7%	5.3%	4.8%	6.7%	7.5%	4.3%	8.1%	7.8%	7.2%	7.4%	5.2%	7.1%	9
15 M1	2.2%	4.0%	4.1%	2.7%	5.8%	6.9%	1.8%	9.3%	5.9%	3.4%	0.0%	4.4%	5.4%	5
15 M2	3.6%	4.0%	4.6%	4.0%	6.9%	7.3%	1.9%	6.3%	6.7%	3.2%	3.5%	4.2%	7.2%	5
16	4.3%	6.0%	6.3%	5.0%	7.4%	7.6%	4.7%	8.8%	7.6%	7.3%	6.1%	5.1%	7.2%	11
16 M1	2.3%	7.1%	4.6%	3.0%	6.5%	7.3%	3.8%	8.1%	6.3%	3.5%	0.0%	4.3%	5.4%	6
16 M2	3.7%	2.7%	6.7%	3.9%	7.4%	6.4%	3.0%	8.4%	7.0%	3.5%	2.8%	4.0%	7.4%	6
17	3.8%	4.0%	5.1%	4.7%	7.2%	6.5%	4.8%	7.7%	7.7%	7.2%	8.6%	5.2%	7.1%	9
17 M1	2.2%	3.5%	4.2%	2.9%	6.5%	6.0%	3.2%	8.0%	5.8%	3.3%	0.0%	4.4%	5.4%	5
17 M2	3.1%	2.8%	4.4%	3.8%	7.4%	5.5%	1.8%	7.1%	7.1%	3.3%	4.9%	4.1%	7.1%	5
18	4.2%	4.6%	5.3%	5.2%	7.1%	6.2%	4.7%	8.7%	7.4%	7.4%	7.1%	5.3%	7.1%	10
18 M1	2.4%	4.2%	4.4%	3.1%	6.1%	5.5%	2.0%	8.1%	5.8%	3.3%	0.0%	4.3%	5.4%	5
18 M2	3.5%	3.8%	4.5%	4.3%	7.1%	5.7%	3.0%	8.2%	6.8%	3.5%	2.0%	4.3%	7.1%	5
19	4.3%	4.5%	5.7%	5.2%	7.0%	6.4%	4.5%	8.8%	7.4%	7.3%	7.1%	5.0%	7.1%	10
19 M1	2.4%	4.0%	4.4%	3.2%	6.1%	5.4%	2.1%	8.0%	5.9%	3.3%	0.0%	4.2%	5.4%	5
19 M2	3.7%	3.4%	4.9%	4.2%	7.3%	6.0%	2.4%	8.4%	6.9%	3.4%	2.0%	3.9%	7.2%	5
20	4.5%	4.4%	5.9%	5.7%	7.6%	6.9%	4.5%	7.8%	7.7%	7.6%	7.9%	5.3%	7.2%	10
20 M1	2.6%	4.0%	4.6%	3.3%	6.6%	5.9%	2.2%	9.0%	5.8%	3.5%	0.0%	4.3%	5.4%	5
20 M2	3.7%	4.0%	5.2%	4.5%	7.4%	6.4%	2.3%	6.3%	7.0%	4.5%	0.0%	4.3%	7.4%	6
Frecue ncia:	16	9	28	18	52	53	0	54	54	17	19	18	44	

Anexo 10. Cocientes de variación del oxígeno disuelto en el agua por temporada

Estan- ques y hora	2016		2017				2018			2019				Frecue- ncia: datos encima de 5 %
	Otoño	Invier- no	Prima vera	Veran- o	Otoño	Invier- no	Prima vera	Otoño	Invier- no	Prima vera	Veran- o	Otoño	Invier- no	
1	40.4%	24.3%	44.3%	45.9%	48.1%	39.8%	26.0%	31.5%	31.3%	28.9%	40.1%	40.0%		12
1 M1	26.1%	12.8%	49.8%	39.1%	42.0%	39.2%	24.1%	17.1%	28.4%		39.1%	28.2%		11
1 M2	26.5%	14.1%	34.3%	36.4%	44.9%	38.9%	19.4%	19.3%	30.2%		25.7%	33.3%		11
2	38.8%	25.1%	36.0%	47.8%	41.8%	40.1%	26.4%	31.1%	30.9%	28.9%	38.7%	38.7%	35.6%	12
2 M1	21.2%	25.3%	38.7%	43.4%	38.4%	41.3%	23.8%	21.7%	31.3%		41.5%	33.8%	34.4%	11
2 M2	26.5%	26.4%	28.0%	35.6%	32.8%	34.3%	21.7%	18.6%	22.2%		26.0%	34.1%	24.8%	11
