

UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

Departamento de Industrias

PROPUESTA DE UN SISTEMA DE INDICADORES DE GESTIÓN (KPI) PARA EL CONTROL DE CALIDAD EN EL PROCESO DE PACKING DE FRUTA DE EXPORTACIÓN

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL

AUTOR
MATÍAS RODRÍGUEZ CABRERA

PROFESOR GUÍA
CRISTIAN CARVALLO GONZÁLEZ

PROFESOR CORREFERENTE
JAVIER SCAVIA

UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

DEPARTAMENTO
DE INDUSTRIAS

CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): [X] Memoria o trabajo de título ☐ Tesis de Postgrado

Título del trabajo: Propuesta de un sistema de indicadores de gestión (kpi) para el control de calidad en el proceso de packing de fruta de exportación

Nombre del candidato(a): Matías Gonzalo Rodríguez Cabrera

Carrera / Grado: Ingeniería Civil Industrial

Campus: Vitacura **Departamento:** Industrias

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Cristian Antonio Carvallo González, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución.

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

[X] El trabajo **NO contiene** información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

☐ El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (**embargo**) por **(marcar una opción)**:

☐ 6 meses ☐ 12 meses ☐ 2 años ☐ 3 años ☐ 5 años ☐ 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 28 de Octubre del 2026 **Firma:**

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 28 de Octubre del 2026 **Firma:**

Resumen

La industria frutícola de exportación depende del cumplimiento de estrictos estándares de calidad, verificados mediante inspecciones en el flujo de packing (recepción, producción, fruta embalada y despacho). Sin embargo, en la planta estudiada ("Planta X"), los datos que genera la digitalización no se convierten en indicadores de gestión oportunos.

Ante esa brecha, esta memoria diseña un sistema de KPI para el control de calidad del packing, a partir de un diagnóstico cuantitativo de dos temporadas de cerezas (2023/2024 y 2024/2025) y siguiendo el ciclo DMAIC junto con el BSC.

El diagnóstico abarcó 6.823 inspecciones de recepción, 41.272 cajas embaladas con muestra de calidad (9,08% de 454.395 producidas) y 1.118 contramuestras. El 99,4% de las inspecciones de recepción fue validado, con un tiempo de validación de 2 [h] en la mediana y 8 [h] en promedio, elevado por un 0,52% de casos sobre 24 [h]. Además, el 99,78% de las inspecciones registró al menos un defecto, reflejo de un registro exhaustivo y no de la calidad de la fruta, pues solo el 15,43% de las recepciones fue objetada. Por último, los 10 defectos más frecuentes suman el 56,2% de los registros de defecto.

A partir de ello, se proponen tres indicadores clave de procesos internos, calculables con los datos actuales: la tasa de cobertura de muestreo de cajas (TCM), el percentil 90 del tiempo de validación de recepción junto con la tasa de validaciones sobre 24 [h] (TVR-P90/TVT) y el índice de concentración de los 10 defectos más frecuentes (ICD-10). Se complementan con indicadores de las demás perspectivas del BSC, y se propone su implementación por etapas. En términos económicos, se estima que cada punto porcentual de cajas redirigido a mercado nacional equivale a 79.519 [USD], la meta es reducir en al menos 1 punto porcentual la fracción redirigida, sobre su línea base. Se concluye que la planta no carece de datos, lo que le falta es convertirlos en métricas con umbral, responsable y acción definida.

Palabras Clave: Control de Calidad, Packing de Fruta, Cereza, Indicadores de Gestión, DMAIC, Balanced Scorecard.

Abstract

The fresh fruit export industry depends on compliance with strict quality standards, verified through inspections along the packing flow (reception, production, packed fruit, and dispatch). However, at the facility studied ("Planta X"), the data generated by digitalization does not become timely management indicators.

Given that gap, this thesis designs a KPI system for quality control in the packing process, based on a quantitative diagnosis of two cherry seasons (2023/2024 and 2024/2025) and following the DMAIC cycle, complemented with the BSC.

The diagnosis covered 6,823 reception inspections, 41,272 packed boxes with a quality sample (9.08% of 454,395 produced), and 1,118 counter-samples. Of the reception inspections, 99.4% were validated, with a median validation time of 2 [h] and an average of 8 [h], inflated by 0.52% of cases exceeding 24 [h]. In addition, 99.78% of the inspections recorded at least one defect, reflecting exhaustive recording rather than fruit quality, since only 15.43% of receptions were objected. Finally, the top 10 defects account for 56.2% of defect records.

Building on this diagnosis, three internal-process key indicators are proposed, all computable with current data: the box sampling coverage rate (TCM), the 90th percentile of reception validation time together with the rate of validations exceeding 24 [h] (TVR-P90/TVT), and the concentration index of the 10 most frequent defects (ICD-10). These are complemented by indicators for the other BSC perspectives, and a staged implementation is proposed. In economic terms, each percentage point of boxes redirected to the domestic market is estimated at USD 79,519, the target is to reduce the redirected share by at least 1 percentage point from its baseline. The thesis concludes that the facility does not lack data: what it needs is to turn that data into metrics with a threshold, an owner, and a defined action.

Keywords: Quality Control, Fruit Packing, Cherry, Management Indicators, DMAIC, Balanced Scorecard.

Siglas y Simbología

BSC: Balanced Scorecard.

CCI: Cobertura de Capacitación de Inspectores.

CSG: Código SAG Predio.

CSP: Código SAG Packing.

DMAIC: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar.

DPMO: Defectos por Millón de Oportunidades.

FODA: Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas.

GACC: Administración General de Aduanas de la República Popular China.

ICD: Índice de Concentración de Defectos.

IFE: Impacto Financiero Estimado.

KPI: Key Performance Indicator.

ODEPA: Oficina de Estudios y Políticas Agrarias.

PDCA: Plan, Do, Check, Act.

PESTEL: Político, Económico, Social, Tecnológico, Ecológico y Legal.

PPM: Partes por Millón.

QC: Control de Calidad.

SAG: Servicio Agrícola y Ganadero.

TACD: Tasa de Acciones Correctivas Documentadas.

TCM: Tasa de Cobertura de Muestreo.

TQM: Total Quality Management (Gestión de Calidad Total).

TVR-P90: Tiempo de Validación de Recepción, percentil 90.

TVT: Tasa de Validación Tardía.

UNECE: Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (United Nations Economic Commission for Europe).

VRC: Valor en Riesgo por Categorización.

σ: Desviación estándar; en la escala Six Sigma, unidad del Nivel de Sigma.

Φ^{-1}: Función inversa de la distribución normal estándar acumulada.

Índice

1 Introducción 1
2 Antecedentes del Tema 2
2.1 Justificación 2
2.1.1 Contexto General 2
2.1.2 Situación Inicial 4
2.1.3 Brecha Abordada 5
2.1.4 Impacto en la Organización y la Industria 5
2.2 Objetivos 6
2.2.1 Objetivo General 6
2.2.2 Objetivos Específicos 7
2.3 Metodología y Teoría 8
2.4 Alcance y Limitaciones 9
3 Estado del Arte 10
3.1 Antecedentes Generales del Proceso de Packing y Control de Calidad 10
3.1.1 Marco Regulatorio y Mercado 10
3.1.2 Descripción Empresa y Sector 12
3.2 Revisión de la Literatura 17
3.2.1 DMAIC Aplicado a Procesos de Envasado/Empaquetado de Alimentos 17
3.2.2 Casos Específicos de Cadenas de Fruta y Hortalizas Frescas 19
3.2.3 Síntesis y Vínculo con la Memoria 20
3.3 Marco Teórico 20
3.3.1 Gestión de Calidad de Procesos: Six Sigma y DMAIC 21
3.3.2 Balanced Scorecard (BSC) 22
3.3.3 Conceptos Técnicos de Control de Calidad de Fruta 24
3.3.4 Metodologías Potenciales Consideradas 27

3.4 Propuesta Metodológica 30
4 Desarrollo 31
4.1 Definir: Proceso Actual, Metas e Impacto Financiero 31
4.2 Medir: Cuantificación del proceso 35
4.3 Analizar: Identificación de Brechas 38
4.4 Mejorar: Indicadores Propuestos 42
4.4.1 Indicadores Principales 43
4.4.2 Indicadores Complementarios con Perspectiva del BSC 47
4.5 Controlar: Estrategia de Implementación 49
4.5.1 Etapas de Implementación 49
4.5.2 Gobernanza Propuesta 50
4.5.3 Riesgos de Implementación 52
4.5.4 Medición de Impacto 53
5 Conclusión 54
6 Bibliografía 56
7 Anexos 60
7.1 Anexo N° 1: Perfil de Datos de Control de Calidad Planta X 60
7.2 Anexo N° 2: Cálculo DPMO y Nivel de Sigma 61

Lista de Tablas

Tabla 3.1: Análisis PESTEL del Sector de Exportación de Fruta Fresca. Fuente: Elaboración Propia en base a la investigación desarrollada en esta memoria. 13

Tabla 3.2: FODA del Proceso de Control de Calidad de la Planta X. Fuente: Elaboración Propia, en base al diagnóstico de la sección 4.1 y al marco regulatorio de la sección 3.1.1. 15

Tabla 4.1: Sensibilidad del IFE al Diferencial de Precio. Fuente: Elaboración Propia, en Base a la Ecuación 4.1. 34

Tabla 4.2: Volúmenes por Punto de Control. Fuente: Elaboración Propia, en Base a los Datos Productivos de la Planta. 35

Tabla 4.3: Validación de Recepción. Fuente: Elaboración Propia, en Base a los Datos Productivos de la Planta. 35

Tabla 4.4: Detección de Defectos en Recepción. Fuente: Elaboración Propia, en Base a los Datos Productivos de la Planta. 36

Tabla 4.5: Top 10 Defectos más Recurrentes. Fuente: Elaboración Propia, en Base a los Datos Productivos de la Planta. 38

Tabla 4.6: Gobernanza Propuesta. Fuente: Elaboración Propia, en Base a la Variación del Origen de Dato. 51

Lista de Ilustraciones

Ilustración 2.1: Puntos de Control del Proceso. Fuente: Elaboración Propia, en Base al Flujo Productivo de la Planta X 2
Ilustración 2.2:Marco Metodológico de la Memoria: Ciclo DMAIC, Objetivos Específicos y BSC. Fuente: Elaboración Propia, en Base a Smętkowska & Mrugalska (2018) y Kaplan & Norton (1996). 8
Ilustración 3.1: BSC lógica causa-efecto aplicada al sistema propuesto. Fuente: Elaboración propia, en base al BSC de Kaplan & Norton y la Aplicación Realizada por Duman... 24
Ilustración 3.2: Diagrama Mapeo ciclo DMAIC. Fuente: Elaboración Propia, en Base al Esquema Conceptual de Smętkowska & Mrugalska. 30
Ilustración 4.1: Diagrama de Flujo Proceso de Control de Calidad. Fuente: Elaboración Propia, en Base al Flujo Productivo de la Planta. 32
Ilustración 4.2: Top 10 Defectos en Recepción. Fuente: Elaboración Propia, en Base a los Datos Productivos de la Planta. 39
Ilustración 4.3: Trazabilidad de Hallazgo de Diagnóstico. Fuente: Elaboración Propia, en Base a las brechas identificadas y los indicadores propuestos. 41
Ilustración 4.4:Etapas de Implementación. Fuente: Elaboración Propia. 49

Lista de Ecuaciones

Ecuación 4.1: Impacto Financiero. Fuente: Elaboración Propia, en Base a los Datos Productivos de la Planta. 34
Ecuación 4.2: Cálculo DPMO. Fuente: Elaboración Propia, en Base a los Datos Productivos de la Planta. 36
Ecuación 4.3: Cálculo Nivel de Sigma. Fuente: Elaboración Propia, en Base a la Conversión Estándar Six Sigma. 37
Ecuación 4.4: Tasa de Cobertura de Muestreo. 43
Ecuación 4.5: Tiempo de Validación de Recepción, P90 44
Ecuación 4.6: Tasa de Validación Tardía 45
Ecuación 4.7: Índice de Concentración de Defectos. 46
Ecuación 4.8: Valor en Riesgo por Categorización. 47
Ecuación 4.9: Cobertura Capacitación de Inspectores. 47
Ecuación 4.10: Tasa de Acciones Correctivas Documentadas. 48

1 Introducción

La exportación de fruta fresca exige garantizar los estándares de calidad de los mercados de destino (Hejazi et al., 2022; Melo et al., 2014), lo que requiere un control de calidad que abarque todo el proceso de packing, desde la recepción de la materia prima hasta el despacho.

La digitalización permite capturar datos en cada punto de inspección, sin embargo, esto no es equivalente a tener visibilidad de gestión. El diagnóstico de las temporadas 2023/2024 y 2024/2025 de la planta estudiada ("Planta X", nombre ficticio) muestra que los indicadores agregados simples ocultan los casos extremos. Por ejemplo, el tiempo de validación de recepción registra una mediana de 2 [h] y un promedio de 8 [h], inflado por un 0,52% de casos sobre 24 [h] así, el promedio no describe el caso típico ni revela cuántos casos extremos existen. A ello se suman una cobertura de muestreo de 9,08% sin umbral de referencia y defectos sin priorizar, cuyos 10 más frecuentes suman el 56,2% de los registros.

Ante esa brecha, esta memoria diseña un sistema de indicadores de gestión (KPI) para el control de calidad del proceso de packing, a fin de que los datos capturados sustenten decisiones oportunas. Para lograrlo, se diagnostica el proceso actual, se identifican las brechas, se diseñan KPIs con fórmula, umbral y fuente de datos, y se propone su implementación por etapas.

La metodología corresponde al ciclo DMAIC (Smętkowska & Mrugalska, 2018), complementado con el modelo del BSC (Kaplan & Norton, 1996) para ordenar el sistema de indicadores según la lógica causa-efecto entre perspectivas.

El impacto esperado tiene dos niveles. En la planta, el sistema permitiría anticipar desviaciones que pueden terminar en fruta redirigida a mercado nacional: se estima que cada punto porcentual de la producción redirigido equivale a 79.519 [USD]. En la industria, su formulación podría replicarse en plantas que capturen datos sin un modelo analítico para transformarlos en decisiones.

2 Antecedentes del Tema

Este capítulo reúne los fundamentos que sostienen esta memoria. Primero presenta la justificación del estudio: el contexto del control de calidad en el packing, la situación inicial diagnosticada, la brecha abordada y el impacto esperado para la organización y el sector. Luego plantea el objetivo general y los objetivos específicos, resume la metodología general y cierra con el alcance y las limitaciones del estudio.

2.1 Justificación

2.1.1 Contexto General

La cereza concentró el 44,8% del valor exportado en fruta fresca por Chile en la temporada 2023/24 (ODEPA, 2024a), por lo que su control de calidad en el packing tiene un peso económico directo. En ese contexto se sitúa la Planta X, una planta de packing de cereza de exportación de la Región de O'Higgins, cuyo proceso de control de calidad opera en cuatro puntos del flujo productivo.



Ilustración 2.1: Puntos de Control del Proceso. Fuente: Elaboración Propia, en Base al Flujo Productivo de la Planta X

- Recepción: Inspección de la fruta al ingresar a la planta desde el campo, en este proceso se evalúan defectos, firmeza, sólidos solubles, acidez y color.
- Producción: Inspección durante el proceso de packing, registrando defectos de proceso, calibres y clasificación comercial.
- Muestreo: Inspección sobre cajas ya embaladas, contrastando defectos, calibres, color, firmeza contra los estándares definidos por variedad y temporada.
- Despacho: Inspección final antes del envío a puerto, a través de checklists de carga, condiciones de la estiba y registro fotográfico. Además, cada despacho se envía con uno o dos termógrafos.

Producción y Muestreo se registran de manera independiente en el sistema (con volúmenes propios, ver Tabla 4.2), pero en la práctica operan de forma interconectada. Mientras que Producción controla el proceso de packing propiamente tal, Muestreo evalúa la calidad de las cajas resultantes del proceso ya embaladas. En ese sentido, Muestreo es una auditoría del output operacional de Producción, como muestra la Ilustración 2.1.

