

Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente

Reconocimiento de validez oficial de estudios de nivel superior según acuerdo secretarial 15018, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 29 de noviembre de 1976.

Departamento de Procesos Tecnológicos e Industriales

MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE PRODUCTOS Y PROCESOS



DISEÑO Y DESARROLLO DE RED NEURONAL PARA EL RECONOCIMIENTO DE PATRONES EN EL PROCESO INDUSTRIAL DEL ARÁNDANO AZUL DE CALIDAD DE NO EXPORTACIÓN PRODUCIDO EN LA REGIÓN VALLES DEL ESTADO DE JALISCO

Tesis que para obtener el grado de

MAESTRO EN INGENIERÍA DE PRODUCTOS Y PROCESOS

Presenta: Ing. Román Aldrete Olvera

Asesor: Mtro. Felipe Sánchez Carrillo

San Pedro Tlaquepaque, Jalisco. 10 de noviembre de 2022.

Tabla de contenidos

Resumen.....	5
Abstract	6
1. Fundamentación del trabajo.....	7
1.1. Identificación y caracterización del problema a atender.....	7
1.2. Contexto de la propuesta de intervención	7
1.2.1. Contexto de la empresa	7
1.2.2. Contexto de la industria	9
1.2.3. Análisis causa-efecto	17
1.2.4. Matriz de marco lógico del problema	25
1.3. Objetivos de la intervención	25
1.4. Delimitaciones y área funcional a intervenir	26
1.5. Justificación y pertinencia del trabajo.....	28
2. Marco conceptual o de referencia	33
2.1. Estado de la cuestión	33
2.2. Conceptos y enfoques teóricos relacionados	41
2.3. Herramientas tecnológicas o de innovación consideradas en el trabajo	49
3. Estrategia de intervención.....	53
3.1. Justificación de la estrategia de intervención.....	54
3.2. Planta de procesamiento y procesos involucrados.....	56
3.2.1. Separación de componentes del arándano	58
3.2.2. Deshidratado de arándano	61
3.2.3. Elaboración de mermelada de arándano.....	63
3.3. Propuesta de herramienta de inteligencia artificial y algoritmo asociado.....	65
3.3.1. Herramientas e Instrumentos	65
3.3.2. Muestra de investigación	68
3.3.3. Modelado	82
3.3.4. Propuesta final	90
3.4. Consideraciones costo/beneficio	93
3.4.1. Supuestos	95

3.4.2. Etapa 1: Deshidratado de arándano	97
3.4.3. Etapa 2: Elaboración de mermelada de arándano.....	99
3.4.4. Etapa 3: Separación de componentes (Jugo Concentrado)	101
3.5. Etapas del proceso de aplicación/intervención	103
3.5.1. Cronograma de trabajo	103
3.5.2. Imprevistos	105
3.7. Metas de información	106
4. Exposición de hallazgos	107
4.1. Materiales y Métodos	107
4.1.1. Preparación de la muestra	109
4.1.2. Determinación de Peso Fresco.....	110
4.1.2. Determinación de Colorimetría CIE L*a*b	110
4.1.3. Obtención de jugo de arándano	110
4.1.4. Determinación de sólidos solubles en jugo de arándano	110
4.1.5. Determinación de antocianinas totales en jugo de arándano.....	112
4.2. Análisis de resultados.....	114
4.2.1. Resultados de la caracterización fisicoquímica del arándano azul	114
4.2.2. Resultados de la prueba de concepto	123
4.3. Impacto de la estrategia en la solución del problema	130
4.3.1. Alineación con la estrategia general de la organización	131
5. Discusión final	133
5.1. Consecuencias de la aplicación de la estrategia de innovación.....	133
5.1.1. Aspectos de mejora para intervenciones subsecuentes.....	134
5.2. Relevancia y trascendencia disciplinaria del caso.....	140
Referencias bibliográficas.....	144
Índice de figuras.....	155
Índice de tablas.....	157
Índice onomástico	158

Anexos.....	160
Anexo I: Conjunto de datos para la creación de Tablas Base Analíticas.....	160
Anexo II: Tabla Base Analítica utilizada para la herramienta <i>Pattern Recognition app (nprtool)</i> del <i>software MATLAB® R2022a</i>	166
Anexo III: Código de programación para <i>software MATLAB® R2022a</i> para la propuesta final de intervención del Trabajo de Obtención de Grado	171
Anexo IV: Equipos Principales cotizados para la estimación de CAPEX y costos de producción	183
Anexo V: Ejemplo de imágenes de frambuesas que sí cumplen con el estándar de calidad para su exportación para la consolidación de base interna de datos	186
Anexo VI: Ejemplo de imágenes de frambuesas que no cumplen con los estándares de calidad para exportación para la consolidación de base interna de datos.....	187

Resumen

A partir de la problemática identificada en la Región Valles del Estado de Jalisco acerca de la generación de una cantidad considerable de arándano azul (*Vaccinium corymbosum* L) que se segrega por no cumplir con los parámetros de calidad para su exportación, pero que conserva las características de inocuidad para su procesamiento industrial, se desarrolló un código de programación en el *software MATLAB® R2022a* que facilitará la toma de decisiones en una planta de procesamiento que la sociedad rural *Agrolmagen SPR de RL de CV* pretende construir por etapas en el mediano plazo. Este código de programación se compone a su vez de una red neuronal para reconocimiento de patrones capaz de clasificar lotes de materia prima en cuatro distintas categorías a partir de parámetros fisicoquímicos de entrada fáciles de determinar, que permiten estimar (de manera implícita) rangos de concentraciones de antocianinas que están ligados a su vez a los procesos de transformación más convenientes, de forma tal que los residuos que puedan generarse en estos procesos puedan ser aprovechados para la obtención del compuesto antioxidante previamente mencionado.

La prueba de concepto, realizada sobre la red neuronal de reconocimiento de patrones a partir de datos experimentales reales determinados en distintos lotes de arándano azul arrojó niveles de precisión de entre el 72.28% y el 82.25% para la categoría principal estimada por el algoritmo. Debido a la naturaleza bibliográfica de los datos utilizados para el desarrollo de la herramienta de inteligencia artificial incorporada al código de programación, se ha establecido que los niveles de precisión obtenidos son bastante aceptables y que podrán mejorarse mediante la generación de nuevos datos dentro de la organización y mediante el fortalecimiento de una red de valores con organizaciones interesadas en el procesamiento y extracción de antocianinas a partir de los residuos derivados del procesamiento de la frutilla.

Palabras clave: Agrolmagen, Arándano Azul, Inteligencia artificial, Jalisco, *MATLAB® R2022a*, Redes Neuronales Artificiales.

Abstract

Based on the problem identified in the Region Valles of the State of Jalisco regarding the generation of a considerable amount of blueberry (*Vaccinium corymbosum* L) that is segregated because it does not meet the quality parameters for export, but that retains the characteristics of food safety for its industrial processing, a programming code was developed in the *MATLAB® R2022a software* that will facilitate decision-making in a processing plant that the rural society *Agrolmagen SPR of RL de CV* intends to build in stages in the medium term. This programming code is made up of a neural network for pattern recognition capable of classifying batches of raw material into four different categories based on easy-to-determine physicochemical input parameters, which allow estimating (implicitly) concentration ranges of anthocyanins that are linked in turn to the most convenient transformation processes, in such a way that the residues that can be generated in these processes can be used to obtain the previously mentioned antioxidant compound.

The proof of concept, carried out on the pattern recognition neural network based using real experimental data determined in different batches of blueberries, yielded accuracy levels of between 72.28% and 82.25% for the main category estimated by the algorithm. Due to the bibliographic nature of the data used for the development of the artificial intelligence tool incorporated into the programming code, it has been established that the levels of precision obtained are quite acceptable and that they can be improved by generating new data within the organization and through the strengthening of a network of values with organizations interested in the processing and extraction of anthocyanins from the residues derived from the processing of the fruit.

Keywords: Agrolmagen, Blueberry, Artificial intelligence, Jalisco, *MATLAB® R2022a*, Artificial Neural Networks.

1. Fundamentación del trabajo

1.1. Identificación y caracterización del problema a atender

Se estima que se generan cerca de 1411.56 toneladas¹ de *berries* que no cumplen con la calidad de exportación en diversos agro-parques de la Región Valles del Estado de Jalisco, dentro de los que destaca principalmente el arándano azul *Vaccinium corymbosum* L de distintas variedades (Carrillo, 2020), cuyo producto de primera calidad está destinado a su venta en los Estados Unidos.

La Región Valles está comprendida por catorce municipios (CEA Jalisco, 2022) de los que sólo seis (Ahualulco de Mercado, Amatitán, El Arenal, Etzatlán, San Martín de Hidalgo y Tala) se dedican a la producción de este cultivo (MIDE, 2021), del que se ha detectado la generación de frutilla que no cumple con los parámetros fisicoquímicos para su comercialización en el extranjero y que termina comercializándose en territorio nacional (Rodríguez, 2021), derivando en efectos y consecuencias negativas asociados a costos extra por transportación y almacenamiento en frío, contaminación ambiental (Aldrete, 2021) y/o al deterioro del arándano en las diversas etapas de la cadena de suministro (ver [Sección 1.2.3. Análisis causa-efecto](#)).

1.2. Contexto de la propuesta de intervención

1.2.1. Contexto de la empresa

Agrolmagen es una Sociedad de Producción Rural de Responsabilidad Limitada y de Capital Variable fundada en agosto de 2007 por el ingeniero agrónomo Román Aldrete Tejeda, su esposa Nancy Teresa Olvera Gómez y su hija Mónica Aldrete Olvera, siendo además socios fundadores la señora Otilia Gómez Castillo y el señor Humberto Ortiz Leal. Dicha sociedad tiene Registro Federal de Contribuyente AGR070817U51 y, aunque el domicilio fiscal corresponde al de Corona 4 en la ciudad de Ameca, Jalisco, los integrantes de la sociedad radican actualmente en la comunidad rural de San Antonio Puerta de la Vega, pueblo cañero de aproximadamente mil ciento veinte habitantes perteneciente al municipio de Ameca (IIEG, 2021), mismo que se

¹ Datos estimados de acuerdo con la información proporcionada por el Ingeniero Noel Rodríguez (Rodríguez, 2021) y la superficie reportada por la Secretaría de Planeación y Participación Ciudadana del Gobierno de Estado de Jalisco para *berries* en general que incluyen al arándano azul (MIDE, 2021).

encuentra ubicado a 74.6 kilómetros de la ciudad de Guadalajara, al oeste del Estado de Jalisco (Google Maps, 2022).

La actividad actual de *Agrolmagen* está relacionada con la siembra, cultivo y cosecha de hortalizas y de sus respectivas semillas; no obstante, el enfoque inicial de la sociedad (de acuerdo con el acta constitutiva de la misma) era la producción, procesamiento y comercialización de los sub productos derivados del *Agave tequilana Weber* variedad Azul para la generación de mieles derivadas y/o subproductos tales como la inulina; dicho enfoque se debió a un intento por rescatar los cultivos de agave que años antes habían sido plantados por el ingeniero Aldrete Tejeda y cuya sobreproducción a nivel estatal a principios de los años 2000 trajo consigo precios muy bajos que rondaron entre los dos y tres pesos por kilogramo de dicha planta (Proceso, 2004).

La generación de subproductos del agave no fue la solución económica para el aprovechamiento de los cultivos del ingeniero Aldrete Tejeda, lo que orilló al fundador a buscar nuevas alternativas de producción agrícola que le permitieran salir adelante. Fue entonces que el enfoque agavero dio un giro hacia la agricultura protegida; sin embargo, debido a la falta de recursos para emprender el nuevo proyecto, el Ingeniero Aldrete Tejeda, con una vasta experiencia en la generación, evaluación y administración de proyectos agrícolas, se dedicó por muchos años a la consultoría para la obtención de fondos gubernamentales para la construcción de invernaderos para otros particulares, al mismo tiempo que buscaba impulsar un proyecto de agricultura protegida para la sociedad que había fundado.

El proyecto para impulsar el cultivo de frutas y/u hortalizas para la sociedad *Agrolmagen* mediante un esquema de agricultura protegida fue avanzando de manera lenta hasta que en 2020, el ingeniero Aldrete Tejeda firmó un contrato de exportación abierto (de por lo menos 5 años, tiempo asociado con el ciclo de la planta) con *Hortifrut S.A.*, empresa peruana que proporcionó en 2022 la planta para el cultivo de 4 hectáreas de frambuesa de la variedad patentada *Pacific Centennial™* (caracterizada contener un nivel moderado de sólidos solubles, además de un aroma suave y una baja acidez) (Hortifrut, 2020), con intenciones de proveer también la planta necesaria para el cultivo de 15 hectáreas de arándano azul de las que al menos 3 están contempladas para ser de la variedad pública *Biloxi* y cuya plantación está prevista para febrero del año 2023.

El contrato con *Hortifrut S.A.* y la llegada de la planta a la comunidad de San Antonio Puerta de la Vega a principios del año 2022 facilitó el otorgamiento de un financiamiento por parte de la *Cooperativa Financiera SMG S.C. de A.P. de R.L. de C.V.*, Caja Popular ubicada en Santa Ana Acatlán de Juárez, Jalisco, para la compra de la infraestructura necesaria para la plantación de la frambuesa antes mencionada.

Durante el proceso de búsqueda de las instituciones que finalmente financiaron a *Agrolmagen*, el ingeniero Román Aldrete Tejeda motivó a su hijo, el Ingeniero de Alimentos Román Aldrete Olvera para comenzar a plantear un proyecto de emprendimiento para el aprovechamiento de aquella fruta de calidad de no exportación que por experiencia en proyectos de consultoría previos sabría que habría de generarse.

Fue bajo este contexto que Román Aldrete Olvera desarrolló la idea a manera de anteproyecto para la Maestría en Ingeniería de Productos y Procesos del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente, contemplando además la creación de una estrategia de valor compartido para la recolección de arándano de características similares en la región, provenientes de pequeños y/o grandes agricultores. Se pretende pues, que el producto del presente trabajo de posgrado permita justificar la solidez del proyecto ante instituciones gubernamentales o privadas al momento de solicitar algún financiamiento o apoyo económico para llevar a cabo el desarrollo y la implementación del proyecto (y de su respectiva propuesta de intervención que se presenta en este documento) durante el transcurso de los próximos cinco años.

1.2.2. Contexto de la industria

El arándano azul (también conocido como mora azul o *blueberry*) es una fruta que en la actualidad se cultiva con fines comerciales en casi treinta países alrededor del mundo, siendo Estados Unidos, Canadá, Polonia, México y Alemania sus principales productores (Evans & Ballen, 2019). Su demanda es tal que tan solo en el periodo que va de 2002 a 2011, las toneladas producidas aumentaron de 230,769 a 356,533 respectivamente, lo que se traduce en una tasa de crecimiento anual de un 5.45% (Evans & Ballen, 2019). Es importante resaltar que de todo el arándano azul que se exporta a nivel mundial, el 76.82% es consumido solamente en los Estados Unidos y Canadá (Evans & Ballen, 2019).

Estados Unidos es el principal consumidor de arándanos en el mundo con un aproximado de 812 gramos de arándano por persona, lo que representó desde el año 2005 un aumento de más de 300% en el consumo per cápita de dicho país (Blue Books Services, Inc, 2021). Para México, el panorama en el consumo es completamente distinto ya que, de acuerdo con la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, el consumo promedio por persona para el arándano azul es de apenas 98 gramos al año (Estrategia aduanera, 2021).

No obstante, es un hecho que gran parte del arándano que se produce en México se envía a los Estados Unidos; es por esta razón que la frutilla que se cultiva en territorio nacional debe cumplir con ciertos parámetros y/o atributos de calidad para su respectiva comercialización en el extranjero. La tabla 1 presenta algunos atributos de calidad recomendados para la comercialización del arándano azul en los Estados Unidos (Retamales & Hancock, 2018), así como los rangos promedio calculados para doce tipos de variedades diferentes reportados en la literatura (Song, y otros, 2020).²

Tabla 1. Atributos físicoquímicos recomendados para fines comerciales y datos experimentales obtenidos para Vaccinium corymbosum de distintas variedades, (Fuente: Elaboración Propia)

Atributo	Atributos de calidad recomendados para fines comerciales (Retamales & Hancock, 2018)	Rangos de calidad para diferentes cultivos (Song, y otros, 2020).
pH	2.25 - 4.25	3.11 – 3.76
Sólidos Solubles (°Brix) ³	> 10	7.86 – 12.21
Acidez Titulable (% w/w)	0.3 - 1.3	0.33 – 0.81
Firmeza (N)	–	241.60 – 571.33
Peso promedio (g)	–	1.72 – 2.61
Antocianinas (% w/w Peso Fresco)	> 0.5	0.08 – 0.26
Color L (Luminosidad)	–	27.33 – 36.18
Diámetro Ecuatorial (mm)	> 10	–
Vitamina C (mg/100 g Peso Fresco)	–	18.36 – 93.25
Humedad (%)	–	82.66 – 85.95

² Las variedades reportadas por la literatura son *O’Neal*, *Sharpblue*, *Powderblue*, *Climax*, *Premier*, *Gardenblue*, *Brightwell*, *Baldwin*, *Duxiu*, *Blomidon*, *Bluecrop* y *Bluegold*.

³ Un grado Brix (°Brix) equivale a 1% de sólidos solubles disueltos en una solución.

Para fines de comercialización en el extranjero se recomiendan un calibre (o tamaño de diámetro ecuatorial) mayor a los 10 milímetros, aunque en la práctica, el calibre utilizado para la selección y clasificación de arándano es a partir de los 12 milímetros (Rodríguez, 2021). Si bien, la intensidad de sabor y la textura crujiente son los atributos sensoriales que más influyen en el consumidor final, es finalmente el tamaño de la frutilla uno de los factores sensoriales determinantes para su compra, teniendo más impacto incluso que el color azul característico de la frutilla (Retamales & Hancock, 2018).

El tamaño de la frutilla difiere de acuerdo con distintos parámetros asociados con el nivel de madurez, la variedad del arándano y/o las características y cuidados que han recibido los árboles en etapas previas a su cosecha (Ver [Sección 1.2.3. Análisis causa-efecto](#)). Para la variedad pública de arándano azul *Biloxi*, por ejemplo (variedad muy popular en México), el tamaño de la frutilla suele ir de un diámetro ecuatorial pequeño a mediano (Retamales & Hancock, 2018); en este sentido, los porcentajes de distribución para frutilla que tiene un diámetro ecuatorial por debajo de los 11 milímetros en árboles con edades de entre los 20 y 36 meses, van en total desde un porcentaje de 6.57% y hasta un 13.14%, respectivamente (Cortés-Rojas, Mesa-Torres, Grijalba-Rativa, & Pérez-Trujillo, 2016). La tabla 2 presenta la distribución de frecuencia del calibre del arándano azul para la variedad pública previamente mencionada.

Tabla 2. Distribución aproximada de arándano azul (variedad Biloxi) con calibre igual o menor a 11 mm observado en diferentes edades de arbusto, (Fuente: Cortés-Rojas, 2016).

Calibre	Edad: 20 meses	Edad: 36 meses
≤ 9 mm	0.9%	1.72%
10 mm	1.83%	3.89%
11 mm	3.84%	7.53%
Total	6.57%	13.14%

A nivel nacional, Jalisco aporta más del 90% de su producción total de arándanos para fines de exportación, contribuyendo así al lugar mundial que México ocupa en dicho rubro (Notimex, 2016); dicha aportación estatal equivale a aproximadamente el 60% de la frutilla que

se producen en el país (Gallegos, 2019), colocando a esta entidad federativa como líder a nivel nacional en el cultivo de arándanos y especialmente del arándano azul (Carrillo, 2020).

Hasta el 31 de diciembre del año 2019 se había contabilizado en Jalisco una superficie total de 8,316.52 hectáreas sembradas de *berries* en general, categoría a la que pertenecen (además del arándano azul) otros cultivos tales como la fresa, la zarzamora y la frambuesa (MIDE, 2022). Este indicador de cultivo ha mostrado un crecimiento sostenido considerable desde 2006, año en que se habían reportado a penas 546.5 hectáreas destinadas a dicha actividad; la ilustración uno muestra la gráfica del crecimiento de la superficie cultivada con *berries* desde entonces y hasta 2019 en toda la entidad federativa.

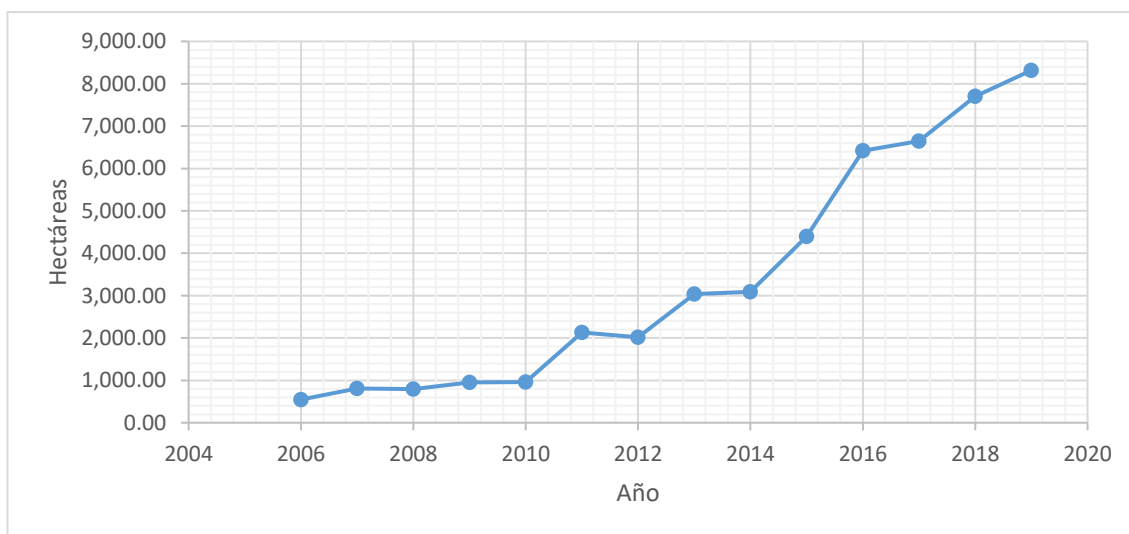


Ilustración 1. Crecimiento de superficie sembrada con berries en el Estado de Jalisco a través de los años, (Fuente: MIDE, 2022).

El crecimiento en superficie sembrada de *berries* en Jalisco ha tenido una tendencia al alza al igual que el volumen nacional de arándano azul que ha sido exportado a los Estados Unidos en los últimos años, mismo que para el 30 de enero del año 2022 alcanzó un total de 1292.76 Toneladas a un precio de \$8.21 dólares americanos por kilogramo de frutilla (Agronometrics, 2022). Por otro lado, el precio de la frutilla que se exporta ha mostrado una tendencia negativa a lo largo de los años, aunque tanto el precio como los volúmenes del arándano de exportación muestran una variación importante en determinados meses del año debido a la temporalidad y ventanas de cosecha del producto.

Las gráficas de las ilustraciones 2 y 3 presentan el comportamiento de los volúmenes de exportación y precios de las últimas 500 semanas hasta el 30 de enero de 2022 en los que se pueden observar los comportamientos antes mencionados.

Respecto a la temporalidad y precios, cabe mencionar que han existido determinadas ocasiones en las que el costo del producto es tan bajo que los productores no ven conveniente su exportación a los Estados Unidos; esto deriva en que el producto termine comercializándose de manera informal en ciudades cercanas a las zonas de cultivo, en puestos improvisados por el mismo personal que normalmente se dedica a la recolección del fruto y bajo las órdenes de las empresas que se dedican a su producción, clasificación y venta en el extranjero (Rodríguez, 2021).⁴

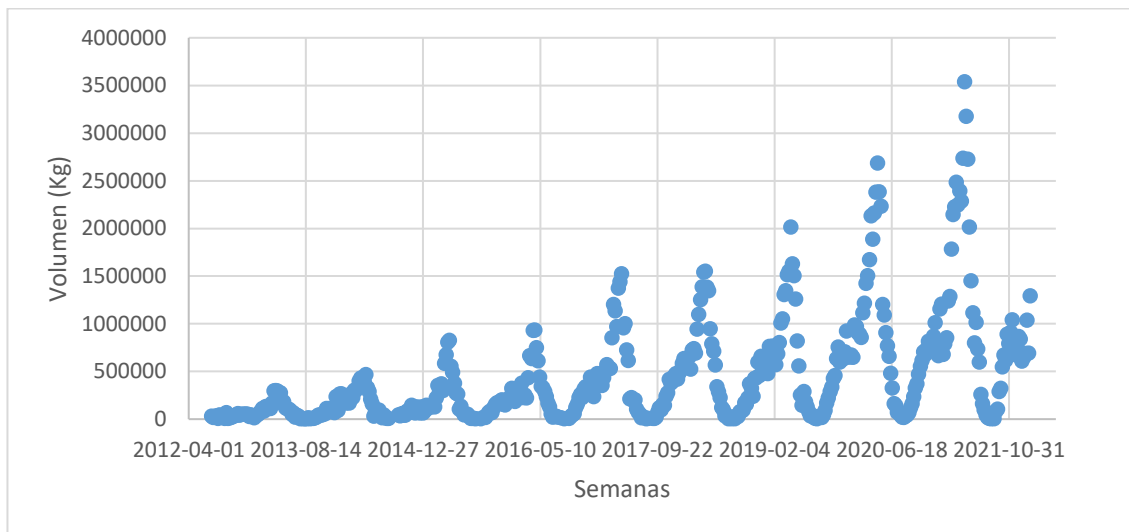


Ilustración 2. Volúmenes en kilogramos de arándano azul convencional de origen mexicano que ha sido exportado a los Estados Unidos en las últimas 500 semanas, (Fuente: Agronometrics, 2022). Datos reportados a la semana 3 (enero 17 a 23) del año 2022.

⁴ Esto, como veremos más adelante, se suma al producto que no cumple con la calidad de exportación e influye en sus respectivas consecuencias.

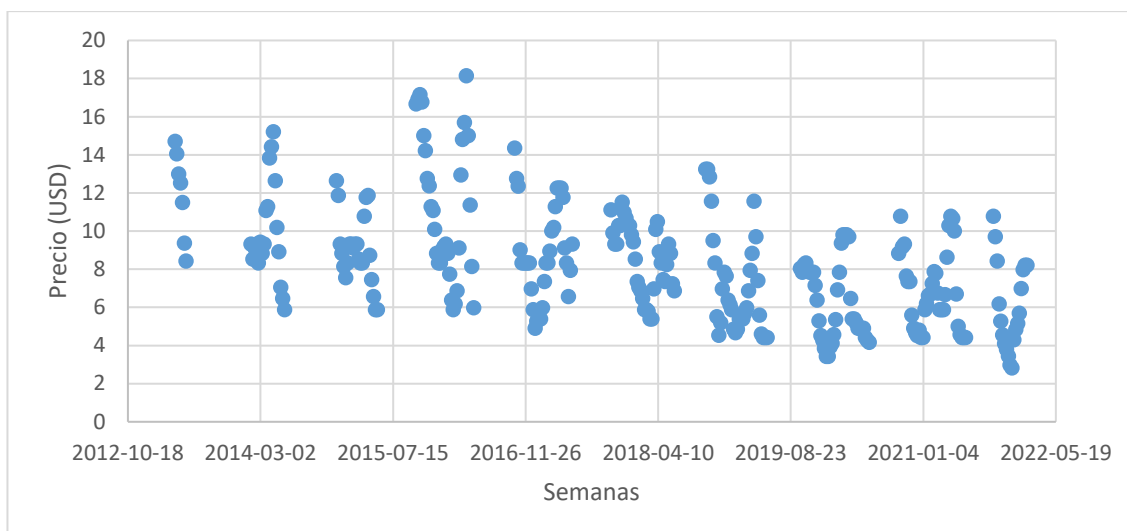


Ilustración 3. Precios en dólares americanos del arándano azul convencional de origen mexicano que ha sido exportado a los Estados Unidos en las últimas 500 semanas, (Fuente: Agronometrics, 2022). Datos reportados a la semana 3 (enero 17 a 23) del año 2022.

En el estado de Jalisco, Tala es uno de los municipios en que se pueden encontrar más hectáreas de agricultura protegida destinadas al cultivo de arándanos, pertenecientes (entre otros particulares) a las empresas *Berry Lovers* y *Fall Creek Farm & Nursery México*. La sumatoria de la extensión de terreno dedicado a la producción de *berries* en la Región Valles es, en general, de 522.8 hectáreas según datos de la Secretaría de Planeación y Participación Ciudadana (MIDE, 2021).

De acuerdo con datos obtenidos con uno de los ingenieros agrónomos que laboran dentro de la compañía *Berry Lovers*, ubicada en Tala, Jalisco acerca de la producción de arándano azul bajo el esquema de agricultura protegida, la densidad por hectárea es de aproximadamente 6000 plantas, mismas que producen hasta 18 toneladas del fruto, lo que se traduce en un rendimiento de 3 kg de arándano por planta (Rodríguez, 2021).

En este contexto, se produce un desperdicio total de arándano azul aproximado de hasta un 25%, del cual un 5% se debe al daño de la frutilla causado por las aves, mientras que se estima que otro 5% más es la pérdida causada por los mismos recolectores que suelen consumir el producto durante la jornada laboral y/o que se genera debido al daño que sufre el fruto al caerse, golpearse y romperse. El 15% restante corresponde a la frutilla que no cumple con la calidad para su exportación, misma que es separada cuando la fruta entra a una máquina que selecciona

a la frutilla por su tamaño y donde se recoge aquella cuyo calibre es mayor a los 12 milímetros de diámetro ecuatorial; es así como la frutilla roja, inmadura, deforme o en tamaños que por lo general son de 10 y 8 milímetros terminan segregándose sin distinción de defectos (Rodríguez, 2021).⁵

La planta de *Berry Lovers* de Tala, dedicada a la selección, empaque, almacenamiento y distribución de arándanos para exportación, cuenta con tecnología de la compañía *Tomra* para la llevar a cabo la selección de la frutilla, que consiste en un “clasificador-clasificador” de *BBC Technologies* (InfoRural, 2020).

Tomra tiene en su catálogo diversos equipos para la clasificación de arándanos basados en el uso de cámaras e inteligencia artificial cuyos algoritmos se entrenan con una amplia biblioteca de imágenes de referencia (Tomra, 2022), mismos que facilitan la separación de aquella frutilla de acuerdo a sus características de color, tamaño, suavidad, descomposición y deshidratación (Tomra, 2022).

La siguiente tabla presenta un resumen de los principales equipos de clasificación que la empresa Tomra brinda para la separación del arándano de calidad de exportación en los que se presentan los principales atributos de calidad que permiten la separación de la frutilla que finalmente es comercializada en los Estados Unidos. Es probable que la inteligencia artificial que utiliza esta compañía esté asociada al uso de Redes Neuronales Artificiales (ver [Sección 2.2. Concepto y enfoques teóricos relacionados](#)) de acuerdo con la naturaleza de su funcionamiento basado en fotografías y aprendizaje automático.

⁵ Nótese como este 15% de frutilla que se separa por tamaño se acerca al reportado en la tabla 2 para arándano azul de la variedad Biloxi en árboles con edad igual a los 36 meses.

Tabla 3. Principales equipos de la marca Tomra enfocados a la clasificación de arándanos de acuerdo con sus atributos organolépticos, (Fuente: Tomra, 2022).

Equipo	Tecnología	Características
<i>Kato260</i>	Se basa en el uso cámaras fotográficas e inteligencia artificial <i>LUCAiTM</i> . Utiliza una muy amplia biblioteca de imágenes para llevar a cabo la clasificación de la frutilla.	Clasifica el arándano por tamaño, color, suavidad, moretones, descomposición, deshidratación, cicatrices y fragmentos de tallos. Detecta defectos con una precisión de hasta 0.2 milímetros.
Clasificador de Color	Tecnología basada en visión	Clasifica el arándano detectando sobre-madurez, fruta picada por aves y/o descompuesta.
Clasificador de Blando (<i>Soft Sorter</i>)	Tecnología <i>Dura Touch</i>	Clasifica y elimina frutos blandos sin dañar al arándano.