3	42.8%	35.1%	40.4%	46.8%	42.0%	42.7%	27.9%	32.6%	30.0%		36.7%	37.4%	15.7%	11
3 M1	25.3%	40.0%	47.9%	36.2%	32.4%	38.5%	20.1%	24.5%	26.4%		35.3%	31.6%		11
3 M2	29.3%	28.3%	28.7%	34.7%	30.9%	36.9%	21.0%	17.5%	28.0%		27.0%	30.7%		11
4	37.7%	21.7%	39.1%	49.4%	35.4%	35.5%	26.4%	30.8%	33.9%		36.6%	39.5%	38.8%	11
4 M1	23.8%	24.5%	43.2%	37.0%	32.5%	36.7%	19.7%	23.2%	33.9%		36.8%	32.6%	41.2%	11
4 M2	28.7%	15.9%	26.8%	32.3%	29.1%	33.8%	18.3%	18.4%	28.8%		27.2%	33.6%	28.9%	11
5	37.0%	24.6%	35.8%	45.5%	44.0%	41.7%	25.7%	29.8%	31.3%	39.0%	30.9%	38.5%	44.3%	12
5 M1	26.7%	19.6%	33.5%	40.3%	37.2%	34.9%	20.3%	22.4%	29.6%		30.5%	38.7%	37.9%	11
5 M2	29.4%	34.1%	23.0%	29.3%	46.7%	49.0%	16.0%	16.3%	25.8%	10.9%	24.7%	30.8%	38.9%	12
6	47.4%	22.0%	43.0%	52.0%	48.0%	32.1%	27.3%	29.9%	32.8%	36.2%	32.5%	36.8%	44.6%	12
6 M1	25.4%	23.9%	35.9%	43.1%	38.2%	32.3%	15.8%	17.7%	32.7%	32.0%	35.1%	33.9%	34.7%	12
6 M2	31.2%	21.4%	31.1%	36.1%	34.3%	30.9%	18.6%	17.8%	27.0%	19.1%	24.2%	29.6%	37.2%	12
7	34.6%	27.1%	36.1%	49.2%	47.7%	35.1%	27.5%	30.6%	32.2%	36.8%	32.9%	36.1%	46.5%	12
7 M1	26.8%	11.1%	33.5%	37.0%	39.2%	32.0%	21.2%	24.2%	32.6%	30.1%	31.4%	29.1%	34.7%	12
7 M2	25.2%	39.2%	25.6%	32.8%	47.0%	37.5%	13.2%	20.7%	26.6%	23.0%	26.8%	30.6%	44.8%	12
8	46.9%	26.0%	39.2%	50.3%	52.6%	35.7%	25.1%	29.8%	33.1%	36.8%	32.8%	37.8%	41.5%	12
8 M1	23.8%	28.0%	33.2%	38.9%	38.2%	32.3%	19.9%	29.6%	33.4%	27.3%	34.3%	32.1%	32.5%	12
8 M2	30.2%	22.2%	28.5%	35.5%	37.8%	26.5%	17.9%	11.9%	26.7%	21.3%	22.2%	29.9%	36.9%	12
9	41.9%	30.2%	43.3%	48.3%	43.4%	37.0%	27.1%	30.9%	33.5%	35.1%	30.3%	37.6%	40.3%	12
9 M1	20.7%	20.9%	37.9%	38.3%	37.7%	27.2%	19.5%	22.4%	33.3%	28.3%	32.6%	34.0%	35.4%	12
9 M2	27.0%	34.5%	29.1%	29.8%	29.4%	35.5%	18.9%	17.1%	27.3%	19.4%	21.0%	28.2%	33.4%	12
10	49.0%	40.3%	49.2%	54.3%	52.1%	40.1%	28.4%	31.2%	32.8%	35.8%	32.1%	35.2%	41.4%	12
10 M1	25.8%	48.9%	47.0%	37.3%	37.5%	30.9%	21.5%	18.8%	32.7%	27.8%	32.4%	32.5%	32.4%	12
10 M2	33.3%	26.0%	34.2%	33.1%	31.6%	27.8%	16.0%	17.1%	26.7%	17.7%	24.6%	26.8%	33.9%	12
11	39.2%	26.8%	47.8%	53.2%	51.9%	41.8%	28.7%	31.2%	38.2%	36.2%	31.8%	36.3%	51.4%	12