Existe además un control adicional, la Contramuestra: la planta guarda una caja del embarque y, cuando el embarque llega a destino, se inspecciona esa caja en la planta mientras la fruta se inspecciona en destino. De esta forma se cruzan tres registros de peso, defectos y firmeza: la muestra original frente a la contramuestra la cual muestra cómo cambia la fruta con el paso del tiempo, y la contramuestra frente a la inspección en destino aísla el efecto del transporte y del almacenamiento durante el traslado. Como esta inspección ocurre después del proceso de packing, no forma parte de los cuatro puntos de control secuenciales del flujo

2.1.2 Situación Inicial

Sobre los datos obtenidos de dos temporadas (2023/2024 y 2024/2025) de packing de cereza de la Planta X, el diagnóstico preliminar cuantifica lo siguiente:

De las 6.823 recepciones con inspección de calidad registrada (en adelante, recepciones inspeccionadas), el 99,4% fue validado; el 0,6% restante (40 casos) no registra validación y, probablemente, se procesó sin validar.

El tiempo entre el registro y la validación de una inspección tiene una mediana de 2 [h] y un percentil 90 de 4 [h], con un promedio de 8 [h], arrastrado por un 0,52% de las inspecciones validadas (35 casos) que tomó más de 24 [h]. El promedio, por lo tanto, no representa el caso típico y tampoco indica cuántas recepciones quedan en esa cola de casos extremos. Como la cereza no puede esperar tanto tiempo para ser procesada, se tratan de casos excepcionales en que el lote se procesó sin estar validado y la validación se registró después.

El 99,78% de las recepciones inspeccionadas registra al menos un defecto, con un promedio de 9,38 tipos de defecto distintos por recepción con defecto (63.844 registros / 6.808 recepciones). Los 10 defectos más frecuentes concentran un 56,2% de los 63.844 registros de defectos, los tres primeros son el machucón, el fruto sin pedicelo y el fruto deshidratado, alteraciones que la literatura sobre poscosecha de cereza asocia a la manipulación en cosecha y al tiempo que transcurre hasta el enfriamiento (Leisso et al., 2025; Zoffoli, 2022). Según la norma UNECE FFV-13, este tipo de defectos determina la categoría comercial en que puede clasificarse la fruta (UNECE, 2023).

Por otra parte, de las 454.395 cajas de cereza producidas en el periodo, 41.272 (9,08%) cuentan con al menos una muestra de calidad registrada.[1]

[1] Nota: Elaborado en base a datos de producción de la Planta X, extraídos del sistema de gestión utilizado en el packing; detalle completo en el Anexo N°1

2.1.3 Brecha Abordada

Estas cifras describen un proceso de control de calidad que captura información de forma sistemática (99,4% de las inspecciones de recepción validadas y 99,78% de las recepciones con al menos un defecto registrado). Sin embargo, la planta no cuenta hoy con un sistema de indicadores de gestión que le permita:

Detectar cuándo el proceso supera un umbral de referencia y amerita una acción correctiva, como las validaciones de recepción que superan las 24 [h] y que el promedio no muestra.

Establecer si el nivel de cobertura de muestreo de cajas producidas (9,08%) es adecuado para el riesgo que la organización está dispuesta a asumir, al no existir un umbral de referencia definido.

Priorizar los defectos de mayor impacto para dirigir esfuerzos de mejora de proceso, en lugar de tratar todos los defectos con el mismo nivel de atención.

Cerrar esta brecha entre la capacidad de captura de datos y la capacidad de traducirlos en indicadores de gestión, es el objetivo de esta memoria, mediante el diseño de un sistema de KPI de control de calidad para el proceso de packing.

2.1.4 Impacto en la Organización y la Industria

Un estudio revisado asocia la madurez del control de calidad con menores pérdidas poscosecha (Macheka et al., 2017), y una revisión sistemática respalda el uso de indicadores de desempeño en la cadena de suministro de alimentos (Bottani et al., 2025) . En ese sentido, un sistema de indicadores de gestión de control de calidad permitiría a la Planta X:

Detectar oportunamente desviaciones del proceso antes de que se traduzcan en pérdidas de calidad en destino.

Sustentar decisiones operativas (ej. reforzar la inspección de una variedad o línea de packing específica) con evidencia cuantitativa.

Construir un historial de desempeño que permita evaluar, con el tiempo, el efecto de las mejoras de proceso.

A nivel de la industria de exportación frutícola, este sistema aporta una formulación de indicadores que podría replicarse en plantas que presenten esta misma brecha. Sin embargo, los umbrales son propios de la Planta X.

El tamaño de este impacto se dimensiona mediante una estimación con supuestos declarados, desarrollada en la etapa Definir del ciclo DMAIC: se estima que cada punto porcentual de la producción del período diagnosticado (dos temporadas, 454.395 cajas) que se redirige a mercado nacional equivale a una pérdida de 79.519 [USD].

Frente a esa situación inicial, las metas del sistema propuesto, que se detallan en la etapa Definir son: reducir en al menos 1 punto porcentual la fracción de cajas redirigidas a mercado nacional, llevar la cobertura de muestreo desde 9,08% a una meta provisional de 11,08% y no superar las líneas base de validación de recepción (percentil 90, P90, de 4 [h] y tasa de validación tardía, TVT, de 0,52%).

2.2 Objetivos

2.2.1 Objetivo General

Diseñar un sistema de indicadores de gestión (KPI) para el control de calidad del proceso de packing de fruta de exportación, que permita cuantificar y monitorear el desempeño de los puntos de control de recepción y muestreo de fruta embalada, a partir de datos históricos reales de las dos temporadas de la Planta X.

2.2.2 Objetivos Específicos

Diagnosticar y cuantificar el proceso actual de control de calidad de la Planta X con datos históricos de las dos temporadas de cereza: en profundidad para los puntos de recepción y muestreo de fruta embalada, y a nivel de volumen de registros para producción, despacho y contramuestra.

Identificar las brechas del proceso actual de control de calidad (validación, cobertura y priorización de defectos) mediante estadísticos descriptivos, el diagrama de Pareto (Ahmad & Hasan, 2016) y la revisión de los registros.

Diseñar un conjunto de indicadores clave de procesos internos para los puntos de control de recepción y muestreo de fruta embalada, cada uno con nombre, objetivo, fórmula de cálculo, umbral de referencia y fuente de datos; y vincularlos mediante la lógica causa-efecto del BSC con indicadores complementarios de las perspectivas financiera, de aprendizaje y crecimiento, y con el objetivo de la perspectiva del cliente.

Verificar que los indicadores de procesos internos diseñados se pueden calcular con la información disponible en el sistema actual de la Planta X, comprobando que cada variable de sus fórmulas existe en los registros y recalculando cada fórmula sobre las dos temporadas para establecer su línea base.

Proponer una estrategia de implementación por etapas del sistema de indicadores, con un modelo de gobernanza que defina para cada indicador, su responsable, su frecuencia de revisión y la acción ante la activación de su umbral, los riesgos de implementación y un mecanismo para medir el impacto de la propuesta, incluida su valorización económica.

2.3 Metodología y Teoría

Esta propuesta se apoya en el ciclo DMAIC, una metodología de mejora de procesos de Six Sigma, ya que su estructura calza con lo que busca este estudio: partir de un proceso existente (control de calidad de packing), medirlo con datos reales, analizar sus brechas y proponer una mejora (sistema de KPI) junto con un mecanismo de control (estrategia de implementación y gobernanza) (Smętkowska & Mrugalska, 2018; Tsarouhas & Sidiropoulou, 2024).

Este marco se complementa con el modelo del BSC (Duman et al., 2018; Kaplan & Norton, 1996), que ordena el sistema de indicadores propuesto según su lógica de causa-efecto entre perspectivas organizacionales, y sitúa el control de calidad de packing en la perspectiva de "procesos internos". La Ilustración 2.2 resume cómo se articulan ambos marcos: cada etapa de DMAIC corresponde a una sección del Desarrollo y a uno o más objetivos específicos, y los indicadores diseñados en la etapa Mejorar se ordenan según la cadena causa-efecto del BSC. El detalle de cada paso se presenta más adelante en la propuesta metodológica.

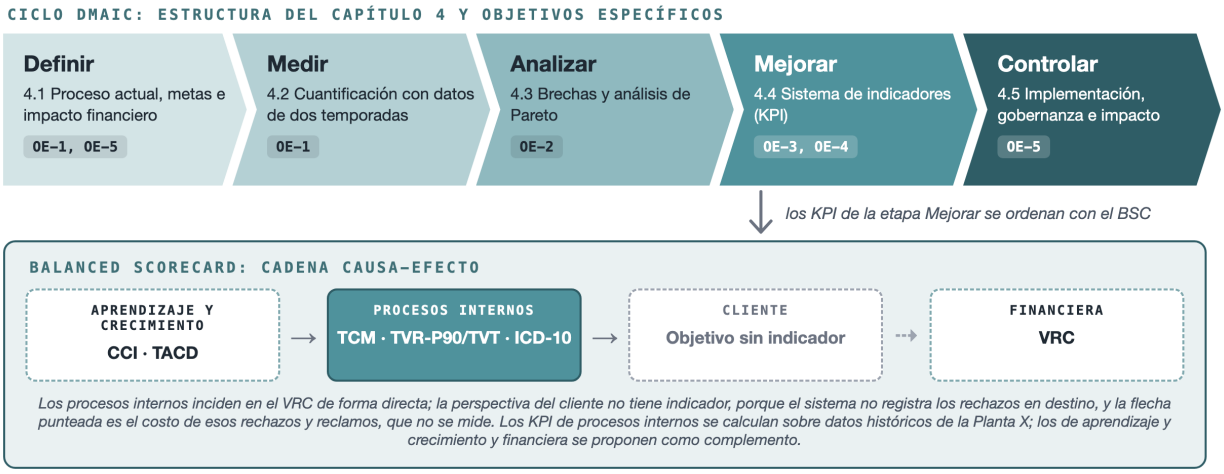


Ilustración 2.2:Marco Metodológico de la Memoria: Ciclo DMAIC, Objetivos Específicos y BSC. Fuente: Elaboración Propia, en Base a Smętkowska & Mrugalska (2018) y Kaplan & Norton (1996).

2.4 Alcance y Limitaciones

El presente trabajo corresponde a un estudio de tipo descriptivo y aplicado, que culmina en una propuesta de diseño de un sistema de indicadores. No implementa un tablero de software en producción ni modifica el proceso productivo de la planta.

El diagnóstico cuantitativo abarca en profundidad los puntos de recepción y muestreo de fruta embalada, y a nivel de volumen de registros los de producción, despacho y contramuestra. Por lo tanto, el diseño de KPI con umbral de gestión se acota a recepción y muestreo de fruta embalada, que son los puntos donde el diagnóstico identifica brechas medibles con los datos disponibles. Producción se aborda de forma indirecta a través de Muestreo, que audita su resultado, mientras que el diseño de indicadores para contramuestra y despacho queda como línea de trabajo futuro

El alcance geográfico se circunscribe a la Planta X de proceso de packing ubicada en la Región de O'Higgins, utilizada como base de validación cuantitativa. El nombre real de la planta se reemplaza por "Planta X" para resguardar su confidencialidad. Si bien los indicadores propuestos poseen un potencial de extrapolación a otras plantas del sector, su validación en entornos alternativos se delega a futuras líneas investigativas.

En cuanto a su alcance temporal, se utilizan datos de dos temporadas (2023/2024 y 2024/2025) de la Planta X, para la especie cereza. Estos datos provienen del ambiente productivo de la operación de packing y se usan aquí para diseñar los indicadores propuestos y verificar que se pueden calcular. Las líneas base se calculan con las dos temporadas juntas, sin desagregar por temporada, y los umbrales que se evalúan por temporada se comparan contra ese valor conjunto.

El estudio no cubre la integración en tiempo real de los indicadores al sistema productivo ni la cuantificación exacta del costo económico de las mermas asociadas a defectos con datos financieros propios de la empresa (no disponibles en este alcance). Aun así, en la etapa Definir del Desarrollo se incluye una estimación con supuestos declarados que dimensiona el orden de magnitud del impacto financiero potencial, sin pretender ser una cuantificación exacta.

3 Estado del Arte

Este capítulo se ordena en tres ejes: Antecedentes generales del proceso de packing y su marco regulatorio, junto con una caracterización del sector y de la organización objeto de estudio. Revisión de la literatura sobre la aplicación de metodologías de mejora de procesos y de sistemas de indicadores de gestión en el control de calidad agroalimentario. Marco teórico de la memoria: Six Sigma y su ciclo DMAIC como eje metodológico, el modelo del BSC que ordena el sistema de indicadores y las variables técnicas de calidad frutícola que sustentan el diagnóstico. El capítulo cierra con la propuesta metodológica adoptada.

3.1 Antecedentes Generales del Proceso de Packing y Control de Calidad

3.1.1 Marco Regulatorio y Mercado

La industria exportadora de fruta fresca se rige por estándares de calidad determinados tanto por las normativas fitosanitarias de los mercados de destino como por las normas de calidad comercial (SAG, 2024; UNECE, 2023). Un estudio sobre la cadena de tomate fresco ubica las actividades de control de calidad tanto en el predio como en el packing (Macheka et al., 2017). En el caso de la Planta X, el packing es una de las etapas donde se inspecciona la fruta, en distintos puntos del flujo productivo, antes de su despacho.

Como ejemplo el mercado chino (principal destino de la cereza chilena, con el 90,8% del volumen exportado en 2023/24; ODEPA, 2024a) requiere el cumplimiento del "Protocolo de Requisitos Fitosanitarios para la Exportación de Cerezas Frescas desde Chile a China". Este acuerdo bilateral entre la GACC y el MINAGRI, cuyas directrices publica y actualiza el SAG, estipula condiciones específicas para los packings.

Entre ellas destacan el registro y trazabilidad de predios (CSG) y packing (CSP), el monitoreo continuo de plagas cuarentenarias (*Ceratitis capitata, Cydia pomonella* y *Prunus necrotic ringspot virus*), una inspección oficial obligatoria sobre el 1% de las cajas del lote y criterios estrictos de rechazo por condición donde se penalizan diferencias de calibre superiores a 4 [mm] en más del 25% de la muestra, o deformidades que superen el 20% del fruto (SAG, 2024).

En la misma línea, la Resolución Exenta N° 6510/2020 del SAG (que regula el control de plagas de los órdenes *Diptera* y *Lepidoptera* en cerezas de exportación para todo mercado) introduce una condición de "Objetado" de predios y plantas de proceso que incumplan las exigencias de monitoreo y manejo sanitario. Esta condición triplica la exigencia del muestreo en la inspección fitosanitaria oficial, elevándola del 1% al 3% de las cajas del lote. También la normativa estipula un muestreo referencial mínimo de 100 frutos por combinación lote, predio y variedad al momento de la recepción de la materia prima del packing (SAG, 2020).

Estos antecedentes regulatorios son de alta relevancia para el sistema propuesto en dos sentidos:

Primero, muestran que el control de exportación de cerezas opera sobre una lógica de muestreo por lote: la inspección fitosanitaria oficial se aplica sobre un porcentaje de las cajas del lote (1% a 3% según la condición del predio o la planta) (SAG, 2020, 2024), y las tolerancias de calidad comercial se expresan como porcentaje de fruta bajo estándar por lote (UNECE, 2023) . La tasa de cobertura de muestreo que se propone para la Planta X (KPI-01) sigue la misma lógica, pero mide el control de calidad comercial interno de la planta y no la inspección fitosanitaria oficial, por lo que sus magnitudes no son comparables y no se usan para fijar su umbral.

Segundo, demuestran que el sector ya cuenta con mecanismos de escalamiento ante incumplimientos (como la condición de "Objetado"), los cuales son conceptualmente análogos a la lógica de gestión interna propuesta en esta memoria, donde ciertos umbrales críticos disparan acciones operativas específicas dentro de la gobernanza propuesta.

En términos de arquitectura de proceso, el sistema de control de calidad de la Planta X opera en los puntos de recepción, producción, muestreo y despacho descritos en el contexto general del capítulo 2. Cada uno de estos puntos de control genera un volumen de datos que, al ser capturados en un sistema de gestión digitalizado, quedan disponibles para su análisis posterior. Esa disponibilidad de información es lo que hace viable diseñar e implementar un sistema de indicadores como el que propone esta memoria.