Tomando en cuenta los rendimientos de la frutilla que es recolectada por hectárea es posible estimar cerca de 1411.56 toneladas por cosecha de *berries* que no cumplen con la calidad comercial para su exportación dentro de la Región Valles, mismas que son segregadas mediante el uso de tecnologías asociadas a inteligencia artificial. Las cantidades anteriores pueden aumentar si consideramos un rendimiento máximo nacional de hasta 22 toneladas por hectárea de *berries* y que, a nivel estatal, hay más de 1576 hectáreas destinadas a este cultivo (TecnoAgro, 2019).

Todo el arándano azul que se separa por no cumplir la calidad para su exportación se vende (sin ser clasificado de acuerdo a sus defectos) a empresas que se dedican a su procesamiento para la elaboración de jugos; al menos para Febrero del año 2022, *Berry Lovers* firmó contrato con determinada empresa de transformación para la venta de este producto a un precio de aproximadamente \$24.00 MXN por kilogramo de arándano (Rodríguez, 2022).

Finalmente, pero no menos importante, es preciso añadir que además de su transformación en productos como jugos, dentro de los actuales satisfactores o productos sustitutos con los que se han intentado resolver el problema de generación de arándano que no

cumple con la calidad de exportación y/o comercialización se encuentra la creación de variedades mejoradas y patentadas de arándano azul desarrolladas por la empresa *Fall Creek* y procesadas por *Berry Lovers* (InfoRural, 2020), tales como *AtlasBlue*® ‘FCM12-045’ y *JupiterBlue*® ‘FCM12-131’ (Fall Creek Farm & Nursery, Inc, 2022).

1.2.3. Análisis causa-efecto

Son varias las causas que derivan en la generación de arándano que no cumple con la calidad de exportación durante su cultivo bajo el esquema de agricultura protegida. En determinadas ocasiones, el producto se recolecta cuando su madurez no es la adecuada, lo que se debe, principalmente, a la poca experiencia y/o capacitación que se ha impartido a los trabajadores agrícolas a los que se les paga con base en la cantidad de frutilla que recolectan a lo largo de la jornada de trabajo (Rodríguez, 2021), aunque también ocurre que en determinadas temporadas no hay la cantidad de personal suficiente para recolección lo que puede derivar en que el corte de la frutilla se lleve a cabo de manera extemporánea, generando arándano con un estado de sobre-madurez (Rodríguez, 2022).

El nivel de madurez está relacionado a su vez con otros parámetros fisicoquímicos y/o de calidad que, en la práctica, en el campo, no son analizados y que están asociados con la cantidad de antocianinas y otros compuestos químicos que por naturaleza la frutilla contiene. La correlación de estos atributos puede comprenderse fácilmente cuando se observa en el arándano un cambio de color rojo a azul; durante esta transición, los azúcares totales incrementan (Retamales & Hancock, 2018) y las concentraciones de ácido cítrico disminuyen, al mismo tiempo que las cantidades de antocianinas aumentan y los compuestos fenólicos totales se reducen (Ribera, Reyes-Díaz, Alberdi, Zuñiga, & Mora, 2009).

La coloración de la frutilla está asociada a su vez con la fertilización con fósforo que el árbol recibe en las distintas etapas de crecimiento del fruto, mientras que el calibre del arándano se relaciona con una adecuada fertilización con compuestos que contienen nitrógeno, zinc, boro, calcio y potasio durante la etapa de elongación de la planta, así como a un riego y poda realizados en tiempo y forma. En las zonas de cultivo, los ingenieros agrónomos aplican su conocimiento técnico para un control adecuado de los elementos anteriores, sin embargo, existen otros factores que muy difícilmente pueden controlarse tales como el clima (horas de frío y calor),

luminosidad (días soleados que contribuyen a la generación del color y los carbohidratos de la frutilla), etcétera (TecnoAgro, 2019).

Estos parámetros que no pueden controlarse, aunados a una fertilización, poda o riego inadecuados pueden derivar en consecuencias negativas tales como raíces de mala calidad o en cantidades inconvenientes en el árbol que a su vez generan tamaños de la frutilla por debajo del calibre deseado, además de coloraciones inadecuadas (Tecnología Hortícola, 2022) y rendimientos inesperados de producto por hectárea.

Los efectos y consecuencias que se derivan de todos los factores anteriores abonan a la generación de una cantidad considerable de frutilla que no cumple con el estándar de calidad esperado, misma que termina por comercializarse en territorio nacional en envases cuyo diseño facilita el deterioro de las antocianinas de la frutilla, generando un posible efecto reducido en la propiedad funcional antioxidante del alimento (Kalt, y otros, 2019).

Como se mencionó en la sección anterior, buena parte de este producto de calidad no adecuada para su exportación (tanto de arándano azul como de arándano rojo y otros *berries*) se vende (sin clasificación o selección previa de acuerdo a madurez y/u otros defectos) a empresas nacionales que llevan a cabo su transformación en productos de bajo costo y de bajo contenido nutrimental (Rodríguez, 2021) y que de acuerdo a esto último, podría tener un impacto negativo en la salud de los consumidores.

Por otra parte, la generación de arándano que no cumple con la calidad de exportación también ocasiona costos extras debido a que el producto tiene que ser sometido a refrigeración. Los almacenes para este fin se encuentran a aproximadamente 23.4 kilómetros de distancia de la zona de cultivo, en la localidad de San Isidro Mazatepec, lo que supone además el transporte terrestre del producto (Rodríguez, 2021). Tanto las emisiones generadas por los vehículos en los que el producto es transportado como el simple almacenamiento en frío, generan emisiones considerables de dióxido de carbono equivalente, siendo la refrigeración la etapa que mayor impacto negativo genera en el medio ambiente.

Un análisis de ciclo de vida del tipo *Cradle to Gate* para las etapas de extracción del arándano azul, su recolección, selección, envasado y transporte, mismas que se muestran en el diagrama de bloques de la ilustración 4, arrojó que tan sólo el almacenamiento en frío durante

24 horas para una unidad funcional de un kilogramo de arándano (envasado en 8 cajas de Tereftalato de Polietileno (PET) de 125 g) puede generar hasta 140 kg de dióxido de carbono equivalente, que corresponde al 98.9% de la contribución de emisiones del proceso total evaluado, mismo que puede observarse en el diagrama de Sankey de la ilustración 5, donde las líneas de mayor grosor son aquellas que están asociadas a las etapas que más generan emisiones en el proceso antes planteado (Aldrete, 2021).⁶

⁶ El análisis de ciclo de vida se elaboró utilizando el *software SimaPro 9.1.1.1* de la compañía ©PRé Sustainability, eligiendo el escenario *Strawberry {RoW}*” (fresa producida en macro-túnel alrededor del mundo) que era el único disponible en el programa y que se acercaba más al de cultivo protegido de arándano; se aplicó un criterio de corte de 0.202% que se generó por *default* al realizar el cálculo en el *software* y que muestra las etapas que más contribuyen a la generación de CO₂ equivalente. Gran parte de los datos utilizados para el presente estudio se obtuvieron de una entrevista personal con el Ingeniero Noel H. Rodríguez (Rodríguez, 2021).

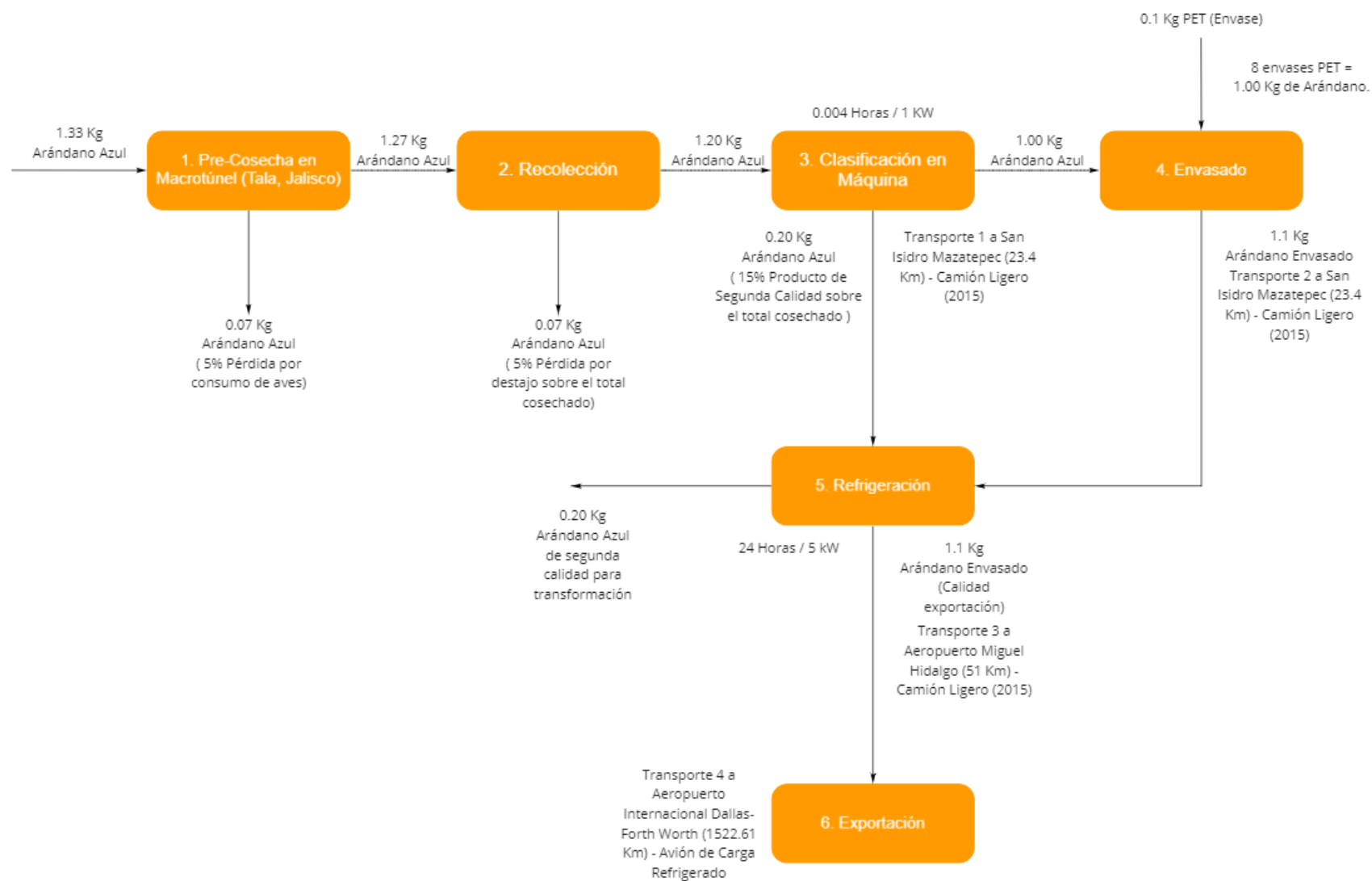


Ilustración 4. Diagrama de proceso para la obtención de un kilogramo de Arándano Azul en macro-túneles de la ciudad de Tala, Jalisco. Obsérvese que la unidad funcional se obtiene en la etapa 4 de Envasado, (Fuente: Aldrete, 2021).

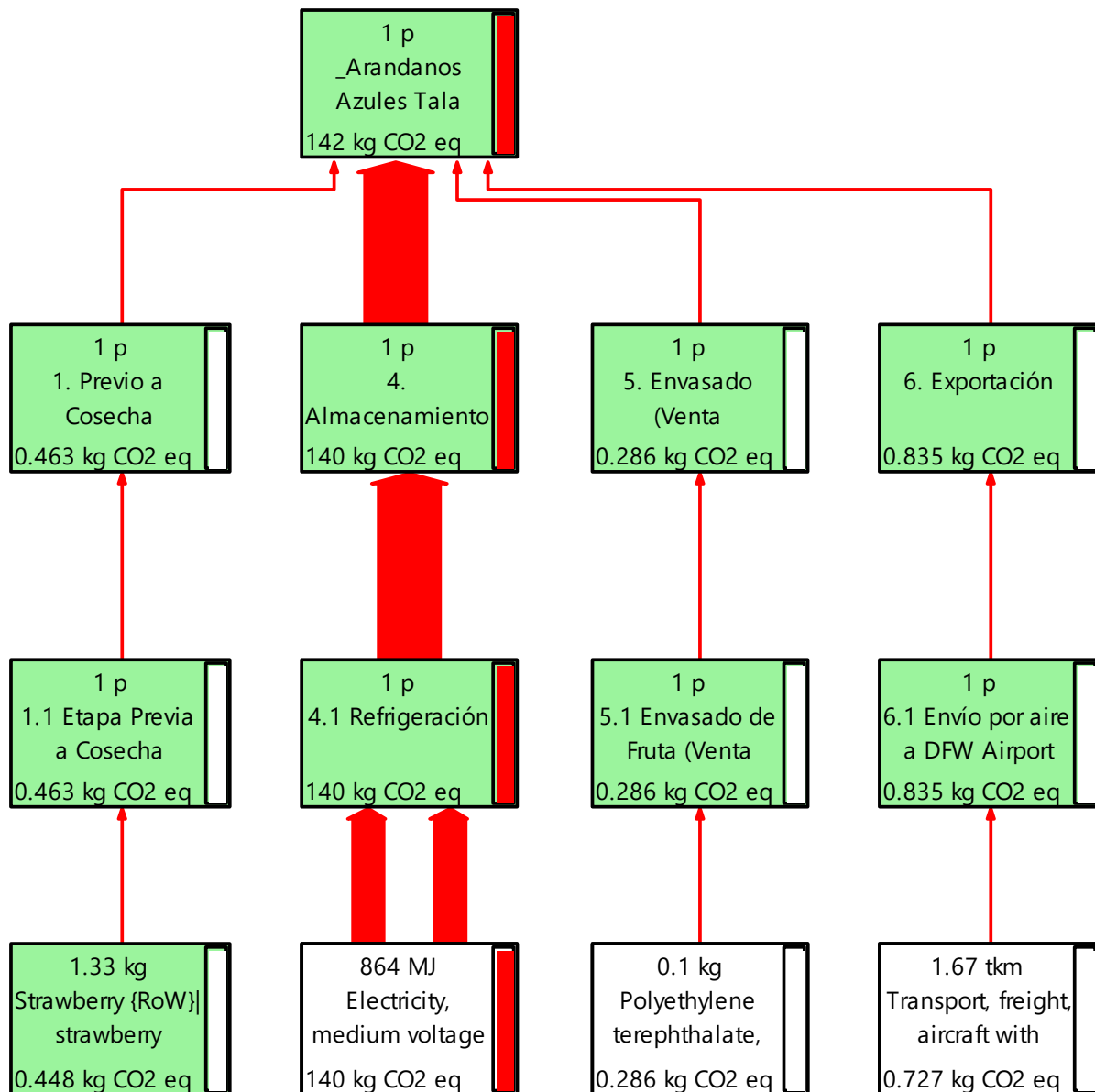


Ilustración 5. Diagrama de Sankey con emisiones de dióxido de carbono equivalente para las etapas que más contribuyen al impacto ambiental. Las emisiones se expresan en indicadores acumulativos, (Fuente: Aldrete, 2021).

Lo anterior es importante y debe ser redimensionado recordando que para el cultivo de *berries* en general se han contabilizado tan solo 6,617.3 hectáreas bajo el esquema de agricultura protegida (MIDE, 2021) en el Estado de Jalisco.

Pero más allá de la refrigeración del producto que no cumple con la calidad de exportación, existen otros factores cuyas consecuencias abonan a la contaminación ambiental por emisiones y/o residuos; estos factores están asociados al deterioro microbiológico y fisicoquímico que sufre la frutilla que no cumple con calidad de exportación a lo largo de su cadena de suministro, lo que genera más pérdidas de materia prima, convirtiéndose además en potenciales focos de infección.

A partir de todas las disfuncionalidades previamente expuestas, que giran en torno al problema principal planteado en la sección 1.1, se elaboró el diagrama de problemas que se presenta en la ilustración 6. Este diagrama contempla diversas variables de importancia que se presentan a lo largo de la cadena de suministro del arándano azul (tanto en el terreno del oferente como el del consumidor).

Es importante señalar que dicho análisis permitió visualizar dos de las variables cuyo impacto se observó con mayor frecuencia a lo largo de la cadena de suministro y que están asociadas a las características fisicoquímicas y sensoriales de la frutilla.

Nótese que las principales causas están asociadas a la madurez, tamaño y color; los efectos de estas son que el producto que no cumple con la calidad de exportación se tenga que comercializar dentro del país, con un manejo que debe llevarse en tiempo y forma para evitar que la frutilla se siga deteriorando a lo largo de la cadena de suministro, lo que supone un costo extra por almacenamiento refrigerado y transporte. Varios efectos derivan a su vez en el uso de procesos industriales convencionales para el procesamiento del arándano y en la contaminación ambiental por emisiones y residuos asociados a los procesos de transformación de la frutilla.

Obsérvese en la ilustración anterior cómo muchas de las consecuencias son, más que situaciones negativas, situaciones con las que se busca paliar o contrarrestar los efectos de las causas que propician la generación de producto de calidad inadecuada.

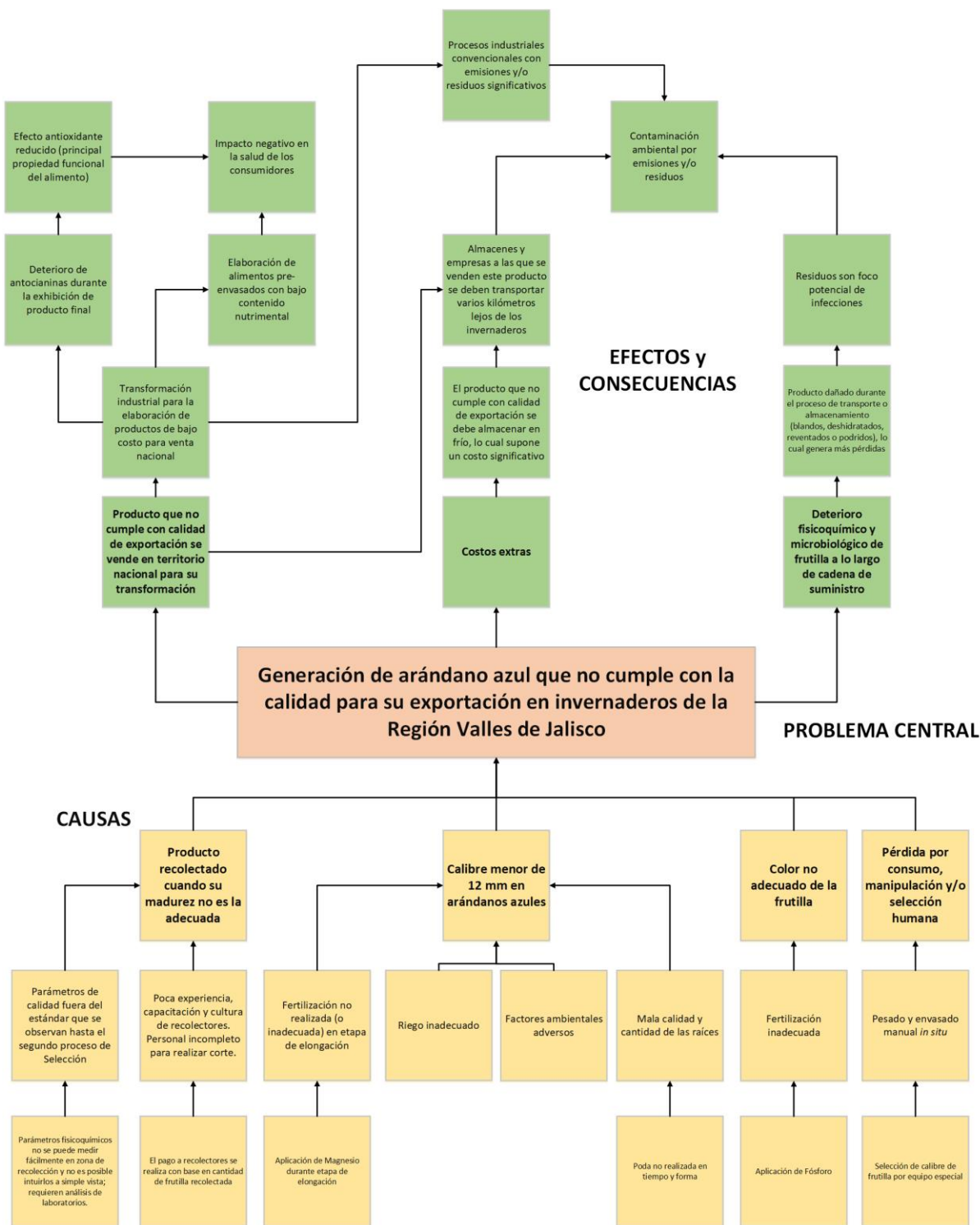


Ilustración 6. Árbol de Problemas para la generación de arándano azul que no cumple con la calidad de exportación que se produce en la Región Valles del estado de Jalisco, (Fuente: Elaboración Propia).

En este entendido, a partir del análisis y elaboración del diagrama de árbol anterior se construyó el diagrama causa-efecto que se muestra en la ilustración 7. Además de las situaciones negativas previamente expuestas a manera de causas en el diagrama de árbol de la ilustración 6, se tomaron también en cuenta muchas de las situaciones que en la actualidad se llevan a cabo para paliar el problema y sus disfuncionalidades asociadas, con las que se pretende llegar estado de homeostasis con el que se pueda acercar a un escenario ideal en el que la cantidad de arándano que no cumple con la calidad adecuada sea la menor posible; este último es el límite que dispara el ciclo de homeostasis que intenta equilibrar y/o contrarrestar el ciclo de situaciones negativas que desencadena la generación de arándano azul inadecuado para su exportación.

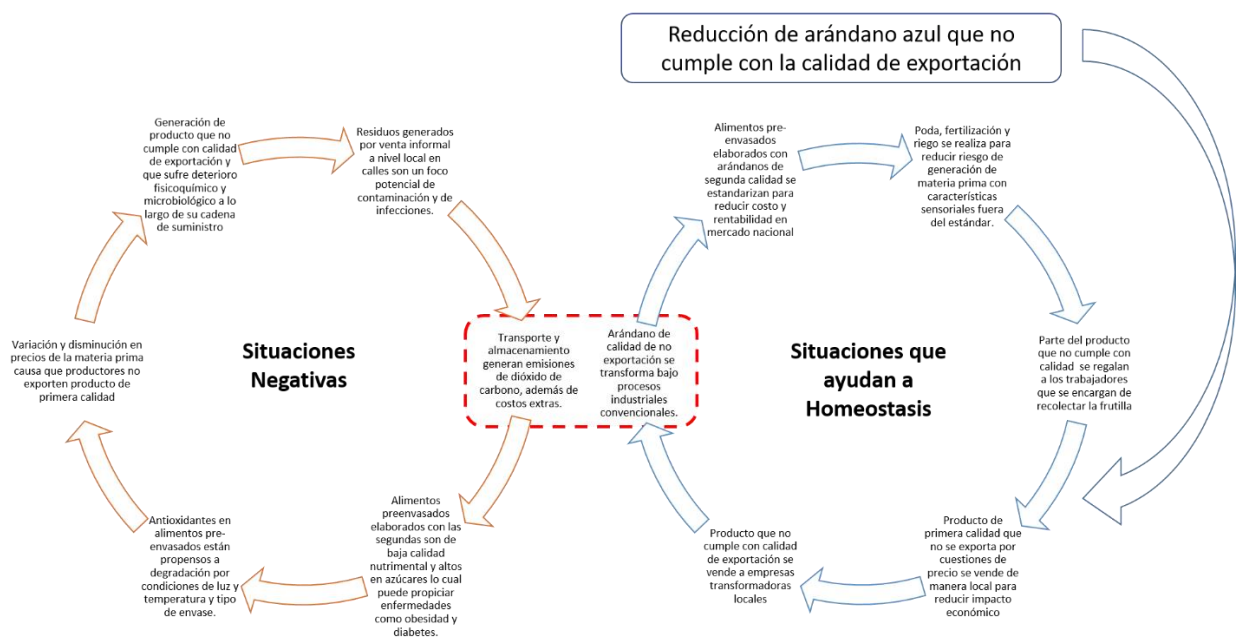


Ilustración 7. Análisis Causa-Efecto circulares para la generación de arándano azul que no cumple con la calidad de exportación, (Fuente: Elaboración Propia).

Además de las causas expuestas en el diagrama de árbol de la ilustración 6, vale la pena rescatar una situación negativa que abona al problema principal y que tiene que ver con aquel producto que sí cumple con la calidad de exportación pero que se deja en territorio nacional cuando los precios en el mercado son muy bajos.

Por otra parte, algunas situaciones que se llevan a cabo para paliar el problema tienen que ver con la transformación del arándano azul en alimentos pre-empacados de bajo costo y contenido nutricional para su venta nacional, empleando procesos convencionales de transformación; esta situación se conecta con una disfuncionalidad asociada al transporte y al almacenamiento en frío que, como ya se expuso anteriormente, generan costos extras y emisiones considerables de dióxido de carbono equivalente.

El ciclo de situaciones negativas y de situaciones que intentan contrarrestarlas (detonadas por la búsqueda de reducción de arándano que no cumple con la calidad de exportación) termina por enlazarse en los procesos industriales convencionales a los que se somete la frutilla, mismos que se encuentran alejados de la zona de cultivos y cuyo transporte y almacenamiento generan (además de los procesos convencionales de transformación *per sé*) emisiones considerables de contaminantes y costos extras asociados.

1.2.4. Matriz de marco lógico del problema

1.3. Objetivos de la intervención

El objetivo principal que se pretende lograr en el mediano plazo al llevar a cabo el presente proyecto es el aprovechamiento del arándano azul de calidad de no exportación que se genera en los campos de cultivo de la sociedad rural *Agrolmagen* (y de la Región Valles en general) mediante el desarrollo y/o diseño de una planta multifuncional procesadora de frutas y hortalizas en la comunidad rural de San Antonio Puerta de la Vega, Jalisco, y mediante la incorporación de una propuesta de intervención en el proceso basada en la construcción de un algoritmo de inteligencia artificial que facilite la toma de decisiones para el procesamiento de la frutilla de acuerdo con sus atributos de calidad (ver [Sección 3. Estrategia metodológica o de intervención](#)), instaurando por lo menos uno de los procesos propuestos (ver [Sección 3.2. Propuesta de planta de procesamiento y procesos involucrados](#)), de manera tal que los recursos

económicos que se generen en la primera etapa del proyecto permitan el financiamiento de las líneas de producción involucradas restantes, determinando el orden de desarrollo de dichas etapas de acuerdo con su rentabilidad, costo y retorno de inversión asociado.

1.4. Delimitaciones y área funcional a intervenir

La ilustración 7 que resume el análisis causa-efecto descrito en la [Sección 1.2.3](#), muestra cómo las situaciones negativas y las situaciones que actualmente se llevan a cabo para la reducción del arándano azul de calidad de no exportación que se genera en la Región Valles del Estado de Jalisco se enlaza en el procesamiento de dicha frutilla para la producción de alimentos pre-envasados mediante el uso de procesos convencionales de transformación.

Con base en lo anterior (y al conocimiento que se tiene respecto a la industria alimentaria y a diversos procesos de transformación para la creación de productos innovadores con valor agregado, así como en la extracción y obtención de aditivos alimenticios de origen natural) se optó por delimitar el área funcional del presente proyecto de acuerdo con la ruta que se presenta en la ilustración 8, misma que se basa en el árbol de problemas de la ilustración 6 de la [Sección 1.2.3](#), pero cuyos enunciados se han transformado en objetivos específicos que se llevarían a cabo en este proyecto.

Lo anterior justifica el desarrollo y/o diseño de la planta multifuncional procesadora de frutas y hortalizas que presenta en el objetivo general de la intervención de la sección anterior para el aprovechamiento del producto que no cumple con la calidad de exportación, con la que puedan reducirse los impactos ambientales asociados al transporte terrestre y el almacenamiento refrigerado.

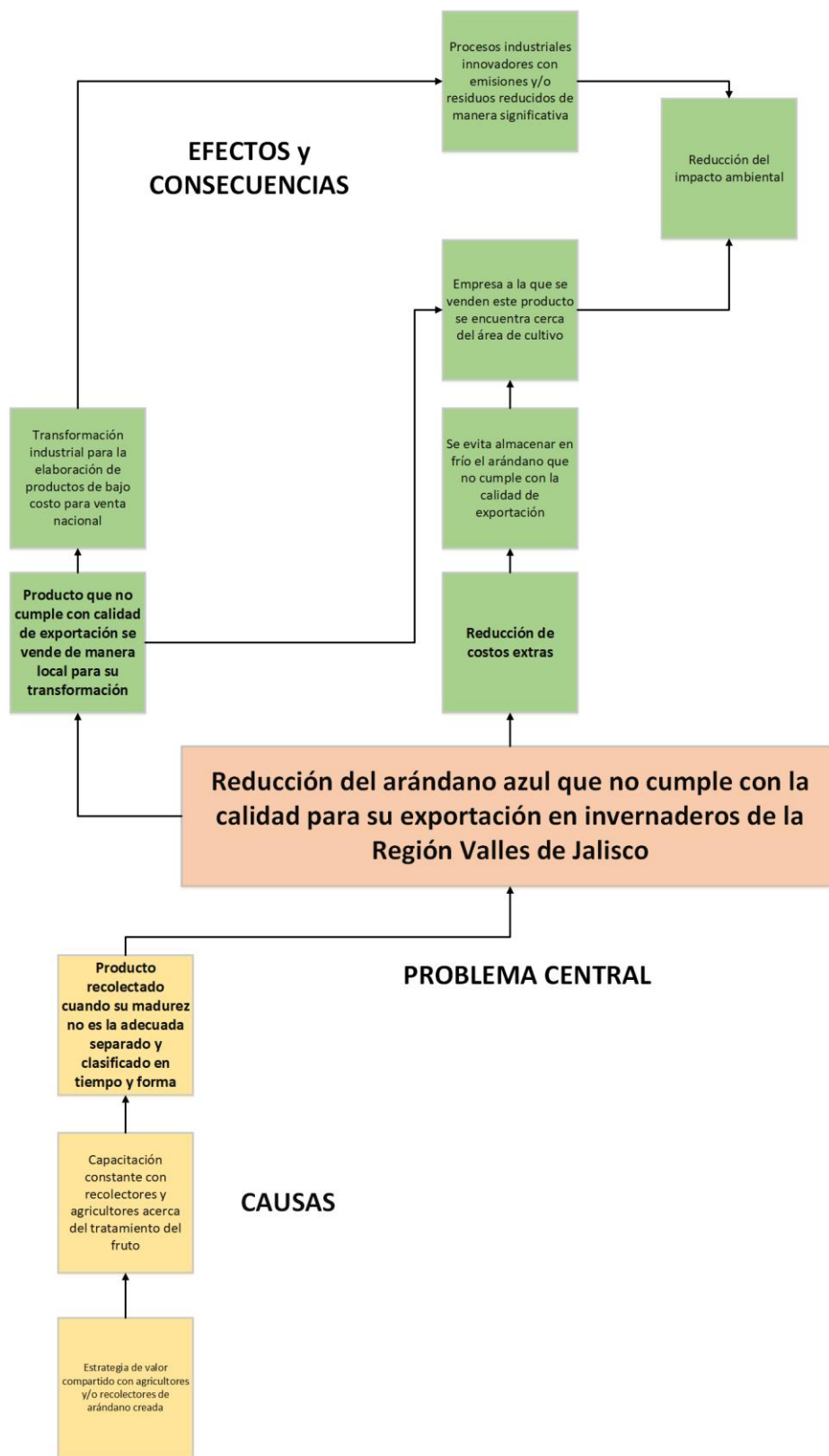


Ilustración 8. Delimitación de objetivos elaborada a partir del árbol de problemas. Las rutas mostradas en este nuevo diagrama muestran los objetivos a los que se limitará la presente intervención, (Fuente: Elaboración Propia).