11 M1	23.9%	25.5%	48.1%	35.6%	40.5%	29.2%	30.1%	24.7%	36.4%	32.5%	32.8%	32.8%	35.9%	12
11 M2	24.7%	21.5%	27.4%	32.4%	29.1%	32.4%	19.1%	15.3%	34.1%	18.9%	24.2%	25.6%	46.8%	12
12	37.1%	17.2%	50.8%	50.2%	49.6%	41.8%	28.1%	29.6%	31.4%	34.1%	30.1%	33.4%	39.0%	12
12 M1	24.4%	9.9%	36.9%	38.0%	35.3%	27.5%	26.3%	24.3%	30.5%	34.7%	31.1%	30.8%	28.0%	12
12 M2	23.4%	25.8%	34.4%	36.7%	56.4%	42.2%	20.5%	11.9%	24.8%	17.9%	22.9%	18.2%	38.2%	12
15	38.2%	43.1%	41.2%	54.8%	46.5%	39.2%	27.7%	22.4%	25.4%	33.8%	32.7%	39.1%	43.4%	12
15 M1	18.1%	41.3%	28.2%	31.6%	34.6%	34.4%	17.9%	17.3%	22.7%	27.5%	31.5%	39.6%	35.7%	12
15 M2	30.1%	19.2%	29.7%	44.3%	25.2%	33.2%	17.7%	1.0%	16.0%	15.8%	19.2%	31.1%	36.5%	11
16	36.2%	42.1%	45.1%	60.8%	56.6%	48.2%	25.1%	30.2%	30.2%	33.2%	32.7%	36.6%	41.9%	12
16 M1	18.5%	46.3%	27.5%	39.0%	41.7%	30.7%	16.7%	23.6%	31.0%	26.8%	31.5%	37.6%	35.6%	12
16 M2	28.1%	23.6%	30.0%	42.1%	31.4%	37.1%	16.8%	15.8%	23.2%	15.6%	19.2%	27.9%	34.4%	12
17	32.6%	46.2%	41.1%	53.3%	50.8%	43.9%	23.5%	26.7%	28.5%	32.1%	32.7%	36.4%	43.4%	12
17 M1	16.7%	35.0%	29.2%	32.9%	31.1%	26.4%	15.6%	46.5%	24.6%	24.2%	31.5%	36.4%	36.4%	12
17 M2	28.7%	29.8%	25.1%	35.4%	27.9%	31.4%	13.6%	14.1%	20.9%	17.9%	19.2%	30.0%	37.0%	12
18	40.4%	48.3%	41.3%	63.6%	59.2%	49.9%	24.2%	28.0%	31.8%	29.4%	43.5%	36.5%	43.8%	12
18 M1	20.0%	37.7%	29.7%	39.3%	37.5%	32.5%	16.3%	23.7%	31.6%	20.7%	21.7%	34.7%	35.6%	12
18 M2	31.0%	37.0%	20.4%	46.8%	25.4%	33.0%	13.3%	15.0%	24.1%	17.6%	19.2%	30.7%	36.8%	12
19	44.7%	52.2%	48.4%	59.5%	54.7%	52.7%	24.8%	28.7%	30.6%	29.0%	32.7%	35.7%	45.9%	12
19 M1	20.1%	60.0%	32.7%	35.0%	37.1%	31.3%	19.6%	23.0%	30.1%	18.9%	31.5%	35.4%	38.2%	12
19 M2	29.8%	30.2%	33.0%	41.3%	30.6%	29.2%	14.4%	16.7%	23.7%	16.6%	19.2%	28.8%	37.6%	12
20	44.9%	53.6%	52.4%	61.6%	57.7%	53.1%	24.7%	25.9%	29.4%	29.7%	32.7%	35.3%	46.0%	12
20 M1	20.5%	61.1%	29.3%	38.3%	40.0%	37.5%	24.1%	45.4%	25.4%	20.8%	31.5%	35.5%	35.8%	12
20 M2	30.7%	13.2%	33.1%	41.0%	32.8%	30.0%	15.4%	2.8%	21.0%	17.2%	19.2%	29.2%	39.6%	11
Frecue- ncia:	54	54	54	54	54	54	54	52	54	43	54	54	49	

Anexo 11. Diagrama de Ishikawa para la temperatura del agua



Anexo 12. Diagrama de Ishikawa para el oxígeno disuelto