3.1.2 Descripción Empresa y Sector

Planta X constituye un caso de estudio basado en datos reales pero anonimizados, conforme a las limitaciones ya declaradas. Por este motivo, la investigación prescinde de un análisis FODA corporativo (el cual exigiría información estratégica, financiera y competitiva de una organización real verificable). En su lugar, se desarrolla un análisis PESTEL del sector macroindustrial y un FODA acotado exclusivamente al proceso de control de calidad en packing (objeto de estudio de la memoria). Este último se construye a partir de la evidencia previamente expuesta, combinando el diagnóstico cuantitativo del Desarrollo con el marco regulatorio antes detallado.

Dimensión	Factores Relevantes para el Packing de Cereza de Exportación
Político	Acuerdos bilaterales fitosanitarios país-país (ej. protocolo Chile-China administrado por SAG/GACC). Resoluciones nacionales de control de plagas (Res. 6510/2020). Estándares internacionales de comercialización (UNECE FFV-13) (SAG, 2020, 2024; UNECE, 2023)
Económico	La literatura documenta que el cumplimiento de estándares sanitarios y de calidad condiciona significativamente los volúmenes exportados, registrando un mayor impacto en mercados con altos niveles de exigencia (Melo et al., 2014). Evidencia más reciente confirma esta relación: límites máximos de residuos más estrictos en el país importador reducen el comercio bilateral de fruta fresca en torno a un 8,8% (Hejazi et al., 2022). En el caso de la cereza chilena, la exposición es alta, ya que representó el 44,8% del valor exportado en fruta fresca en la temporada 2023/24 (ODEPA, 2024a). En consecuencia, el desempeño del control de calidad posee un correlato económico directo sobre el acceso a los mercados internacionales.
Social	El proceso de packing es intensivo en mano de obra estacional durante la temporada de cosecha, lo que exige que los criterios de inspección de calidad sean aplicables y comprensibles para un personal con alta rotación. El trabajo de temporada en la fruticultura chilena se caracteriza por trayectorias laborales discontinuas y marcadas por la precariedad (Caro et al., 2024). Esta dinámica

	laboral refuerza la necesidad de implementar indicadores simples y bien definidos.
Tecnológico	Se observa una adopción creciente de tecnologías asociadas a la Industria 4.0 (como IoT, sensores y analítica de datos) en la gestión de calidad agroalimentaria (Peres et al., 2025), así como de sistemas de visión computacional para la clasificación automática de fruta según sus defectos (Ismail & Malik, 2022). Si bien estas herramientas no están integradas actualmente en el proceso de inspección manual de la Planta X, representan referentes tecnológicos clave para la evolución futura del sistema.
Ecológico	Las lluvias cercanas a la cosecha, la alta humedad y las altas temperaturas favorecen la partidura (cracking) de la cereza; en temporadas con lluvias a destiempo, más del 80% de la producción puede quedar sin valor comercial (Xu et al., 2025). Este factor podría reflejarse en la Planta X, donde el cracking cicatrizado figura entre los 10 defectos más frecuentes en recepción.
Legal	La Resolución Exenta N° 6510/2020 del SAG regula el control de plagas en cerezas de exportación: los predios y plantas que la incumplen quedan en condición de "Objetado", lo que eleva el muestreo de la inspección fitosanitaria oficial del 1% al 3% de las cajas del lote (SAG, 2020). El protocolo con China fija, además, criterios de rechazo del lote por condición (SAG, 2024), y la norma UNECE FFV-13 fija las tolerancias de calidad comercial por categoría (UNECE, 2023).

Tabla 3.1: Análisis PESTEL del Sector de Exportación de Fruta Fresca. Fuente: Elaboración Propia en base a la investigación desarrollada en esta memoria.

Del análisis PESTEL se desprende que el factor más crítico para el packing de cereza es el legal: el protocolo con China, la Resolución Exenta N° 6510/2020 y la norma UNECE fijan los criterios de rechazo, la condición de "Objetado" y las tolerancias por categoría, y su incumplimiento se traduce en rechazos de lotes, un muestreo oficial más exigente o pérdida de valor. Los factores político y económico lo enmarcan, porque los acuerdos bilaterales y el peso de la cereza en el valor exportado amplifican el costo de incumplir. En segundo plano está el factor social, ya que el cambio del personal de temporada dificulta mantener un criterio de inspección

homogéneo. La propuesta actúa sobre ambos: los KPI de procesos internos permiten detectar las desviaciones que ponen en riesgo el cumplimiento normativo, y el indicador de capacitación de inspectores aborda la variabilidad que introduce el cambio de personal.

Aplicando el modelo de las Cinco Fuerzas de Porter al entorno sectorial, destacan dos fuerzas relacionadas con el control de calidad.

La rivalidad competitiva se concentra en un solo mercado. En la temporada 2023/24, China recibió el 92% del valor y el 90,8% del volumen de cerezas frescas exportadas por Chile (ODEPA, 2024a), de modo que los exportadores chilenos compiten entre sí por el mismo destino. En ese escenario, cumplir los estándares de exportación es lo que permite a cada exportador acceder a ese destino.

El poder de negociación de los compradores es alto por esa misma concentración: China absorbe el 92% del valor exportado y pagó un precio promedio de 7,46 [USD/kg] FOB, menor que el de mercados como Japón y Rusia, que pagaron 10,10 y 11,84 [USD/kg], respectivamente (ODEPA, 2024a, que informa los precios por tonelada; aquí se expresan por kilogramo). Además, el mercado de destino fija las exigencias fitosanitarias y de calidad (SAG, 2024), y la fruta que no las cumple se reclasifica a una categoría inferior o queda relegada al mercado interno, donde la cereza se transó entre 300 y 600 [CLP/kg] el 16 de diciembre de 2024 (ODEPA, 2024b) .

De las fuerzas analizadas, la más crítica es el poder de negociación de los compradores: el destino concentra la demanda, fija las exigencias y paga menos que otros mercados, y la fruta que no cumple esas exigencias pierde valor al reclasificarse o, en el peor caso, pierde el precio de exportación y se vende en el mercado nacional a una fracción de ese precio. En consecuencia, cada desviación de calidad no detectada a tiempo se traduce en pérdida de valor. Esa es la fuerza que la propuesta permite mitigar, al detectar y priorizar las desviaciones antes de que la fruta se despache.

Si el entorno premia la calidad y castiga el incumplimiento, conviene revisar cómo está preparado el propio proceso de control de calidad de la Planta X para responder a esas exigencias. Con ese objetivo, a continuación, se desarrolla un FODA acotado al proceso, que cruza las fortalezas y debilidades observadas en el diagnóstico con las oportunidades y amenazas del entorno recién descrito.

	Positivo	Negativo
Interno	**Fortalezas**: **F1:** Alta tasa de validación de inspecciones de recepción (99,4%). **F2:** Amplia cobertura de detección de defectos (99,78% de recepciones con al menos un registro). **F3:** Sistema de gestión digitalizado que ya captura datos en los cuatro puntos de control.	**Debilidades**: **D1:** Ausencia de un sistema de indicadores de gestión que traduzca los datos capturados en decisiones. **D2:** Cobertura de muestreo de fruta embalada baja y sin umbral de referencia definido (9,08%). **D3:** Punto de control de despacho sin mecanismo de anticipación de no conformidades vía contramuestra.
Externo	**Oportunidades**: **O1:** Demanda sostenida del mercado chino de cerezas de exportación (SAG, 2024). **O2:** Tecnologías de Industria 4.0 y visión computacional disponibles para automatizar la detección de defectos (Ismail & Malik, 2022; Peres et al., 2025)	**Amenazas**: **A1:** Estándares fitosanitarios y de calidad crecientemente estrictos, cuyo incumplimiento afecta negativamente el acceso a mercado (Melo et al., 2014). **A2:** Mayor exigencia de muestreo oficial ante incumplimientos (condición de "Objetado", eleva las inspecciones del 1% al 3% de las cajas del lote) (SAG, 2020). **A3:** Competencia de otros países exportadores del hemisferio sur por los mismos mercados de destino.

Tabla 3.2: FODA del Proceso de Control de Calidad de la Planta X. Fuente: Elaboración Propia, en base al diagnóstico de la sección 4.1 y al marco regulatorio de la sección 3.1.1.

El FODA ordena los hallazgos del diagnóstico expuesto en la Justificación frente al entorno y permite formular lineamientos estratégicos que vinculan el cruce de variables internas y externas con el sistema de indicadores propuesto en esta memoria:

- Estrategia Ofensiva (FO): Usar el sistema de gestión digitalizado vigente (F3) para calcular los KPI con los datos que ya se capturan, y dejar las tecnologías de Industria 4.0 y visión computacional (O2) como una línea futura para automatizar el registro de defectos.
- Estrategia de Reorientación (DO): Capitalizar la demanda del mercado de destino (O1) como argumento de viabilidad para justificar los recursos que exigen los registros de la Etapa 1 de implementación y el muestreo adicional, necesarios para subsanar la carencia de indicadores analíticos (D1), la ausencia de un umbral de cobertura del muestreo (D2) y la falta de una métrica sobre las contramuestras (D3).
- Estrategia Defensiva (FA): Apoyarse en la alta tasa de validación y en el registro exhaustivo de defectos (F1, F2) para detectar a tiempo las desviaciones que podrían llevar a rechazos de lotes o a la condición de "Objetado" (A1, A2).
- Estrategia de Supervivencia (DA): Definir un umbral de cobertura de muestreo (D2) y un sistema de indicadores (D1) que reduzcan la exposición a rechazos y a una mayor exigencia de muestreo oficial (A1, A2).

En síntesis, el proceso de control de calidad de la Planta X tiene fortalezas operativas, pero su principal debilidad es la falta de métricas agregadas de gestión (D1). Un sistema de indicadores construido sobre la infraestructura digital existente (F3) aborda las debilidades D1 y D2 frente a las amenazas normativas del entorno (A1, A2). La debilidad D3 se diagnostica, pero su indicador queda como trabajo futuro. La revisión de la literatura que sigue examina cómo otros estudios han abordado esa misma falta de métricas de gestión.

3.2 Revisión de la Literatura

La literatura revisada respalda la aplicación de metodologías de mejora y de indicadores de gestión en el control de calidad agroalimentario. Los casos revisados corresponden a estudios internacionales, ya que no se encontraron publicaciones chilenas que apliquen DMAIC con diseño de KPI en packing de cereza.

La mayoría de los casos de DMAIC encontrados se ubica en alimentos procesados y envasados, como aceitunas o yaca en conserva, además de un caso de manufactura general. También existen estudios sobre cadenas de frutas y hortalizas frescas, pero no estructuran KPI formales como esta propuesta, y el único que aplica DMAIC, Brito et al., 2026, lo hace sobre la capacidad productiva de un packing de mango y no sobre su control de calidad. Aun así, uno de estos estudios (Macheka et al., 2017) asocia la madurez del control de calidad con menores pérdidas poscosecha.

3.2.1 DMAIC Aplicado a Procesos de Envasado/Empaquetado de Alimentos

Un primer estudio aplicó la metodología Six Sigma DMAIC a una línea de envasado de aceitunas con el objetivo de mitigar la variabilidad en el peso escurrido del producto (Tsarouhas & Sidiropoulou, 2024). La investigación reportó una reducción del 51,02% en la desviación estándar de dicha variable, una disminución del 99,97% en las partes por millón (PPM) defectuosas y un incremento del 8,24% en el rendimiento del proceso. Este caso resulta altamente vinculante para la presente propuesta, ya que aborda el envasado de un producto agrícola sujeto a una alta variabilidad biológica natural escenario análogo al packing de fruta fresca, donde el ciclo DMAIC viabilizó la transición desde una detección de desviaciones no gestionada hacia un proceso monitoreado mediante indicadores explícitos.

En la misma línea, un estudio más reciente aplicó un marco integrado de DMAIC y Análisis de Modos de Falla y Efectos (FMEA) al procesamiento agroindustrial de yaca en conserva, y encontró que la pérdida de materia prima, los ciclos de escaldado prolongados y la baja concordancia entre inspectores eran las causas raíz de la baja confiabilidad del proceso (Dechampai et al., 2026). Aunque se trata de un proceso de transformación y no de un packing de fruta fresca, este antecedente muestra la aplicación de DMAIC en un proceso agroindustrial de

fruta y destaca la concordancia entre inspectores como causa de baja confiabilidad, un riesgo que en la Planta X puede acentuarse porque la dotación de inspectores cambia en cada temporada.

Otra investigación aplica Six Sigma mediante el ciclo DMAIC para mejorar la calidad y reducir los defectos de un proceso de fabricación industrial que utiliza una máquina Kolbus BF 511, y muestra cómo el control del proceso, junto con herramientas como SMED (cambio rápido de formato), permite disminuir los tiempos de inactividad y mejorar la eficiencia operativa de la planta (Smętkowska & Mrugalska, 2018). Este antecedente provee el marco metodológico general para la estructuración y despliegue del ciclo DMAIC en el capítulo 4 de esta memoria.

En cuanto a los indicadores de gestión, un estudio examina qué indicadores clave de rendimiento (KPI) permiten evaluar la eficiencia en la industria alimentaria, e identifica, entre otros, el número de defectos del producto, las mermas productivas y tecnológicas, la capacidad promedio y máxima del sistema y la calidad de la materia prima, además del porcentaje de productos no conformes (Mansour & Al-Hamdani, 2024). Esta investigación es un referente para la estructuración del conjunto de indicadores propuestos en el Desarrollo: de ella se toman el número de defectos, como base de las métricas de defectos, y el porcentaje de productos no conformes.

En una línea complementaria, una revisión sistemática y bibliométrica de 125 trabajos sobre medición del desempeño en la cadena de suministro de alimentos muestra que la etapa de producción es la que concentra la mayor atención en la literatura sobre indicadores de desempeño (Bottani et al., 2025) . Esta revisión respalda el uso de indicadores de desempeño en la etapa productiva, que es donde se ubican los puntos de control del packing

En cuanto al BSC, un estudio en una cadena de comida rápida de Estados Unidos lo combinó con el método grey-DANP para evaluar el desempeño con 17 criterios agrupados en sus cuatro perspectivas, y encontró que la de procesos internos era la de mayor peso (36,4%), seguida de la financiera y la de aprendizaje y crecimiento (Duman et al., 2018) . Este caso muestra la aplicación del BSC en la industria alimentaria, aunque no lo integra con DMAIC ni lo aplica al control de calidad.

3.2.2 Casos Específicos de Cadenas de Fruta y Hortalizas Frescas

A diferencia de las investigaciones previas focalizadas en alimentos procesados o envasados, un estudio sobre la cadena de suministro de tomate fresco en Zimbabue exploró de forma directa la relación entre la gestión logística, las actividades de control de calidad en predio o central de empaque, y las pérdidas poscosecha (Macheka et al., 2017). La investigación encontró que los productores comerciales con prácticas de control avanzadas (como estándares de clasificación rigurosos, monitoreo de temperatura y mantenimiento de equipos) registraron mermas poscosecha de un 1%, en contraste con el 3% observado en productores de subsistencia con un desarrollo incipiente de sus controles.

Este hallazgo sugiere que no es la mera existencia de los controles lo que se asocia con un menor descarte, sino su nivel de madurez operativa, aunque ambos grupos de productores también difieren en escala, tecnología y logística. Dicha evidencia es coherente con la premisa central de esta propuesta: la madurez de las prácticas de control, y no solo su existencia, se asocia con mejores resultados.

En una línea más cercana a la automatización de procesos que al diseño de indicadores, pero relevante como línea de desarrollo futuro, la investigación reciente destaca el uso de sistemas de visión computacional y aprendizaje profundo (Deep Learning) para la inspección y clasificación automatizada de fruta por defectos, calibre y color en tiempo real, registrando precisiones de reconocimiento superiores al 90% en las especies evaluadas (Ismail & Malik, 2022). Esta tecnología, ausente hoy en el esquema operativo de la Planta X (el cual se sustenta en la inspección manual y el registro digital tradicional), representa una ruta de evolución viable para automatizar el registro de defectos que alimenta el índice de concentración de defectos que se propone (ICD-10), reduciendo la dependencia del ingreso manual de cada defecto detectado.

En Latinoamérica, el antecedente más cercano es la aplicación de DMAIC en un packing de mango en Brasil, donde el ciclo permitió identificar las causas de la baja capacidad productiva (variabilidad de la demanda, tiempos ociosos y paradas operacionales) y proponer mejoras en la planificación (Brito et al., 2026). Ese caso se centra en la capacidad productiva y no en el control de calidad.