1.5. Justificación y pertinencia del trabajo

La justificación del presente proyecto radica en la necesidad de buscar alternativas de procesamiento industrial para el aprovechamiento y aumento de la vida útil de aquella frutilla que por cuestiones de calidad (y en determinadas ocasiones, por precio) no pueden ser exportados a los Estados Unidos. Para comprender la importancia de ello, es necesario entender las interacciones entre actores (externos e internos) y los elementos que estarían involucrados en la operación de la planta multifuncional para el procesamiento de frutas y/u hortalizas, así como los beneficios que ello conllevaría, algunos derivados de la incorporación de la propuesta de intervención de inteligencia artificial que aquí se plantea (ver [Sección 3. Estrategia metodológica o de intervención](#)).

La ilustración 9 presenta una red de valores para la planta multifuncional procesadora de frutas y/u hortalizas de *Agrolmagen* y su respectiva propuesta de intervención mediante el uso de inteligencia artificial. En ella se muestran las interrelaciones que existirían entre sus principales actores (proveedores, consumidores finales y empresas asociadas mediante posibles alianzas estratégicas) ligados a los elementos de valor de los productos generados en la planta (Almquist, Senior, & Bloch, 2016), y a otros elementos asociados con el concepto de sustentabilidad (de carácter social, medio ambiental y económico), (Porter & Kramer, 2011).

Para explicar las interrelaciones existentes en la red de valores, vale la pena seguir el flujo de la cadena de suministro del proceso propuesto; en primer lugar, tenemos a los agricultores de arándano azul, cuya función es la de proveer la materia prima que no cumple con el estándar de calidad de exportación para su transformación en la planta procesadora, con quienes se buscaría crear una estrategia de valor compartido.

El concepto de valor compartido se basa en el principio de crear prácticas operativas que mejoren la competitividad de una empresa al mismo tiempo que se promueven las condiciones económicas y sociales en las comunidades en las que esta opera, y se lleva a cabo identificando y ampliando las conexiones existentes entre el progreso económico y social; para ello es muy importante y necesario un acercamiento a la sociedad en que la empresa se desenvuelve para reconocer cuáles son sus respectivas necesidades (Porter & Kramer, 2011) y buscar la manera de atenderlas.

'Agrolmagen'

Se brindan distintos elementos de valor al consumidor final de los productos pre-envasados que se formulan a partir de arándano que no cumple con calidad de exportación.

Reducción de huella de carbono y focos de infección al aprovechar arándano que no cumple con calidad de exportación.

Sostenibilidad económica de la empresa mediante propuesta innovadora de uso de Inteligencia Artificial.

Se genera riqueza al proveer productos para extracción de compuestos a empresas cercanas a la planta de procesadora, brindando elementos de valor ligados a la herramienta de Inteligencia Artificial.

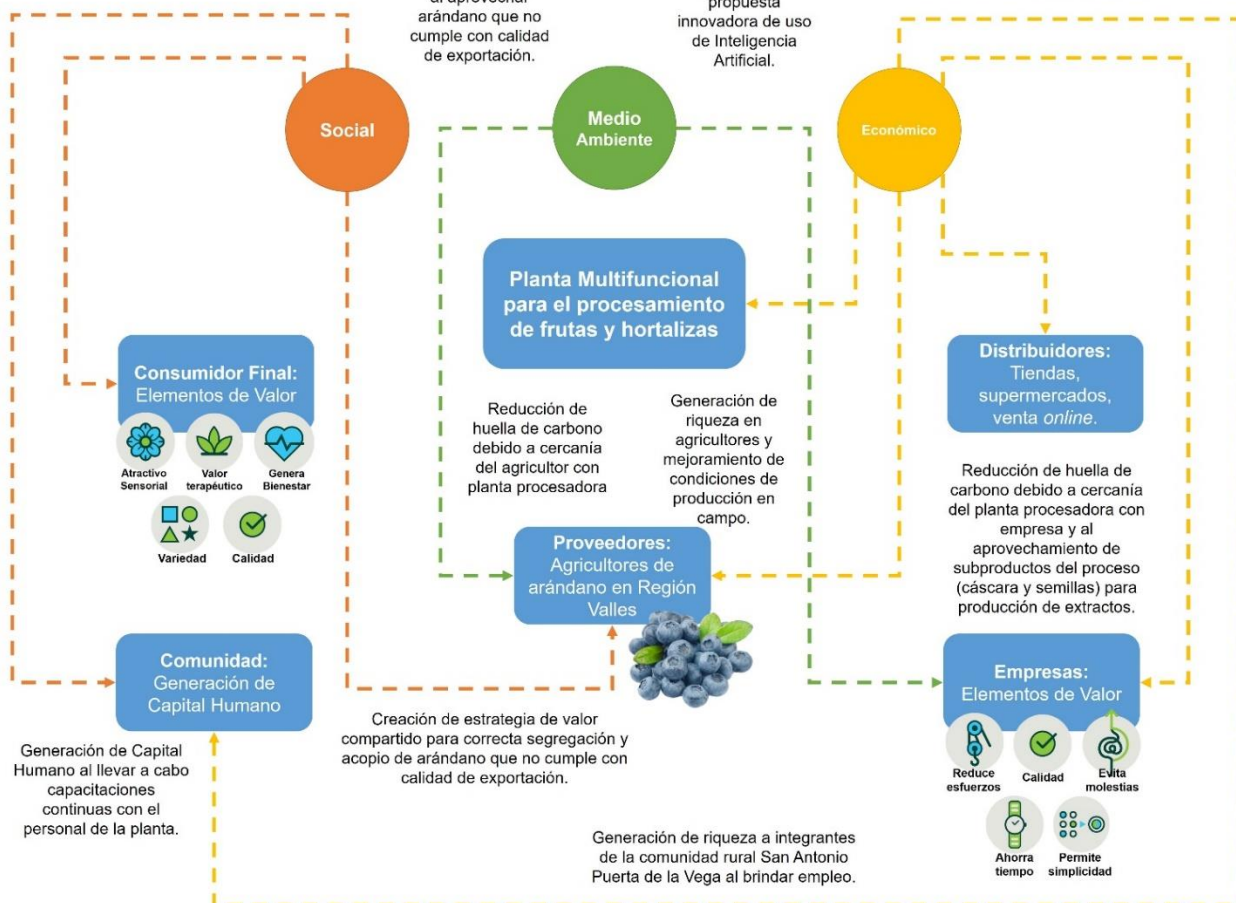


Ilustración 9. Red de Valores para la sociedad Agrolmagen, (Fuente: Elaboración Propia). Los Elementos de Valor de los productos que habrían de ofrecerse al consumidor final y a las empresas (así como su iconografía) están basados en Almquist, Senior & Bloch, 2016.

En este sentido, crear una estrategia de valor compartido con los agricultores podría llevarse a cabo facilitando aquellos recursos que estos actores indiquen como necesarios, pero también mediante la propuesta por parte de *Agrolmagen* para la realización de capacitaciones que ayuden a mejorar las buenas prácticas agrícolas, de manera tal que esto influya y conduzca a una correcta segregación de la materia prima que no cumple con la calidad de exportación, lo

que beneficiaría a la planta de procesamiento al llevar a cabo el acopio en tiempo y forma (evitando refrigeración) del arándano.

La estrategia de valor compartido generaría además en los agricultores riqueza económica al aprovechar aquel producto que, en otros escenarios, pudiera no aprovecharse generando contaminación y/o infecciones derivadas de su deterioro, impactando negativamente al medio ambiente. De lograrse una correcta estrategia, el elemento ambiental se vería impactado de manera positiva debido a que, además de evitar el deterioro de la frutilla que no cumple con la calidad para su exportación, se podría trasladar la materia prima a la planta de procesamiento sin recorrer largas distancia en transporte y evitando el almacenamiento en frío, con lo que la huella de carbono se vería también considerablemente reducida (ver [Sección 1.2.2. Contexto de la Industria](#)).

Ya en planta, la frutilla sería procesada bajo el esquema de inteligencia artificial cuyo mérito innovador y propuesta de intervención se explica y justifica a detalle en el siguiente capítulo (Ver [Capítulo 3. Estrategia metodológica o de intervención](#)). Por un lado, se ofrecería una variedad de alimentos pre-ensados a los consumidores, creando además otros elementos de valor asociados a la calidad y a las características sensoriales de los alimentos, mismos que en conjunto podrían generar bienestar en el consumidor final (Almquist, Senior, & Bloch, 2016). Cabe recordar en este mismo contexto que el arándano azul contiene antocianinas que, al ser antioxidantes naturales, pueden repercutir terapéuticamente en la salud humana de manera positiva, con lo que de manera indirecta se contribuiría a reducir riesgo por enfermedades degenerativas (Kalt W. , 2020) e impactando indirectamente en la seguridad social del país.

Por otro lado, en lo que respecta a la distribución de los productos para consumo final, se contribuiría a la generación de riqueza a los encargados de tiendas de abarrotes y/o supermercados donde habrían de colocarse estos alimentos, cuyo costo de venta aún dejaría un margen de ganancia significativo para sus comerciantes; la alternativa de venta *online* (aprovechando las redes sociales para promover determinados *claims* asociados a etiquetado limpio y propiedades funcionales antioxidantes que por regulación en el etiquetado no pueden ser utilizados) podrían ser una opción para dar a conocer a *Agrolimagen*, con lo que se

fortalecería una red social para adoptar futuras innovaciones y/o modificaciones importantes en los productos (Denning & Dunham, 2010)⁷.

Durante la elaboración de algunos productos, será posible obtener algunos otros componentes del arándano tales como su cáscara y sus semillas, mismas que tras un tratamiento previo, podrían ofrecerse a empresas ubicadas en la ciudad de Guadalajara dedicadas a la obtención de aceites vegetales, compuestos bioactivos y/o ingredientes provenientes de fuentes naturales.

Como se explica más adelante (ver [Sección 3. Estrategia metodológica o de intervención](#)), uno de los beneficios que pretenden obtenerse de la propuesta de la inteligencia artificial está orientada al ruteo de la frutilla que contiene la mayor concentración de antocianinas para la producción de jugos, de forma tal que puedan obtenerse residuos con cantidades altas en antioxidantes (ver [Sección 3.2. Propuesta de planta procesamiento y procesos involucrados](#)).

En este entendido, se pretendería crear alianzas estratégicas con empresas dedicadas a la extracción de bioactivos que puedan procesar y extraer las semillas de arándano y/o cáscara proveniente de frutilla, de forma tal que esto pueda facilitar el flujo de información referente a concentraciones de antioxidante obtenidos de la extracción de la cáscara del arándano (análisis fisicoquímicos que dichas empresas habrían de llevar a cabo *in house*) y cuyos datos podría utilizarse para robustecer la herramienta de inteligencia artificial y aumentar la precisión del algoritmo. Esta información compartida facilitará que *Agrolmagen* pueda brindar a las empresas los elementos de valor de calidad, reducción de esfuerzos, ahorro de tiempo y simplicidad a las empresas que se muestran en la ilustración 9 previamente mostrada.

Afinar y robustecer la herramienta de inteligencia artificial contribuye también a aumentar el mérito innovador de la estrategia de intervención del presente proyecto (ver [Sección 3.1. Justificación de la estrategia metodológica o de intervención](#)) y permite que el

⁷ El establecimiento de alianzas estratégicas, el fortalecimiento de redes sociales para venta online y la creación de estrategias de valor compartido permitirían la consolidación gradual de algunas prácticas (Denning & Dunham, The Innovator's Way: Essential Practices for Successful Innovation, 2010) que fortalecerían el mérito innovador de la propuesta de intervención y podrían derivar en la sostenibilidad económica del negocio y su perpetuidad a través del tiempo. Dichas prácticas de innovación consisten en la creación de un entorno para la acción efectiva ("ejecución" mediante la construcción de equipos y organizaciones) en el que puedan "ofertarse" los alimentos pre- envasados de la planta de *Agrolmagen* y lograr su "movilización" a través de las redes sociales.

negocio *per sé* y su rentabilidad se perpetúen a través del tiempo al no ser un algoritmo fácilmente replicable debido a la naturaleza de los datos que contiene.

Claramente, el beneficio para *Agrolimagen* y las empresas con las que se podría generar alianzas estratégicas sería de índole económico pues se generaría riqueza para ambas partes, sin embargo, también existiría un impacto positivo en el medio ambiente debido a la cercanía de la planta con estas empresas y al aprovechamiento de estos subproductos para la obtención de otros compuestos para su aplicación en alimentos, suplementos y/o cosméticos.

Finalmente, es importante señalar que la presencia de una planta de procesamiento de este tipo en la comunidad rural de San Antonio Puerta de la Vega generaría empleo (y riqueza) a sus integrantes; además, una continua capacitación en temas de tecnologías alimentarias, de inocuidad (factor importante para cumplir con los requisitos mínimos de buenas prácticas de manufactura que señala la Norma Oficial Mexicana NOM-251-SSA1-2009, Prácticas de higiene para el proceso de alimentos, bebidas o suplementos alimenticios), y/o en temas de interés en general podría propiciar el desarrollo humano de los integrantes de la empresa y de la comunidad en general (Llano Cifuentes, 2015).⁸

⁸ De esta manera se podría comenzar a propiciar también la generación de valor compartido con la comunidad de San Antonio Puerta de la Vega en general, de forma semejante a como lo ha hecho la empresa Bimbo desde sus inicios. Carlos Llano Cifuentes ilustra muy bien lo anterior en la gráfica de Dilemas éticos de la Empresa Contemporánea de dicha empresa, que se conforma de dos finalidades, la económica y la antropológica-social, mismas que se aplican a su vez en dos ámbitos: en dentro de la empresa y en la comunidad en general (Llano Cifuentes, 2015).

2. Marco conceptual o de referencia

2.1. Estado de la cuestión

El arándano azul se caracteriza por su alta capacidad antioxidante que está ligada a las altas concentraciones antocianinas y compuestos fenólicos que contiene, mismos que han sido relacionados con beneficios antiinflamatorios, cardiovasculares, de glucorregulación y de neuroprotección en la salud humana, y que sin duda han influido en el aumento de su popularidad a nivel mundial (Kalt W. , 2020).

Dicha popularidad puede observarse en el aumento de artículos científicos con las palabras clave como “*blueberry*”, “*blueberries*” o “*Vaccinium corymbosum* L” que han sido publicado a lo largo de los últimos años por más de diez mil autores e investigadores en cerca de 83 países y/o territorios de los que destacan Estados Unidos de América, China, Canadá, Chile y Brasil; cabe señalar que México se encuentra en el lugar 18 de ranking de países con publicaciones acerca del tema (Yuan & Sun, 2021).

Respecto a las áreas de investigación que cubren dichos artículos, destacan aquellos asociados a temas como la horticultura, la tecnología de ciencias de los alimentos, la ciencia de plantas, la agronomía y la agricultura multidisciplinaria, siendo las principales organizaciones relacionadas a dichas publicaciones la *USDA*, *University of Florida*, *Michigan State University*, *University of Georgia* y *Agriculture and Agri-Food Canada*. Es importante mencionar además que un 97.34% de los artículos científicos relacionados con los arándanos azules han sido publicados en el idioma inglés (Yuan & Sun, 2021).

De los autores que más publicaciones han lanzado al respecto, siguiendo con Yuan & Sun (2021), destacan James F. Hancock (del Departamento de Horticultura de la *Michigan State University*), Lisa J. Rowland (Investigadora genetista del Servicio de Investigación agropecuaria de la *USDA*), Mark K. Ehlenfeldt (Investigador genetista de plantas de la *USDA*), Paul M. Lyrene (Fitomejorador y Profesor emérito de la *University of Florida*) y Bernadine C. Strik (Profesora emérita del Departamento de Agricultura de la *Oregon State University*), quienes han publicado de manera individual más de 39 artículos científicos, cuyas investigaciones más recientes tienen que ver con la comprensión de cómo se hereda la resistencia a la pudrición por antracnosis de

los arándano azules (causada por el hongo *Colletotrichum* spp.) (Hancock & Millas, 2022), con un análisis de las perspectivas a futuro de las investigaciones para el mejoramiento (desde el punto de vista taxonómico y genético) del género *Vaccinium* (Rowland, Edger, Bassil, & Benevenuto, 2022), con la creación de híbridos interseccionales fértiles de *Vaccinium meridionale* y *V. vitis-idaea* (Ehlenfeldt, Rowland, & Polashock, 2022), con la diferenciación de los genotipos de arándano azul que generan las notas aromáticas florales y dulces que impactan en la preferencia del consumidor (y su clasificación metabolómica) (Lyrene, Ferrão, & Sater, 2022) y también con el efecto de la poda y el entutorado en el rendimiento en la eficiencia de la cosecha (manual y mecánica) y en la calidad de la frutilla de la variedad de arándano azul *Legacy* (Strik & Davis, 2022).

En resumen, las investigaciones más recientes acerca del arándano azul de los autores con más publicaciones sobre el tema tienen que ver con el fitomejoramiento (o mejoramiento genético) de la frutilla y con técnicas agrícolas para el mejoramiento del rendimiento de la cosecha, pero no sobre las formas más adecuadas para el aprovechamiento de la frutilla que no cumple con los parámetros fisicoquímicos para su comercialización, (Yuan & Sun, 2021).

Por otra parte, un mapeo de palabras clave asociadas a la búsqueda de artículos científicos relacionados con el arándano azul (ver Ilustración 10) derivó en ocho cúmulos principales de temas asociados a dicha frutilla entre los que se encuentran la identificación del *blueberry* como tal de la especie *Vaccinium corymbosum*, el estrés oxidativo de los polifenoles del arándano, la capacidad antioxidante de las antocianinas del fruto, condiciones responsables del crecimiento y rendimiento de la planta, y finalmente, la calidad post-cosecha de la frutilla (Yuan & Sun, 2021).

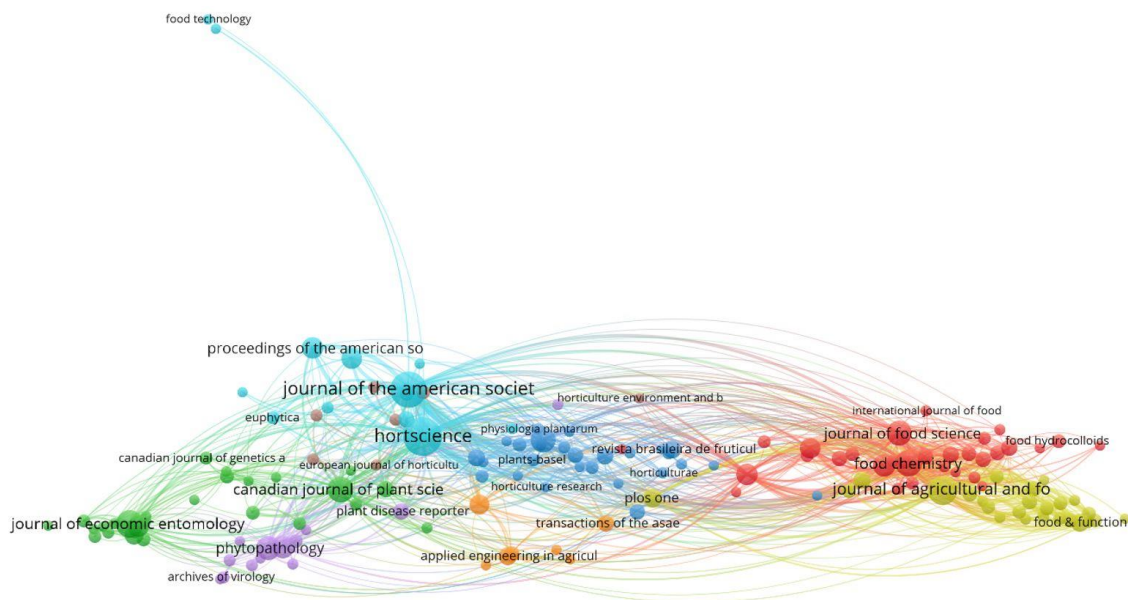


Ilustración 10. Mapas de visualización en red de revistas de citas en investigación de arándanos basados en Web of Science con 151 nodos y 8 cúmulos, (Fuente: Yuan & Sun, 2021).

Dejando de lado las investigaciones científicas asociadas al mejoramiento genético del arándano azul, e indagando en soluciones para el aprovechamiento del arándano azul que no cumple con la calidad para su exportación tras su cosecha, se llevó a cabo una investigación de patentes direccionada en la página de internet de la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (*WIPO*, por sus siglas en inglés), encontrando que las soluciones actuales relacionadas con el arándano azul y su aprovechamiento están dentro de dos grandes secciones: la de “Necesidades Humanas” y la de “Química y Metalurgia”. En la primera, las soluciones se encuentran a su vez en tres grandes clases: “Agricultura”, “Ciencia Médica/Veterinaria” y “Alimentos”. En la segunda sección, las soluciones forman más bien parte de la “Química” como tal y se correlacionan con la clase de “Alimentos”, pues tienen que ver con la obtención de grasas y aceites, bebidas alcohólicas y/o compuestos macromoleculares.

La ilustración 11 presenta un mapa general de las patentes encontradas en *WIPO* y sus respectivas interrelaciones entre clases, subclases, grupos y subgrupos, mismas que se han considerado como soluciones cercanas al problema que se aborda en el presente documento. Los dos grandes recuadros principales (de color azul y violeta) corresponden a las dos grandes

secciones mencionadas anteriormente, mismas a las que se les hace un acercamiento por clases y/o subclases en las ilustraciones 12, 13 y 14. Los recuadros de color verde dentro de los grupos contienen el número de patente localizado en la investigación llevada a cabo, así como la descripción de esta; dichas patentes a su vez están conectados a las subclases y subgrupos en que se encuentran clasificados. Es importante mencionar que las líneas punteadas de color amarillo conectan aquellas patentes cuyos subgrupos recaen en temas semejantes.

Dentro de las “Necesidades Humanas”, las principales patentes⁹ localizadas se encuentran dentro de la clase de “Ciencia Médica/Veterinaria” y tienen que ver con el aprovechamiento del arándano para la creación de suplementos dietéticos a partir del aceite de la frutilla para fomento de la salud preventiva (Heeg, 2004), la recuperación de compuestos fenólicos a partir de residuos para la preparación de compuestos medicinales (Zúñiga Hansen, Poirrier González, & Soto Maldonado, 2012), el encapsulamiento del aceite de la semilla del arándano para el aclaramiento de la piel (Judin & Larmo, 2012) y el uso de algunos compuestos derivados de los componentes de la fruta para su aprovechamiento como coadyuvantes en la industria cosmética, tales como un polvo de semilla preparado obtenido mediante liofilización (Guangzhou Institute of Biomedicine and Health of CAS, 2013) y un polvo azul insoluble en agua derivado de las antocianinas (Choisy & Guenault, 2016).

⁹ Las referencias mostradas para las patentes aquí expuestas contienen el año e inventor(es) de las mismas; para las patentes desarrolladas en China, se optó por referenciar al asignatario actual (empresa) de dichas patentes debido a que los nombres de los inventores estaban en caracteres chinos.

La ilustración 12 presenta un acercamiento a las patentes anteriores de la clase de “Ciencia Médica/Veterinaria” donde puede observarse la interrelación que existen entre grupos y subgrupos. Nótese que los subgrupos que se interrelacionan entre sí tienen que ver con los compuestos activos asociados a las propiedades funcionales del arándano: antocianinas (y sus glucósidos), compuestos fenólicos y otros antioxidantes.

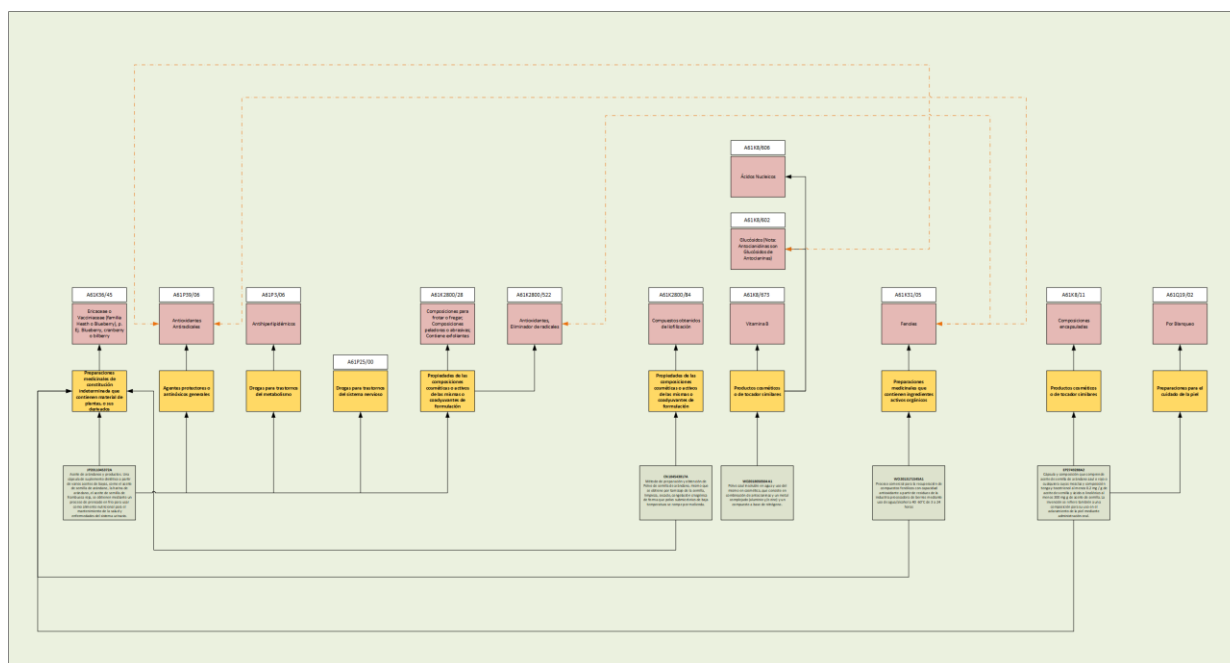


Ilustración 12. Mapa de patentes para el grupo de Ciencia Médica y Veterinaria dentro de la sección de Necesidades Humanas, (Fuente: Elaboración Propia).

Otra clase donde se encontraron patentes relacionadas con el aprovechamiento del arándano es la de “Alimentos”, mismas que se exponen en la ilustración 13. Sin una interrelación entre grupos y/o subgrupos por temas relacionados dentro de la clase, se encontraron nuevamente patentes que tienen que ver con la extracción de aceite de semilla de arándano para su uso en productos dietéticos de calidad nutritiva modificada (Guangzhou Institute of Biomedicine and Health of CAS, 2013) y la extracción del mismo aceite pero ahora aplicando fluidos supercríticos a la semilla del arándano previamente triturada (Guizhou Aerospace Wujiang Electro Mechanical Equipment Co Ltd, 2017).

También se encontró una patente para un extracto de arándano encapsulado para su liberación a nivel intestinal (Siegel, Mavric, & Krammer, 2008), una sobre métodos de

conservación relacionadas con métodos de secado que combinan vapor ultrasónico y por pulsación al vacío (Beijing Technology and Business University, 2020) y una más que aplica microondas al vacío para eliminar hasta el 90% de la masa original de la frutilla (Durance, y otros, 2000).

Un par de métodos asociados a la elaboración de bebidas no alcohólicas fueron también localizados durante la búsqueda: la extracción de jugos mediante triturado y liofilizado (WIPO, 2011) y aplicando enzimólisis por onda ultrasónica para aumentar el rendimiento de jugo y de antocianidinas (Jiangnan University, 2014). Nótese que, para el área relacionada con alimentos, las soluciones cercanas tienen que ver con la conservación y aumento de la vida útil de la frutilla y/o la separación de los componentes para la obtención de aceites de las semillas recuperadas, obtención de extractos y/o jugos.

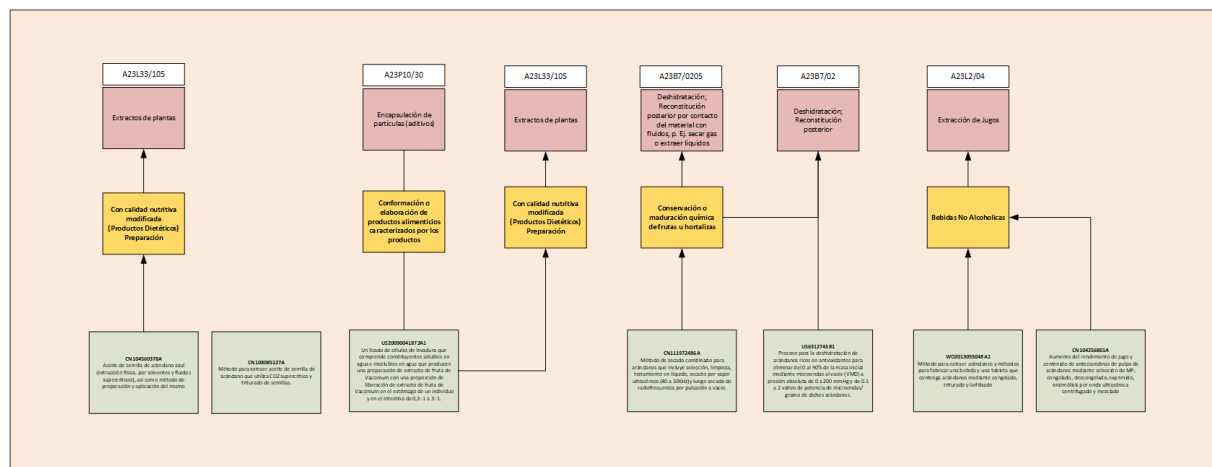


Ilustración 13. Mapa de patentes para el grupo de Alimentos dentro de la sección de Necesidades Humanas, (Fuente: Elaboración Propia).

Finalmente, para la sección de “Necesidades humanas” se encontró una patente interesante que tiene que ver también con el grupo de “Agricultura”, pero que extrañamente podría tener una aplicación en la “Ciencia médica/veterinaria” por su posible aplicación en drogas para trastornos asociados al sistema respiratorio, cardiovascular y dermatológico. Se trata de un biocida elaborado a partir de la delfinidina, una antocianidina que es reaccionada con determinada sal y que es capaz de neutralizar (al menos parcialmente) a bacterias seleccionadas de las que destaca la cepa de *Staphylococcus aureus* resistente a antibióticos

(Roewer & Jens, 2013). No obstante, esta patente tiene su aplicación patentada como repelente de plagas en plantas debido a su clasificación.

La obtención de aceites a partir de las semillas del arándano se enlaza a la sección de “Química y Metalurgia” en la clase de “Aceites, grasas y sustancias grasas”. Por otra parte, dentro de esta misma sección se encontraron un par de patentes asociadas a la “Bioquímica, cerveza, espíritu y vinagre”, así como a la obtención de compuestos macromoleculares orgánicos. La primera es un método para obtener licor fermentado de arándano que contiene ingredientes que mejoran la salud y que tienen que ver una vez más con las propiedades funcionales del arándano ligadas a compuestos antioxidantes (홍성애, 2007), mientras que la segunda consiste en un método altamente selectivo de antocianinas por medio de una extracción etanólica (China Inspection Testing Technology Co Ltd, 2019). La ilustración 14 presenta un pequeño mapa con las patentes localizadas en la sección de Química y Metalurgia, así como sus respectivos grupos y subclasificaciones.