3.2.3 Síntesis y Vínculo con la Memoria

Los casos de DMAIC revisados muestran que la medición cuantitativa del problema permite diseñar mejoras (Smętkowska & Mrugalska, 2018) y, en el envasado de aceitunas, reducir la variabilidad y los defectos (Tsarouhas & Sidiropoulou, 2024). En fruta fresca, el estudio de tomate vincula la madurez de los controles con menores pérdidas poscosecha (Macheka et al., 2017). Sin embargo, los estudios aplican DMAIC, diseñan indicadores o usan el BSC por separado, y los casos de fruta fresca no estructuran KPI formales. Ninguno de los casos revisados integra DMAIC y BSC para diseñar indicadores de control de calidad en una planta de packing de exportación.

Este estudio aborda esa brecha con un diagnóstico de los puntos de control de la Planta X y el diseño de indicadores para dos de sus cuatro puntos de control (recepción y muestreo de fruta embalada). Se diferencia por la articulación de DMAIC y BSC, y no por la creación de nuevas herramientas metodológicas. El marco teórico que sigue presenta los conceptos que sustentan ese diseño.

3.3 Marco Teórico

El marco teórico se estructura en cuatro ejes:

- Six Sigma y su ciclo DMAIC como soporte metodológico medular de esta investigación, profundizando en qué implica cada una de sus cinco etapas y cómo se despliega en el desarrollo de esta memoria.
- El modelo del BSC como marco que ordena el sistema de indicadores propuesto según una lógica de causa-efecto entre perspectivas organizacionales.
- Las variables técnicas de control de calidad frutícola, indispensables para la interpretación del diagnóstico cuantitativo y la formulación de las métricas operacionales.
- Otros enfoques de gestión de calidad considerados (ciclo PDCA, Lean Manufacturing, norma ISO 9001 y TQM), cuyo contraste fundamenta la selección de DMAIC.

3.3.1 Gestión de Calidad de Procesos: Six Sigma y DMAIC

El control de la variabilidad y la erradicación de fallos en los flujos de trabajo constituyen el núcleo de la metodología Six Sigma. Desarrollado originalmente por Motorola en la década de los 80 para entornos de manufactura, este esquema hoy se extiende a campos tan diversos como el sector agroalimentario (Aichouni et al., 2021; Tsarouhas & Sidiropoulou, 2024) . Su denominación responde a un criterio puramente estadístico: lograr que los márgenes de tolerancia del proceso se distancien seis desviaciones estándar (σ) respecto al promedio. Al asumir el clásico desvío de la media de 1,5σ, el sistema busca un techo máximo de 3,4 defectos por cada millón de oportunidades (DPMO), un parámetro estrechamente ligado a los fundamentos del control de calidad. Su despliegue operativo se apoya en la ruta DMAIC, una estructura guiada por datos que avanza secuencialmente a través de la definición del problema, la medición de variables críticas, el análisis de causas raíz, la optimización práctica y el control del rendimiento en el tiempo (Aichouni et al., 2021). Bajo esta lógica, se estructuran las cinco fases ajustadas al propósito de esta memoria:

- Definir: Fijar el punto de partida del proyecto de mejora. Esta etapa comprende tres elementos que deben quedar explícitos antes de avanzar a la fase de Medición: (i) el punto de partida o línea base cualitativa del proceso (qué existe hoy, qué no existe), (ii) las metas y objetivos que se persiguen con la iniciativa (qué se espera lograr y para quién), y (iii) una evaluación, aunque sea aproximada, del impacto financiero involucrado (qué se deja de ganar o qué se arriesga perder si el problema no se aborda). En esta memoria, la etapa de Definir se desarrolla en la Introducción y en la Justificación (contexto, brecha, objetivos), y se completa en el Desarrollo con la línea base cuantitativa del proceso y la estimación de impacto financiero.
- Medir: Cuantificar el desempeño actual del proceso con datos reales, mediante estadísticos descriptivos (mediana, percentiles, frecuencias) y, cuando corresponda, métricas base de Six Sigma (DPMO, Nivel de Sigma). Su resultado es el diagnóstico cuantitativo que sirve de línea base para el diseño de los indicadores.
- Analizar: Identificar causas raíz y patrones de concentración en la variabilidad o los defectos observados, mediante herramientas de análisis de causa raíz. La literatura de Six Sigma asocia a esta etapa herramientas como el diagrama de Pareto (para priorizar por frecuencia de ocurrencia), los diagramas de causa-efecto (Ishikawa), las gráficas de control

(para procesos monitoreados en el tiempo) y el análisis estadístico de hipótesis (para comparar poblaciones o períodos). De este conjunto, esta memoria emplea específicamente el diagrama de Pareto (Ahmad & Hasan, 2016) para priorizar los defectos de mayor concentración, dado que el diagnóstico es de carácter retrospectivo y transversal (dos temporadas ya cerradas) y no un monitoreo continuo en tiempo real, que es el escenario donde las gráficas de control y el diseño de experimentos aportan mayor valor.

- Mejorar: Diseñar e implementar soluciones que atiendan las causas raíz identificadas. En esta memoria, la solución propuesta es el propio sistema de indicadores (KPI), estructurado y clasificado según el modelo del BSC.
- Controlar: Establecer mecanismos que sostengan la mejora en el tiempo y prevengan el retroceso a la condición previa. En esta memoria, se materializa en la estrategia de implementación por etapas y el modelo de gobernanza (responsables, frecuencia de revisión y acción ante desviación).

3.3.2 Balanced Scorecard (BSC)

El modelo del BSC (Duman et al., 2018; Kaplan & Norton, 1996) ordena el sistema de indicadores propuesto en esta memoria. El enfoque evalúa el desempeño mediante cuatro perspectivas conectadas por causa y efecto: el aprendizaje y crecimiento (capacidades del personal y sistemas) impulsa los procesos internos (eficiencia y control operacional). Los procesos internos, a su vez, determinan la respuesta ante el cliente (estándares de los mercados de destino) y, en último término, impactan en los resultados financieros (ingresos y costos por mermas). Kaplan y Norton (1996) distinguen, además, entre indicadores de resultado, que muestran si se lograron los objetivos, e inductores de desempeño, que anticipan esos resultados. El BSC se formula normalmente a partir de la estrategia de la organización; en esta memoria, como adaptación propia, se aplica a un proceso, el control de calidad del packing, cuyos KPI de procesos internos actúan como inductores de desempeño, mientras que el indicador financiero actúa como indicador de resultado.

Bajo esta lógica, la digitalización de los cuatro puntos de control (F3) actúa como habilitador, porque es la infraestructura que permite calcular los tres KPI de procesos internos diseñados para este proyecto: la tasa de cobertura de muestreo (TCM), el tiempo de validación de recepción en su percentil 90 junto con la tasa de validación tardía (TVR-P90/TVT) y el índice de concentración de los 10 defectos más frecuentes (ICD-10). Los indicadores de la perspectiva de aprendizaje y crecimiento son la cobertura de capacitación de inspectores (CCI) y la tasa de acciones correctivas documentadas (TACD), presentados junto a los KPI propuestos. El comportamiento de los KPI de procesos internos incide en el cumplimiento de las exigencias comerciales y fitosanitarias del cliente, lo que contribuye a reducir el riesgo de reclamos en destino. Hacia la perspectiva financiera, la cadena tiene dos vías. La primera es directa: el VRC se calcula sobre las cajas que la planta reclasifica o redirige a mercado nacional antes del despacho, por lo que responde a lo que detectan y corrigen los procesos internos. La segunda pasa por el cliente: los reclamos en destino tienen un costo propio, que esta memoria identifica, pero no mide, porque el VRC no lo incluye y el sistema actual no registra ese costo.

Con ese criterio, la memoria diseña los KPI de procesos internos con umbral de gestión calculado sobre datos históricos y los complementa con indicadores de las otras perspectivas, de modo que la cadena causa-efecto quede expresada en indicadores medibles y no solo de forma descriptiva. La Ilustración 3.1 sigue el mismo orden del diagrama causa-efecto de Kaplan y Norton (1996) y aplica esa lógica a los indicadores de esta memoria. La vía directa de procesos internos a la perspectiva financiera es una adaptación propia, que la figura muestra con una flecha lateral; el costo de los reclamos, que no se mide, se muestra con una flecha punteada.



Ilustración 3.1: BSC lógica causa-efecto aplicada al sistema propuesto. Fuente: Elaboración propia, en base al BSC de Kaplan & Norton y la Aplicación Realizada por Duman.

3.3.3 Conceptos Técnicos de Control de Calidad de Fruta

Antes de entrar al diagnóstico y a los indicadores propuestos, conviene precisar los parámetros técnicos de control de calidad frutícola, utilizados en la evaluación de cereza de exportación (Leisso et al., 2025; UNECE, 2023), y las métricas asociadas a Six Sigma que articulan esta memoria. Estos conceptos permiten dimensionar los hallazgos del diagnóstico y fundamentar el diseño de los KPI.

- Defecto: Desviación de la fruta respecto del estándar comercial esperado (ej. daño mecánico, deshidratación, pudrición), clasificada por tipo y cuantificada como porcentaje de la muestra afectada.
- Firmeza: Medición de la textura/resistencia de la fruta, relevante para determinar su vida de anaquel y resistencia al transporte.
- Sólidos Solubles (° Brix): Medición de la concentración de azúcares, utilizada como indicador de madurez y calidad organoléptica.

- Calibre: Tamaño de la fruta, expresado en milímetros de diámetro o gramos de peso, determinante de la categoría comercial.
- Contramuestra: Caja de un embarque (despacho) que la planta guarda para inspeccionarla cuando el embarque llega a destino, y contrastarla con la muestra original y con la inspección en destino.
- Validación: Aprobación del control de calidad de una recepción por parte del supervisor. En la Planta X, la regla es que el lote debe estar validado para poder ingresar a proceso, por lo que el tiempo entre el registro y la validación de la inspección es, en general, un tiempo de espera del lote. Excepcionalmente, un lote puede procesarse antes de validarse y la validación se registra después.
- Recepción Objetada: Resultado de la inspección de recepción de la planta, según el cual el lote no ingresa a proceso, no llega a embalarse y, en general, se vende como fruta comercial a granel en el mercado nacional.
- Métricas de Seis Sigma (DPMO y Nivel de Sigma): Indicadores estadísticos que cuantifican el desempeño de un proceso en términos de su tasa de error. El DPMO estandariza la tasa de defectos independientemente del volumen de producción, mientras que el Nivel de Sigma traduce dicho DPMO en una escala de capacidad de proceso, donde valores más altos representan menor variabilidad y mayor control (Smętkowska & Mrugalska, 2018). Estas métricas se retoman en el diagnóstico del proceso actual para establecer un punto de partida cuantitativo antes de la implementación del sistema de indicadores.

Los parámetros de calidad de la fruta (defecto, firmeza, sólidos solubles y calibre) corresponden a la terminología estandarizada de un marco comercial internacional. En específico, la norma UNECE FFV-13 para cerezas clasifica el producto en tres categorías comerciales: "Extra" (calidad superior, prácticamente libre de defectos), Clase I (se admiten defectos leves de forma o color) y Clase II (se permiten defectos de forma, color y pequeñas cicatrices ya sanadas, siempre que el fruto conserve sus características esenciales).

El estándar además define tolerancias de calidad explícitas por lote: para la categoría "Extra" se tolera hasta un 5% de fruta bajo el estándar (con un máximo de 2% partida o con daño de insecto), en Clase I se acepta hasta un 10% (máximo 4% partida o con daño biológico), y en Clase II hasta un 10% adicional por debajo de los requisitos mínimos. Finalmente, se fijan calibres mínimos de 22 [mm] para la categoría "Extra" y de 17 [mm] para las Clases I y II, otorgando una tolerancia general de descalibre del 10% (UNECE, 2023).

Mientras la normativa fitosanitaria descrita anteriormente regula el riesgo de plagas cuarentenarias como condición indispensable para la exportación, el estándar UNECE norma la calidad comercial del producto una vez subsanado el requisito sanitario; ambos cuerpos normativos actúan de manera complementaria. Del estándar UNECE, el diseño de esta propuesta toma dos elementos: la expresión del control como porcentaje de un universo (la fruta del lote en UNECE y las cajas producidas en la TCM) y la clasificación por categorías, que sustenta la reclasificación de cajas a una categoría inferior que valoriza el indicador financiero propuesto en el Desarrollo.

Estas tolerancias se aplican al total de fruta fuera de estándar del lote y no a cada tipo de defecto por separado, por lo que no se comparan aquí con el porcentaje de un defecto individual. El foco de esta memoria no es evaluar el cumplimiento de estas tolerancias, sino la ausencia de una métrica de gestión que priorice sistemáticamente los defectos de mayor concentración.

Estos conceptos responden, además, a las características fisiológicas de la especie. En el caso de la cereza, la literatura técnica (Zoffoli, 2022) la define como un fruto no climatérico de alta tasa respiratoria y perecibilidad, con un pedicelo susceptible a la pérdida de humedad y una vulnerabilidad al daño mecánico (machucón) ligada a la manipulación durante la cosecha y el vaciado en contenedores.

La cereza de exportación debe conservar la calidad del fruto y del pedicelo durante 2 a 5 semanas de transporte y almacenaje, y atributos como la retención del pedicelo, la firmeza, el color y los sólidos solubles varían según la variedad (Leisso et al., 2025). Zoffoli (2022) documenta, además, que un intervalo de enfriamiento menor a 4 [h] desde la recolección hasta el ingreso a la planta minimiza la deshidratación. En la Planta X, los lotes esperan su validación en cámaras de frío, por lo que ese tiempo de espera no se suma a dicho intervalo.

Estos antecedentes ayudan a interpretar por qué el machucón, el fruto sin pedicelo y la deshidratación son las tres alteraciones de mayor frecuencia en el diagnóstico de la Planta X (ver Tabla 4.5): el machucón se asocia a la manipulación en cosecha y vaciado, el fruto sin pedicelo a la pérdida de humedad y al desprendimiento del pedicelo, cuya retención varía según la variedad, y la deshidratación a la pérdida de humedad y al tiempo que transcurre hasta el enfriamiento. Se trata de una asociación basada en la literatura y no en un análisis de causa raíz propio; confirmarla en la Planta X es una de las acciones de la gobernanza del ICD-10.

3.3.4 Metodologías Potenciales Consideradas

Antes de seleccionar DMAIC como metodología de esta memoria, se consideraron otras metodologías y/o herramientas de gestión y mejora de calidad de procesos, ampliamente utilizadas en la industria:

PDCA (Plan-Do-Check-Act) (Deming, 2000): Constituye el modelo genérico de mejora continua estructurado en cuatro fases. Si bien funciona como el antecesor conceptual de la metodología DMAIC, posee un carácter más general y menos prescriptivo, al no exigir una fase de medición cuantitativa explícita ni el uso de herramientas estadísticas para el análisis de variabilidad. Para esta investigación cuyo objetivo central es diagnosticar la operación con datos reales y diseñar indicadores cuantitativos, la etapa “Check” del PDCA resulta menos estructurada que las fases “Measure” y “Analyze” de DMAIC. Estas últimas imponen el requisito estricto de cuantificar el desempeño del proceso antes de formular cualquier propuesta de optimización.

Lean Manufacturing (Ohno, 1978): Se centra en la eliminación sistemática de desperdicios (tales como esperas, sobreproducción y reprocesos) a lo largo del flujo de valor. Una revisión sistemática y bibliométrica reciente confirma que la aplicación de Lean en la producción de alimentos se concentra en la reducción de costos, el monitoreo de procesos y la integración con herramientas de Six Sigma y Value Stream Mapping, lo que confirma su rol de complemento práctico y no de marco central de diagnóstico. Este paradigma resulta sumamente pertinente para la operación de packing de fruta fresca, especialmente al abordar problemáticas como los tiempos muertos en la validación de recepción. No obstante, su vector principal es la optimización de la eficiencia del flujo productivo y no la estructuración de un sistema de indicadores de calidad. De ahí que, si bien los principios Lean podrían complementar una futura etapa de despliegue operativo, no sustituyen la necesidad de adoptar la metodología DMAIC como el andamiaje principal para el diagnóstico y la mejora del sistema.

ISO 9001 (ISO, 2015): Este estándar internacional para Sistemas de Gestión de la Calidad (SGC) se orienta a la estandarización institucional mediante políticas, manuales y procedimientos. Su alcance macro y organizacional excede el límite de esta investigación, la cual se concentra estrictamente en optimizar el control de calidad en la línea de packing. Asimismo, la norma no entrega una metodología de diagnóstico analítico ni de control estadístico de procesos como el ciclo DMAIC. Su modelo opera sobre auditorías de cumplimiento y el levantamiento de no conformidades. Esto marca un enfoque cualitativo y de gobernanza que difiere de la respuesta cuantitativa y operativa que busca esta propuesta.

TQM (Total Quality Management) (Feigenbaum, 1961): Filosofía corporativa orientada a la mejora continua de la calidad en toda la organización, con un marcado énfasis en la transformación cultural y el liderazgo. Evidencia reciente en el sector agroalimentario confirma que el TQM incide principalmente en la innovación y el acceso a mercados a través de una cultura organizacional orientada al cliente, un nivel de análisis organizacional que excede el alcance operativo de esta memoria. Si bien es un marco conceptual valioso, opera con un nivel de abstracción muy superior al delimitado en esta investigación. A diferencia de la metodología DMAIC, el TQM no provee una secuencia operativa de etapas tácticas ni herramientas analíticas específicas que puedan estructurar y mapear directamente el desarrollo técnico presentado en el Desarrollo de esta memoria.

Criterio de Selección: DMAIC se seleccionó como metodología guía de esta investigación porque, a diferencia de PDCA, Lean, ISO 9001 y TQM, reúne en una sola estructura analítica tres ventajas. Primero, provee una fase de medición cuantitativa explícita (Medir), consistente con el enfoque metodológico de construir un diagnóstico sustentado en datos reales. Segundo, incorpora una etapa de análisis (Analizar) orientada a identificar brechas específicas. Por último, cuenta con respaldo en la literatura previa, con aplicaciones a procesos productivos (Smętkowska & Mrugalska, 2018) y, en particular, al envasado de un producto agrícola(Tsarouhas & Sidiropoulou, 2024) .

Para ordenar el sistema de indicadores se eligió el BSC porque vincula, mediante una cadena causa-efecto, los indicadores operativos con los resultados del cliente y financieros (Kaplan & Norton, 1996) , lo que permite conectar los KPI de control de calidad con el impacto económico estimado, y porque ya se ha aplicado a la evaluación del desempeño en la industria alimentaria (Duman et al., 2018). Su uso en esta memoria se limita a ordenar los indicadores propuestos según esa cadena causa-efecto.

Las demás metodologías revisadas no se descartan por invalidez (Lean, de hecho, se proyecta como un buen complemento práctico para la etapa de implementación), pero el ciclo DMAIC es el marco que mejor calza con el objetivo general de esta memoria: diagnosticar, cuantificar y diseñar un sistema de indicadores, sin entrar al rediseño del flujo físico del proceso ni a la certificación global de un sistema de gestión.

Por último, esta memoria no aplica todas las herramientas estadísticas que suelen asociarse al ciclo DMAIC, como el diseño de experimentos o los índices de capacidad de proceso, y se acota a las pertinentes al diseño de un sistema de indicadores: estadísticos descriptivos y métricas base de Six Sigma (DPMO y Nivel de Sigma) en la etapa Medir, y el diagrama de Pareto en la etapa Analizar (Ahmad & Hasan, 2016). Los estudios revisados siguen el mismo criterio, ya que seleccionan solo las herramientas adecuadas a su problema de calidad (Smętkowska & Mrugalska, 2018; Tsarouhas & Sidiropoulou, 2024). Del mismo modo, la etapa Mejorar no se ejecuta como una intervención operativa sobre el flujo de la planta, sino que consiste en el diseño del propio sistema de indicadores.

3.4 Propuesta Metodológica

En base a la selección justificada y a la profundización de cada etapa presentada anteriormente, se mapea el ciclo DMAIC a la estructura del Desarrollo de la siguiente forma:

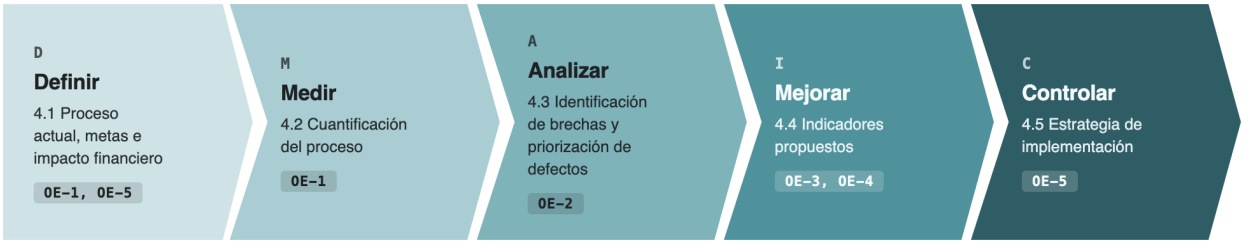


Ilustración 3.2: Diagrama Mapeo ciclo DMAIC. Fuente: Elaboración Propia, en Base al Esquema Conceptual de Smętkowska & Mrugalska.

- Definir: Se describe el proceso actual, se fijan las metas y se estima el impacto financiero con precios públicos de ODEPA y supuestos declarados (OE-1 y OE-5).
- Medir: Los tiempos de validación se calculan sobre las 6.783 recepciones validadas, conservando los casos extremos que mide la TVT; el percentil 90 se obtiene con PERCENTILE_CONT(0,9), que interpola entre observaciones, y el porcentaje de frutos afectados por defecto, como promedio simple de los porcentajes por recepción. El DPMO y el Nivel de Sigma se calculan con Python (OE-1).
- Analizar: Se aplica el diagrama de Pareto a los defectos y se identifican las brechas a partir de las métricas de la etapa Medir (OE-2).
- Mejorar: Cada KPI se define con nombre, objetivo, fórmula, umbral y fuente, en la perspectiva de procesos internos del BSC. Los umbrales parten de la línea base y, en su versión inicial, solo exigen no empeorarla (salvo el ICD-10, cuyo umbral es un piso de estabilidad), y lo no derivado de los datos se declara como supuesto. Se suman indicadores de las otras perspectivas y su cadena causa-efecto (OE-3).
- Verificación: Se comprueba que cada variable existe en el sistema y que cada KPI reproduce las cifras del diagnóstico, lo que fija su línea base (OE-4).
- Controlar: Se formula la implementación por etapas, la gobernanza, los riesgos y la medición de impacto (OE-5).

4 Desarrollo

Este capítulo aplica el ciclo DMAIC a los registros operativos recolectados en la Planta X, dentro del alcance definido para esta memoria. Los datos de la Planta X que usa este capítulo se detallan en el Anexo N° 1, y los precios de referencia provienen de ODEPA. El desarrollo se estructura en las cinco etapas del ciclo DMAIC: primero, la definición del proceso actual, sus metas y el impacto financiero involucrado (Definir); luego, la cuantificación del proceso con datos reales (Medir); a continuación, la identificación de brechas (Analizar); después, el sistema de indicadores clave de rendimiento (KPI) propuesto, con su fórmula, umbral y fuente de datos (Mejorar); y finalmente, la estrategia de implementación por etapas, con su gobernanza, sus riesgos y el mecanismo de medición de impacto (Controlar).

4.1 Definir: Proceso Actual, Metas e Impacto Financiero

Esta sección corresponde a la etapa Definir del ciclo DMAIC: fija el punto de partida cualitativo del proceso, las metas que persigue la memoria y una estimación del impacto financiero involucrado, antes de cuantificar el proceso en la etapa Medir.

El proceso de control de calidad de la Planta X opera en cuatro puntos de inspección secuenciales, los cuales se representan a continuación en un diagrama de flujo que muestra el recorrido del lote aceptado. En recepción, cada lote se inspecciona sobre una muestra de frutos y el supervisor de control de calidad valida la inspección; el lote debe estar validado para poder ingresar a proceso, salvo casos excepcionales en que se procesa antes de validarse. Si la recepción resulta objetada, el lote no ingresa a proceso y, en general, se vende a granel en el mercado nacional. Durante el packing se inspecciona la producción (Producción); después del embalaje, las cajas se muestrean (Muestreo) y se guarda una caja del embarque como contramuestra, y antes del envío a puerto se inspecciona el despacho.

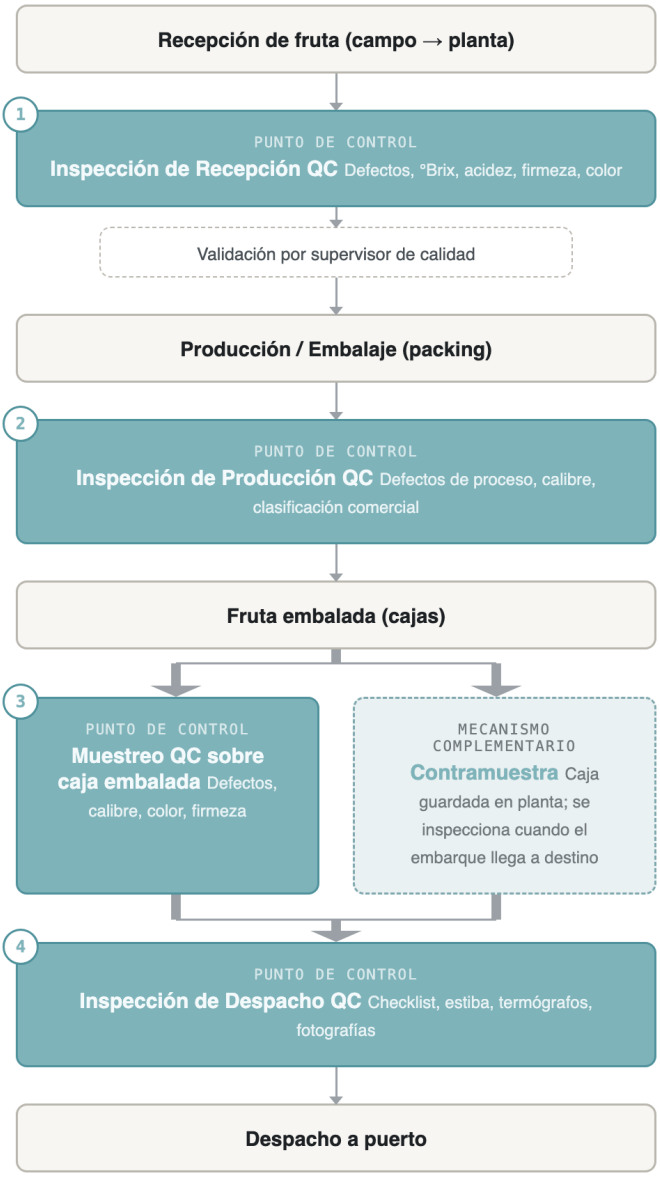


Ilustración 4.1: Diagrama de Flujo Proceso de Control de Calidad. Fuente: Elaboración Propia, en Base al Flujo Productivo de la Planta.

Punto de partida: un proceso de control de calidad con alta disciplina de registro (99,4% de inspecciones validadas y al menos un defecto registrado en el 99,78% de las recepciones, cifras presentadas en la Situación Inicial y detalladas en la etapa Medir), pero sin un sistema de indicadores de gestión que traduzca esos registros en decisiones, tal como se identificó en la brecha abordada en la Justificación. El objetivo de esta memoria es diseñar dicho sistema de indicadores, no modificar el proceso productivo en sí.

Las metas cuantificadas que persigue el sistema propuesto son:

- Reducir en al menos 1 punto porcentual la fracción de cajas redirigidas a mercado nacional, lo que equivale a 79.519 [USD] sobre un volumen de dos temporadas (estimación a continuación). El valor de 1 punto porcentual es un supuesto por calibrar con el área de calidad (Etapa 3), porque hoy esa fracción no se registra; por lo mismo, la meta es válida si la fracción que se levante como línea base supera el 1%. Si fuera menor, la meta se expresa como una reducción relativa de esa línea base, cuyo porcentaje fija el área de calidad en la Etapa 3.
- Mantener la cobertura de muestreo sobre su piso de 9,08%, con una meta provisional de 11,08% (unas 9.100 cajas adicionales muestreadas, equivalentes a 2 puntos porcentuales de la producción de las dos temporadas).
- No superar las líneas base de validación de recepción (percentil 90, P90, de 4 [h] y tasa de validación tardía, TVT, de 0,52%).

El detalle de cada umbral se presenta junto a cada KPI en la etapa Mejorar.

Impacto financiero estimado (IFE): la Planta X no cedió sus datos de costo unitario ni de precio de venta por kilogramo, por lo que no es posible calcular un impacto financiero exacto.

Sin perjuicio de ello, es posible dimensionar el orden de magnitud del problema mediante una estimación con supuestos declarados. Si una fracción de la fruta con defectos detectados tarde o no corregidos en su origen termina en el mercado nacional en vez de exportarse, el impacto por cada punto porcentual de producción redirigido, sobre las 454.395 cajas producidas en el período diagnosticado (dos temporadas), se estima con dos supuestos:

- Peso por caja: 5 [kg], formato estándar de la caja de cereza que se exporta por vía marítima (Portal Frutícola, 2021).
- Diferencial de precio entre el mercado de exportación y el mercado nacional: 3,5 [USD/kg] [2]

[2] El diferencial de 3,5 [USD/kg] es un supuesto conservador con precios públicos, ya que la Planta X no cedió sus precios de venta. Es menos de la mitad del precio FOB a China en 2023/24 (7,46 [USD/kg]; ODEPA, 2024a), y el mayorista nacional (300 a 600 [CLP/kg]; ODEPA, 2024b) solo lo haría no conservador con un tipo de cambio bajo 150 [CLP/USD]. Se aplica solo a la fruta redirigida a mercado nacional y no es una proyección financiera real.

$$IFE = (Cajas\ producidas\ x\ 1\%)\ x\ Peso\ promedio\ caja\ x\ Diferencial\ de\ precio$$

$$IFE = (454.395\ x\ 0{,}01)\ x\ 5\ kg\ x\ \frac{USD\ 3{,}5}{kg}$$

$$IFE = 4.543{,}95\ cajas = 22.719{,}75\ kg\ x \frac{USD\ 3{,}5}{kg}$$

$$IFE = USD\ 79.519{,}13$$

Ecuación 4.1: Impacto Financiero. Fuente: Elaboración Propia, en Base a los Datos Productivos de la Planta.

Como el diferencial de precio es el supuesto de mayor incertidumbre, la siguiente tabla muestra la sensibilidad del IFE ante distintos valores, manteniendo el resto de la ecuación:

Diferencial de precio [USD/kg]	IFE por punto porcentual [USD]
3,5 (valor usado)	79.519
5,0	113.599
7,0	159.038

Tabla 4.1: Sensibilidad del IFE al Diferencial de Precio. Fuente: Elaboración Propia, en Base a la Ecuación 4.1.

4.2 Medir: Cuantificación del proceso

Esta sección corresponde a la etapa Medir del ciclo DMAIC: cuantifica con datos reales el punto de partida descrito en la etapa Definir.

En la siguiente tabla se detallan los volúmenes de inspección de control de calidad por punto de control:

Punto de control	Volumen registrado
Recepción	6.823
Producción	10.609
Muestreo	41.272 de 454.395 cajas producidas
Contramuestra	1.118
Despacho	119

Tabla 4.2: Volúmenes por Punto de Control. Fuente: Elaboración Propia, en Base a los Datos Productivos de la Planta.

Métrica	Valor
Recepciones Validadas	6.783 (99,4%)
Recepciones No validadas	40 (0,6%)
Tiempo de validación: Mediana[3].	2 [h]
Tiempo de validación: Percentil 90	4 [h]
Tiempo de validación: Promedio	8 [h]
Validadas en más de 24 [h]	35 (0,52%)

Tabla 4.3: Validación de Recepción. Fuente: Elaboración Propia, en Base a los Datos Productivos de la Planta.

[3] El tiempo de validación de una recepción se mide como la diferencia entre la marca temporal de validación y la marca temporal de registro de esa misma recepción en el sistema de gestión (Tvali − Tregi, la misma definición formalizada en la Ecuación del KPI-02, más adelante en este capítulo), calculada individualmente para cada una de las 6.783 recepciones validadas y resumida aquí mediante mediana, percentil 90 y promedio.