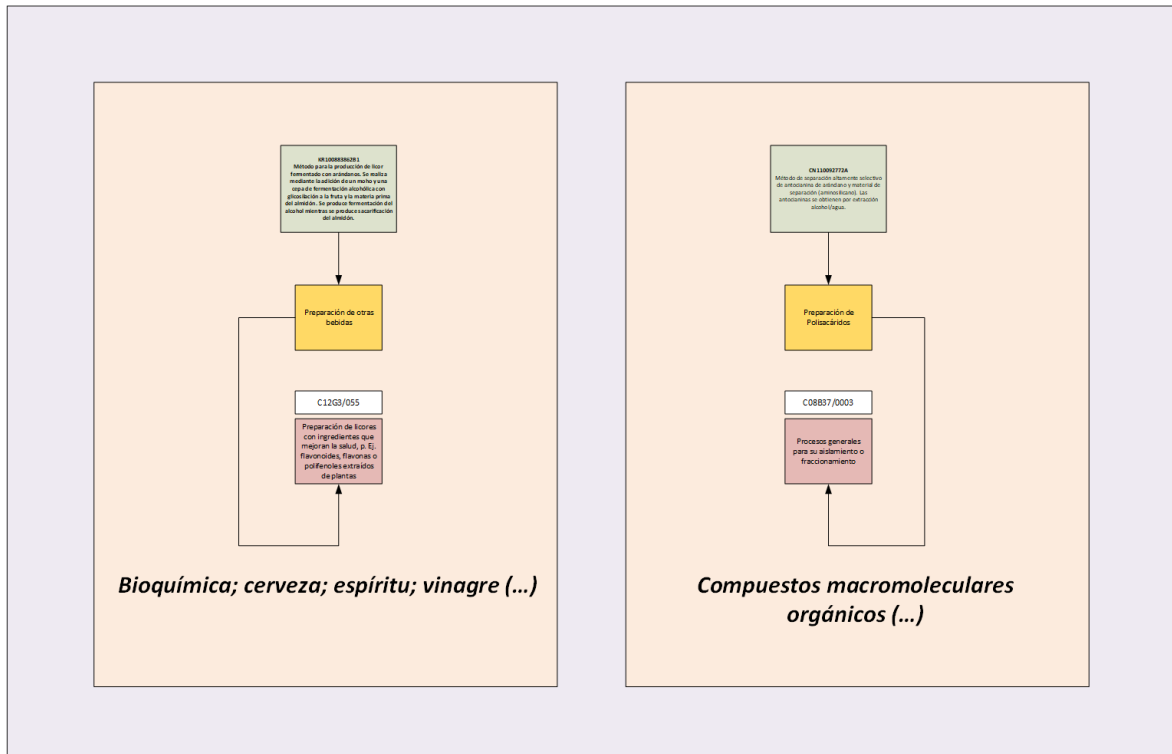


Ilustración 14. Mapa de patentes dentro de la sección de Química y Metalurgia, (Fuente: Elaboración Propia).

Resumiendo la búsqueda de soluciones cercanas al proyecto, las patentes que actualmente intentan dar solución a problemas asociados con el arándano azul están relacionadas con la aplicación de métodos tradicionales de conservación de la fruta (secado y/o fermentación) aplicando nuevas tecnologías para su procesamiento y/o separación de sus macro o microcomponentes para la obtención de jugos, extractos, semillas y algunos compuestos activos asociados con la actividad antioxidante del fruto tales como las antocianinas, antocianidinas y compuestos fenólicos.

Esta búsqueda de soluciones cercanas permitió reforzar la justificación de la propuesta de solución al problema de generación de arándano azul con calidad inadecuada para su exportación, que tiene que ver con el diseño y desarrollo de una planta multifuncional que permita la obtención de micro y macro componentes de la frutilla, así como la creación de productos para consumo humano mediante la aplicación de métodos de conservación de alimentos. Las soluciones encontradas en las patentes facilitaron la conceptualización de la planta y de sus respectivos procesos propuestos (ver [Sección 3.2. Propuesta de planta de procesamiento y procesos involucrados](#)).

2.2. Conceptos y enfoques teóricos relacionados

La conceptualización del proceso propuesto a partir de la búsqueda de soluciones cercanas para el aprovechamiento del arándano azul, aunado a algunas de las tendencias actuales que señala la compañía de consultoría *McKinsey & Company* (ver Ilustración 15), permitieron la búsqueda de alternativas innovadoras que pudieran darle un enfoque distinto a la planta multifuncional para el procesamiento del arándano: por una parte, la visión por computadora y la inteligencia artificial aplicada al análisis de datos, y por otro lado, la generación de tecnologías limpias para la reducción de la huella de carbono.

Una de las tendencias que más llamó la atención fue la de inteligencia artificial aplicada a la industria con la que se pretende generar mayor productividad en los procesos mediante el análisis de datos que fundamentan la toma de decisiones con base en comportamientos aprendidos (McKinsey & Company, 2022), y que está orientada a la automatización de procesos

de manera tal que los empleados de las compañías puedan enfocarse en procesos más importantes y complejos dejando de lado la operación rutinaria.

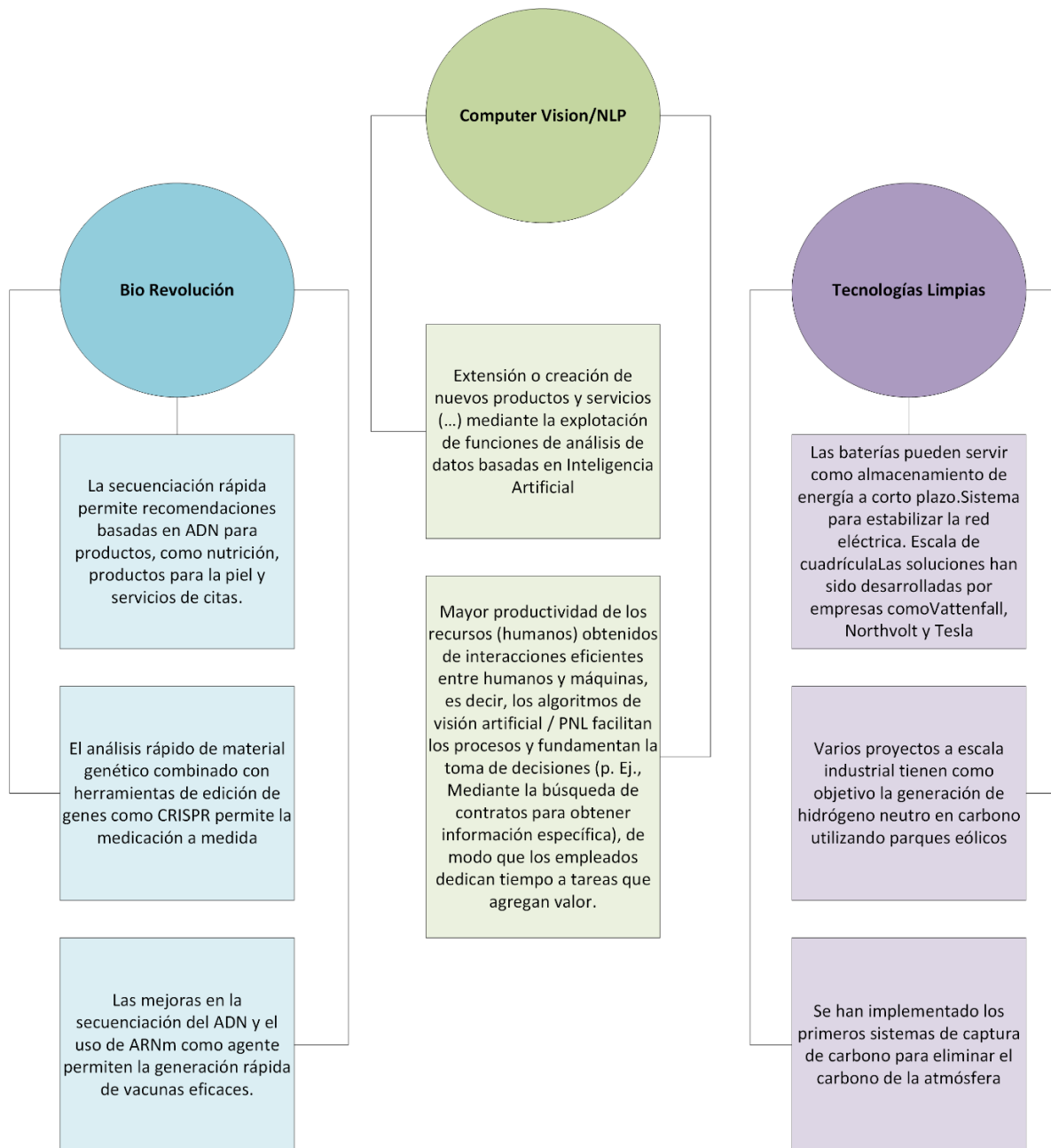


Ilustración 15. Tendencias seleccionadas para la búsqueda de soluciones lejanas a partir de la búsqueda de patentes relacionadas, (Fuente: McKinsey & Company, 2022)

La inteligencia artificial ha tenido un alto impacto en diversas áreas desde su orígenes y que ha tenido grandes avances en los últimos; es un campo de estudio que surge en 1956 a partir del trabajo que Alan Turing realizó durante la Segunda Guerra Mundial y que condujo a la invención de la computadora electrónica, impactando de forma positiva al área de la estadística debido a la facilidad con que podían llevarse a cabo cálculos complejos gracias a este invento (Kelleher & Tierney, 2021).

Turing desarrolló una prueba de inteligencia artificial que determina que una máquina deber ser considerada como inteligente si un humano, después de haber tenido una conversación con dicha máquina (sin saber que se trata en realidad de una computadora) no puede determinar que ésta es una máquina *per sé* (Paluszek & Thomas, 2019).

Derivado de la teoría de Turing, de la invención de la computadora, así como del desarrollo de modelos computacionales a partir de la década de los años cuarenta relacionados con la propuesta de la primera red neuronal por McCulloch y Pitts y el primer modelo de clasificación o de reconocimiento de patrones por Fix y Hodges, se fue consolidando el término de aprendizaje automático (también conocido como *Machine Learning*), con el que se describía por primera vez a aquellos programas que le daban a las computadoras la habilidad de aprender a partir de los datos, y que hoy en día forma parte medular de la ciencia de datos moderna, pues permite el análisis de grandes conjuntos de datos para devolver patrones identificados por el algoritmo (Kelleher & Tierney, 2021) que una persona especializada muy difícilmente podría encontrar a simple vista en dicho conjunto.

La ciencia de datos es un campo emergente en el que se integran problemas, algoritmos y procesos que son utilizados para analizar datos con el objetivo de extraer información procesable de los mismos y que abarca, además del aprendizaje automático, otros campos tales como estadísticas, ética, informática de alto rendimiento y regulación de datos (Kelleher & Tierney, 2021).

En la última década, han existido avances muy importantes dentro del campo del aprendizaje automático, desarrollándose algoritmos para la creación de redes neuronales de aprendizaje profundo (concepto comúnmente conocido como *Deep Learning*) capaces de

aprender y descubrir atributos complejos, mismos que han revolucionado una serie de campos entre los que destacan el de la visión artificial y el procesamiento del lenguaje natural que redes sociales como Facebook utilizan para reconocer rostros y publicitar artículos de manera directa a sus usuarios de acuerdo con las conversaciones que estos han tenido de manera reciente en línea (Kelleher & Tierney, 2021).

Las Redes Neuronales Artificiales se centran en el uso de datos y algoritmos para emular la forma en que los humanos aprenden, imitando la forma en que funcionan las neuronas biológicas. Dichas redes se componen de capas de nodos, de las que una capa corresponde a la de entrada y una más a la de salida, teniendo a su vez varias capas ocultas que se interconectan entre sí, asociando de esta forma sus nodos iniciales y finales (IBM Cloud Education, 2020).

En este entendido, es posible visualizar dichas capas de entrada y salida como datos que, una vez ingresadas a las capas ocultas, pueden generar o estimar un patrón o parámetro asociado que es determinado a partir del aprendizaje obtenido de la información ingresada al inicio de la red. La ilustración 16 muestra la estructura típica de una red neuronal artificial (Kim, 2017), en la que es posible observar las capas que componen a esta herramienta de inteligencia artificial.

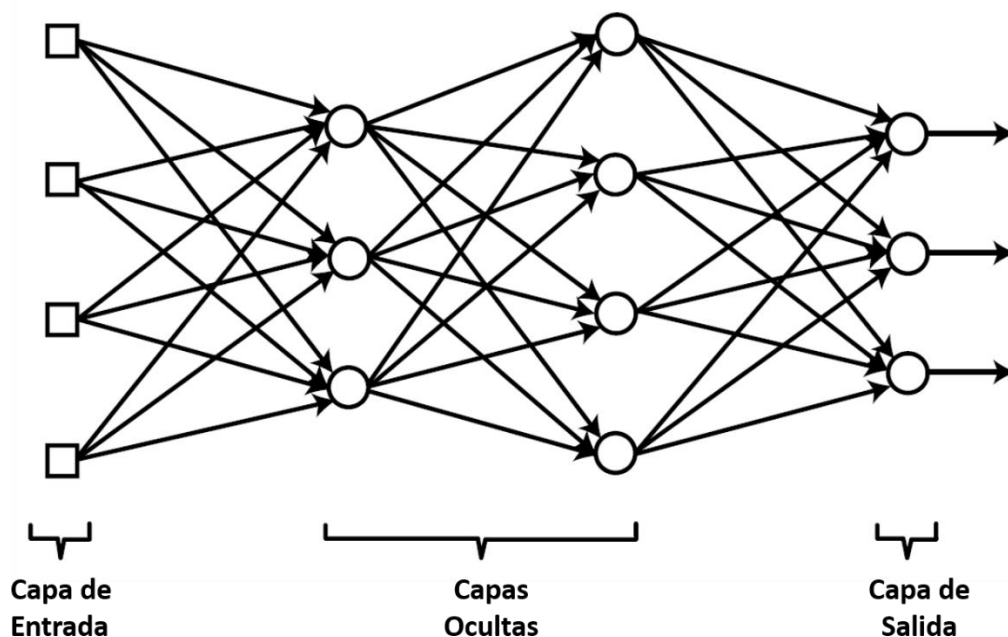


Ilustración 16. Estructura de una Red Neuronal Artificial, (Fuente: Kim, 2017).

El uso de las Redes Neuronales Artificiales (y del aprendizaje profundo como tal) se ha extendido en diferentes campos y rubros, en los que la agricultura y la industria de transformación no han sido la excepción. Tal como se mencionaba en secciones anteriores (ver [Sección 1.2.2. Contexto de la Industria](#)), en la actualidad, empresas que se dedican al cultivo, selección, clasificación y empaque de arándano azul utilizan tecnología basada en inteligencia artificial que facilita la clasificación de aquella frutilla que cumple con los parámetros de calidad de exportación y lo hace mediante el uso de fotografías y una cantidad enorme de imágenes que permiten seleccionar el producto adecuado mediante el posible uso de tecnología basada en Redes Neuronales Artificiales y/o Convolucionales.

Además del uso de fotografías para la detección y clasificación de arándanos de acuerdo a sus parámetros de calidad, se ha aplicado la espectroscopia infrarroja que, aunadas a las técnicas de *machine* y *deep learning* han permitido la reducción y optimización del costo y el tiempo del proceso de detección y clasificación de frutas (Lazo-Aguirre, 2019).

Ya en el campo de investigación relacionado a la industria alimentaria, aplicaciones de inteligencia artificial y de uso de redes neuronales han sido utilizadas para llevar a cabo la optimización del pre-tratamiento osmótico en mermeladas de arándano azul de la variedad *Biloxi*, mediante la supervisión con entrenamiento *Backpropagation* y con la generación de un algoritmo de Levenberg-Marquard cuyo diseño experimental inicial ha considerado como factores a la concentración de solución osmótica y tiempo de inmersión, y como respuestas al contenido de antocianinas y compuestos fenólicos de la frutilla (Obregón Domínguez, 2018).

En resumen, la inteligencia artificial se ha utilizado y aplicado en la industria con el fin de reducir tiempos asociados a la clasificación del arándano de acuerdo con sus atributos de calidad y defectos de origen; sin embargo, no se han encontrado artículos científicos y/o patentes relacionadas con el uso de las redes neuronales artificiales para la optimización de algún proceso general de transformación de dicha frutilla en el que se tomen decisiones respecto a la calidad y parámetros fisicoquímicos de la fruta que entra a la planta y el tipo de tratamiento, transformación y/o proceso al que conviene direccionarla de acuerdo a su estado de madurez, características y/o costo asociados a la temporalidad.

Es importante recalcar que el aprendizaje automático forma parte medular de la ciencia de datos y que por lo tanto, cualquier proyecto asociado a este campo requerirá de datos correctos para obtener los atributos y patrones adecuados, además de una supervisión humana especializada que sepa enmarcar de manera correcta el problema, diseñe y prepare los datos que se utilizarán de forma apropiada, seleccione los algoritmos de aprendizaje automático convenientes, interprete de manera crítica los resultados obtenidos y planifique la acción propicia con base en la información obtenida a partir de la herramienta de inteligencia artificial utilizada (Kelleher & Tierney, 2021), etapas que quedan bien definidas en el diagrama mostrado en la ilustración 17, y que forman parte del ciclo de vida del “proceso estándar de la industria cruzada para la minería de datos”, mejor conocido como CRISP-DM por sus siglas en inglés, mismo que fue desarrollado mediante un patrocinio de la Unión Europea bajo el programa ESPIRIT en 1999 (Kelleher & Tierney, 2021).

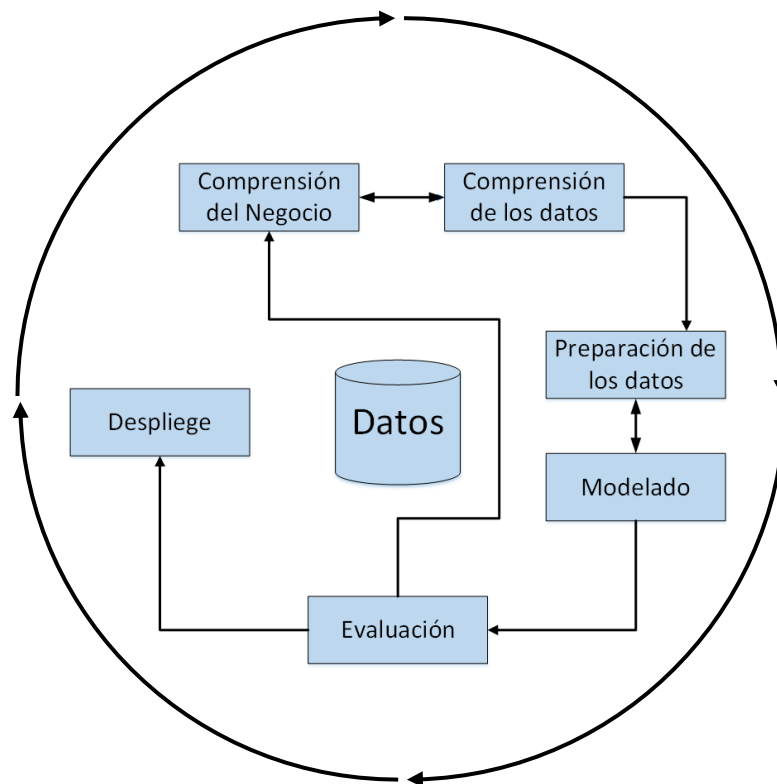


Ilustración 17. Ciclo de vida para el proceso CRISP-DM (Fuente: Kelleher & Tierney, 2021)

Obsérvese en la ilustración 17 que los datos son la parte central de las actividades del ciclo de vida del proceso CRISP-DM y que las flechas entre las etapas indican que el proceso no necesariamente sigue un flujo lineal, sino más bien iterativo. La primera etapa consiste en la comprensión del negocio, en la que se definen los objetivos del proyecto a partir de un problema comercial determinado (Kelleher & Tierney, 2021).¹⁰

Posteriormente, se lleva a cabo la comprensión de los datos, donde se hace una exploración para determinar si a partir de la información disponible es posible desarrollar una solución al problema. Una vez asegurado lo anterior, la etapa siguiente es la preparación de los datos, que consiste en la creación de un conjunto de datos integrando información de distintas fuentes; una vez que se tiene este conjunto, es importante verificar la calidad de los datos para limpiar valores atípicos y/o llenar los huecos de posibles valores faltantes, siendo necesario en determinadas ocasiones realizar una selección, estandarización, discretización (*binning*) y/o integración de las observaciones que se disponen, (Kelleher & Tierney, 2021),

Tanto la comprensión de los datos como su preparación son muy importantes debido a que la presencia de datos erróneos puede afectar considerablemente el rendimiento de los algoritmos de análisis de datos, razón por la que un 80% del tiempo de un proyecto de ciencia de datos se invierte en actividades relacionadas a estas etapas (Kelleher & Tierney, 2021).

A partir de la preparación de los datos se genera una “*tabla base analítica*” que consiste en un conjunto de datos que sirve de entrada para cualquier algoritmo de aprendizaje automático, y cuya selección de atributos se basa en el conocimiento y análisis de las relaciones entre los atributos (Kelleher & Tierney, 2021). Con esta tabla se construye y se define la herramienta de aprendizaje más adecuada en la etapa de modelado con el propósito de obtener patrones útiles y crear modelos que codifiquen a estos. Tal como se mencionaba previamente, el ciclo de vida de CRISP-DM es iterativo, de forma tal que si en esta etapa los rendimientos no son los esperados, es necesario regresar a la reparación de datos cuya actividad forma parte de

¹⁰ Es realmente importante comprender claramente la necesidad comercial de un proyecto de ciencia de datos para que este tenga éxito (Kelleher & Tierney, 2021); de aquí la justificación de conocer muy bien el contexto de la industria y de la empresa pues esta información permite definir el problema y, mediante la comprensión de los datos disponibles, se puede buscar una forma adecuada de abordar la problemática en búsqueda de una solución.

la etapa anterior y/o experimentar distintos algoritmos de aprendizaje automático para determinar cuál o cuáles generan los modelos más precisos, (Kelleher & Tierney, 2021).

Finalmente, se llevan a cabo las etapas de evaluación y despliegue; la primera consiste en evaluar el modelo obtenido en un contexto más amplio que se define con base en las necesidades del negocio. También se evalúa la calidad de las etapas y actividades realizadas por el científico de datos para determinar si se perdió algo en el transcurso del proyecto o si algo pudo haberse realizado de mejor manera. La segunda, el despliegue, consiste en planificar cómo integrar el modelo en la infraestructura y procesos de la empresa (esperándose que el modelo pueda adaptarse sin problema alguno); es importante mencionar que el despliegue debe considerar un plan de revisión periódica para evaluar el rendimiento del modelo, actualizarlo (robustecerlo y/o refinarlo) y evitar que este se vuelva obsoleto (Kelleher & Tierney, 2021).

Dejando de lado los conceptos asociados a la inteligencia artificial, la ciencia de datos y su uso actual en la industria, otros enfoques teóricos relacionados con el presente trabajo fueron aquellos asociados con el desarrollo de la solución y propuesta de intervención del mismo, cuya aplicación se explica en la siguiente sección. Estos enfoques teóricos tienen que ver con metodologías que permitieron encontrar soluciones innovadoras para las disfuncionalidades detectadas alrededor de la problemática previamente expuesta, que condujeron de cierta forma a determinar la propuesta de intervención del presente proyecto y que facilitaron la evaluación de su respectivo mérito innovador.

La primera metodología utilizada fue la Teoría de la Resolución Inventiva de Problemas, (mejor conocida por su siglas como TRIZ), que fue desarrollada en 1956 por el ruso Genrich Altshuller, quien en su momento mapeó soluciones específicas a problemas determinados en más de dos millones de patentes, lo que le permitió construir una matriz con 40 principios para la resolución de contradicciones técnicas comunes (Kretschmar & Chekurov, 2018), mismas que han sido aplicados con éxito por compañías internacionales como IBM o Samsung para la generación de soluciones innovadoras.

La metodología de esta herramienta consiste en modelar el problema y definir las contradicciones técnicas que se generan cuando al tratar de mejorar un atributo “A” se ve

deteriorado un atributo “B” perteneciente al mismo sistema tecnológico en que dichos atributos se encuentran (Coronado Maldonado, 2005). Una vez definidas dichas contradicciones, el siguiente paso es introducir estos atributos a la matriz de TRIZ para encontrar aquellas soluciones genéricas que por lo general consisten en analogías que permiten encontrar una solución específica al problema real (Kretzschmar & Chekurov, 2018).

Por su parte, la evaluación del mérito innovador se llevó a cabo mediante un análisis VRIO, el mismo que fue desarrollado por Jay Barney en 1991 y que se aplica actualmente como una herramienta para el análisis estratégico de las organizaciones para evaluar qué tan Valioso (V), Raro (R), Inimitable (I) y Organizado (O) son sus recursos y/o capacidades (Savkín, 2020). El análisis anterior puede llevarse a cabo contestando a preguntas que permitan justificar los niveles asignados a las características anteriores.

Finalmente, es importante rescatar el concepto de innovación, que puede definirse como toda aquella práctica nueva que logra ser adaptada en un contexto determinado, desplazando las prácticas que ya existían o combinándolas con estas para satisfacer las necesidades o inquietudes existentes (Denning & Dew, 2015). No es de extrañar que el Manual OSLO defina a la innovación de forma generalizada como un producto o proceso, nuevo o mejorado, que se caracteriza por diferir de manera significativa de las innovaciones previas (OECD; Eurostat, 2018); la clave está en recordar que la innovación debe ser adaptada a contextos en los que previamente no existían dichas mejoras en sus productos o sus procesos ya existentes.

2.3. Herramientas tecnológicas o de innovación consideradas en el trabajo

Para desarrollar la solución y propuesta de intervención que se describe en el presente trabajo se llevó a cabo el proceso mostrado en el diagrama de la ilustración 18, de los que algunos conceptos han sido desarrollados y/o explicados a lo largo de secciones anteriores.

Antes de definir la problemática que se expone al inicio de este documento, se propuso un anteproyecto para el aprovechamiento de la merma de diversas frutas y hortalizas que se generan bajo el esquema de agricultura protegida en Región Valles del Estado de Jalisco mediante su procesamiento y transformación en alimentos pre-envasados con valor agregado, a partir del diseño y desarrollo de una planta multifuncional similar a la que actualmente se

encuentra en los laboratorios de Ingeniería de Alimentos de Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente (ITESO).

El siguiente paso que realizó fue enfocar el proyecto a un solo producto agrícola cultivado bajo el esquema de agricultura protegida, siendo el arándano azul el elegido debido a la tendencia de expansión de hectáreas dedicadas a su cultivo a largo de la entidad federativa (y principalmente, dentro de la Región Valles del Estado) y por los grandes volúmenes de exportación detectados y reportados por bases de datos como *Agronometrics*.

Una vez seleccionado el arándano azul como el producto central del proyecto, la siguiente etapa consistió en la problematización y expansión del problema mediante la búsqueda de disfuncionalidades a lo largo de la cadena de suministro de la frutilla, todo esto partir de una matriz de disfuncionalidades en la que consideraron diversas variables importantes desde el punto de vista del oferente, del consumidor y del entorno que se lleva a cabo el proceso relacionado con la obtención, selección y venta del arándano.

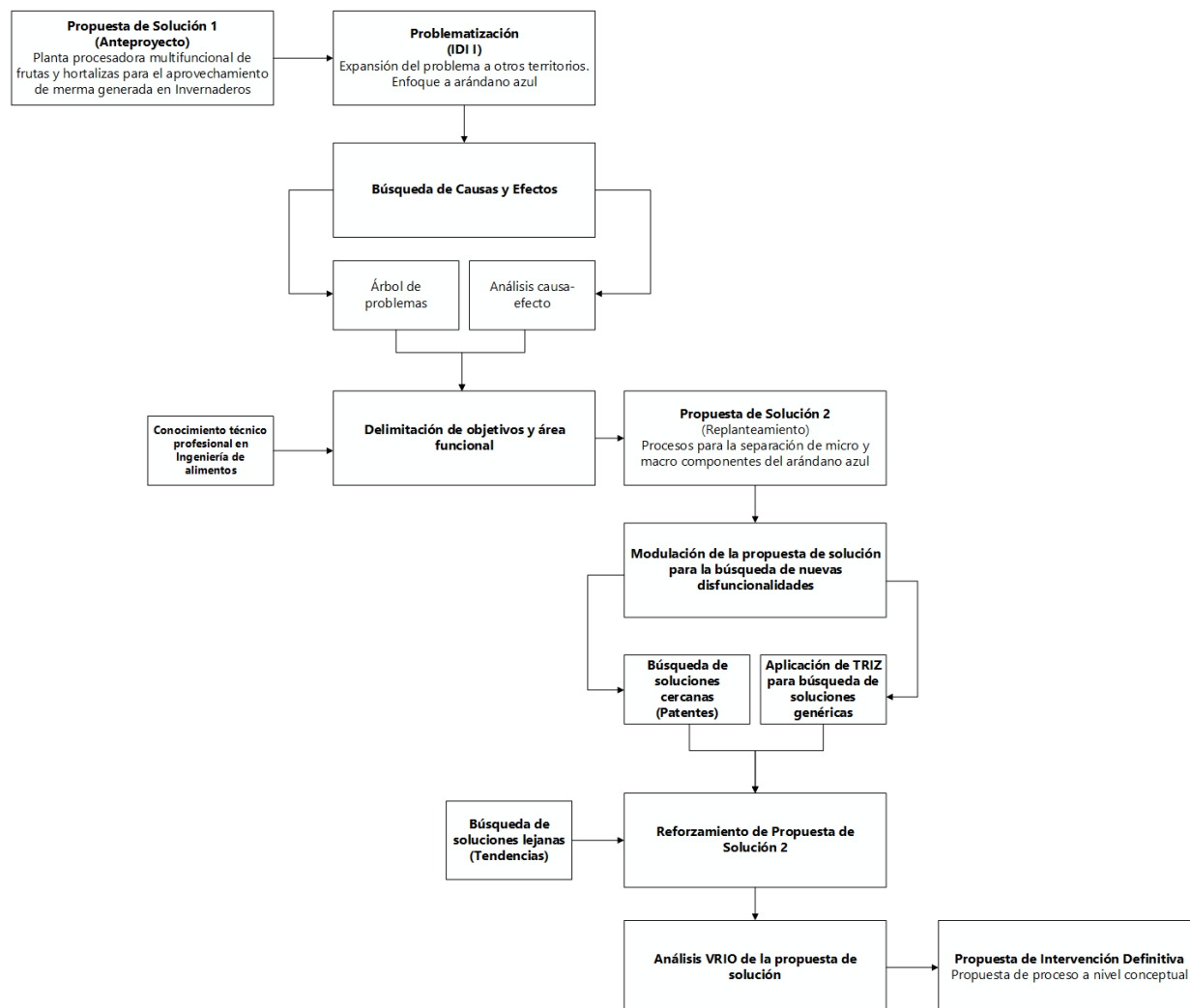


Ilustración 18. Proceso de uso de herramientas tecnológicas y de innovación consideradas durante el desarrollo del trabajo, (Fuente: Elaboración Propia).

La búsqueda de estas disfuncionalidades en otros terrenos (o escenarios) permitió visualizar las causas y efectos del problema principal, mismo que se plasmaron en los diagramas circulares y de árbol mostrados en las ilustraciones 6 y 7 de la [Sección 1.2.3. Análisis causa-efecto](#).

Visualizar las situaciones que actualmente se utilizan para contrarrestar el problema principal permitió delimitar el objetivo de la intervención y el área funcional, tomando en cuenta el conocimiento técnico-profesional previo asociado a la ingeniería de alimentos y sus procesos de transformación, replanteándose así una segunda propuesta de solución enfocada a la

separación de micro y macro componentes del arándano, que implica además la transformación de la frutilla en determinados productos finales que podrían pre-embasarse para el consumo humano.

La modulación de la segunda propuesta de solución se llevó a cabo pensando en las etapas de proceso que se verían involucradas en la planta multifuncional de procesamiento a manera de módulos; se buscaron nuevamente disfuncionalidades en dichas etapas (o módulos) y se aplicó la herramienta TRIZ (Rantanen, Conley, & Domb, 2018) para la búsqueda de soluciones genéricas a los problemas encontrados. Posteriormente realizó un mapeo de patentes mediante el uso de *WIPO* (ver [Sección 2.1. Estado de la cuestión](#)) para encontrar soluciones cercanas relacionadas con el aprovechamiento del arándano. Esto permitió reforzar y seleccionar los posibles procesos que se habían visualizado para la segunda propuesta de solución.

Posteriormente se realizó una búsqueda de tendencias con el propósito de entender cómo las mismas han sido utilizadas para generar disrupciones en la industria en general. La revisión de la propuesta de la solución dos con los asesores y su correlación con el conocimiento previamente adquirido respecto al uso de Redes Neuronales Artificiales en la asignatura de Simulación de Productos, Procesos y Negocios de la Maestría en Ingeniería de Productos y Procesos, propiciaron la idea de incorporar a la planta multifuncional un algoritmo para la toma de decisiones asociado a una Red Neuronal Artificial.

Por otro lado, la herramienta TRIZ propició la idea de generar una estrategia de valor compartido con los agricultores para evitar el deterioro de la frutilla que se segrega por no cumplir con la calidad de exportación mediante el análisis de las disfuncionalidades que se detectaron para el módulo de transporte terrestre del arándano desde el lugar de cultivo y hasta la planta de producción.

Las soluciones genéricas de la matriz de TRIZ a la contradicción que se produce al intentar mejorar parámetros indeseados de pérdida de sustancia preservando la estabilidad y composición del objeto (es decir, el arándano que no cumple con el estándar para su exportación) fue la de llevar a cabo una acción preliminar, aplicando selección e intermediación (Rantanen, Conley, & Domb, 2018).

Finalmente, la propuesta de intervención derivada de las herramientas tecnológicas y de innovación que se utilizaron en el proceso descrito en la ilustración 14 fue evaluada mediante un Análisis VRIO (Valioso, Raro, Inimitable y Organizado) para justificar el mérito innovador de la misma.

3. Estrategia de intervención

La estrategia de intervención que se ha planteado para el presente proyecto es el uso de inteligencia artificial para el óptimo aprovechamiento del arándano azul de calidad de no exportación que se genera en la Región Valles del Estado de Jalisco, a partir de las características fisicoquímicas obtenidas de una muestra representativa del lote (o los lotes) de frutilla a procesar y mediante un algoritmo que permita definir el proceso de transformación industrial más conveniente a través de una función matemática objetivo asociada a los costos de producción de cada uno de los procesos involucrados, así como al precio de la materia prima.

En este entendido, se pretende que una muestra representativa del arándano segregado de manera previa, de acuerdo con su estado de madurez visual y/o defectos determinados (mediante una estrategia de valor compartido con los productores de arándano), sea caracterizada fisicoquímicamente para la obtención de datos que sirvan como parámetros de entrada a una Red Neuronal Artificial para el reconocimiento de Patrones, misma que determinará (por entrenamiento y afinación constante) la categoría de clasificación adecuada de la frutilla de acuerdo con un rango de antocianinas estimado, enviando a la materia prima al proceso que más convenga de acuerdo con la cantidad de antioxidantes, sólidos solubles, costo de materia prima y de producción.

La estrategia de intervención que se propone se desarrollará con base en datos fisicoquímicos teóricos reportados en la literatura para arándanos azules de distintas variedades y se entrenará con un porcentaje segregado de la misma información que logre recopilarse, con el propósito de llevar a cabo una simulación que demuestre el correcto funcionamiento del algoritmo desarrollado en conjunto con la red neuronal artificial para el reconocimiento de patrones, con su función objetivo y de optimización.

3.1. Justificación de la estrategia de intervención

La justificación de la utilización de datos reportados en la literatura para el desarrollo del algoritmo previamente propuesto radica en que la sociedad rural *Agrolmagen* se encuentra actualmente en un proceso de plantación de frambuesa con el propósito de cultivar arándano azul hasta febrero del año 2023, por lo que no se dispone de la materia prima para llevar a cabo los análisis fisicoquímicos correspondientes ni los recursos (materiales y equipos) para poder realizarlos.

Por otra parte, la justificación de la estrategia de intervención *per sé* se justifica con base en el mérito innovador de la misma. La realización de un análisis VRIO permitió evaluar qué tan valiosa, rara, inimitable y organizada era la propuesta, encontrándose lo siguiente:

- **Valioso:** de manera general, la propuesta de intervención es valiosa pues agrega valor a la frutilla que NO cumple con la calidad de exportación, al mismo tiempo que se acerca a un escenario de idealidad de aprovechamiento al máximo de la materia prima generada. Tanto la planta de procesamiento como la herramienta de inteligencia artificial influyen en generar y asegurar los elementos de valor para los productos procesados que se explican con detalle en el apartado de Justificación y pertinencia del trabajo (ver [Sección 1.5](#)), con lo que se fortalece la red de valores que se presenta en dicha sección, y se impacta de manera positiva en los elementos del concepto de sustentabilidad.

Además, una herramienta de este tipo puede servir de prototipo para su aplicación en otro tipo de frutas y/u hortalizas que puedan procesarse en la planta, de las que puedan aprovecharse residuos cuyas sustancias contenidas puedan fungir como principios activos para su uso en otros ámbitos industriales. Desde otro punto de vista, la propuesta de intervención también es valiosa pues redirige el esfuerzo de los integrantes de la planta y lo enfoca en actividades más importantes y/o trascendentales, conservándose además por mayor tiempo el *know how* para el procesamiento adecuado de la materia prima que ingresa al lugar, al mismo tiempo que se reducen riesgos asociados al error humano y se evita la pérdida de información importante cada vez que algún empleado deba o tenga que dejar la empresa por razones de cualquier índole.

- **Raro:** la propuesta es rara pues en la Región Valles del Estado de Jalisco no existe una planta de procesamiento que se dedique al procesamiento y/o separación de micro y macro componentes del arándano azul y mucho menos que cuente con un algoritmo como el propuesto que sea aplicado para facilitar la optimización y direccionamiento de la frutilla a los procesos de transformación adecuados. Debido a este contexto y al entorno en que se pretende desarrollar el proceso, podemos considerar que la propuesta es *grosso modo* innovadora, de acuerdo a la definición que se estipula en el Manual Oslo (OECD; Eurostat, 2018) y que define a una innovación como un producto o proceso *per sé*.
- **Inimitable:** al crear este algoritmo basado en inteligencia artificial que constantemente se alimenta con parámetros de entrada y salida de acuerdo con las características de las cosechas (y con la información proporcionada por los clientes), se va consolidando una base de datos difícil de imitar, misma que se va afinando y robusteciendo la Red Neuronal Artificial y sus respectivas estimaciones. Esto contribuye a darle valor al *know how* de la empresa y evita la pérdida o reproducibilidad de la tecnología por actores ajenos a *Agrolimagen*, de forma tal que se fortalece la perpetuidad del negocio.
- **Organizado:** la propuesta es organizada ya que requiere de alianzas estratégicas con los clientes, así como de estrategias de valor compartido con los proveedores de materia prima. Esto genera beneficios hacia los actores asociados con *Agrolimagen*, fortaleciendo su red de valores, los elementos de valor de los productos/servicios que la empresa pretende brindar (ver [Sección 1.5. Justificación y Pertinencia del trabajo](#)), facilitando además el intercambio de información que permite el robustecimiento de la herramienta de inteligencia artificial, propuesta de intervención para la planta de procesamiento que es pieza clave del mérito innovador del presente proyecto.

Es importante mencionar además que el algoritmo, además de direccionar la frutilla a los procesos convenientes, también tendrá la capacidad de almacenar otros datos que permitirán llevar a cabo la trazabilidad de la frutilla al registrar datos asociados a fecha, proveedor, lugar de procedencia y costo de los lotes acopiados (además de los atributos y características de la frutilla), lo que permitirá armar una base de datos

histórica cuya información podría utilizarse para encontrar en un futuro algunos otros patrones correlacionados con la ubicación geográfica del cultivo, temporalidad y costo que podrían ligarse a factores climatológicos de la región.

Además, tener la información asociada a la trazabilidad de la frutilla almacenada en la base de datos permitirá el rastreo origen-destino de los productos finales a partir de los lotes de producción generados, que es uno de los requisitos fundamentales para certificaciones de inocuidad alimentaria como la de FSSC 22000, cuyo sistema de gestión se tiene contemplado para instaurarse en el mediano plazo.

En las siguientes secciones se expondrá a detalle en qué consiste la herramienta de inteligencia artificial antes mencionada. En primer lugar, se explicarán cuáles son los procesos involucrados en la planta multifuncional de transformación Y etapas de implementación proyectadas de acuerdo a sus costos. Posteriormente, se explicarán las herramientas e instrumentos aplicados para el desarrollo de la propuesta de intervención, y se explicará el análisis de los datos, obtención y procesamiento, que permitieron desarrollar la herramienta de inteligencia artificial y el algoritmo al que fue incorporada. Finalmente, se expondrá el algoritmo completo, su diagrama de flujo y su respectivo código de programación.

3.2. Planta de procesamiento y procesos involucrados

Como ya se ha mencionado anteriormente, la herramienta de inteligencia artificial y el algoritmo propuesto se habrían de implementar en una planta multifuncional de procesamiento para la obtención de alimentos pre-envasados, así como de algunos otros componentes (residuos tales como semillas y cáscaras) del arándano azul de calidad de no exportación.

La decisión de a qué o a cuáles procesos involucrados habría que dirigir materia prima (de acuerdo con cantidades, costos y calidad) se llevaría a cabo mediante el uso del algoritmo que se planteó en la sección anterior, y que se explica a detalle más adelante. La ilustración 19 presenta los procesos involucrados para la planta multifuncional que aquí se propone.

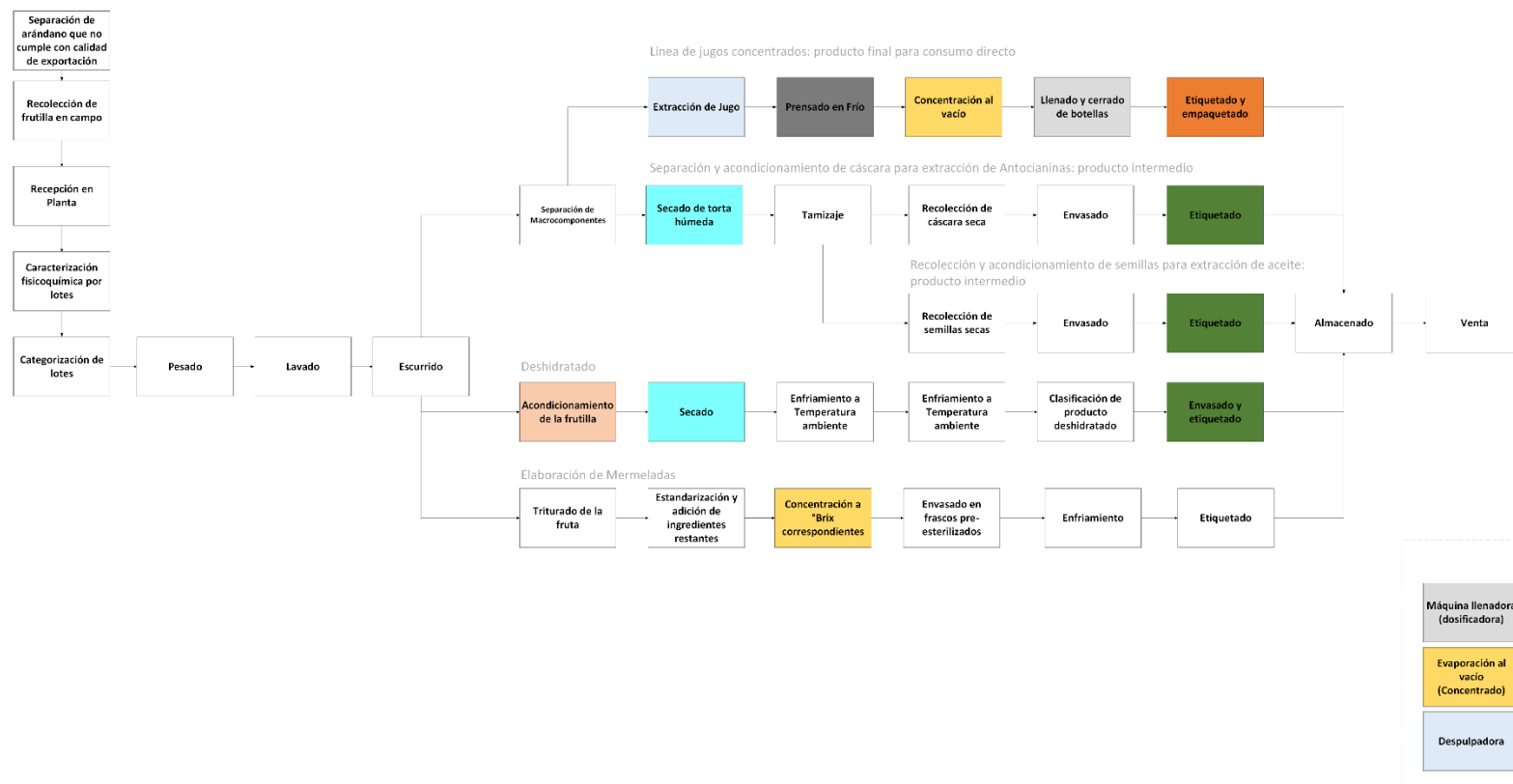


Ilustración 19. Diagrama de bloques para la planta multifuncional propuesta con sus respectivos procesos y etapas involucradas. Los bloques con determinados colores corresponden a determinadas operaciones unitarias que coinciden en varios de los procesos aquí propuestos. Para tener acceso a una versión más legible de esta ilustración, dé clic [Aquí](#). (Fuente: Elaboración Propia).

De manera general, la materia prima para el procesamiento y transformación en alimentos pre-ensados se obtiene de aquellos agricultores con los que se ha establecido una estrategia de valor compartido que facilite la segregación del arándano de acuerdo con su madurez visual; el flujo de comunicación oportuna permite que *Agrolmagen* pueda recolectar la materia prima en tiempo y forma para trasladarla a la planta y procesarla evitando su refrigeración.

Tras su recepción en planta, una muestra representativa de los lotes existente es caracterizada fisicoquímicamente, analizando atributos de calidad cuya determinación no conlleva un costo económico de alto impacto (como lo son sólidos solubles, peso fresco de un arándano y Colorimetría CIE L^*a^*b) para posteriormente introducir los datos generados al algoritmo que se explica más adelante.

Se espera que este algoritmo arroje la información de los procesos económicamente más rentables para direccionar al arándano azul de acuerdo con sus características fisicoquímicas analizadas. Una vez definidas las proporciones y/o cantidades por el algoritmo, el siguiente paso es realizar el pesaje del arándano para posteriormente lavarlo y escurrirlo. Tras estos pasos de higiene, la frutilla es llevada al proceso de producción recomendado por el algoritmo.

Nótese finalmente en la ilustración 19 cómo en la planta de procesamiento habrá diversas operaciones unitarias (equipos) que podrían utilizarse en más de una línea de procesamiento. En el diagrama de bloques de dicha ilustración, los recuadros con un mismo color corresponden a una misma operación. A continuación, se exponen cada una de las líneas de procesamiento mostradas en la Ilustración 19, así como sus respectivos balances de masa, condiciones de procesamiento sugeridas por la literatura, características de los productos finales y rendimientos esperados.

3.2.1. Separación de componentes del arándano

La operación de separación de componentes consiste en la extracción del jugo de la frutilla, así como en la separación de las semillas y cáscaras del arándano. La ilustración 20 ofrece un balance de masa general en el que se muestran la entrada en kilogramos de arándano fresco y las salidas estimadas de jugo, semillas y cáscara a partir de datos reportados por la literatura.

Los 12,000 kg de arándano fresco en el balance corresponden a las entradas estimadas mensuales al proceso de acuerdo con las capacidades de los equipos cotizados para este fin que se presentan en el [Anexo IV](#).

De acuerdo con lo anterior, se espera tener un rendimiento de jugo de arándano en el proceso de extracción que va de entre el 56.11 - 78.38% (Song, y otros, 2020)¹¹ y hasta un 83%, (Skrede, Wrolstad, & Durst, 2000), mientras que para sus respectivos residuos, se estima un rendimiento aproximado del 1.5% para las semillas y 19% para la cáscara (Lee & Wrolstad, 2006)¹², lo que se traduce en una torta húmeda con una proporción de 7.32% y 92.68% de semillas y piel húmeda, respectivamente.

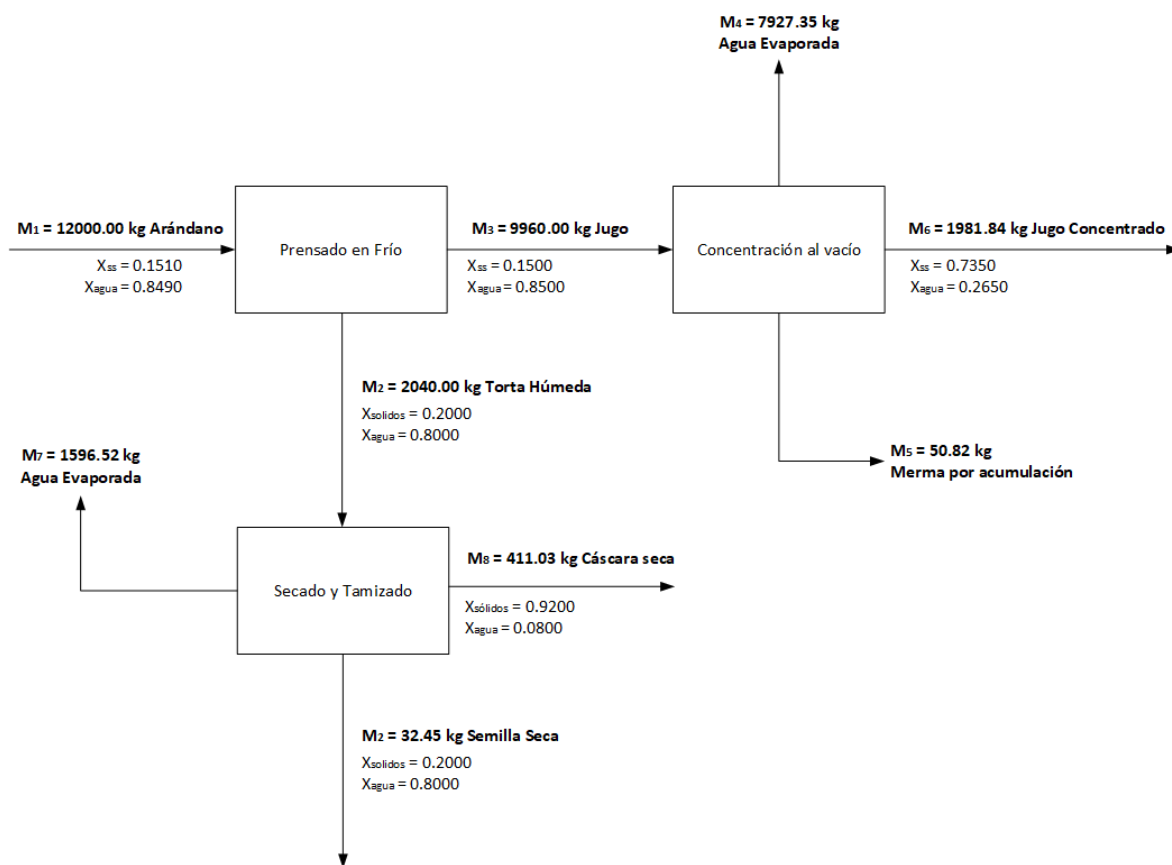


Ilustración 20. Balance de masa para el proceso de separación de componentes del arándano azul, (Fuente: Elaboración Propia). Las abreviaturas Xss, Xagua y Xsólidos corresponden a las fracciones másicas de sólidos solubles, humedad y sólidos en general.

¹¹ El rendimiento reportado para arándano azul *Vaccinium corymbosum* L. cv. Bluecrop, (Skrede, Wrolstad, & Durst, 2000).

¹² Rendimientos reportados para arándano azul *Vaccinium corymbosum* L. cv. Rubel, (Song, y otros, 2020).

3.2.1.1. Línea de jugos concentrados

Para las cantidades calculadas en el balance de masa que se ofrece en la ilustración 20, se ha considerado arándano azul con una concentración de sólidos solubles (o grados Brix) de 15.10% y un porcentaje de agua estimado a partir de la diferencia del porcentaje anterior del 84.90%, (Song, y otros, 2020).

Considerando un escenario optimista en el que se obtiene el rendimiento mayor reportado por la literatura consultada que es del 83% de jugo obtenido por prensado en frío a una presión de 0.5 bar (Skrede, Wrolstad, & Durst, 2000), tenemos que para 12,000 kg de arándano fresco es posible obtener hasta 9,960 kilogramos de líquido con una concentración de sólidos solubles prácticamente igual a la de la frutilla fresca utilizada para el proceso de extracción.

El jugo obtenido del prensado en frío se concentra a una temperatura de entre los 45 y 50°C (para evitar deterioro de antocianinas) y una presión de vacío de -0.85 y -0.90 kg cm² (Skrede, Wrolstad, & Durst, 2000).

El Proyecto de la Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-173-SE-2020 no especifica la concentración mínima de sólidos solubles (o grados Brix) necesarios para que un jugo de arándano sea denominado como “Jugo concentrado”; en el ámbito internacional, el *Codex Alimentarius*, en la Norma CODEX STAN 247-2005 ([Sección 3.2.1.1](#)) define a un jugo concentrado como el producto exprimido obtenido por extracción mecánica al que se le ha eliminado agua de manera física para elevar los grados Brix al menos un 50% más alto que el nivel mínimo establecido de 10 °Brix para *Vaccinium corymbosum* L (FAO, 2005)¹³.

Para fines de la estimación de entradas, salidas, costos y rendimientos, se estableció la cantidad de sólidos solubles en el producto final de 73.5%¹⁴ de acuerdo con lo reportado por la

¹³ Respecto a los grados Brix, la sección 3.1.1 menciona puntualmente que “para los zumos (jugos) de frutas exprimidos directamente, el nivel de grados Brix será el correspondiente al del zumo (jugo) exprimido de la fruta y el contenido de sólidos solubles del zumo (jugo) de concentración natural no se modificará salvo para mezclas del mismo tipo de zumo (jugo)”, (FAO, 2005).

¹⁴ En el mercado *online* es posible encontrar jugos concentrados de arándano con un poco más del 60% de sólidos solubles (FruitFast, 2022), sin embargo, se ha conservado el porcentaje de concentración reportado por Skrede, *et. al.* (2000) para fines estimativos en un escenario conservador de alto consumo energético y económico.

literatura (Skrede, Wrolstad, & Durst, 2000), concentración a la que se llega tras evaporar casi 8,000 kilogramos de agua, con lo que se obtienen 1,981.84 kg de producto final.

Cabe señalar que, para esta última etapa, el porcentaje de merma por acumulación en el proceso se ha establecido de acuerdo con experimentos llevados a cabo para la concentración de jugo de tomate en un equipo similar para la evaporación de agua a partir de la aplicación de vacío y temperatura (Aldrete, Federico, Hermosillo, Martínez, & Vargas, 2020).

3.2.1.2. Línea de acondicionamiento de cáscara y semilla

La torta húmeda prensada obtenida del proceso de extracción de jugo es recolectada y se somete a secado de 10 horas para disminuir el porcentaje de agua desde un 80% hasta un 8% (Van Hoed, y otros, 2009).¹⁵ Las semillas se obtienen por tamizaje y de esta forma se separa mecánicamente de la cáscara seca de la fruta; una vez recolectados, estos componentes podrían ser envasados y etiquetados para su venta a empresas interesadas en la obtención compuestos y bioactivos mediante extracciones físicas y/o químicas.

Normalmente la frutilla que se segrega por no cumplir con los estándares de calidad para su comercialización en el extranjero se vende con la finalidad de elaborar jugo para consumo nacional (Rodríguez, 2022); sin embargo, para fines de obtener residuos con alta cantidad de antioxidantes será necesario realizar una categorización que permita dirigir la materia prima con mayor cantidad de antioxidantes (y sólidos solubles) al presente proceso.

3.2.2. Deshidratado de arándano

La frutilla que tiene una cantidad alta de sólidos solubles, pero cuyos niveles de antocianinas no son muy altos, podría ser candidata al proceso de deshidratado. La cantidad alta de azúcares en el arándano podría facilitar el proceso de secado pues la cantidad de agua a evaporar (y los tiempos de secado) podrían ser menores. Lo anterior pudiera parecer no muy significativo, pero cuando se trata de toneladas de producto a procesar, el nivel de sólidos solubles (azúcares) en la fruta podría tener un impacto muy importante en la energía, tiempo a invertir y costos asociados a los anteriores.

¹⁵ La fuente consultada no ofrece la temperatura de secado, aunque se asume debe ser baja para evitar el deterioro de las antocianinas en la cáscara.

La ilustración 21 ofrece un balance de masa general (muy simple) para el proceso de secado de arándano que aquí se propone. Los 4,000 kg de arándano fresco a la entrada del proceso es la cantidad estimada a procesarse al mes en un escenario optimista de operación al 100% de acuerdo con los equipos cotizados que se presentan en el [Anexo IV](#). Los grados Brix del arándano azul que se consideraron para los cálculos realizados se tomaron de lo reportado en la literatura para la variedad *Bluecrop* (Skrede, Wrolstad, & Durst, 2000), asumiéndose un porcentaje de humedad del 84.9% estimado por diferencia.

Al no haberse localizado una norma mexicana o regulación internacional que defina el porcentaje de humedad o sólidos solubles necesarios que deba de cumplir al arándano deshidratado, el nivel de azúcares se ha determinado a partir de un 14.8% de agua reportada para un producto comercial semejante (USDA, 2019), mismo que permitió calcular la cantidad de sólidos finales en el arándano seco y la cantidad de agua necesaria a ser eliminada de la frutilla por evaporación.

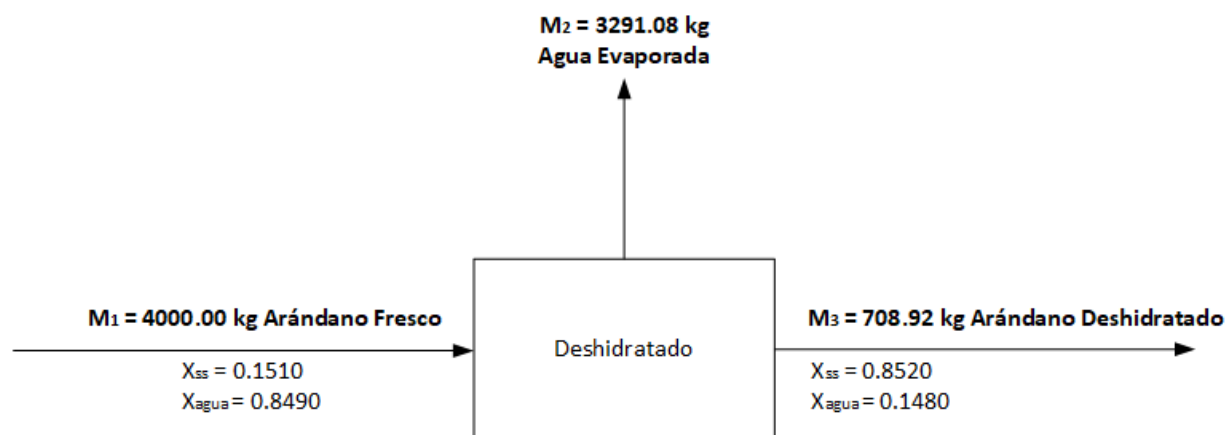


Ilustración 21. Balance de masa para el proceso de separación de deshidratado del arándano azul, (Fuente: Elaboración Propia). Las abreviaturas X_{ss} y X_{agua} corresponden a las fracciones máxicas de sólidos solubles y de humedad presente en la etapa correspondiente.

En este entendido, a partir de cuatro toneladas de arándano azul fresco con una concentración inicial de sólidos solubles del 15.10% se esperaría obtener aproximadamente 708.92 kg de producto deshidratado con un 85.20% de azúcares concentrados. Para establecer una base de cálculo, se definió un tiempo de secado de 24 horas a 70°C (de acuerdo con las características del equipo solar-eléctrico cotizado para este fin mostrado en el [Anexo IV](#)); sin embargo, sería necesario realizar pruebas para confirmar tiempos y temperaturas adecuadas para la remoción de agua de la frutilla.

3.2.3. Elaboración de mermelada de arándano

El arándano con un nivel de madurez no muy alto (pero adecuado) podría enviarse a la línea para la elaboración de mermeladas. La tabla 4 presenta una fórmula basada en una receta casera para la elaboración de mermelada de arándano azul (Matsko Hood, 2014), misma que cumple con lo establecido por el *Codex Alimentarius* en la sección 3.1.2 (b) de la norma CXS 296-2009 (FAO, 2009), que indica que el contenido mínimo de fruta para una mermelada de arándano debe ser del 30%.¹⁶

Tabla 4. Fórmula base para elaboración de mermelada de arándano azul, (Fuente: adaptada de Matsko Hood, 2014)

Ingrediente	Porcentaje (%)
Arándano Azul Triturado	33.80
Azúcar estándar	42.93
Agua	22.94
Pectina en polvo	0.3
Bicarbonato de sodio	0.02
Total	100.000%

De acuerdo a la norma especificada de manera previa, la concentración de grados Brix en el producto final (sometido a cocción para dicho fin) debe encontrarse entre el 40 y el 65% (o menos) de sólidos solubles disueltos. Así pues, con base en la formulación anterior, se hizo el balance de masa que se presenta en la ilustración 22 para el proceso de elaboración de

¹⁶ Para una “mermelada sin frutos cítricos”, definida como un producto semilíquido o espeso/viscoso que se prepara mediante el cocimiento de la fruta entera, machacada o en trozos mezcladas con productos alimentarios que confieren sabor dulce (FAO, 2009).

mermelada, considerando el nivel máximo de sólidos solubles permitidos por la norma del *Codex Alimentarius*.

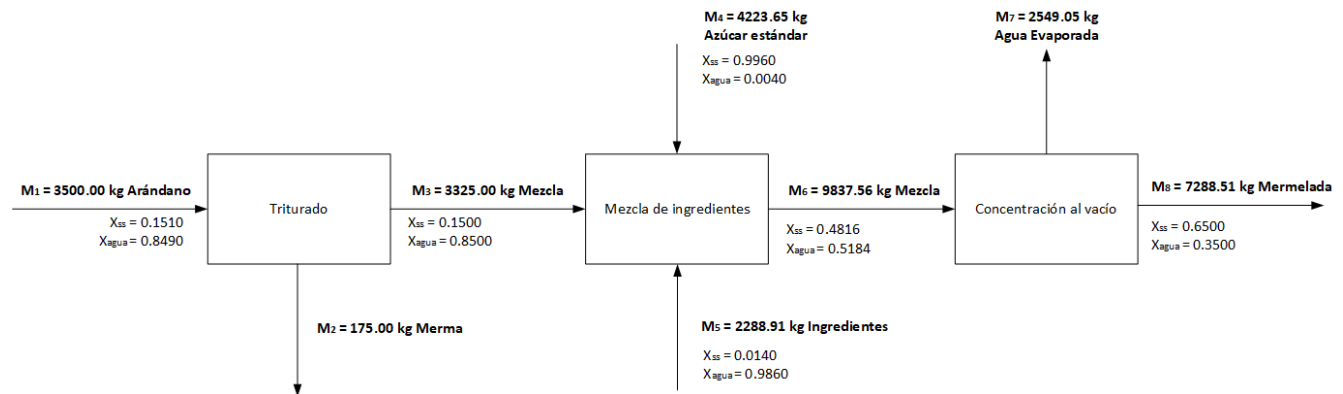


Ilustración 22. Balance de masa para el proceso de elaboración de mermelada de arándano azul, (Fuente: Elaboración Propia).
Xss y Xagua corresponden a las fracciones másicas de sólidos solubles y de humedad presente en la etapa correspondiente.