Métrica	Valor
Recepciones con al menos un defecto[4]	6.808 de 6.823 (99,78%)
Tipos de defectos distintos por recepción (promedio)	9,38 (63.844 / 6.808)
Top 10 defectos más frecuentes	56,2% de 63.844
Recepciones objetadas	1.053 de 6.823 (15,43%)

Tabla 4.4: Detección de Defectos en Recepción. Fuente: Elaboración Propia, en Base a los Datos Productivos de la Planta.

Como métrica complementaria bajo el enfoque Six Sigma, se determina el DPMO asociado al proceso de detección de defectos en recepción. Conforme a la definición del marco teórico, cada recepción es una oportunidad y una recepción con al menos un defecto registrado cuenta como un defecto, por lo que el DPMO coincide numéricamente con la tasa de recepciones defectuosas en partes por millón (PPM). El denominador corresponde al total de recepciones inspeccionadas, el DPMO resultante describe el resultado de la inspección de recepción y no la proporción de la producción total que presenta defectos:

$$DPMO = \frac{Recepciones\ con\ al\ menos\ un\ defecto}{Total\ de\ recepciones} * 1.000.000$$

$$DPMO = \frac{6.808}{6.823} * 1.000.000$$

$$DPMO = 997.802$$

Ecuación 4.2: Cálculo DPMO. Fuente: Elaboración Propia, en Base a los Datos Productivos de la Planta.

[4] Por cada recepción se muestrea un número referencial de frutos (~100, conforme al muestreo mínimo estipulado por el SAG) y se registra, para cada tipo de defecto detectado en esa muestra, una fila con el porcentaje de frutos afectados sobre el total muestreado en esa recepción específica. El total de 63.844 registros de defecto corresponde, por lo tanto, a la suma de estas filas (tipo de defecto × recepción) a través de las 6.823 recepciones. El promedio de 9,38 tipos de defectos distintos por recepción se obtiene dividiendo ese total de registros por el total de recepciones (63.844 / 6.823 ≈ 9,36, con una diferencia menor por redondeo de las cifras consolidadas en el Anexo N°1)

A partir de este DPMO, y aplicando la conversión estándar de Six Sigma con corrección de desplazamiento 1,5σ, se obtiene un Nivel de Sigma ≈ 0σ[5].

$$Nivel\ de\ Sigma = \phi^{-1}\left(1 - \frac{DPMO}{1.000.000}\right) + 1{,}5$$

$$Nivel\ de\ Sigma = \phi^{-1}(1 - 0{,}997802) + 1{,}5$$

$$Nivel\ de\ Sigma = 0$$

Ecuación 4.3: Cálculo Nivel de Sigma. Fuente: Elaboración Propia, en Base a la Conversión Estándar Six Sigma.

Estos resultados (un DPMO cercano al millón y un Nivel de Sigma en el mínimo de la escala Six Sigma) son consecuencia del criterio de registro de la Planta X, en el que la presencia de anomalías observables en la muestra cuenta como defecto, aunque no gatille la objeción del lote. Por lo tanto, tanto el DPMO como el Nivel de Sigma aquí calculados reflejan la exhaustividad de la inspección (prácticamente toda recepción registra alguna observación) y no la calidad intrínseca del producto final ni la capacidad real del proceso.

Los registros de la planta lo confirman: en las dos temporadas, 1.053 de las 6.823 recepciones inspeccionadas (15,43%) fueron objetadas, frente al 99,78% que registra al menos un defecto. Como un lote puede ser objetado por distintos motivos, y no solo por defectos, esa cifra es un máximo de las objeciones atribuibles a defectos; aun así, la diferencia de más de 84 puntos porcentuales muestra que la gran mayoría de las recepciones con defecto registrado no es objetada. Si se contara como defecto solo a las recepciones objetadas, manteniendo cada recepción como oportunidad, el DPMO sería como máximo de 154.331, equivalente a un Nivel de Sigma de al menos 2,5σ.

Debido a esto, ninguna de las dos métricas se incorpora como KPI con umbral de gestión. Su futura viabilidad operativa requiere consensuar previamente con el área de calidad qué constituye un defecto (ej. contar solo los defectos que efectivamente gatillan una objeción) y registrar el motivo de cada objeción, que hoy no se distingue de forma estructurada.

[5] El cálculo realizado se deja en el Anexo N° 2 sección 7.2, ya que fue utilizado Python para poder obtener su valor.

4.3 Analizar: Identificación de Brechas

Esta sección corresponde a la etapa Analizar del ciclo DMAIC. Como herramienta de análisis se aplica el diagrama de Pareto (Ahmad & Hasan, 2016), ordenando los defectos de mayor a menor frecuencia e incorporando su porcentaje acumulado sobre el total de 63.844 registros. La Tabla 4.5 resultante constituye la base analítica del indicador ICD-10 desarrollado más adelante en este capítulo.

Top 10 Defectos más Recurrentes			
Defecto	Frecuencia (N° recepciones)	% promedio en aparición	% acumulado sobre el total
Machucón	5.987	1,89%	9,4%
Fruto sin pedicelo	5.922	1,88%	18,7%
Fruto deshidratado	4.520	1,56%	25,7%
Herida abierta	4.207	0,89%	32,3%
H.C. Russet	3.308	1,27%	37,5%
Virosis	2.566	0,69%	41,5%
Cracking cicatrizado	2.444	1,08%	45,4%
Pudrición húmeda	2.432	0,58%	49,2%
H.C. Sutura (> 50%)	2.299	1,76%	52,8%
Fruto doble	2.209	0,84%	56,2%

Tabla 4.5: Top 10 Defectos más Recurrentes. Fuente: Elaboración Propia, en Base a los Datos Productivos de la Planta.

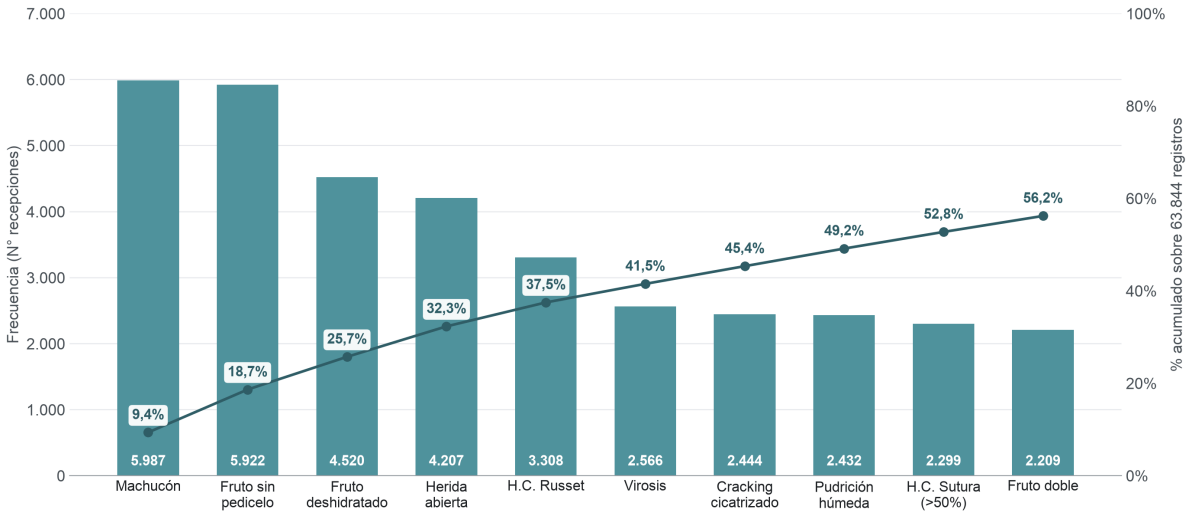


Ilustración 4.2: Top 10 Defectos en Recepción. Fuente: Elaboración Propia, en Base a los Datos Productivos de la Planta.

Del análisis de Pareto se concluye que los 10 defectos más frecuentes concentran el 56,2% de los registros, y que los tres primeros (machucón, fruto sin pedicelo y fruto deshidratado) suman por sí solos el 25,7%. No se dispone del número total de tipos de defecto que registra la planta, por lo que no es posible afirmar una concentración del tipo 80/20; lo que el análisis sí permite es ordenar los defectos por frecuencia y fijar el foco de la priorización (KPI-03) en los 10 primeros, porque, entre los tipos de defecto que registra la planta, esos 10 ya abarcan el 56,2% de los registros.

A partir del diagnóstico de la etapa Medir y del análisis de Pareto anterior, se identifican cuatro brechas. Las tres primeras sustentan un indicador del sistema propuesto, y la cuarta, aunque identificada, no se traduce en un indicador propio en esta memoria:

BR-01: La cobertura de muestreo carece de un umbral de referencia explícito. Actualmente, el 9,08% de las cajas de cereza producidas dispone de un registro de calidad muestral. El sistema vigente no tiene un parámetro que defina la cobertura mínima requerida por variedad o línea de packing, lo que impide determinar si ese nivel operativo es idóneo para el perfil de riesgo que la organización está dispuesta a aceptar. Implicancia para el diseño de KPI: Se requiere estructurar un indicador de cobertura con un umbral explícito, consensuado con el área de control de calidad (KPI-01).

BR-02: El promedio simple distorsiona la lectura de los tiempos de validación. La mediana (2 [h]) y la media aritmética (8 [h]) del tiempo de validación de recepción difieren en un factor de cuatro, porque el promedio se infla con el 0,52% de recepciones cuya validación supera las 24 [h]. Como en la Planta X el lote debe estar validado para ingresar a proceso, el tiempo habitual de validación es también un tiempo de espera de la fruta. Los casos que superan las 24 [h], en cambio, corresponden a lotes que se procesaron sin estar validados y cuya validación se registró después, es decir, a excepciones a la regla de validación. Un sistema de gestión basado solo en el promedio mostraría un tiempo típico que no representa a la mayoría de las recepciones y, a la vez, no diría cuántas recepciones se procesaron sin validación previa. Implicancia para el diseño de KPI: el tiempo de espera habitual debe medirse con un percentil (P90) y las excepciones con una tasa de casos sobre un umbral (TVT) (KPI-02).

BR-03: Los defectos carecen de una jerarquización por frecuencia. El sistema actual almacena 63.844 registros de defectos sin una métrica que distinga los que concentran la mayor frecuencia, aun cuando 10 tipos representan el 56,2% del total. La priorización que se propone es por frecuencia y no por impacto: un defecto menos frecuente puede afectar un mayor porcentaje de frutos (por ejemplo, H.C. Sutura aparece en 2.299 recepciones, algo más de la mitad que la herida abierta, con 4.207, pero cuando aparece afecta en promedio al 1,76% de los frutos, frente al 0,89% de esta). Sin una métrica de concentración, no hay un criterio objetivo de priorización para las iniciativas de mejora de procesos. Implicancia para el diseño de KPI: se propone el desarrollo de un indicador de concentración de defectos basado en el principio de Pareto (Ahmad & Hasan, 2016), que focalice los esfuerzos de gestión en los defectos más frecuentes (KPI-03).

BR-04: Ausencia de un indicador sobre las contramuestras. La Planta X almacena contramuestras (1.118 registros de cerezas en el período evaluado): una caja de cada embarque que se inspecciona en la planta cuando el embarque llega a destino, para contrastarla con la muestra original y con la inspección en destino. Sin embargo, el sistema vigente no parametriza ni reporta estadísticamente la discrepancia entre la muestra inicial y su contramuestra como métrica de gestión; cuando esa comparación se hace, es manual y caso a caso[6].

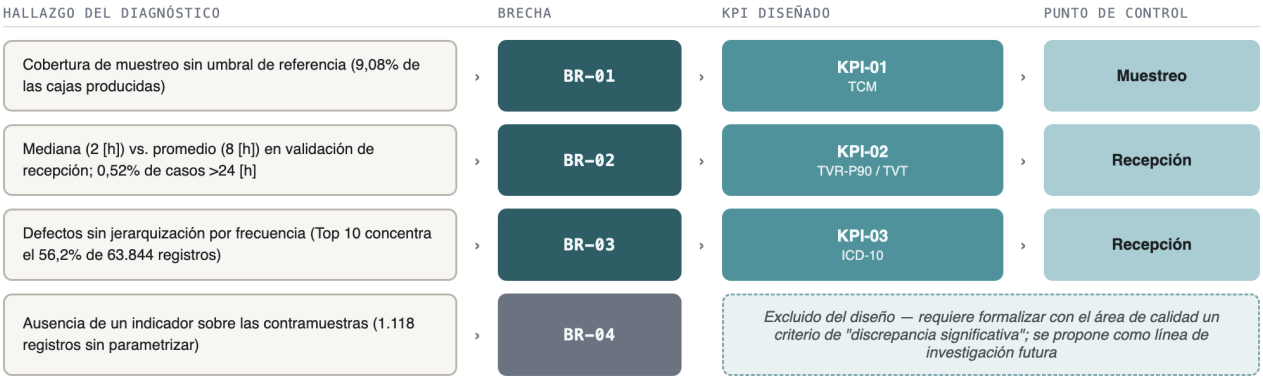


Ilustración 4.3: Trazabilidad de Hallazgo de Diagnóstico. Fuente: Elaboración Propia, en Base a las brechas identificadas y los indicadores propuestos.

[6] Esta brecha se identifica en el diagnóstico, pero se excluye del diseño del presente sistema de indicadores. Un indicador de desviación en contramuestras requiere primero que el área de calidad defina un criterio explícito de "discrepancia significativa" (ej. pérdida de peso ponderado o aparición de defectos críticos sobre un umbral de tolerancia) y una lógica de emparejamiento de datos. Esa formulación excede el alcance de esta memoria y queda como línea de investigación futura.

4.4 Mejorar: Indicadores Propuestos

Esta sección corresponde a la etapa Mejorar del ciclo DMAIC. A continuación, se estructura un conjunto de indicadores clave de rendimiento (KPI) orientado al control de calidad en el proceso de packing, asociado a cada punto de control operacional correspondiente. Los tres KPI principales pertenecen a la perspectiva de procesos internos del BSC y se complementan con indicadores de las perspectivas de aprendizaje y crecimiento y financiera, presentados al final de esta sección. Cada propuesta especifica su objetivo, formulación matemática, umbral base y fuentes de información asociadas. Los umbrales sugeridos constituyen un marco de referencia inicial derivado del desempeño histórico de la Planta X; por consiguiente, su calibración definitiva deberá realizarse en coordinación con el área de calidad de cada planta que implemente el sistema.

En lo que respecta a la cobertura del sistema, el KPI-02, que integra el Tiempo de Validación de Recepción al Percentil 90 (TVR-P90) y su métrica derivada, la Tasa de Validación Tardía (TVT), y el KPI-03 (ICD-10) se asocian formalmente al punto de control de Recepción. Por su parte, el KPI-01 o Tasa de Cobertura de Muestreo (TCM) corresponde al punto de control de Muestreo, que evalúa la calidad comercial de las cajas resultantes de la Producción. En cambio, ni Producción ni las etapas de Contramuestra y Despacho cuentan con indicadores dedicados dentro del alcance de esta propuesta.

Esta concentración en Recepción y Muestreo es coherente con el Objetivo General, que acota el sistema a los puntos de control donde el diagnóstico identificó brechas medibles: las tres brechas que sustentan un KPI con umbral de gestión (BR-01, BR-02 y BR-03) emergen del análisis cuantitativo de Recepción y Muestreo. Producción no genera una brecha propia más allá de su rol de insumo auditado por Muestreo. La formalización de un indicador para Contramuestra (brecha BR-04) requiere trabajo previo con el área de calidad, por lo que se deja como línea de trabajo futuro. Despacho no tiene una brecha diagnosticada, porque su registro no se puede desagregar por especie.

4.4.1 Indicadores Principales

KPI-01: Tasa de Cobertura de Muestreo (TCM)[7]

Mide la proporción de fruta procesada que es sometida a controles de calidad muestrales, proporcionando visibilidad estadística sobre el nivel de supervisión y cobertura ejercido respecto al volumen total de producción.

$$TCM = \frac{Cm}{Cp}\ x\ 100$$

Ecuación 4.4: Tasa de Cobertura de Muestreo.

Donde:

TCM: Tasa de Cobertura de Muestreo.