Una vez más se toma la composición de azúcares y humedad de la variedad *Bluecrop* (Skrede, Wrolstad, & Durst, 2000) presentada con anterioridad para realizar los cálculos estimativos. El primer paso del proceso mostrado en el balance de la ilustración anterior consiste en triturar el arándano, etapa en la que se asume una merma por acumulación de aproximadamente el 2.5%, además de que no existe un cambio significativo en la composición de agua y sólidos disueltos en la misma. A continuación, se lleva a cabo la mezcla de ingredientes, donde se agrega el resto de los insumos establecidos por la fórmula base de la tabla 4.

Debido a la incorporación de los ingredientes (y principalmente del azúcar estándar), el porcentaje de sólidos solubles en la mezcla resultante aumenta desde un 15.00% hasta un 48.16%. Es entonces cuando dicha mezcla se lleva al equipo de evaporación al vacío donde el producto se concentra hasta llegar a los grados Brix que el *Codex Alimentarius* sugiere para mermeladas de arándano azul, parámetro establecido en 65% de sólidos solubles para la estimación de los rendimientos correspondientes.

En este sentido, para producir 7,288.51 kilogramos mensuales de mermelada se requieren 4,000 kilogramos de arándano azul fresco y 6,512.56 kg de insumos que incluyen, entre otros, agua y azúcar. Cabe resaltar que el color de la mermelada final, que podría variar de

acuerdo a la mezcla de distintas variedades y/o niveles de madurez (y que incluso podría verse afectada por las temperaturas del proceso) podría estandarizarse mediante el uso de colorantes naturales, utilizando un colorímetro para medir y estimar la tonalidad adecuada.

3.3. Propuesta de herramienta de inteligencia artificial y algoritmo asociado

Tal como se ha ido mencionando a lo largo del presente documento, la herramienta de inteligencia artificial y el algoritmo al que estará asociada permitirá que el arándano azul de calidad de no exportación que ingrese a la planta de procesamiento presentada en la sección anterior sea direccionado a los procesos más adecuados según lo mencionado en la introducción del capítulo 3.

Como se ha explicado hasta ahora, cada uno de los procesos previamente expuestos requerirían de frutilla con determinadas características para ser ingresadas a los procesos más convenientes, pues muchos de los atributos que las caracterizan no son adecuados para los productos finales que desean elaborarse.

En las siguientes secciones se explicará cuáles son esas características fisicoquímicas del arándano ligadas a los procesos de transformación más adecuados, pero antes, se expone a detalle el análisis estadístico de los atributos fisicoquímicos del arándano azul cuyos datos fueron recabados en la literatura y que permitieron el desarrollo de las herramientas de aprendizaje automático que finalmente se incorporaron a la propuesta final del algoritmo para la planta de procesamiento de este proyecto.

3.3.1. Herramientas e Instrumentos

Fueron varias las herramientas e instrumentos que se utilizaron para la obtención de información y datos del presente trabajo de obtención de grado. Se realizaron entrevistas al ingeniero agrónomo de *Berry Lovers* quien proporcionó buena parte de los datos que se utilizaron para la problematización asociada a la generación de arándano azul de calidad inadecuada para su exportación. Esa misma información permitió plantear los supuestos para el Análisis de Ciclo de Vida que se construyó con el *software SimaPro 9.1.1.1* y que se presenta en la [Sección 1.2.2](#) del presente documento.

La búsqueda de patentes se realizó mediante la aplicación de palabras clave (asociadas al nombre común y científico del arándano azul), operadores *booleanos* y de truncamiento en la base de datos de *WIPO*. Las patentes encontradas en *WIPO* se revisaron posteriormente en *Google Patents* para obtener más información sobre su respectivo estado del arte, inventores y empresas asociadas.

Por otro lado, la recolección de los datos fisicoquímicos del arándano azul que sirvieron como muestra para la investigación, se realizó mediante la búsqueda de artículos científicos y tesis en distintos repositorios o bases de datos de revistas científicas asociadas al tema del proyecto.

Estos datos se recompilaron y procesaron según lo establecido por el proceso CRISP-DM (ver [Sección 2.2. Conceptos y enfoques teóricos relacionados](#)) cuyas etapas de preparación de los datos y modelado se llevaron a cabo mediante el uso de los *softwares Minitab® 19* para evaluar la calidad de los datos a partir de análisis estadísticos (matriz de Pearson, análisis de componentes principales y de regresión), y *MATLAB® R2022a* para el llenado de huecos mediante la función *fillmissing* y para la experimentación con distintos modelos de aprendizaje automático que permitieron definir cuál era el modelo más adecuado según su nivel de precisión.

La Ilustración 23 muestra un mapa mental en que se reúnen cada una de las herramientas e instrumentos explicados previamente, así como la información, datos, análisis, modelos y o resultados generados.

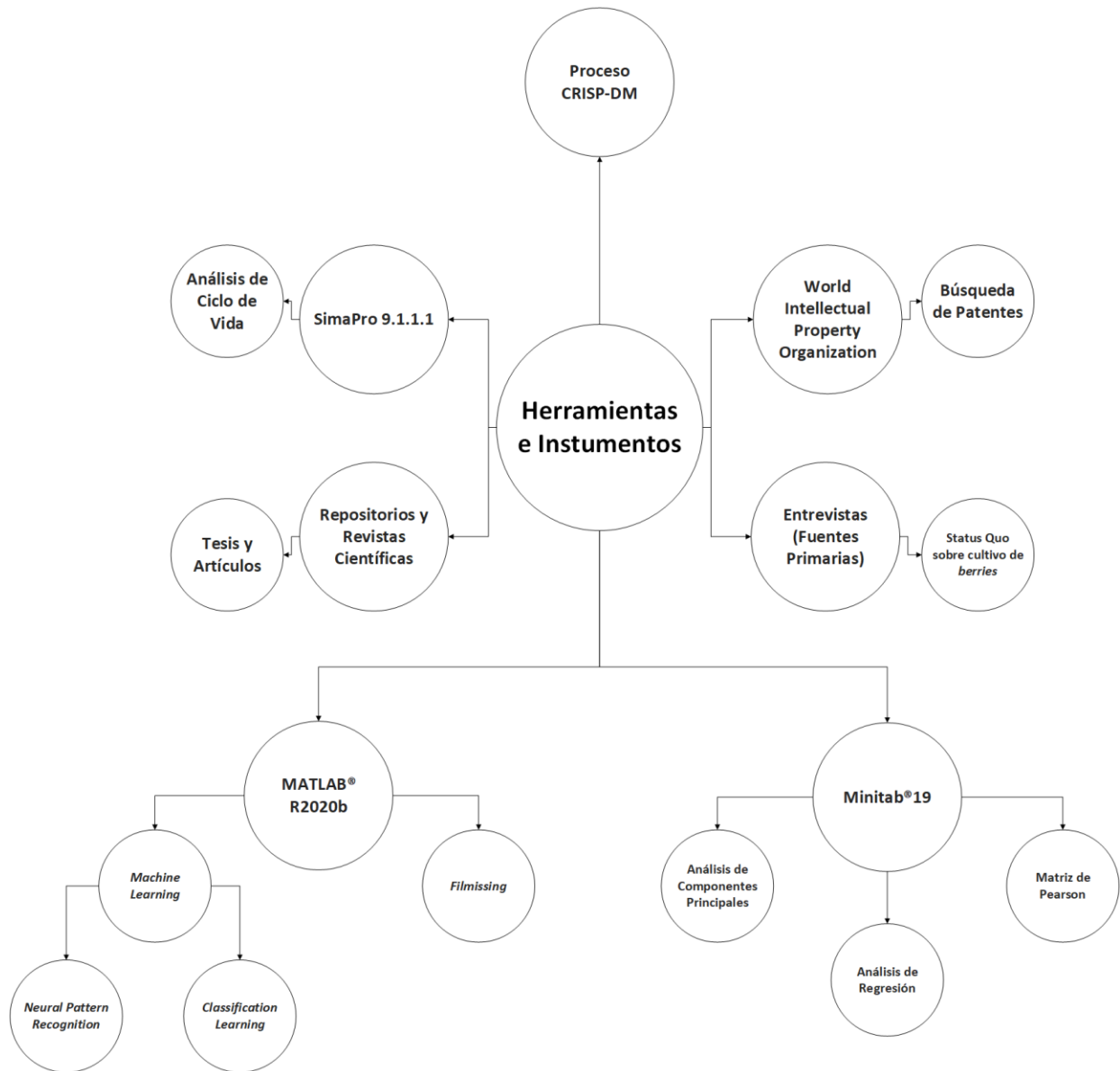


Ilustración 23. Herramientas e instrumentos utilizados para recabar datos e información, (Fuente: Elaboración Propia).

3.3.2. Muestra de investigación

3.3.2.1. Comprensión de los datos

Debido a que la sociedad rural *Agrolmagen* no cuenta actualmente con arándano azul para llevar a cabo la caracterización fisicoquímica de la frutilla en distintos escenarios de madurez, se procedió a realizar una investigación bibliográfica para la recolección de datos asociados a la calidad del fruto de acuerdo con los atributos que se mencionan en la tabla 1 del presente documento (ver [Sección 1.2.2. Contexto de la Industria](#)). La recolección de datos y su compilación se hizo mediante la búsqueda artículos científicos relacionados con la caracterización del arándano para distintas variedades de *Vaccinium corymbosum* en diferentes estados de madurez. Sin embargo, la mayor parte de las veces se encontraron datos de atributos de calidad para frutilla completamente madura y lista para consumo.

Cabe señalar que se realizó también una búsqueda para atributos similares en distintos repositorios de libre acceso para desarrollo y entrenamientos de algoritmos de *Machine Learning* sin encontrar *datasets* con información fisicoquímica y/o datos asociados a la calidad del arándano azul.

Los principales parámetros buscados en los artículos científicos fueron diámetro ecuatorial (en milímetros), peso fresco (en gramos), Colorimetría CIE L*a*b (Luminosidad, Tonos a, Tonos b y/o valor de *Chroma*), firmeza (en Newtons), porcentaje de sólidos solubles (expresados también en grados Brix), potencial hidrógeno (pH), acidez titulable (expresado en porcentaje de ácido cítrico), compuestos fenólicos y antocianinas totales (ambos compuestos expresados en miligramos por cada 100 g de fruta fresca).

3.3.2.2. Preparación de los datos

La preparación de los datos consistió en la verificación de la calidad de estos mediante la aplicación de análisis estadísticos que derivaron en la selección de atributos significativos con los que se construyó el conjunto final (o “tabla base analítica”) que sirvió para modelar la herramienta de aprendizaje automático para la propuesta de intervención. Las principales actividades de esta etapa se presentan a continuación.

3.3.2.2.1. Verificación de la calidad de los datos

Las unidades de medición fueron estandarizadas una vez que los datos encontrados se vaciaron en *Microsoft® Excel 2013*. Otras etiquetas como la variedad del fruto, el año de cosecha, el lugar de recolección, el nivel de madurez (estimado de acuerdo con la información expresada por los autores), tipo de arbusto y DOI del artículo consultado también fueron registradas para control interno de la información. Cabe señalar que se asumió un nivel de madurez del 100% cuando los autores no hacían referencia acerca de dicha información en su respectivo reporte de datos, pero se mencionaba que se trataba de fruta lista para su cosecha.

La primera tabla de datos compilados consistió en una matriz con una cantidad considerable de huecos debido a que muchos de los artículos consultados no reportaron todos los parámetros que eran buscados; parte de esos espacios en blanco lograron llenarse utilizando ecuaciones para el cálculo de valores asociados a otras variables tales como *chroma* mediante Colorimetría CIE L^*a^*b (Liang, y otros, 2011), diámetro ecuatorial asociado a peso fresco de la fruta (Jorquera-Fontena, Génard, Ribera-Fonseca, & Franck, 2017) y antocianinas totales (asociado a la colorimetría de la fruta según Vieira, 2019).

A partir de dicha tabla se generó una segunda matriz numérica ordenada de acuerdo con el parámetro de madurez visual (de menor a mayor) y se introdujo al *software Matlab® R2022a* de la empresa *The MathWorks* para llevar a cabo el llenado de los huecos restantes mediante el uso de la función de *fillmissing*, aplicando para ello una ventana móvil media de longitud igual a 5 (MathWorks, 2022).

Con el propósito de verificar la calidad de los datos, la matriz obtenida (de 299 filas para 13 columnas con 3369 datos efectivos) se exportó al *software Minitab®19* para realizar un análisis de la correlación existente entre los atributos de calidad obtenidos; para ello, se generó una matriz de Pearson y se calcularon los valores r y p para entender la tendencia y la significancia estadística entre los atributos de la frutilla.

La dispersión de puntos entre parámetros pareados de la correlación de Pearson mostró a simple vista una fuerza de relación lineal mayoritariamente débil y moderada¹⁷ entre la

¹⁷ Se consideran relaciones lineales débiles aquellas con valores de $r \approx \pm 0.3$, moderadas aquellas cuyo valor $r \approx \pm 0.5$ y fuertes las de valores $r \approx \pm 0.7$, (Kelleher & Tierney, 2021).

mayoría los datos recopilados (ver Ilustración 24). De los atributos que presentaron relaciones lineales fuertes se encuentran los valores de luminosidad, tonos b y *Chroma* asociados a los valores del nivel visual de madurez; esto tiene que ver con qué tan claro u oscuro (valor determinado por la luminosidad) es la coloración azul del arándano (definida mediante los tonos b), misma que va apareciendo conforme la frutilla va madurando. Nótese en la tabla 5 que los valores de correlación para los atributos antes mencionados asociados a la madurez de arándano presentan valores negativos, lo que significa que conforme el nivel de madurez en la frutilla aumenta, los valores de luminosidad, *Chroma* y tonos b tienden a disminuir.

A pesar de que la relación lineal fue débil y moderada para muchos de los atributos analizados, el *software* arrojó una significancia estadística muy fuerte entre las correlaciones de las medias de varios de los atributos del arándano con un nivel de confianza del 95%. La madurez, por ejemplo, presenta valores *p* prácticamente iguales a cero para todos los parámetros pareados analizados, con excepción del diámetro ecuatorial y la firmeza de la frutilla (Ver Tablas 5 y 6).

En el caso del peso fresco, los únicos atributos donde no se observó significancia estadística fueron la firmeza, la acidez titulable, el pH y los compuestos fenólicos. Por otra parte, el valor de *Chroma* que correlaciona tonos a y b de colorimetría, no mostró correlación estadísticamente significativa con los valores de firmeza, pH y de concentración de compuestos fenólicos, pero sí con el diámetro ecuatorial, los sólidos solubles y la concentración de antocianinas del arándano.

Esto último es muy importante pues indica que dicha correlación podría ser utilizada para estimar, por medio de la colorimetría, la concentración de antocianinas de la frutilla en diferentes estados de madurez; más importante aún, el valor *p* para la pareja de atributos de *Chroma* y madurez indica que existe una correlación estadísticamente significativa con una relación lineal fuerte ($r=-0.799$), que podría interpretarse como una disminución del valor del parámetro de color asociado con el aumento de nivel de madurez de la frutilla, o visto desde otro punto de vista, podría afirmarse que conforme aumenta la concentración de antocianinas (es decir, conforme aumente la madurez del producto), el valor esperado de *Chroma* tenderá a disminuir.

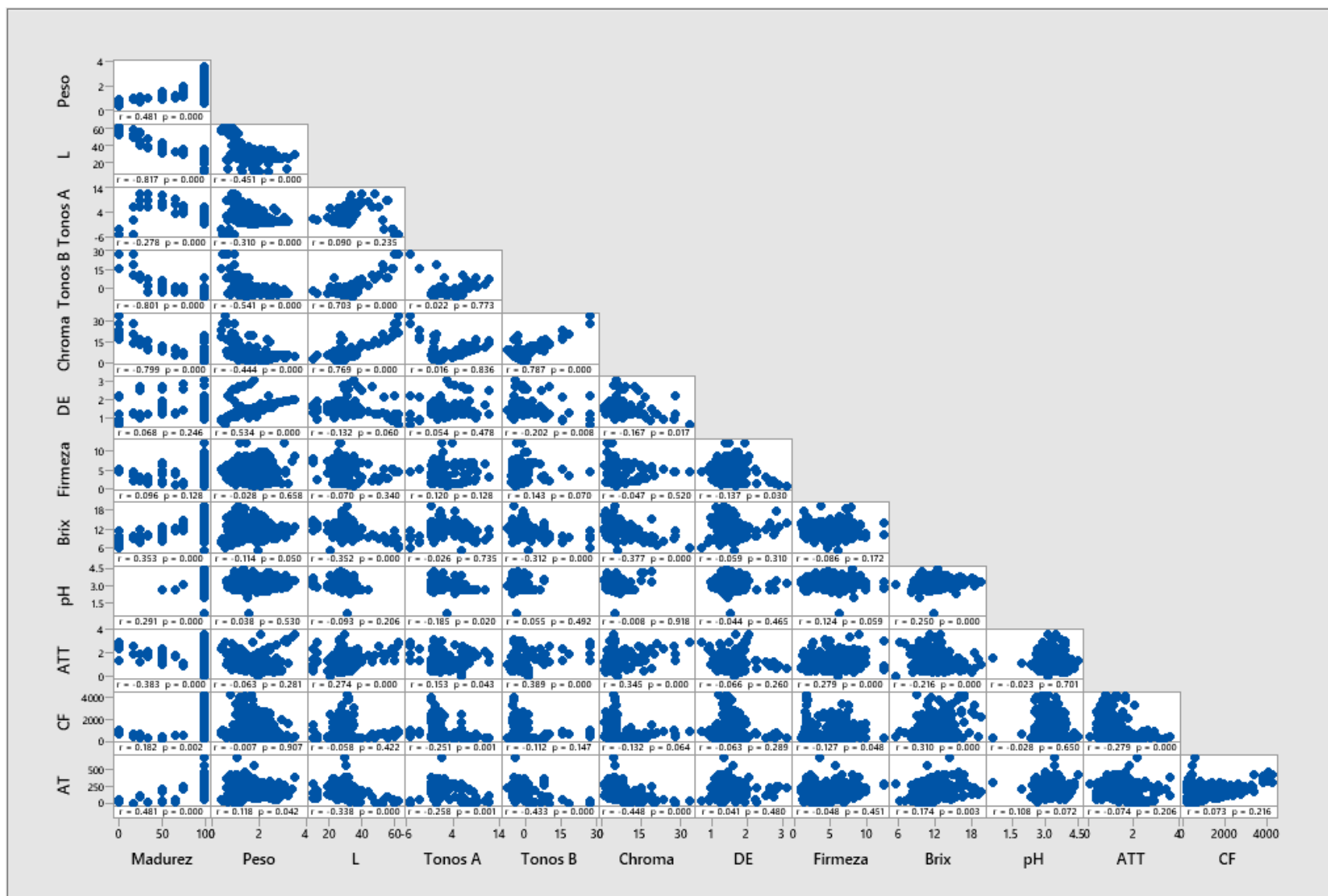


Ilustración 24. Matriz de Correlación de Pearson generada en Minitab® 19 para datos procesados de parámetros de calidad de arándano azul encontrados en distintas fuentes bibliográficas. El valor de r corresponde a la correlación mientras que los valores p menores a 0.05 indican que existe una significancia estadística entre parámetros con un nivel de confianza del 95%. AT: Antocianinas Totales (mg/100g de Fruta Fresca), CF: Compuestos Fenólicos (mg/100 g de Fruta Fresca), L: Luminosidad (Colorimetría CIE L^*a^*b), DE: Diámetro ecuatorial (mm), ATT: Acidez titulable (% de ácido cítrico). (Fuente: Elaboración Propia).

Tabla 5. Matriz de Correlación de Pearson: valores de correlación r para cada pareja de los parámetros fisicoquímicos analizados. El signo de cada uno de los valores indica el tipo de relación que existe entre los mismos. Por ejemplo: el valor -0.817 para L (Luminosidad) y Madurez indica que a medida que aumenta el valor L, disminuye la Madurez del arándano. AT: Antocianinas Totales (mg/100g de Fruta Fresca), CF: Compuestos Fenólicos (mg/100 g de Fruta Fresca), L: Luminosidad (Colorimetría CIE L^*a^*b), DE: Diámetro ecuatorial (mm), ATT: Acidez titulable (% de ácido cítrico), (Fuente: Elaboración Propia).

	Madurez	Peso	L	Tonos A	Tonos B	Chroma	DE	Firmeza	Brix	pH	ATT	CF
Peso	0.481											
L	-0.817	-0.451										
Tonos A	-0.278	-0.310	0.090									
Tonos B	-0.801	-0.541	0.703	0.022								
Chroma	-0.799	-0.444	0.769	0.016	0.787							
DE	0.068	0.534	-0.132	0.054	-0.202	-0.167						
Firmeza	0.096	-0.028	-0.07	0.120	0.143	-0.047	-0.137					
Brix	0.353	-0.114	-0.352	-0.026	-0.312	-0.377	-0.059	-0.086				
pH	0.291	0.038	-0.093	-0.185	0.055	-0.008	-0.044	0.124	0.250			
ATT	-0.383	-0.063	0.274	0.153	0.389	0.345	-0.066	0.279	-0.216	-0.023		
CF	0.182	-0.007	-0.058	-0.251	-0.112	-0.132	-0.063	-0.127	0.310	-0.028	-0.279	
AT	0.481	0.118	-0.338	-0.258	-0.433	-0.448	0.041	-0.048	0.174	0.108	-0.074	0.073

Tabla 6. Correlaciones en Parejas de Pearson: valores de correlación r , Intervalo de confianza del 95% para las correlaciones y valor p para cada una de las parejas de atributos. Un valor p menor o igual a 0.05 indica que la correlación entre las medias es estadísticamente significativa. AT: Antocianinas Totales (mg/100g de Fruta Fresca), CF: Compuestos Fenólicos (mg/100 g de Fruta Fresca), L: Luminosidad (Colorimetría CIE L^*a^*b), DE: Diámetro ecuatorial (mm), ATT: Acidez titulable (% de ácido cítrico), (Fuente: Elaboración Propia)

Muestra 1	Muestra 2	Correlación	IC de 95% para p	Valor p
Peso	Madurez	0.481	(0.389, 0.564)	0.000
L	Madurez	-0.817	(-0.858, -0.765)	0.000
Tonos A	Madurez	-0.278	(-0.409, -0.136)	0.000
Tonos B	Madurez	-0.801	(-0.848, -0.741)	0.000
Chroma	Madurez	-0.799	(-0.844, -0.744)	0.000
DE	Madurez	0.068	(-0.047, 0.180)	0.246
Firmeza	Madurez	0.096	(-0.028, 0.217)	0.128
Brix	Madurez	0.353	(0.250, 0.449)	0.000
pH	Madurez	0.291	(0.180, 0.395)	0.000
ATT	Madurez	-0.383	(-0.476, -0.282)	0.000
CF	Madurez	0.182	(0.068, 0.292)	0.002
AT	Madurez	0.481	(0.388, 0.564)	0.000
L	Peso	-0.451	(-0.554, -0.335)	0.000
Tonos A	Peso	-0.310	(-0.438, -0.171)	0.000
Tonos B	Peso	-0.541	(-0.637, -0.427)	0.000
Chroma	Peso	-0.444	(-0.547, -0.327)	0.000
DE	Peso	0.534	(0.447, 0.610)	0.000
Firmeza	Peso	-0.028	(-0.151, 0.096)	0.658
Brix	Peso	-0.114	(-0.224, -0.000)	0.050
pH	Peso	0.038	(-0.080, 0.155)	0.530
ATT	Peso	-0.063	(-0.175, 0.051)	0.281
CF	Peso	-0.007	(-0.123, 0.109)	0.907
AT	Peso	0.118	(0.004, 0.229)	0.042
Tonos A	L	0.090	(-0.059, 0.234)	0.235

Tonos B	L	0.703	(0.620, 0.771)	0.000
Chroma	L	0.769	(0.707, 0.820)	0.000
DE	L	-0.132	(-0.266, 0.006)	0.060
Firmeza	L	-0.070	(-0.212, 0.074)	0.340
Brix	L	-0.352	(-0.467, -0.226)	0.000
pH	L	-0.093	(-0.235, 0.052)	0.206
ATT	L	0.274	(0.142, 0.396)	0.000
CF	L	-0.058	(-0.197, 0.084)	0.422
AT	L	-0.338	(-0.455, -0.211)	0.000
Tonos B	Tonos A	0.022	(-0.126, 0.169)	0.773
Chroma	Tonos A	0.016	(-0.132, 0.163)	0.836
DE	Tonos A	0.054	(-0.095, 0.201)	0.478
Firmeza	Tonos A	0.120	(-0.035, 0.269)	0.128
Brix	Tonos A	-0.026	(-0.173, 0.122)	0.735
pH	Tonos A	-0.185	(-0.331, -0.030)	0.020
ATT	Tonos A	0.153	(0.005, 0.293)	0.043
CF	Tonos A	-0.251	(-0.387, -0.104)	0.001
AT	Tonos A	-0.258	(-0.391, -0.114)	0.001
Chroma	Tonos B	0.787	(0.724, 0.838)	0.000
DE	Tonos B	-0.202	(-0.340, -0.055)	0.008
Firmeza	Tonos B	0.143	(-0.012, 0.291)	0.070
Brix	Tonos B	-0.312	(-0.440, -0.173)	0.000
pH	Tonos B	0.055	(-0.102, 0.209)	0.492
ATT	Tonos B	0.389	(0.256, 0.508)	0.000
CF	Tonos B	-0.112	(-0.259, 0.040)	0.147
AT	Tonos B	-0.433	(-0.546, -0.305)	0.000
DE	Chroma	-0.167	(-0.297, -0.030)	0.017
Firmeza	Chroma	-0.047	(-0.189, 0.096)	0.520
Brix	Chroma	-0.377	(-0.489, -0.254)	0.000
pH	Chroma	-0.008	(-0.151, 0.136)	0.918
ATT	Chroma	0.345	(0.219, 0.460)	0.000
CF	Chroma	-0.132	(-0.268, 0.008)	0.064
AT	Chroma	-0.448	(-0.551, -0.331)	0.000
Firmeza	DE	-0.137	(-0.257, -0.013)	0.030
Brix	DE	-0.059	(-0.172, 0.055)	0.310
pH	DE	-0.044	(-0.162, 0.074)	0.465
ATT	DE	-0.066	(-0.179, 0.049)	0.260
CF	DE	-0.063	(-0.179, 0.054)	0.289
AT	DE	0.041	(-0.073, 0.155)	0.480
Brix	Firmeza	-0.086	(-0.208, 0.038)	0.172
pH	Firmeza	0.124	(-0.005, 0.249)	0.059
ATT	Firmeza	0.279	(0.160, 0.389)	0.000
CF	Firmeza	-0.127	(-0.250, -0.001)	0.048
AT	Firmeza	-0.048	(-0.171, 0.076)	0.451
pH	Brix	0.250	(0.136, 0.357)	0.000
ATT	Brix	-0.216	(-0.322, -0.105)	0.000
CF	Brix	0.310	(0.202, 0.412)	0.000
AT	Brix	0.174	(0.061, 0.282)	0.003
ATT	pH	-0.023	(-0.141, 0.095)	0.701
CF	pH	-0.028	(-0.148, 0.093)	0.650
AT	pH	0.108	(-0.010, 0.224)	0.072
CF	ATT	-0.279	(-0.383, -0.168)	0.000
AT	ATT	-0.074	(-0.186, 0.041)	0.206
AT	CF	0.073	(-0.043, 0.188)	0.216

Adicional a la matriz de Pearson y al análisis estadístico involucrado, se hizo un análisis de componentes principales con *Minitab*®19 con la intención de crear nuevas variables con el conjunto de datos y atributos previamente analizado; un análisis de este tipo identifica un número más pequeño de variables no correlacionadas siendo justamente a eso a lo que se le denomina componentes principales (Minitab®2018, 2022).

En primer lugar, la gráfica con la distancia de Mahalanobis permitió observar varios puntos atípicos sobrepasando dicho parámetro cuyo valor calculado fue de 4.842 (ver ilustración 25). Por otra parte, la gráfica de sedimentación facilitó la selección de los primeros dos componentes a utilizar siguiendo la recomendación de la página de internet de soporte del *software* que indica que deben seleccionarse aquellos componentes principales previos al punto de inflexión donde comienza a generarse una tendencia similar a una línea recta; la gráfica arrojada por el análisis muestra un patrón adecuado y los componentes previos al punto donde comienza la inflexión son claramente los componentes 1 y 2, mismos que pueden observarse en la ilustración 26.

Es importante mencionar que estos componentes cumplen además con el criterio de Kairser que indica que deben utilizarse componentes con valores propios mayores a 1; estos valores son de 3.7584 y 1.7450 para los componentes 1 y 2, respectivamente (ver tabla 7).

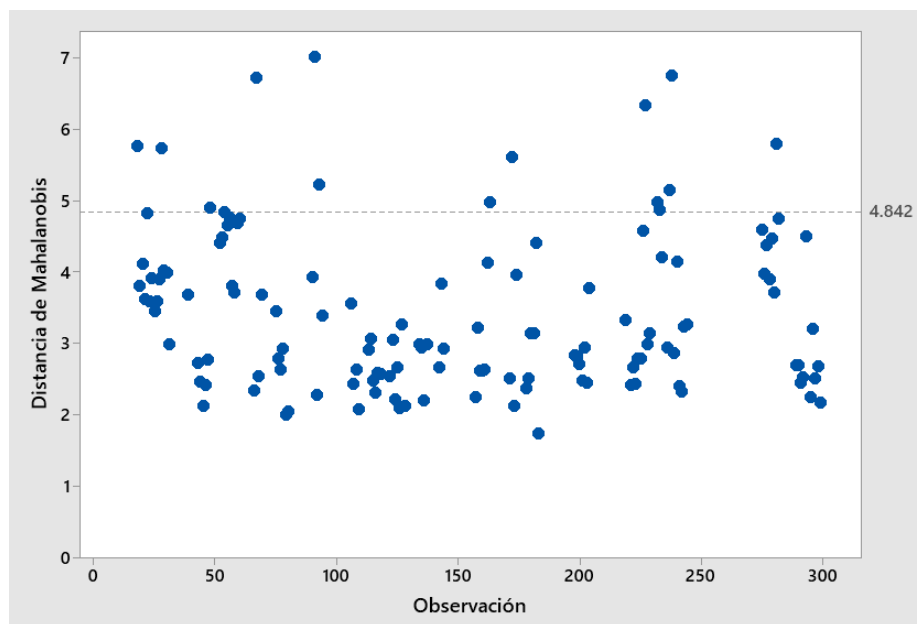


Ilustración 25. Gráfica de valores atípicos generada por el análisis de componentes principales en Minitab® 19, (Fuente: Elaboración Propia).

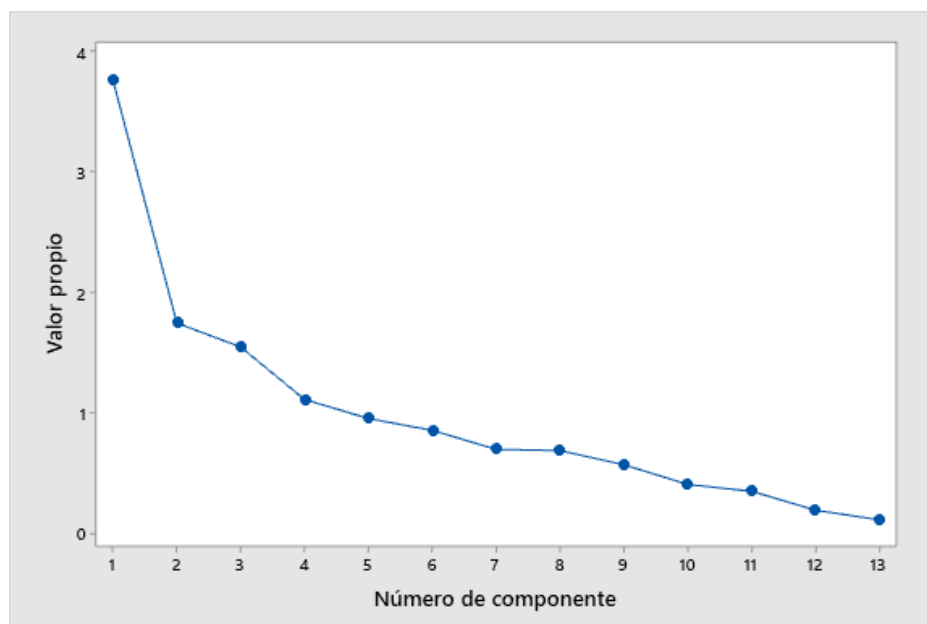


Ilustración 26. Gráfica de sedimentación generada por el análisis de componentes principales en Minitab® 19, (Fuente: Elaboración Propia).

Teniendo seleccionados los componentes 1 y 2 a partir de la gráfica de sedimentación, y con los valores de los vectores propios mostrados en la tabla 7, *Minitab*® 19 realizó la gráfica de influencias para los atributos de calidad del arándano, misma que se presenta en la ilustración 27.

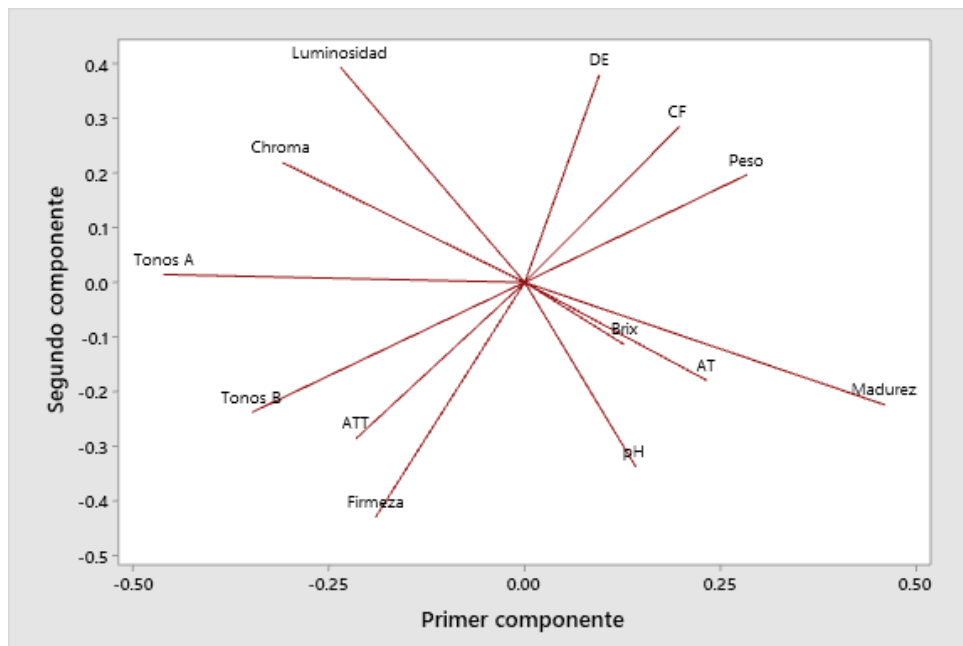


Ilustración 27. Gráfica de influencias generada por el análisis de componentes principales en Minitab® 19, (Fuente: Elaboración Propia).

Tabla 7. Valores propios para los componentes principales 1 y 2, así como los vectores propios para las variables analizadas calculados a partir del análisis de componentes principales en Minitab® 19. Los valores de color verde indican aquellos vectores de mayor tamaño con una dirección similar en la gráfica de influencias de la Ilustración 27, (Fuente: Elaboración Propia).

Variable	Valores Propios	
	3.7584	1.7450
	Componente 1	Componente 2
Madurez	0.46	-0.224
AT	0.233	-0.18
Peso	0.284	0.197
Luminosidad	-0.236	0.394
Tonos A	-0.461	0.014
Tonos B	-0.349	-0.238
Chroma	-0.31	0.219
DE	0.095	0.38
Firmeza	-0.191	-0.43
Brix	0.127	-0.114
pH	0.142	-0.337
ATT	-0.215	-0.285
CF	0.197	0.285

Nótese cómo las variables de madurez y antocianinas totales son las que más se acercan al valor de 1.0 para el componente uno, además de tener una dirección muy similar, mientras que para el componente dos, las variables que más se acercan al valor de 1.0 son los de luminosidad y *Chroma*. Las variables seleccionadas afectan considerablemente a sus respectivos componentes: el primero puede asociarse con la capacidad antioxidante del arándano al estado de madurez de la frutilla, mientras que el componente dos se asocia claramente a la colorimetría del producto con que es posible predecir la concentración de antocianinas del fruto (y que a su vez está relacionado con el nivel de madurez del arándano).

3.3.2.2.2. Limpieza y selección de datos

La matriz de Pearson y el análisis de componentes principales permitieron definir los atributos con mayor significancia estadística, facilitando la selección de los más relevantes para el modelado de la herramienta de inteligencia artificial. Estos atributos fueron nivel de madurez (%), peso fresco del arándano (g), luminosidad, tonos a, tonos b, *Chroma*, grados Brix y antocianinas totales (mg/100 g de fruta fresca); estos parámetros se segregaron y filtraron para obtener un nuevo conjunto de datos en el que no hubiera observación alguna sin dato faltante.

Esta primera matriz de datos sirvió para comenzar a experimentar con diferentes herramientas de inteligencia artificial (aprendizaje automático) y reconocer sus respectivos niveles de precisión, proceso durante el que se detectaron algunos datos espurios que se eliminaron para consolidar el conjunto de datos que se presenta en el [Anexo I](#) y que fue el punto de partida para la discretización (*binning*) y creación de las tablas base analíticas que se utilizaron para el modelado de las herramientas de aprendizaje automático que se incorporaron finalmente al algoritmo definitivo.

3.3.2.2.3. Integración de los datos

El proceso experimental e iterativo con distintas herramientas de aprendizaje automático, así como el análisis y evaluación de sus respectivos niveles de precisión, permitió que se tomara la decisión de qué modelo era el más adecuado para incorporarse a la propuesta de intervención cuya prueba de concepto previamente definida establecía que el direccionamiento de la frutilla al proceso más adecuado debía decidirse con base en la concentración de antocianinas, sólidos solubles, costos y márgenes de ganancia.

En este entendido, la herramienta de inteligencia artificial debía ser capaz de predecir la concentración de antocianinas teniendo como entrada los demás atributos correlacionados de la tabla base analítica obtenida del proceso de selección y limpieza de datos.

Sin embargo, debido al nivel de error que podría generarse al intentar predecir una concentración puntual de antocianinas, se consideró que la mejor forma de determinar este parámetro era mediante la obtención de un rango de concentración asociado a una categoría o clase de frutilla, ligada a su vez con los procesos más convenientes según la normatividad correspondiente. Esto llevó a generar una discretización de los datos (*binning*) con el propósito de generar categorías asociadas a los procesos en los que quedara implícito el nivel de antocianinas estimadas.

Para llevar a cabo la discretización de los datos se tomaron en cuenta tres atributos clave asociados a las restricciones determinadas por el *Codex Alimentarius* para los productos de los procesos propuestos: grados Brix (porcentaje de sólidos solubles), *Chroma* (asociado al nivel de madurez y colorimetría del arándano) y antocianinas totales de la fruta fresca (buscando que su rango correspondiente pudiera quedar implícito al discretizar los datos).

Tomando en cuenta todas las observaciones disponibles de estos parámetros, se generó el gráfico de dispersión tridimensional que se presenta en la ilustración 28, con el que se facilitó la visualización del comportamiento de estos atributos en conjunto y con el que se determinaron los rangos numéricos para establecer niveles altos, medios y bajos de los mismos.

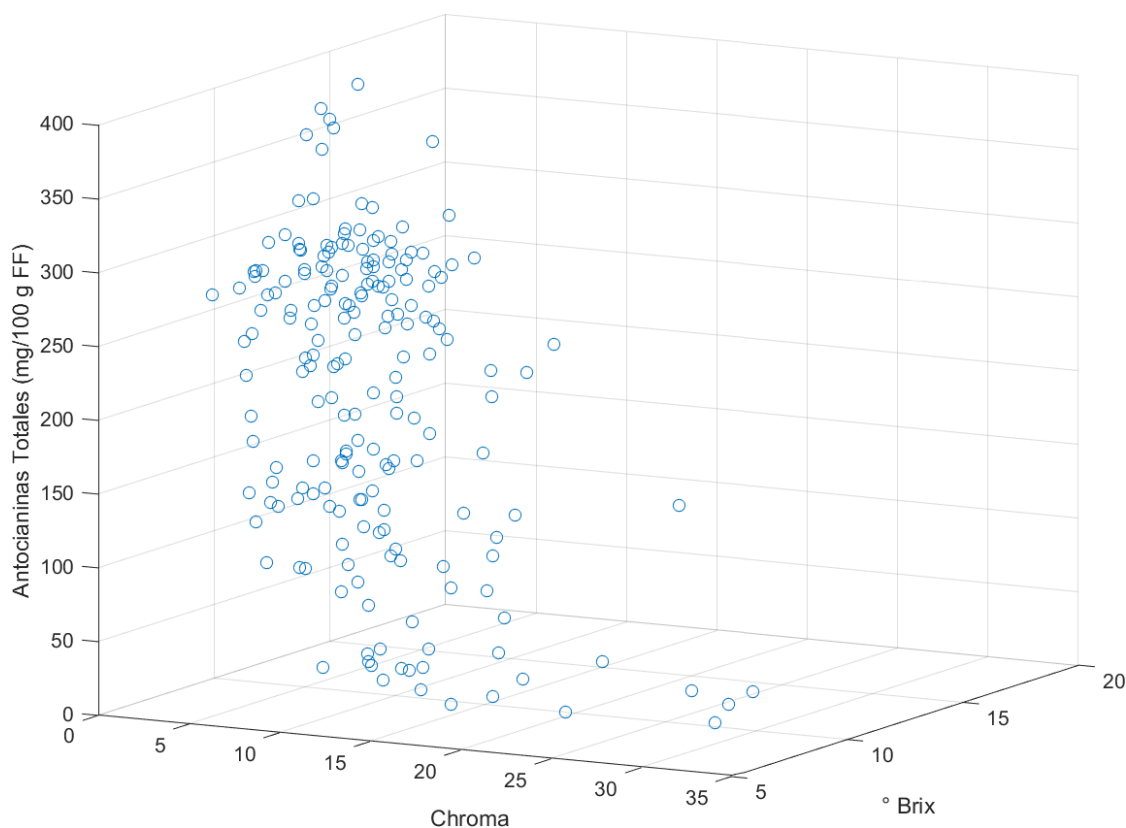


Ilustración 28. Gráfico de dispersión tridimensional para Antocianinas totales (mg/100 g de fruta fresca), Chroma y °Brix (% de sólidos solubles) construido en el software Matlab® R2022a, (Fuente: Elaboración Propia).

En el gráfico de la ilustración anterior es posible observar cómo conforme disminuye el valor de *Chroma* (es decir, conforme la frutilla pasa de un color verde a azul, pasando por una tonalidad roja) los grados Brix aumentan y la concentración de antocianinas también, lo que confirma la interpretación de los valores de correlación r y de los valores p que se realizaron durante la verificación de la calidad de los datos disponibles. La escala numérica de la gráfica anterior ayudó a definir los rangos numéricos y niveles para la categorización que se presentan en la tabla 8.

Tabla 8. Rangos y niveles para categorización del arándano azul, (Fuente: elaboración propia)

Chroma	°Brix	Antocianinas Totales (mg/100 g de fruta fresca)	Niveles
0 a 10	5 a 10	0 a 150	Bajo
10 a 20	10 a 15	150 a 300	Medio
20 a 30	15 a 20	300 a 450	Alto

Con 27 combinaciones de niveles posibles, se seleccionaron aquellas en las que existían observaciones puntuales obtenidas de la literatura, dejando de lado aquellas en las que, de acuerdo con lo observado en la gráfica de la ilustración 28, era imposible que existiera frutilla con esa naturaleza.¹⁸

Las combinaciones con observaciones reales obtenidas de la literatura se asociaron, con base en su nivel de grados Brix y Antocianinas Totales, a los procesos más adecuados según las regulaciones existentes y los objetivos de la prueba de concepto. En este sentido, para el proceso de obtención de jugos, se asignaron aquellas combinaciones de atributos con concentraciones de antocianinas mayores a 150 miligramos por cada 100 gramo de arándano fresco (con el propósito de obtener residuos de cáscara y semillas altos en este compuesto bioactivo) y con grados Brix mayores a 10 (de acuerdo con *Codex alimentarius*), cuyo *Chroma* observado estuviera ligado a un nivel de madurez alto (0 a 10).

Para las mermeladas, partiendo de lo establecido por el *Codex Alimentarius* (que menciona el uso de “fruta debidamente madura” para la elaboración de este producto), se estableció el rango más bajo de *Chroma* de 0 a 10 (asociado a altos niveles de madurez), sin considerar el porcentaje de sólidos solubles del arándano ni sus respectivas concentraciones de antocianinas.

¹⁸ Un ejemplo puntual de esto es que no puede existir arándano azul con un rango alto (15 a 20%) de sólidos solubles que tenga a su vez un valor de *Chroma* alto (atributo colorimétrico que indicaría que la fruta está extremadamente verde) en el que puedan existir antocianinas disponibles; esto se debe, como ya hemos visto anteriormente, a que las antocianinas y el nivel de grados Brix aumentan a medida que el color azul aparece en la frutilla, (Retamales & Hancock, 2018).

Para el proceso de secado, se estableció el uso de frutilla con grados Brix mayores a 10, considerando un nivel de madurez medio a alto, pero sin darle mucha prioridad a la concentración de antocianinas. Esto se determinó así debido a que no existe una normativa que indique los parámetros adecuados de arándano para deshidratado, considerando más bien los niveles de azúcares de la frutilla y tomando en cuenta que mientras mayor sea el contenido de los sólidos solubles, menor podrá ser el tiempo de secado del producto.

Finalmente, aquellas combinaciones que no pudieron asociarse a algún proceso de transformación se categorizaron pensando en su compostaje o venta para alimento para ganado. La siguiente tabla resume el proceso de discretización que se llevó a cabo para generar las categorías de clasificación del arándano con base en sus características fisicoquímicas, niveles de atributos y línea de proceso más adecuada según las restricciones previamente mencionadas.

Tabla 9. Categorías para distintas combinaciones de niveles de parámetros fisicoquímicos de arándano azul. Los asteriscos indican los procesos más adecuados según restricciones regulatorias y/o de proceso asociadas a los parámetros de Chroma, grados Brix y concentración de Antocianinas Totales (mg/100 g de fruta fresca), (Fuente: Elaboración Propia)

<i>Chroma</i>	°Brix	Antocianinas Totales (mg/100 g fruta fresca)	Elaboración de Jugos y separación de componentes	Elaboración de Mermeladas	Elaboración de arándano deshidratado	Compostaje/ Alimento para ganado	Categoría
0 a 10	10 a 15	300 a 450	*	*	*		1
0 a 10	15 a 20	150 a 300	*	*	*		1
0 a 10	10 a 15	150 a 300	*	*	*		1
0 a 10	5 a 10	150 a 300		*			2
0 a 10	5 a 10	300 a 450		*			2
0 a 10	10 a 15	0 a 150		*			2
0 a 10	15 a 20	0 a 150		*			2
0 a 10	5 a 10	0 a 150		*			2
10 a 20	10 a 15	150 a 300			*		3
10 a 20	15 a 20	0 a 150			*		3
10 a 20	10 a 15	0 a 150			*		3
10 a 20	5 a 10	0 a 150				*	4
10 a 20	5 a 10	150 a 300				*	4
20 a 30	10 a 15	0 a 150				*	4
20 a 30	5 a 10	0 a 150				*	4

El proceso de discretización resumido en la tabla anterior permitió determinar las siguientes categorías para la frutilla:

- **Categoría 1:** Arándano apto principalmente para la elaboración de jugos.
- **Categoría 2:** Arándano apto principalmente para elaboración de mermeladas.
- **Categoría 3:** Arándano rescatable para proceso de deshidratado.
- **Categoría 4:** Arándano para compostaje y/o venta como alimento para ganado.

Nótese que para la categoría 1, la frutilla podría también utilizarse para la elaboración de mermeladas y producto deshidratado; en este entendido, el algoritmo completo al que se incorpore la herramienta de inteligencia artificial que se genere con estos datos integrados permitirá determinar cuál de los procesos ligados a cada categoría será el más adecuado con base en los márgenes de ganancia de cada uno de los productos a elaborarse.

3.3.3. Modelado

El conjunto de datos que se ofrece en el [Anexo I](#) fue el punto de partida para el modelado de dos herramientas de aprendizaje automático que fueron clave para la generación del algoritmo que se describe en la Estrategia de intervención del presente proyecto.

El proceso de discretización que se presentó en la sección anterior permitió la integración de los datos y la creación de la tabla base dinámica para desarrollar un modelo para el reconocimiento de patrones basado en redes neuronales artificiales que permitiera predecir la categoría a la que pertenece la frutilla de acuerdo con su calidad inicial.

Ya durante el desarrollo del algoritmo (y con base en las primeras pruebas que se llevaron a cabo para evaluar el nivel de precisión de distintas herramientas de inteligencia artificial), se determinó que era igualmente importante incorporar un modelo previo al de reconocimiento de patrones que fuera capaz de estimar el nivel de madurez de la frutilla con base en la caracterización inicial de la frutilla, a partir de un árbol de clasificación cuyas decisiones estuvieran principalmente basadas en la Colorimetría CIE L^*a^*b de la frutilla, valores que, como ya se explicó en la evaluación de los datos, tienen una relación lineal fuerte con el nivel de madurez, además de un nivel estadísticamente significativo bastante alto.

Las siguientes dos secciones presentan la evaluación de dichas herramientas de aprendizaje automático, las tablas base analíticas que se utilizaron para su desarrollo, así como los niveles de precisión y/o error de las mismas. Ambas herramientas se desarrollaron mediante el uso de aplicaciones prediseñadas en el *software MATLAB® R2022a*. Cabe recalcar que estas herramientas de aprendizaje automático se seleccionaron después de evaluar otras opciones que fueron descartadas a partir de los bajos niveles de precisión que se obtuvieron durante los procesos de entrenamiento, validación y pruebas realizadas con las mismas.

3.3.3.1. Reconocimiento de patrones

La categorización de los atributos del arándano realizada durante el proceso discretización permitió crear una tabla base analítica en la que los valores de las concentraciones de antocianinas (ya implícitos en las categorías de la frutilla *per sé*) fueron excluidos. Esta tabla base analítica se ofrece en el [Anexo II](#) y consiste en una matriz de 11 atributos con 175 observaciones cada una, se utilizó para la construcción de una red neuronal para el reconocimiento de patrones y clasificación a partir de la herramienta *Pattern Recognition App* (*nprtool*) del *software MATLAB® R2022a*, capaz de predecir la categoría correspondiente de la frutilla (ver Tabla 9 en [Sección 3.3.2.2.3. Integración de los datos](#)) a partir de la introducción de los valores correspondientes a nivel de madurez (%), peso de un arándano fresco (g), luminosidad, tonos a, tonos b, *chroma* y grados Brix.

Considerando estos atributos fisicoquímicos de la frutilla como *Inlets*, los *Targets* que se utilizaron para la creación de esta red neuronal fueron las cuatro categorías asociadas a cada una de las observaciones (según la discretización mostrada en la tabla 9), mismas que se agruparon en las cuatro últimas columnas de la tabla base analítica del [Anexo II](#), asignando el valor de 1 a la categoría correspondiente por muestra y colocando el valor de 0 a las columnas restantes, (siguiendo el protocolo de ingreso de datos de la de la herramienta *Pattern Recognition App*).

Estos *Inlets* y *Targets* se introdujeron a la aplicación de *MATLAB® R2022a*, seleccionando una estructura de red con 10 capas ocultas cuya arquitectura se presenta en la ilustración 29 y en la que pueden observarse los 7 atributos de entrada y las cuatro categorías a ser estimadas por esta herramienta.

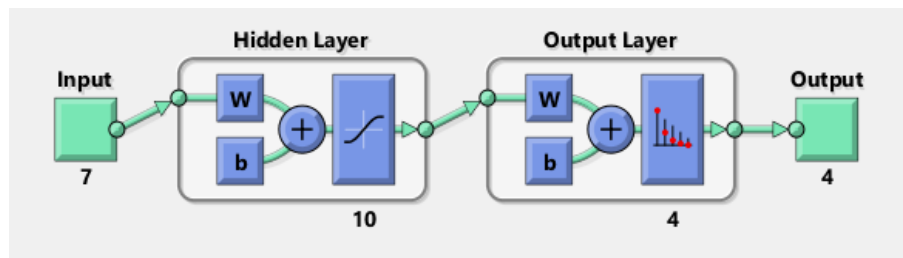


Ilustración 29. Estructura de la Red Neuronal para el Reconocimiento de Patrones y Clasificación utilizada para el desarrollo de la herramienta de aprendizaje automático, (Fuente: MathWorks, 2022).

Para el entrenamiento de la red neuronal, la herramienta de *Pattern Recognition App* tomó aleatoriamente el 70% de los datos, dividiendo el 30% restante para la validación y pruebas de la red. Después de 38 entrenamientos, se lograron porcentajes de error de 21.14% aproximadamente para el entrenamiento del algoritmo y de 15.38% para la validación y pruebas realizadas. La ilustración 30 muestra una impresión de pantalla de los resultados obtenidos una vez llevados los entrenamientos de la red neuronal para reconocimiento de patrones en la que se pueden observar los porcentajes de error antes mencionados.

Results			
	Samples	CE	%E
Training:	123	1.10892e-0	21.13821e-0
Validation:	26	2.96246e-0	15.38461e-0
Testing:	26	2.97662e-0	15.38461e-0

Ilustración 30. Resultados para el entrenamiento (Training), validación (Validation) y pruebas (Testing) de la Red Neuronal para el reconocimiento de patrones, construida a partir de la tabla base analítica del Anexo II. %E corresponde al porcentaje de error calculado por la herramienta Pattern Recognition App. Parámetros por etapa calculados por el software Matlab® R2022a, (Fuente: Elaboración Propia).

Considerando la naturaleza de los datos (que fueron obtenidos de distintos artículos científicos), puede afirmarse que los porcentajes de error obtenidos y presentados en la ilustración 30 son aceptables. La misma aplicación de *MATLAB® R2022a* generó además los

gráficos de rendimiento que se presentan en la ilustración 31 para el entrenamiento, validación y pruebas realizados con los datos introducidos.

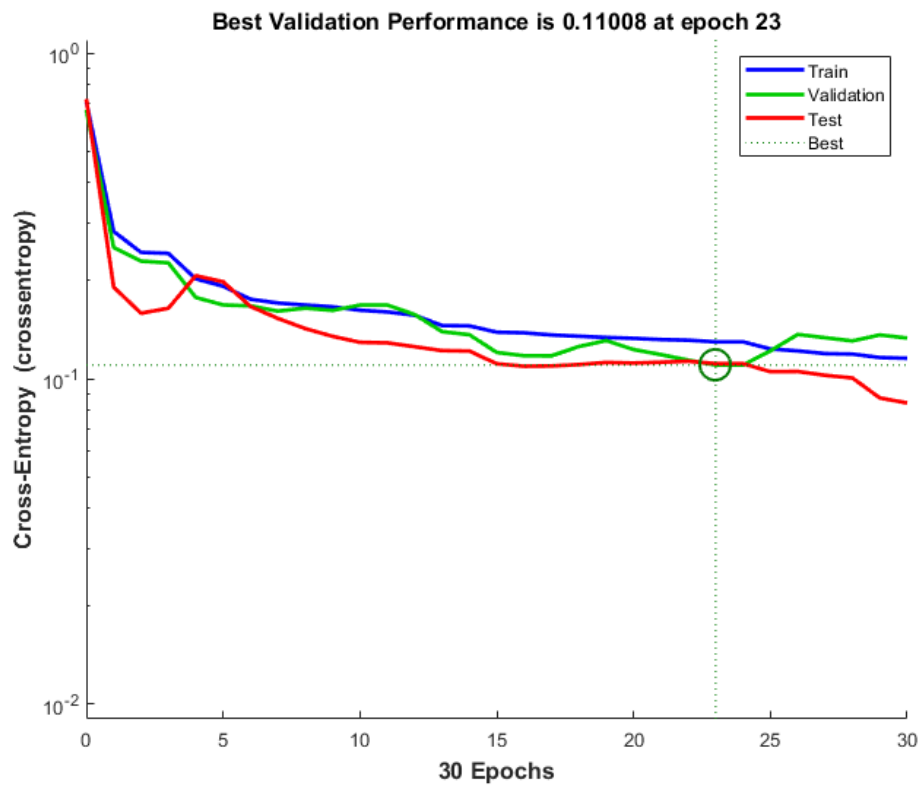


Ilustración 31. Gráfica de Rendimiento (Performance) para el entrenamiento (Training), validación (Validation) y pruebas (Testing) de la Red Neuronal para el reconocimiento de patrones construida a partir de la tabla base analítica del Anexo II en el software Matlab® R2022a, (Fuente: Elaboración Propia).

En la ilustración 31, la convergencia de las líneas roja (pruebas) y verde (validación) con la línea punteada, así como la cercanía de la línea azul (entrenamiento) a esta última, indican que el entrenamiento de la red neuronal fue llevado a cabo con éxito (Bukhari, 2015) y que se confirma además con la similitud de las tres curvas anteriores.

Por otro lado, la ilustración 32 ofrece las matrices de confusión para el entrenamiento, la validación y las pruebas que llevó a cabo el *software* al construir la herramienta de aprendizaje automático.



Ilustración 32. Matrices de confusión para el entrenamiento (Training), validación (Validation) y pruebas (Testing) de la red neuronal para el reconocimiento de patrones construida a partir de la tabla base analítica del Anexo II; las matrices se generaron al desarrollar la red neuronal en el software Matlab® R2022a, (Fuente: Elaboración Propia).

Para todas las matrices de la ilustración anterior, las primeras 4 filas corresponden a las clases estimadas por la red neuronal, mientras que las primeras 4 columnas son las clases reales que se introdujeron al momento de crear la red a manera de *Targets*.

La línea diagonal que se forma en las matrices con las celdas de color verde indica las observaciones que fueron correctamente categorizadas, mientras que las celdas rojas afuera de

esta diagonal son las observaciones que no se categorizaron de manera adecuada. En este sentido, la sumatoria de las observaciones de cada matriz tiene que coincidir con la cantidad de datos que se tomaron para cada fin (validación, entrenamiento y/o pruebas), (MathWorks, 2022).

Las matrices de confusión también tienen una columna en la parte derecha de las mismas que corresponden, para todos los casos de la ilustración 32, a la precisión de la red neuronal y cuyos porcentajes dentro de las celdas corresponden al valor predictivo positivo (de color verde) y a la tasa de descubrimiento falso (de color rojo). Por otra parte, la fila inferior contiene los porcentajes de los ejemplos que se categorizaron de manera correcta (verde) e incorrecta (rojo); finalmente, la celda en la parte inferior derecha indica la precisión general, cuyo valor está relacionado a los porcentajes de error mostrados previamente en la ilustración 30 (MathWorks, 2022).

Obsérvese para este caso que la matriz de confusión total (calculada a partir de todos los datos) indica una precisión del 80.6% con un porcentaje de error de 19.4%, valores que (como se mencionaba de manera previa) pueden considerarse aceptables debido al origen compilatorio de los datos utilizados para la construcción de la red neuronal.

Con estos niveles de precisión y porcentajes de error obtenidos, la red neuronal para el reconocimiento de patrones se exportó con el nombre de “*BlueClassNeural*” al *workspace* “CodigoTOGBlueberryPC” en *MATLAB® R2022a*, para ser utilizado posteriormente en la construcción del algoritmo final que se describe más adelante.

3.3.3.2. Árbol de Clasificación

Uno de los atributos de entrada que la red neuronal para reconocimiento de patrones requiere para predecir la categoría a la que pertenece determinado lote de frutilla es el nivel de madurez. La escala de dicho atributo que se presenta en el conjunto de datos del [Anexo I](#) se determinó a partir de los estados de madurez mostrado en las fotografías y/o información reportada en la literatura (Hwang, Kim, & Shin, 2020; Moggia, y otros, 2018; Scalzo, Stevenson, & Hedderley, 2013; Ribera, Reyes-Díaz, Alberdi, Zuñiga, & Mora, 2009).

Si bien, el nivel de madurez podría establecerse de forma visual, la experimentación con varias de las herramientas de aprendizaje automático generó la posibilidad de crear un árbol de clasificación capaz de predecir este atributo de acuerdo con los datos disponibles, basándose en los mismos *Inlets* con que se construyó la red neuronal de reconocimiento de patrones, pero en este caso, definiendo el nivel de madurez como un atributo a ser estimado (es decir, a manera de *Target*).

En este entendido, con ayuda de la aplicación de *Classification Learning* de *MATLAB® R2022a*, y con los atributos de entrada que se mencionan previamente (y que corresponden básicamente a los mismos que se presentan en el [Anexo I](#)), se creó el árbol de clasificación que se presenta en la ilustración 33 para la estimación del nivel de madurez en el arándano azul.

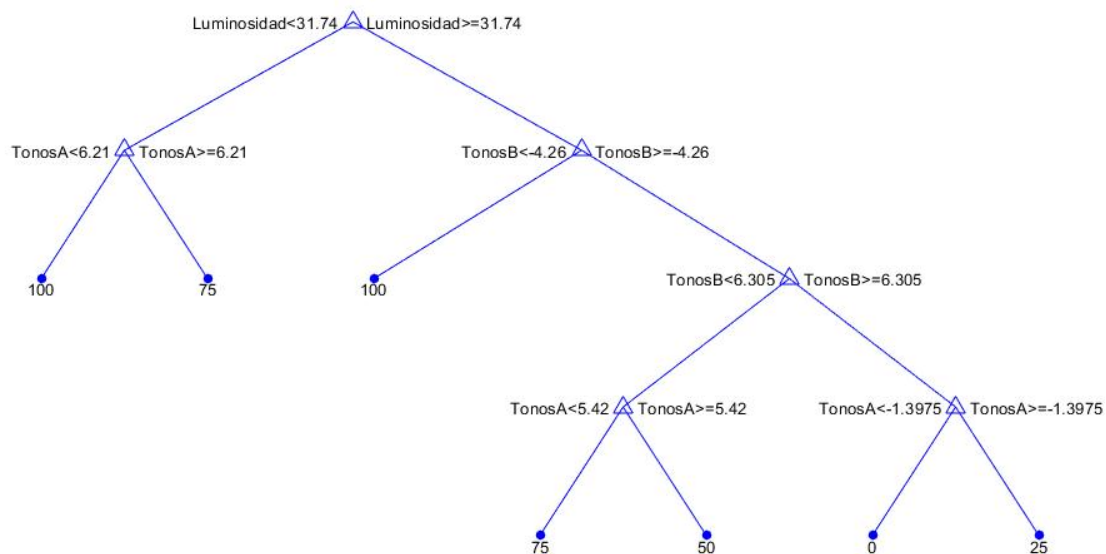


Ilustración 33. Árbol de Clasificación para la predicción de arándano azul construido en el software Matlab® R2022a, (Fuente: Elaboración Propia).