Cm: N° de Cajas con al Menos una Muestra de Calidad Registrada.

Cp: N° Total de Cajas Producidas.

Fuente de datos: Registros de muestreo de cajas y de cajas producidas en el sistema de gestión de la planta.

Con los datos del período diagnosticado, TCM = (41.272 / 454.395) x 100 = 9,08%.

Umbral propuesto: Piso de 9,08%, correspondiente a la línea base histórica observada en la Planta X, y meta provisional de 11,08% para la primera temporada de operación del sistema (+2 puntos porcentuales). La meta es un supuesto por calibrar: este valor no se deriva de un cálculo de riesgo ni de costo, por lo que el área de calidad debe ratificarlo o ajustarlo en la etapa de implementación, que fija también la meta de las temporadas siguientes, según el nivel de riesgo aceptable para cada variedad y el costo del muestreo adicional.

[7] Conforme a las directrices del SAG, la inspección fitosanitaria oficial exige un muestreo del 1 % de las cajas del lote para la exportación de cerezas, elevándose al 3 % en establecimientos bajo condición de "Objetado" (SAG, 2020, 2024). Cabe precisar que la TCM aquí definida cuantifica el control de calidad comercial interno y no la fiscalización fitosanitaria oficial, por lo tanto, ambas métricas difieren en naturaleza analítica y no son comparables en magnitud. Su mención radica estrictamente en validar que la industria opera bajo el criterio de representatividad muestral respecto al lote como variable de control

KPI-02: Tiempo de Validación de Recepción, P90 (TVR-P90)

Mide el tiempo de validación de las inspecciones de recepción con el percentil 90 (P90), que describe la espera habitual del lote sin la distorsión que los casos extremos producen en el promedio (BR-02). Como el lote debe estar validado para ingresar a proceso, un P90 creciente indica que las validaciones se atrasan y aumenta la presión por procesar lotes sin validar, aunque la espera en cámara de frío no dañe la fruta. Así, el P90 actúa como señal anticipada de la TVT, que lo complementa.

$$TVR_{P90} = P_{90}(\Delta T_i \mid i \in R)$$

$$\Delta T_i = T_{val_i} - T_{reg_i}$$

Ecuación 4.5: Tiempo de Validación de Recepción, P90

Donde:

TVR-P90: Tiempo de Validación de Recepción Expresado en el Percentil 90.

P90(|): Estadístico que Calcula el Percentil 90 de un Conjunto de Datos.

ΔTi: Tiempo Transcurrido para la Validación de la Recepción i.

Tvali: Marca Temporal de Validación de la Recepción i.

Tregi: Marca Temporal de Registro de la Recepción i.

R: Conjunto de Todas las Recepciones Validadas Durante el Periodo.

Fuente de datos: Marcas temporales de registro y de validación de cada inspección de recepción en el sistema de gestión de la planta.

Con los datos del período diagnosticado, TVR-P90 = 4 [h], calculado sobre las 6.783 recepciones validadas.

Umbral propuesto: ≤ 4 [h], igual a la línea base histórica; como esta se informa en horas enteras, el P90 se redondea a la hora antes de compararlo. El P90 se calcula por semana y acumulado por temporada. Como el umbral coincide con la línea base, es esperable que algunas semanas lo superen, por lo que la superación semanal solo activa la revisión de la causa, y el cambio del proceso se juzga con el acumulado de la temporada.

La TVT complementa al P90, que no refleja los casos sobre 24 [h]. Mide la disciplina de validación como el porcentaje de recepciones validadas cuya validación excede las 24 [h], es decir, de lotes procesados sin estar validados:

$$TVT = \frac{Nt}{Nv}\ x\ 100$$

Ecuación 4.6: Tasa de Validación Tardía

Donde:

TVT: Tasa de Validación Tardía.

Nt: N° de recepciones validadas cuyo tiempo de validación (ΔTi) supera las 24 [h].

Nv: N° total de recepciones registradas en el periodo que ya están validadas.

Con la misma fuente del TVR-P90, en el período diagnosticado TVT = (35 / 6.783) x 100 = 0,52%.

Umbral propuesto: ≤ 0,52%, es decir, no superar la línea base (BR-02). El corte de 24 [h] se fija porque el lote pasa a proceso una vez validado: salvo excepciones operacionales, una validación posterior a ese plazo corresponde a un lote procesado antes de validarse.

La TVT se calcula por semana y acumulada por temporada: con unas 283 recepciones validadas por semana (6.783 / 24 semanas, en temporadas de cerca de 12 semanas según el área de calidad), un caso tardío equivale a 0,35% y dos ya superan el umbral (0,71%). Por eso, igual que en el P90, la superación semanal solo activa la revisión de la causa, y el cambio del proceso se juzga con el acumulado de la temporada, que admite hasta 17 casos.

Cada caso se asigna a la semana de registro de la recepción, por lo que la TVT y el P90 se recalculan a medida que se validan las recepciones: son medidas de cierre, no de detección. La detección recae en la alerta diaria al supervisor de control de calidad, quien valida, por cada recepción que supera las 24 [h] sin validar, incluidas las 40 nunca validadas; como el lote probablemente ya se procesó, permite regularizar la validación y revisar la fruta embalada si aún no se despacha. La TVT no capta los lotes procesados sin validar que se validaron antes de 24 [h].

KPI-03: Índice de Concentración de Defectos (ICD)[8]

Mide la proporción acumulada de los registros de defecto que es atribuible a los N tipos de defecto más frecuentes. Su propósito es focalizar los esfuerzos de mejora del proceso en los defectos de mayor frecuencia.

$$ICD - N = \frac{\sum DMF}{\sum TD}\ x\ 100$$

Ecuación 4.7: Índice de Concentración de Defectos.

Donde:

ICD-N: Índice de Concentración de Defectos, Top-N.

DMF: Registros de los N Defectos Más Frecuentes.

TD: Total de Registros de Defectos.

Fuente de datos: registros de defectos de las inspecciones de recepción en el sistema de gestión de la planta (una fila por tipo de defecto y recepción).

Con los datos del período diagnosticado, ICD-10 = (35.894 / 63.844) x 100 = 56,2%, donde 35.894 es la suma de las frecuencias de los 10 defectos de la Tabla 4.5.

Umbral propuesto: Reportar de manera estratificada el ICD-10 por temporada, especie/variedad. Tomando como referencia la línea base histórica observada en Planta X de un 56,2 %, se propone como objetivo de gestión resguardar la estabilidad temporal de esta métrica. Cabe señalar que una contracción severa en este indicador no representaría necesariamente una optimización del proceso, sino que evidenciaría un incremento en la dispersión de fallas o un sesgo de subcategorización por anomalías en el registro de nuevos defectos.

[8] Conforme a los estándares internacionales estipulados por la norma UNECE FFV-13, los márgenes de tolerancia admitidos para frutos partidos o con daños por plagas (ej. larvas o gusanos) oscilan entre un 2 % y un 4 %, supeditados a la categoría comercial correspondiente (Extra, Clase I o Clase II) (UNECE, 2023). Los defectos de mayor prevalencia registrados en la Planta X (específicamente el machucón (1,89 %) y el fruto sin pedicelo (1,88 %), detallados en la Tabla 4.5) se posicionan dentro de dicho orden de magnitud analítico. Esta correlación corrobora que la problemática operativa no radica intrínsecamente en el volumen absoluto de mermas, sino en la carencia de un indicador estructurado que faculte su jerarquización sistemática ciclo tras ciclo.

4.4.2 Indicadores Complementarios con Perspectiva del BSC

IF-01: Valor en Riesgo por Categorización (VRC). Perspectiva: Financiera.

$$VRC = \left(C_{rd}\ x\ D_{pn} + C_{rc}\ x\ D_{pc} \right) x\ P_c$$

Ecuación 4.8: Valor en Riesgo por Categorización.

Donde:

Crd: Cajas redirigidas a mercado nacional.

Dpn: Diferencial de precio exportación-mercado nacional [USD/kg].

Crc: Cajas reclasificadas a una categoría inferior que se siguen exportando.

Dpc: Diferencial de precio entre categorías [USD/kg].

Pc: Peso por caja [kg/caja].

Fuente de datos: Registro de destino y reclasificación de cajas en el sistema de gestión; precios del área comercial.

Línea Base / Meta: Reducir en al menos 1 punto porcentual la fracción de cajas redirigidas (Crd / Ctp, componente del VRC) respecto de la línea base (condición de validez en la etapa Definir). Cada punto porcentual equivale a unos 79.519 [USD] sobre el volumen de las dos temporadas.

IA-01: Cobertura Capacitación de Inspectores (CCI). Perspectiva: Aprendizaje y Crecimiento.

$$CCI = \frac{Inspe_{cap}}{Inspe_{temp}}\ x\ 100$$

Ecuación 4.9: Cobertura Capacitación de Inspectores.

Donde:

Inspe_cap: Inspectores de QC capacitados en criterios de defectos.

Inspe_temp: Total de inspectores de la temporada.

Fuente de datos: Registro de capacitaciones del área de calidad.

Línea Base / Meta: Meta: 100% de los inspectores capacitados antes de su habilitación.

IA-02: Tasa de Acciones Correctivas Documentadas (TACD). Perspectiva: Aprendizaje y Crecimiento.

$$TACD = \frac{Act_doc}{Act_tot}\ x\ 100$$

Ecuación 4.10: Tasa de Acciones Correctivas Documentadas.

Donde:

Act_doc: Activaciones de umbral con causa y acción correctiva documenta.

Act_tot: Total de activaciones de umbral de los KPI.

Fuente de datos: Bitácora de desviaciones asociada a la gobernanza.
Línea Base / Meta: 100% de las activaciones documentadas desde la primera temporada. Cuentan como activaciones las superaciones de umbral que gatillan una revisión de causa; las alertas diarias por recepción pendiente no se cuentan.

Se espera que la capacitación de los inspectores (CCI) reduzca la variabilidad en el registro de defectos entre inspectores, ya que un estudio de procesamiento de yaca en conserva identifica como una causa raíz de baja confiabilidad (Dechampai et al., 2026) y que en el packing puede acentuarse porque la dotación de inspectores cambia entre temporadas. Un registro consistente hace confiables los KPI de procesos internos (TCM, TVR-P90/TVT e ICD-10), que permiten corregir dentro de la temporada la cobertura de muestreo y las validaciones tardías, y orientar de una temporada a otra la gestión de los defectos dominantes. Esas correcciones deberían reducir, por una parte, la probabilidad de que fruta fuera de estándar llegue a destino y, por otra, el valor en riesgo por categorización (VRC), que depende directamente de las cajas que la planta detecta y reclasifica o redirige.

El segundo indicador de aprendizaje (TACD) cierra el ciclo: cada vez que un KPI activa su umbral, la causa y la acción tomada quedan documentadas, de modo que el uso del sistema genera conocimiento sobre el proceso que retroalimenta la capacitación de los inspectores y la calibración de los umbrales.

4.5 Controlar: Estrategia de Implementación

Esta sección corresponde a la etapa Controlar del ciclo DMAIC: define las etapas de implementación, la gobernanza de cada indicador, los riesgos y el mecanismo de medición de impacto.

4.5.1 Etapas de Implementación

La ruta de implementación se estructura en cuatro etapas secuenciales, que resume la Ilustración 4.4 y que avanzan de manera progresiva desde la validación de la factibilidad técnica y analítica de los cálculos, hasta la automatización e integración definitiva del modelo dentro del sistema de gestión del packing. Este enfoque escalonado es consistente con un caso reciente de implementación de KPI y tableros de control en una empresa de componentes automotrices, donde el despliegue progresivo por departamentos y la validación previa de cada indicador antes de su automatización resultó clave para su adopción efectiva (Nunes et al., 2024).



Ilustración 4.4:Etapas de Implementación. Fuente: Elaboración Propia.

- Etapa 1: Validación de Fuentes de Dato. Verificar la disponibilidad y consistencia de los registros de datos en el sistema de gestión actual y habilitar los registros que requieren los indicadores complementarios (reclasificación de cajas, capacitaciones y bitácora de acciones correctivas). Los tres KPI de procesos internos (TCM, TVR-P90/TVT e ICD-10) se pueden calcular con la arquitectura de datos existente, sin modificar el modelo de datos de la planta; los indicadores complementarios, en cambio, requieren habilitar los registros señalados.

- Etapa 2: Cálculo Batch Periódico. Orientada a implementar el cálculo de las métricas mediante reportes estacionales o semanales sin incurrir inicialmente en los costos de un tablero en tiempo real. Esta etapa intermedia permite comprobar la utilidad de cada indicador para la gestión antes de comprometer recursos en su automatización.
- Etapa 3: Definición de Umbrales con Área de Calidad. Los umbrales sugeridos en este estudio operan como un marco de referencia inicial deducido de la línea base histórica. Por eso le corresponde al departamento de control de calidad de la planta revisar, ajustar y ratificar dichos umbrales, ponderando los niveles de riesgo tolerados por la organización y sus compromisos comerciales vigentes.
- Etapa 4: Automatización y Alertas. Una vez consolidada y auditada la utilidad práctica de los KPI en las etapas precedentes, se procede a la integración definitiva de los algoritmos de cálculo automático dentro del sistema de gestión de packing, incorporando alertas tempranas ante desviaciones respecto a los umbrales definidos.

4.5.2 Gobernanza Propuesta

En la siguiente tabla se definen las propuestas de gobernanza para los KPIs, las frecuencias de estas son sugeridas en base a la variación que tiene su origen de dato.

KPI	Frecuencia de revisión	Responsable propuesto	Umbral de activación	Acción ante desviación
TCM	Semanal	Jefe de QC	TCM < 9,08% (piso de la línea base); seguimiento de la meta provisional de 11,08%	Reforzar dotación de muestreo en líneas/variedades bajo cobertura objetivo

TVR-P90 / TVT	Diaria	Supervisor QC	Recepción pendiente por más de 24 [h] (alerta diaria); P90 > 4 [h] o TVT > 0,52% semanal (revisión de causa) o en el acumulado de la temporada (cambio del proceso)	Escalar al Jefe de Calidad las recepciones pendientes por más de 24 [h]; si se supera el P90 o la TVT, revisar la causa (turno, supervisor, carga de recepción) y por qué hubo lotes procesados sin validar
ICD-10	Por temporada	Jefe de QC	ICD-10 < 56,2% sin que baje el % de frutos afectados por los tres defectos principales	Revisar causas raíz de los defectos top-N con mayor concentración
VRC	Por temporada	Jefe de QC	Reducción de Crd / Ctp menor a 1 punto porcentual respecto de la línea base (o menor a la reducción relativa fijada en la Etapa 3, si la línea base es inferior al 1%)	Revisar las causas de reclasificación y su relación con ICD-10 y TCM
CCI	En cada habilitación de un inspector	Jefe de QC	CCI < 100%	Capacitar al inspector antes de habilitarlo para registrar inspecciones
TACD	Mensual	Jefe de QC	TACD < 100%	Revisar las activaciones sin causa o acción documentada y completar la bitácora

Tabla 4.6: Gobernanza Propuesta. Fuente: Elaboración Propia, en Base a la Variación del Origen de Dato.

4.5.3 Riesgos de Implementación

Riesgo de sobreajuste de umbrales a la línea base de una sola planta: Los umbrales propuestos se fundamentan exclusivamente en el comportamiento histórico de la Planta X, factor que podría comprometer su representatividad frente a la variabilidad de otras plantas del sector. Por eso se sugiere validar los parámetros con una segunda planta antes de generalizarlos; esta restricción aplica a los límites de cumplimiento, no a la formulación matemática de los indicadores, que sí es generalizable.

Riesgo de manipulación del indicador (KPI-03 ICD-10): si los registros de defectos que alimentan el ICD-10 se leen como un indicador de la calidad de la materia prima, y no como el resultado de una inspección exhaustiva, podría inducirse una sub-detección deliberada para simular mejoras inexistentes. El riesgo alcanza también al porcentaje de frutos afectados que se usa como evidencia de mejora. Por eso la gobernanza debe explicitar el propósito de cada indicador y contrastar periódicamente ese porcentaje con las contramuestras.

Riesgo de calidad del dato (todos los KPI): Los KPI dependen de que los inspectores registren de forma consistente. El cambio de la dotación de inspectores entre temporadas puede introducir diferencias de criterio entre ellos. Se mitiga con la capacitación de cada inspector antes de su habilitación (CCI).

Riesgo de costo del muestreo adicional (KPI-01 TCM): Aumentar la cobertura de muestreo exige más horas de inspección y más fruta muestreada. Por eso el incremento de la TCM debe ratificarse con el área de calidad considerando ese costo (Etapa 3).

4.5.4 Medición de Impacto

El impacto de la propuesta se mide siguiendo la cadena causa-efecto del BSC. El indicador de resultado es el de la perspectiva financiera, el valor en riesgo por categorización (VRC), cuya línea base se levanta en la primera temporada de medición. Los KPI de procesos internos (TCM, TVR-P90/TVT e ICD-10) y los de aprendizaje y crecimiento (CCI y TACD) actúan como inductores de desempeño, y su cumplimiento respecto de los umbrales definidos indica si el sistema está operando. Los primeros tienen como línea base el diagnóstico de las dos temporadas; los segundos no tienen línea base histórica, porque esos registros no existen, y se evalúan contra su meta de 100% desde la Etapa 1.

En el caso de los defectos, la mejora se mide con la baja del porcentaje de frutos afectados por machucón, fruto sin pedicelo y fruto deshidratado, y no con la mantención del ICD-10. La evaluación se hace comparando temporada a temporada ambos tipos de indicadores; como entre temporadas cambian también el clima, la mezcla de variedades y los volúmenes, la comparación conviene hacerla por variedad y leerla como evidencia de asociación, no como prueba de que el cambio se debe solo al sistema. Como una mayor cobertura de muestreo detecta más cajas fuera de estándar, la meta del VRC se evalúa una vez estabilizada la nueva cobertura, para no confundir más detección con más pérdida. Este enfoque usa los mismos indicadores del sistema para medir su impacto, en línea con la fase de Control del ciclo DMAIC.

Para valorizar la meta de la propuesta se utiliza la estimación de la Ecuación 4.1. Se propone como meta reducir en al menos 1 punto porcentual la fracción de cajas redirigidas a mercado nacional respecto de la línea base que se levante con el indicador VRC, lo que representa el beneficio por punto porcentual estimado en esa ecuación sobre un volumen de producción equivalente al de las dos temporadas diagnosticadas. Como hoy no se registra la fracción de cajas redirigidas, la meta es válida solo si esa fracción supera el 1%; si fuera menor, la meta se expresa como una reducción relativa de esa línea base, cuyo porcentaje fija el área de calidad en la Etapa 3. Esta cifra es un beneficio bruto: no descuenta el costo de implementación del sistema.

5 Conclusión

Esta memoria cumple su objetivo general: diseñar un sistema de indicadores de gestión para el control de calidad en los puntos de recepción y muestreo del proceso de packing de la Planta X, a partir de datos reales de las temporadas 2023/2024 y 2024/2025. El diagnóstico (OE-1) cuantificó la recepción y el muestreo de fruta embalada, y el análisis (OE-2) identificó cuatro brechas y priorizó los defectos mediante el diagrama de Pareto. Sobre esa base se diseñaron tres KPI de procesos internos, con líneas base de 9,08% (TCM), 4 [h] y 0,52% (TVR-P90/TVT) y 56,2% (ICD-10), vinculados con las demás perspectivas del BSC (OE-3), y se comprobó que pueden calcularse con los datos actuales del sistema (OE-4). Por último, se propuso una implementación por etapas con su gobernanza, sus riesgos y un mecanismo de medición de impacto (OE-5), cuya meta (al menos 1 punto porcentual menos de cajas redirigidas a mercado nacional, válida si la línea base supera el 1%) se valoriza en 79.519 [USD] sobre las dos temporadas.

La teoría sirvió de soporte para estructurar el sistema. El ciclo DMAIC dio la secuencia para pasar de los datos crudos a un esquema de control accionable, y el BSC ordenó los indicadores según su cadena causa-efecto, con indicadores en las perspectivas de aprendizaje y crecimiento, procesos internos y financiera, y la del cliente expresada como objetivo, porque el sistema no registra los rechazos en destino. Entre las fortalezas del diseño, los umbrales parten de líneas base observadas en la Planta X, lo que ancla el sistema en datos reales de operación, y la combinación del TVR-P90 con la TVT separa la espera habitual de validación de los casos extremos que el promedio mezcla (BR-02). Además, ninguno de los casos revisados en la literatura integra DMAIC y BSC para diseñar indicadores de control de calidad en un packing.

En contraste, el diseño tiene limitaciones. Los umbrales se calibraron sobre una sola planta, una especie (cereza) y dos temporadas, y en su versión inicial solo exigen no empeorar (salvo el piso del ICD-10), por lo que las metas de mejora son supuestos por calibrar con el área de calidad. Los indicadores dependen, además, de la calidad del registro: diferencias de criterio entre inspectores alterarían el ICD-10 sin que cambie la fruta.

Se espera que el sistema permita monitorear fenómenos que hoy no se siguen en la Planta X, como las validaciones tardías y la concentración de defectos, y pasar de la captura pasiva de datos a una toma de decisiones oportuna. A nivel sectorial, aporta una formulación de indicadores replicable en otras plantas exportadoras, siempre que sus umbrales se calibren en cada una. En lo social, indicadores con umbral y acción definidos, junto con la capacitación medida por la CCI, facilitarían la incorporación del personal de temporada, que cambia cada año.

Por otra parte, se recomienda automatizar los KPI y sus alertas en el software de gestión de la organización, realizar el análisis de causa-raíz de los defectos principales, evaluar herramientas Lean como complemento de la implementación y explorar la visión computacional para automatizar el registro de defectos.

6 Bibliografía

Ahmad, M., & Hasan, M. (2016). *Minimization of Rework in Food Industry byApplying Pareto Chart and Cause Effect Diagram Minimization of Rework in Food Industry by Applying Pareto Chart and Cause Effect Diagram*. https://globaljournals.org/GJRE_Volume16/3-Minimization-of-Rework.pdf

Aichouni, A., Ramlie, F., & Abdullah, H. (2021). Process improvement methodology selection in manufacturing: A literature review perspective. *International Journal of Advanced and Applied Sciences*, *8*, 12–20. https://doi.org/10.21833/ijaas.2021.03.002

Bottani, E., Tebaldi, L., Casella, G., & Mora, C. (2025). Key Performance Indicators for Food Supply Chain: A Bibliometric and Systematic Literature Review. En *Applied Sciences (Switzerland)* (Vol. 15). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). https://doi.org/10.3390/app15073841

Brito, T., Gonçalves, A., Magalhães, T., & Souza, P. (2026). APPLICATION OF THE DMAIC METHODOLOGY FOR IMPROVING PRODUCTION CAPACITY: A CASE STUDY IN A MANGO PACKING HOUSE. *Revista e-TECH: Tecnologias para Competitividade Industrial - ISSN - 1983-1838*, *19*. https://doi.org/10.18624/e-tech.v19i1.1480

Caro, P., Margarit, D., Armijo, L., & Cárdenas, M. E. (2024). Subjective Precariousness and Recognition in the Work Trajectories of Seasonal Fruit Workers in Chile. *Universum*, *39*, 639–660. https://doi.org/10.4067/S0718-23762024000200639

Dechampai, D., Kasemsuksirikul, S., Promsuwan, S., & Larfon, P. (2026). Optimizing Operational Productivity and Process Reliability in Agro-Industrial Canned Young Green Jackfruit Processing: An Integrated DMAIC and FMEA Framework. *AgriEngineering*, *8*. https://doi.org/10.3390/agriengineering8040123

Deming, W. (2000). *Out of the Crisis*. https://books.google.cl/books?id=i2lB09HvPpsC&printsec=frontcover&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false.

Duman, G. M., Taskaynatan, M., Kongar, E., & Rosentrater, K. A. (2018). Integrating Environmental and Social Sustainability Into Performance Evaluation: A Balanced Scorecard-Based Grey-DANP Approach for the Food Industry. *Frontiers in Nutrition*, *5*. https://doi.org/10.3389/fnut.2018.00065

Feigenbaum, A. (1961). *Total Quality Control*. https://openlibrary.org/books/OL14891948M/Total_quality_control_engineering_and_management.

Hejazi, M., Grant, J. H., & Peterson, E. (2022). Trade impact of maximum residue limits in fresh fruits and vegetables. *Food Policy*, *106*. https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2021.102203

Ismail, N., & Malik, O. A. (2022). Real-time visual inspection system for grading fruits using computer vision and deep learning techniques. *Information Processing in Agriculture*, *9*, 24–37. https://doi.org/10.1016/j.inpa.2021.01.005

ISO. (2015). *Quality management systems-Requirements COPYRIGHT PROTECTED DOCUMENT*. https://norfabmfg.com/wp-content/uploads/2020/11/ISO-9001-2015-Fifth-Edition.pdf

Kaplan, R., & Norton, D. (1996). *The balanced scorecard : translating strategy into action*. https://books.google.cl/books?id=mRHC5kHXczEC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false.

Leisso, R., Turner, J., McMurtrey, S., Klarer, E., Emmons, J., Wiessner, J., Wang, K., Wang, E., & Imler, C. (2025). Postpacking Sweet Cherry Stem and Fruit Quality Attributes Influenced by Cultivar. *HortTechnology*, *35*, 258–266. https://doi.org/10.21273/HORTTECH05585-24

Macheka, L., Spelt, E., van der Vorst, J. G. A. J., & Luning, P. A. (2017). Exploration of logistics and quality control activities in view of context characteristics and postharvest losses in fresh produce chains: A case study for tomatoes. *Food Control*, *77*, 221–234. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.02.037

Mansour, M. M., & Al-Hamdani, K. S. M. (2024). Key Performance Indicators for Evaluating the Efficiency of Production Processes in Food Industry. *Passer Journal of Basic and Applied Sciences*, *6*, 494–504. https://doi.org/10.24271/psr.2024.450557.1555

Melo, O., Engler, A., Nahuehual, L., Cofre, G., & Barrena, J. (2014). Do Sanitary, phytosanitary, and quality-related standards affect international trade? Evidence from Chilean fruit exports. *World Development*, *54*, 350–359. https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2013.10.005

Nunes, F., Alexandre, E., & Gaspar, P. D. (2024). Implementing Key Performance Indicators and Designing Dashboard Solutions in an Automotive Components Company: A Case Study. *Administrative Sciences*, *14*. https://doi.org/10.3390/admsci14080175

ODEPA. (2024). *Boletín diario de precios y volúmenes de frutas en mercados mayoristas*. https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2024/12/Boletin_Diario_de_Frutas_y_Hortalizas_20241216.pdf

Ohno, T. (1978). *Toyota Production System*. https://books.google.es/books?id=7_-67SshOy8C&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false.

Peres, F. A. P., Bondarczuk, B. A., Gomes, L. de C., Jardim, L. de C., Corrêa, R. G. de F., & Baierle, I. C. (2025). Advances in Food Quality Management Driven by Industry 4.0: A Systematic Review-Based Framework. En *Foods* (Vol. 14). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). https://doi.org/10.3390/foods14142429

SAG. (2020). *Directrices sobre Resolución Exenta N° 6510/2020 para Cerezas de Exportación*. https://newsflash.asoex.cl/userfiles/file/0377D_Instructivo_Cereza.pdf

SAG. (2024). *Lineamientos Para Exportación de Cerezas Frescas a China*. https://www.sag.gob.cl/sites/default/files/Lineamientos%20para%20exportaci%C3%B3n%20de%20cerezas%20a%20China%20Vf%202024%20%2813-09-2024%29.docx.pdf

Smętkowska, M., & Mrugalska, B. (2018). Using Six Sigma DMAIC to Improve the Quality of the Production Process: A Case Study. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, *238*, 590–596. https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2018.04.039

Tsarouhas, P., & Sidiropoulou, N. (2024). Application of Six Sigma methodology using DMAIC approach for a packaging olives production system: a case study. *International Journal of Lean Six Sigma*, *15*, 247–273. https://doi.org/10.1108/IJLSS-06-2022-0140

UNECE. (2023). *UNECE Standard FFV-13 concerning the marketing and commercial quality control of cherries*. https://unece.org/sites/default/files/2023-12/FFV-13_Cherries_2023_e.pdf

ODEPA. (2024). Boletín de fruta, septiembre 2024. En *https://www.odepa.gob.cl/publicaciones/boletines/boletin-de-fruta-septiembre-2024*. https://www.odepa.gob.cl/publicaciones/boletines/boletin-de-fruta-septiembre-2024

Xu, J., Chen, L., Dong, J., Jiang, L., & Hong, L. (2025). Overview of fruit cracking in sweet cherry (Prunus avium L.): causes, testing methods, mitigation strategies, and research perspectives. En *Frontiers in Sustainable Food Systems* (Vol. 9). Frontiers Media SA. https://doi.org/10.3389/fsufs.2025.1534778

Zoffoli, J. (2022). *Manejo de Postcosecha de Cerezas*. https://biblioteca.inia.cl/server/api/core/bitstreams/dca1347f-c414-4f3d-8ba2-9bacad67ac29/content.

7 Anexos

7.1 Anexo N° 1: Perfil de Datos de Control de Calidad Planta X

Los datos que se detallarán a continuación se encuentran agregados y fueron extraídos desde el ambiente productivo de la Planta X, estos solo consideran las temporadas 2023/2024 y 2024/2025 y enfocados en la especie cereza.

Cifras Obtenidas	
Métrica	Valor
Recepciones	7.427
Recepciones QC	6.823
Validadas	6.783 (99,4%)
No validadas	40 (0,6%)
Tiempo de validación - Mediana	2 [h]
Tiempo de validación - P90	4 [h]
Tiempo de validación - Promedio	8 [h]
Validadas en más de 24 horas	35 (0,52%)
Recepciones con al menos un defecto	6.808 / 6.823 (99,78%)
Total registros de defecto	63.844
Promedio de tipos de defecto distintos por recepción	9,38
DPMO (recepciones con al menos un defecto)	997.802
Nivel de Sigma (equivalente al DPMO anterior)	0 (piso de la escala)
Concentración Top 10 defectos (ICD-10)	56,2% de 63.844 registros
Cajas producidas	454.395
Cajas con muestra QC	41.272
Tasa de cobertura de muestreo (TCM)	9,08%
Recepciones Objetadas	1.053 / 6.823 (15,43%)
Contramuestras	1.118
Despachos QC (No desagregado por especie)	119
Inspecciones de Producción QC	10.609

Top 10 Defectos más Recurrentes			
Defecto	Frecuencia (N° recepciones)	% promedio en aparición	% acumulado sobre el total
Machucón	5.987	1,89%	9,4%
Fruto sin pedicelo	5.922	1,88%	18,7%
Fruto deshidratado	4.520	1,56%	25,7%
Herida abierta	4.207	0,89%	32,3%
H.C. Russet	3.308	1,27%	37,5%
Virosis	2.566	0,69%	41,5%
Cracking cicatrizado	2.444	1,08%	45,4%
Pudrición húmeda	2.432	0,58%	49,2%
H.C. Sutura (> 50%)	2.299	1,76%	52,8%
Fruto doble	2.209	0,84%	56,2%

7.2 Anexo N° 2: Cálculo DPMO y Nivel de Sigma

```
from statistics import NormalDist
RECEPCIONES_CON_DEFECTO = 6_808
RECEPCIONES_TOTALES = 6_823
DESPLAZAMIENTO_SIGMA = 1.5

def calcular_dpmo(recepciones_con_defecto: int, recepciones_totales: int) -> float:
    """Ecuación 4.2: DPMO = (recepciones con >=1 defecto / recepciones totales) x
1.000.000"""
    return (recepciones_con_defecto / recepciones_totales) * 1_000_000

def calcular_nivel_sigma(dpmo: float, desplazamiento: float = DESPLAZAMIENTO_SIGMA) ->
float:

    proporcion_defectuosa = dpmo / 1_000_000
    return max(0.0, NormalDist().inv_cdf(1 - proporcion_defectuosa) + desplazamiento)

if __name__ == "__main__":
    dpmo = calcular_dpmo(RECEPCIONES_CON_DEFECTO, RECEPCIONES_TOTALES)
    nivel_sigma = calcular_nivel_sigma(dpmo)

    print(f"DPMO                                ≈ {dpmo:,.0f}")
    print(f"Nivel de Sigma                      ≈ {nivel_sigma:.2f}")
```