Como es posible observar en la ilustración 33, el árbol de clasificación toma la decisión de cuál es el nivel de madurez de la frutilla con base en los valores de Colorimetría CIE L^*a^*b del arándano, lo que se asocia además con la relación lineal fuerte que existe entre dicho parámetro y los valores de luminosidad, tonos a y tonos b que se explicaba en el apartado de verificación de la calidad de los datos; sin embargo, para el funcionamiento del modelo anterior, se requiere

la introducción de los demás atributos de la frutilla que incluyen el peso de un arándano fresco (g), luminosidad, tonos a, tonos b, *Chroma* y grados Brix; a partir de estos parámetros, la herramienta de inteligencia artificial será capaz de predecir el nivel de madurez en una escala porcentual del 0 a 100 (0.00%, 16.66%, 33.33%, 50.00%, 66.67%, 75.00% y 100%).

La herramienta de clasificación tuvo un nivel de precisión del 94.3%, con lo que se asume un porcentaje de error (por diferencia) del 5.7%. La ilustración 34 muestra una matriz de confusión como la que se obtuvo al construir la red neuronal de reconocimiento de patrones en la que es posible observar las clases verdades y estimadas (entiéndase en este caso a las clases como “niveles de madurez”), sus respectivos porcentajes de valores predictivos positivos (PPV) y de tasas de descubrimiento falso (FDR) para cada nivel de madurez predicho. Las celdas de color naranja sobre las celdas azules indican los porcentajes de estimaciones erróneas para cada clase, siendo la celda azul el valor real del nivel de madurez.

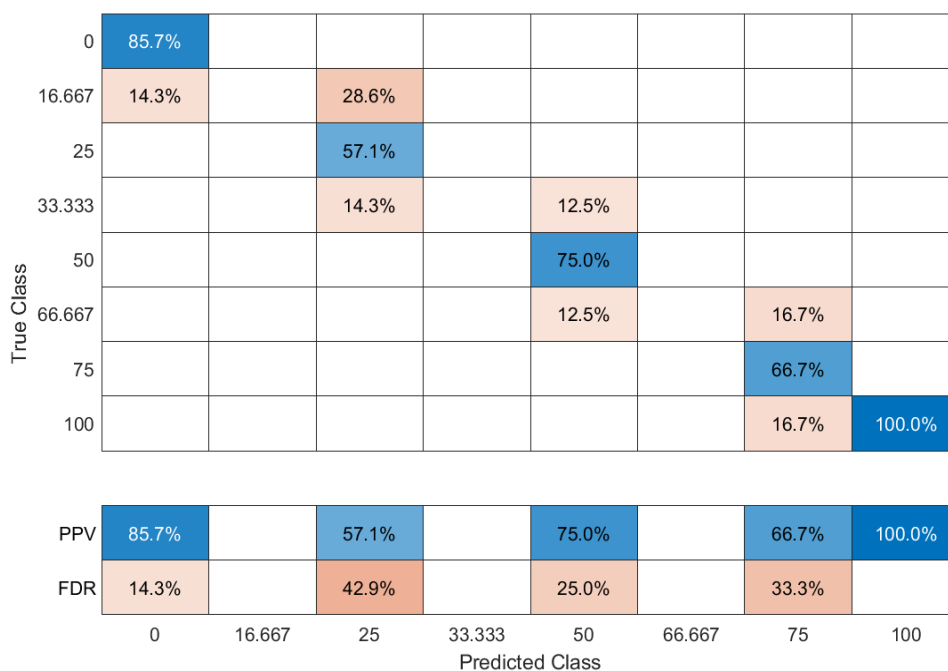


Ilustración 34. Matriz de confusión del árbol de clasificación para la estimación de nivel de madurez (%) construida a partir de los atributos presentados en el Anexo I; la matriz se generó al desarrollar el árbol de clasificación en el software Matlab® R2022a, (Fuente: Elaboración Propia).

Con estos niveles de precisión y porcentajes de error obtenidos, el árbol de clasificación se exportó con el nombre de “*ADDFV1*” al *workspace* “CodigoTOGBlueberryPC” en *MATLAB® R2022a*, utilizado posteriormente para la construcción del algoritmo final que se describe en la siguiente sección.

3.3.4. Propuesta final

A Partir de las herramientas de inteligencia artificial para el reconocimiento de patrones y de clasificación desarrolladas, se construyó el algoritmo que se presenta en la ilustración 35 y que corresponde a la propuesta de intervención del presente Trabajo de obtención de grado (ver [Capítulo 3. Estrategia de intervención](#)) y que pretende incorporarse a la planta procesamiento que se explicó de manera previa (ver [Sección 3.2. Planta de procesamiento y procesos involucrados](#)), para el adecuado direccionamiento del arándano azul a los procesos de mayor conveniencia según los atributos fisicoquímicos y costos de la frutilla.

El algoritmo inicia con el conteo en planta de los lotes disponibles de arándano y el registro de los datos de trazabilidad de frutilla, que incluyen la fecha y lugar de cultivo. La información de los agricultores también es registrada, asignándose un código específico que podría generarse de manera previa durante el desarrollo de proveedores, creando también un código específico al lugar de cultivo, lo que podría ayudar a diferenciar el origen del arándano en casos en los que un agricultor tenga diversos campos de cultivo en distintas ubicaciones geográficas dentro de la misma Región Valles.

Una vez que el costo de cada uno de los lotes disponibles también es registrado, se procede a realizar la caracterización fisicoquímica de una muestra representativa de frutilla, que incluye la determinación del peso fresco de un arándano fresco (g), porcentaje de sólidos solubles (°Brix) y Colorimetría CIE L^*a^*b (que arroja valores de luminosidad, tonos a y tonos b).

Los valores de cada uno de los atributos previamente registrados se introducen entonces al *software MATLAB® R2022a*, mismo que genera una Matriz A donde se consolidan los datos de trazabilidad de la frutilla y una Matriz B donde se almacenan los datos fisicoquímicos promedio de cada uno de los atributos por lote. Los datos de la matriz B (específicamente los de tonos a y tonos b) permiten el cálculo de valor de *Chroma*, cuyo dato se almacena en esta misma matriz

Los atributos de esta matriz son los *Inlets* que permitirán a la herramienta de Inteligencia artificial número 1 (Árbol de Clasificación, ver ilustración 33 en [Sección 3.3.3.2.](#)) estimar el nivel de madurez (%) de la frutilla. Este porcentaje estimado se almacena en la misma matriz B y completa los atributos de entrada requeridos para estimar, por medio de la herramienta de inteligencia artificial número 2 (Red Neuronal para Reconocimiento de Patrones, ver tabla 9 en [Sección 3.3.3.1](#)) la categoría a la que pertenece la frutilla.

La red neuronal para el reconocimiento de la categoría del arándano generará una matriz con los porcentajes de probabilidad que tiene la frutilla de pertenecer a algunas de las cuatro categorías preestablecidas; mediante la búsqueda del índice en esta matriz del porcentaje de mayor valor se llevará a cabo la determinación de la categoría a la que pertenecen los lotes disponibles y a partir de ello, se decidirá, con base en los costos de producción que se presentan más adelante y con los datos de la matriz A, cuál es el proceso más adecuado a dónde direccionar la materia prima.

Obsérvese en la ilustración 35 que, de acuerdo con la discretización presentada en la tabla 9 (ver [Sección 3.3.2.2. Preparación de los datos](#)) en el caso de que los lotes pertenezcan a las categorías 3 o 4, la frutilla será dirigida directamente a secado o compostaje/alimento para ganado (según corresponda) sin llevar a cabo una toma de decisiones previa con base en los márgenes de ganancia correspondientes.

Finalmente, con base en la cantidad de frutilla en existencia para cada lote, el algoritmo determina si se procede a direccionar la materia prima a la línea de producción más adecuada, o si es necesario esperar a tener la cantidad necesaria para iniciar el proceso.

Es con este algoritmo programado en el *software MATLAB® R2022a* que se pretende llevar a cabo el direccionamiento de la frutilla al proceso más adecuado según con lo establecido en la propuesta de intervención explicada al inicio de este capítulo. El [Anexo III](#) del presente documento presenta el código elaborado a partir del diagrama de flujo mostrado en la ilustración 35 e incluye en sus comentarios (introducidos en el texto mediante el uso de signos porcentuales y con letras de color verde) instrucciones de uso y la explicación de su funcionamiento.

3.4. Consideraciones costo/beneficio

La propuesta del algoritmo previamente planteada permitirá obtener los márgenes de ganancia mayores de acuerdo con los costos de producción y de la materia prima con que se lleve a cabo el procesamiento.

Si bien, la materia prima que pretende aprovechar en planta es aquella que no cumple con los estándares de calidad para su comercialización en el extranjero (y el costo de esta dependerá en gran medida a la calidad y al proveedor de donde se obtenga), existirán ocasiones en las que el uso de frutilla con calidad adecuada para su exportación podrá ser utilizada para los procesos, pues -como se comentaba con anterioridad- existen ocasiones en las que el precio de la materia prima es tan bajo que los agricultores deciden vender su producto en territorio nacional (Rodríguez, 2021).

Lo anterior está ligado a la temporalidad del arándano y puede observarse en el comportamiento de los precios de la frutilla a través del tiempo en ilustración 3 presentada al inicio de este documento (ver [Sección 1.2.2. Contexto de la empresa](#)).

Obtener los márgenes de ganancia mayores permitirá que el retorno de inversión ligado a la adquisición de los equipos para la planta de procesamiento se lleve a cabo en un periodo de tiempo menor, de forma tal que se pueda realizar el financiamiento y/o adquisición de nuevos equipos para desarrollar otras líneas de producción.

Derivado de lo anterior, se pretende que la instauración de las líneas de procesamiento se realice por etapas de acuerdo con su CAPEX (Inversión Inicial de Capital), comenzando con la de línea de deshidratado y terminando con la línea de elaboración de mermeladas.

Es importante mencionar que, durante el desarrollo de la planta y la instauración de sus etapas, podría llevarse a cabo la generación de datos a partir de la caracterización de la frutilla para consolidar una base de datos con valores propios que ayuden a robustecer y afinar la precisión de las herramientas de aprendizaje automático desarrolladas.

Además, la medición de antocianinas totales en fruta fresca podría hacerse una vez al mes para poder financiar su costo y generar un histórico para la revisión anual de la red neuronal de reconocimiento de patrones.

Una vez instaurada la etapa de separación de componentes (donde se obtendría jugo concentrado y residuos), podría fortalecerse la red de valores previamente explicada con el propósito de afianzar las alianzas estratégicas con empresas dedicadas a la obtención de bioactivos con el propósito no solo de definir la estrategia para compartir datos asociados a concentraciones de antocianinas que la misma empresa determine al llevar a cabo la extracción de sustancias y estandarización de sus productos, sino también para fijar precios de los residuos, rescatándose en el proceso de negociación los elementos de valor asociados a la categorización y características de los residuos generados en planta.

Tener la información de concentración obtenida a partir de los residuos de la frutilla generará nuevos datos que puedan ligarse con la concentración de antocianinas en la fruta fresca, lo que permitiría además determinar una correlación que pueda estimar nuevos atributos y/o patrones de interés ligadas a los atributos del arándano para cada una de partes interesadas en el proyecto, lo que reforzaría aún más la red de valores de *Agrolmagen*.

A continuación, se presentan los costos de producción estimados para cada una de los procesos involucrados en la planta, presentados en el mismo orden (por etapas) en que pretenden ser desarrollados.

En primer lugar, se ofrecen los principales supuestos con los que se llevó el análisis económico de las líneas de producción y posteriormente se explican los costos fijos, variables y de capital asociados a estos. Finalmente, en el [Anexo IV](#) se muestran todos los equipos que fueron cotizados y que permitieron determinar los costos asociados a las líneas de producción de la planta de procesamiento.

3.4.1. Supuestos

Para realizar el análisis económico de los procesos involucrados para la planta multifuncional se tomaron en cuenta los siguientes supuestos asociados a la nómina, puestos y costos fijos, basándose en la información obtenida de una planta similar para el procesamiento de frutas y hortalizas (Aldrete, Federico, Hermosillo, Martínez, & Vargas, 2020); para ello, se estableció una jornada laboral de 8 horas (equivalente a un turno) para 20 días laborales por mes.

Tabla 10. Número de empleados: Personal y puestos para una operación base de 20 turnos por mes.

Puesto	Cantidad de empleados
Personal Operador de Producción (incluye Fogonero)	3
Personal Mantenimiento	1
Analista de Calidad	1
Personal Administrativo	1

Tabla 11. Nóminas y costos fijos, (Fuente: Aldrete, Federico, Hermosillo, Martínez, & Vargas, 2020).

Concepto	Cantidad (\$MXN/mes)
Sueldo Base Operador	5,500.00
Sueldo Base Personal Mantenimiento	6,000.00
Sueldo Base Analista de Calidad	7,000.00
Sueldo Personal Administrativo	6,000.00
Sueldo Base Supervisor	9,000.00
Gastos Administrativos	3,000.00
Consumibles Operación	4,000.00
Consumibles Limpieza	2,000.00
Consumibles Análisis de Calidad	1,000.00
Gastos por Requerimientos Normativos	600.00
Gastos por Laboratorio de Calidad	1,500.00
Gastos Mantenimiento Instalación	4,000.00
Gastos Mantenimiento Preventivo	5,000.00
Sueldo Base Operador	5,500.00

Tabla 12. Costos para equipos principales y secundarios requeridos para la planta de procesamiento. Los equipos correspondientes, cotización, y características técnicas aparecen en el Anexo IV de este documento.

Equipos Principales	Cantidad	Costo (\$MXN)
<i>Deshidratador solar</i>	2	272,000.00
<i>Lavadora</i>	1	254,219.00
<i>Marmita</i>	1	241,506.20
<i>Evaporador al vacío</i>	2	240,048.60
<i>Máquina llenadora</i>	1	22,608.40
<i>Despulpadora</i>	1	68,000.00
<i>Filtro Prensa</i>	1	96,000.00
Equipos Secundarios	Cantidad	Costo (\$MXN)
<i>Caldera</i>	1	1'098,900.00
<i>Compresor</i>	1	150,000.00
<i>Bomba para Producto</i>	1	25,000.00
<i>Bomba para Agua</i>	1	45,000.00
<i>Torre de Enfriamiento</i>	1	150,000.00
<i>Intercambiador de Calor</i>	1	35,000.00

Los equipos principales que aparecen en la tabla 12 se cotizaron para capacidades de aproximadamente 100 kg, pensando en las cantidades reales que podrían acopiarse en planta por jornada laboral. Los costos de estos equipos, junto con la caldera, aparecen en el [Anexo IV](#) de este documento, donde además se especifican las características técnicas de los mismos, sus respectivos proveedores y fuentes consultadas.

Los supuestos financieros para la depreciación de los equipos se asumieron de un 15% para el primer año, con una tasa de interés anual simple del 8% y un periodo de pago de 180 meses. El costo del resto de los equipos secundarios, así como de los costos variables de operación que aparecen en la tabla 13 se asumieron igual a los de una planta de procesamiento con características similares (Aldrete, Federico, Hermosillo, Martínez, & Vargas, 2020).

Tabla 13. Costos variables de operación, (Fuente: Aldrete, Federico, Hermosillo, Martínez, & Vargas, 2020).

Concepto	Cantidad	Unidades
Tarifa Eléctrica	1,700.00	\$MXN/MWh
Tarifa Gas LP (HHV)	160.00	\$MXN/GJ
Tarifa de Agua Potable	10.00	\$MXN/m ³
Turnos Extra Operadores	2	Turnos/mes
Turnos Extra Fogonero	2	Turnos/mes
Turnos Extra CC	1	Turnos/mes
Consumo Eléctrico Mensual	23.04	MWh/mes
Consumo Gas LP Mensual	230.4	GJ/mes
Consumo Agua Potable	249.6	m ³ /mes
Gastos Mantenimiento Correctivo	4,000.00	\$MXN/Mes
Gastos por Disposición de Orgánicos	120.00	\$MXN/Ton
Gastos por Disposición de Empaque	120.00	\$MXN/Ton

3.4.2. Etapa 1: Deshidratado de arándano

La etapa de deshidratado del arándano implica básicamente un par de equipos híbridos con los que podrían llevarse a cabo el proceso de secado de la frutilla. Si bien, el producto tiene que lavarse previo a la operación unitaria, la adquisición de un equipo para el lavado de la frutilla se ha considerado hasta la etapa dos del desarrollo de los procesos de la planta en el entendido que las operaciones de limpieza y sanitizado podrían llevarse a cabo prescindiendo (al menos durante esta etapa) de dicho equipo.

Considerando los dos deshidratadores con una capacidad de 100 kg de arándano fresco cada uno, así como las cantidades de producto que podría obtenerse de acuerdo con las condiciones presentadas en los balances de masa mostrados con anterioridad (ver [Sección 3.2.2. Deshidratado de arándano](#)), se llevó a cabo el cálculo de los costos de capital, costos fijos, costos variables y de materia prima que habrían de generarse al llevarse a cabo este proceso.

De acuerdo con las capacidades, se ha calculado la producción de 70 piezas por lote (140 piezas considerando dos equipos de secado) con 250 g de arándano azul deshidratado en una bolsa tipo *Stand Up Pouch Kraft* con su respectivo etiquetado. Asumiendo que un lote se produce en 24 horas, se ha calculado la producción real de 2,800 piezas al mes (20 días laborables), para una capacidad real demostrada de 2,835.68 piezas durante el mismo periodo de tiempo. Debido

a la fracción de piezas que pueden completarse por lote (y a que no se recomienda la combinación de lotes para completar bolsas que no contengan la cantidad completa de frutilla), se ha contemplado un nivel de productividad del 98.74%.

En la tabla 14 se resumen los costos para el proceso de arándano deshidratado donde se desglosan los costos de capital y depreciación, costos fijos, costos variables, de materia prima y empaque de la frutilla. No se considera uso de Gas LP debido a que los deshidratadores cotizados funcionan a partir de energía eléctrica y solar.

Tabla 14. Resumen de costos para el proceso de arándano deshidratado, (Fuente: Elaboración Propia)

Concepto	Costo Subtotal (\$MXN)	Contribución (\$MXN/pieza)
Costos de Capital	6,724.44	2.40
Pago Préstamo + Interés	3,324.44	1.19
Depreciación de Equipos	3,400.00	1.21
Costos Fijos	58,900.10	21.04
Nómina (Base + Extra)	37,800.10	13.50
Renta de Nave	-	-
Operación & Administración	9,000.00	3.21
Calidad & Normativos	3,100.00	1.11
Mantenimiento	9,000.00	3.21
Gastos por Disposición	-	0.00
Costos Variables	32,640.00	11.66
Energía Eléctrica	32,640.00	11.66
Gas LP	-	-
Agua Potable	-	-
Costos Materia Prima	97,576.08	34.85
Materia Prima	96,000.00	34.29
Empaque	1,576.08	0.56
Ingredientes	-	-
Total	195,840.62	69.94

De la tabla anterior puede observarse cómo el costo de producción (o costo unitario ponderado) para una bolsa de 250 g de arándano deshidratado es de \$69.94 MXN, valor que se calcula al sumar la contribución de cada uno de los conceptos expuestos. Sin considerar la materia prima, cuyo costo se ha fijado en \$24.00 MXN para aquella frutilla que no cumple la calidad de exportación (Rodríguez, 2022), el costo unitario se estima en \$35.09 MXN por pieza.

Marginado al 40%, el costo final del arándano azul deshidratado es de \$116.57 MXN, que equivale a \$0.46 MXN por gramo de producto seco. A manera de referencia, la marca *Kirkland Signature™* comercializa arándano azul deshidratado a \$0.53 MXN, precio de venta del que se asume contiene ya incorporados algunos otros costos relacionados con la distribución y margen de ganancia de quien lo vende al consumidor final (Amazon, 2022).

Con este margen de ganancia, en un escenario optimista en el que la venta del producto se lleva a cabo de manera adecuada, se estima recuperar la inversión (cuyo CAPEX se ha calculado en \$272,000.00 MXN) en un periodo de 2 meses (*payback simple*) con una Tasa de Retorno de inversión a 5 años del 594%.

3.4.3. Etapa 2: Elaboración de mermelada de arándano

La etapa de producción de mermelada de arándano implica cuatro equipos principales (lavadora de frutas, marmita, evaporador al vacío y máquina llenadora) cuyo costo total es de \$638,357.90 MXN (ver [Anexo IV](#)), además de una caldera para la generación de vapor (cotizada en \$1'098,900.00 MXN) y diversos equipos secundarios estimados en \$405,000.00 MXN (Aldrete, Federico, Hermosillo, Martínez, & Vargas, 2020); todos estos equipos se traducen en un CAPEX total de \$2'142,257.90 MXN.

Considerando una capacidad máxima de aproximadamente 100 litros para los equipos, así como las cantidades de producto que podría obtenerse de acuerdo con las condiciones presentadas en los balances de masa del proceso (ver [Sección 3.2.3. Elaboración de mermelada de arándano](#)), se realizaron los cálculos de los costos de capital, costos fijos, costos variables y de materia prima que habrían de generarse al llevarse a cabo la transformación de la frutilla.

De acuerdo con la formulación base para elaboración de mermelada que se muestra en la tabla 4 (ver [Sección 3.2.3. Elaboración de mermelada de arándano](#)) se realizó el *breakdown* de ingredientes para el cálculo de costo total de otras materias primas involucradas además de la frutilla.

Según las capacidades de los equipos, se ha calculado la producción de 160 piezas por lote con 453.56 g de mermelada de arándano en frascos de vidrio debidamente etiquetados, lo que equivale a 72.57 kg totales de producto final por *batch*. Asumiendo que un lote puede

llevarse a cabo en hora y media (lo que se traduce en aproximadamente 5 lotes por día) y que se dispone de la cantidad adecuada de frutilla para una capacidad de producción al 100%, tenemos que la producción mensual de mermelada podría ser de 7,288.52 kg con un nivel de productividad real de 99.6% calculada a partir de la cantidad real de frascos que podrían llenarse por lote (16,000 frascos al mes).

La Tabla 15 presenta un resumen de costos para el proceso de producción de mermeladas. En ella se encuentran desglosados los costos de capital, fijos y variables que se utilizaron para llevar a cabo la cotización del precio final del producto que aquí se describe.

Tabla 15. Resumen de costos para el proceso de producción de mermelada de arándano, (Fuente: Elaboración Propia)

Concepto	Costo Subtotal (\$MXN)	Contribución (\$MXN/pieza)
Costos de Capital	52,961.38	3.31
Pago Préstamo + Interés	26,183.15	1.64
Depreciación de Equipos	26,778.22	1.67
Costos Fijos	58,921.10	3.68
Nómina (Base + Extra)	37,800.10	2.36
Renta de Nave	-	-
Operación & Administración	9,000.00	0.56
Calidad & Normativos	3,100.00	0.19
Mantenimiento	9,000.00	0.56
Gastos por Disposición	21.00.00	0.00
Costos Variables	65,440.00	4.09
Energía Eléctrica	32,640.00	2.04
Gas LP	30,720.00	1.92
Agua Potable	2,080.00	0.13
Costos Materia Prima	574,657.00	35.92
Materia Prima	84,000.00	5.25
Empaque	394,653.33	24.67
Ingredientes	96,004.86	6.00
Total	751,980.66	47.00

La suma de la contribución de cada uno de los conceptos de la tabla anterior es igual al costo de producción (o costo unitario ponderado) de un frasco con 453.56 g de mermelada de arándano (\$47.00 MXN). Sin considerar la materia prima, cuyo costo se ha fijado en \$24.00 MXN

(Rodríguez, 2022) y de \$531.76 MXN para los demás ingredientes, el costo unitario es de \$11.08 MXN por pieza.

Marginado al 40%, el costo final de la mermelada de arándano azul es de \$78.33 MXN. A manera de referencia, la marca *Smucker's*[®] comercializa actualmente un *spread* de arándano azul cuyo costo por gramo de producto en el mercado se ha calculado en \$0.19 MXN¹⁹, y que recalculado para 453.56 g de producto (que es el contenido neto de la mermelada de arándano que se produciría en planta) da como costo final \$86.64 MXN, (Giant Eagle, Inc., 2022).²⁰

Con este margen de ganancia, en un escenario optimista en el que todas las piezas producidas sean vendidas, se estima recuperar la inversión de los equipos adquiridos en esta etapa en un periodo de 6 meses (*payback simple*) con una Tasa de Retorno de inversión a 5 años del 192%.

3.4.4. Etapa 3: Separación de componentes (Jugo Concentrado)

La etapa de separación de componentes, de donde se obtiene principalmente el jugo concentrado, implica el uso de varios equipos que habrían de adquirirse previamente durante la instauración de la etapa de producción de mermeladas, por lo que para esta tercera etapa solo se han contemplado la adquisición de una máquina despulpadora, un filtro prensa (para extracción en frío del jugo) y un segundo equipo que permita realizar la concentración del jugo sin necesidad de interrumpir (en dado caso) la concentración de sólidos solubles en el proceso de elaboración de mermeladas.²¹

Considerando los equipos anteriores, se requiere una inversión de capital para esta etapa de \$284,024.30 MXN. Tomando además en cuenta que la capacidad del concentrador al vacío será igual a la del equipo con el que se lleva a cabo la evaporación de agua para la mermelada (con capacidad de 100 litros útiles, de acuerdo con lo mostrado en el [Anexo IV](#)), así como las cantidades de producto que podría obtenerse de acuerdo con las condiciones presentadas en los balances de masa correspondientes (ver [Sección 3.2.1. Separación de componentes del](#)

¹⁹ Considerando un tipo de cambio de \$1 USD = \$20.47 MXN al 09 de julio de 2022.

²⁰ Se ha elegido este producto a manera de referencia ya que es muy similar al producto que aquí proponemos: contiene arándanos reales y no se le han añadido colorantes y/o saborizantes artificiales, (Giant Eagle, Inc., 2022).

²¹ Esto no significa que no puedan llevarse a cabo la concentración en paralelo para un mismo proceso de mermelada o jugo. La decisión de qué procesos deberán llevarse a cabo la tomará finalmente el algoritmo.

[arándano](#)), se realizaron los cálculos de los costos de capital, costos fijos, costos variables y de materia prima que habrían de generarse al extraerse y concentrar jugo de arándano.

De acuerdo con las capacidades, se ha calculado la producción de 19 piezas por lote con 1 litro de jugo de arándano concentrado en una botella de PET debidamente etiquetada²². Considerando la producción de 5 lotes en una jornada laboral de 8 horas, podría llevarse a cabo la producción mensual real de 1900 piezas de 1 litro cada una. Debido a la cantidad de piezas que pueden llenarse por lote (y a que no se recomienda la combinación de lotes para completar botellas que no contengan la cantidad completa de jugo), se ha estimado un nivel de productividad de proceso del 95.86%.

Tabla 16. Resumen de costos para el proceso de producción de jugo concentrado, (Fuente: Elaboración Propia)

Concepto	Costo Subtotal (\$MXN)	Contribución (\$MXN/pieza)
Costos de Capital	7,021.71	3.70
Pago Préstamo + Interés	3,471.41	1.83
Depreciación de Equipos	3,550.30	1.87
Costos Fijos	58,900.10	31.00
Nómina (Base + Extra)	37,800.10	19.89
Renta de Nave	0.00	0.00
Operación & Administración	9,000.00	4.74
Calidad & Normativos	3,100.00	1.63
Mantenimiento	9,000.00	4.74
Gastos por Disposición	0.00	0.00
Costos Variables	65,440.00	34.44
Energía Eléctrica	32,640.00	17.18
Gas LP	30,720.00	16.17
Agua Potable	2,080.00	1.09
Costos Materia Prima	293,719.00	154.59
Materia Prima	288,000.00	151.58
Empaque	5,719.00	3.01
Ingredientes	0.00	0.00
Total	425,080.81	223.73

El costo de producción (o costo unitario ponderado) calculado para un litro de jugo concentrado es de \$223.73 MXN; sin considerar el costo del arándano azul que se ha fijado en

²² Se asume densidad igual a 1 kg/l para el jugo concentrado obtenido.

\$24.00 MXN (Rodríguez, 2022), el costo unitario recalculado es de \$69.14 MXN por botella, que corresponde a la suma de las contribuciones de los costos de capital, costos fijo y costos variables.

Marginado al 50%, el costo final de un litro de jugo de arándano azul concentrado es de \$447.45 MXN. A manera de referencia, la marca *FruitFast*[®] comercializa una botella con 946 mililitros de jugo elaborado con arándanos silvestres en \$899.65 MXN²³, con una concentración de sólidos solubles aproximada a los 60.86 °Brix²⁴, (FruitFast, 2022).

Con este margen de ganancia, en un escenario optimista en el que la venta del producto se lleve a cabo de manera adecuada, se estima recuperar la inversión en un periodo de 1 mes (*payback simple*) con una Tasa de Retorno de inversión a 5 años de 662%.

3.5. Etapas del proceso de aplicación/intervención

La siguiente sección presenta el cronograma de trabajo para este proyecto donde se explican las actividades desarrolladas y etapas involucradas.

3.5.1. Cronograma de trabajo

Así como el flujo del diagrama del ciclo de vida del CRISP-DM indica que sus actividades se realizan de acuerdo con un proceso iterativo, las etapas de este proyecto siguieron una dinámica semejante que se vio reflejada en la redacción y constante corrección, aumento y disminución de las secciones del presente Trabajo de Obtención de Grado (TOG).

En otras palabras, el proceso que se siguió para el desarrollo del proyecto (y la redacción en paralelo del documento del TOG) no fue un proceso lineal, sino de naturaleza iterativa. La tabla 17 que se ofrece a continuación muestra las principales actividades llevadas a cabo a lo largo del programa del posgrado. Las etapas de CRISP-DM se han *linearizado* para facilitar el entendimiento de cómo las actividades de dicha herramienta empataron con las llevadas a cabo durante el posgrado con el fin de seguir un orden que permitiera llevar a cabo la redacción del reporte final según los avances que se fueron generando de manera constante.

²³ Considerando un tipo de cambio de \$1 USD = \$20.47 MXN al 09 de julio de 2022.

²⁴ Grados Brix calculados a partir del tamaño de porción y carbohidratos totales declarados en la etiqueta del producto.

Actividades Realizadas/ Fechas	2020					2021										2022																
	Semestre 1					Semestre 2					Semestre 3					Semestre 4					Veran o		Semestre 5									
	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre					
Etapas de acuerdo con ciclo de vida CRISP-DM	Comprensión del Negocio															Comprensión de los Datos	Preparación de los Datos					Modelado		Evaluación	Despliegue							
Identificación de la necesidad: Anteproyecto																																
Planteamiento de propuesta de solución 1																																
Problematicación																																
Reconocimiento del contexto de la Empresa/Industria																																
Búsqueda de Causas y Efectos																																
Delimitación de objetivos y área funcional																																
Planteamiento de propuesta de solución 2: Planta de procesamiento																																
Cálculo de balances de masa teóricos para cada proceso																																
Modulación de propuesta de solución 2: Planta de procesamiento																																
Búsqueda de otras soluciones (Genéricas, Cercanas y Lejana)																																
Establecimiento de Estrategia de intervención																																
Análisis de mérito innovador de la propuesta (VRIO)																																
Desarrollo de propuesta de Intervención																																
Cotización de equipos para planta de procesamiento																																
Búsqueda de datos para Intervención																																
Llenado de huecos																																
Detección de valores espurios																																
Análisis estadístico de los datos																																
Consolidación de tabla base de análisis																																
Determinación de herramienta de inteligencia artificial adecuada																																
Construcción de algoritmo final																																
Prueba de concepto a nivel laboratorio																																
Análisis fisicoquímicos																																
Evaluación de Algoritmo																																
Análisis de hallazgos																																
Reporte de Resultados																																
Redacción y Corrección de TOG																																
Conclusión y Entrega Final																																

Ilustración 36. Cronograma de actividades para el presente Trabajo de Obtención durante la Maestría de Ingeniería de Productos y Procesos, (Fuente: Elaboración Propia)

3.5.2. Imprevistos

Uno de los principales imprevistos que surgieron durante el desarrollo del proyecto fue la falta de datos reales para construir y evaluar las herramientas de aprendizaje automático que finalmente se lograron desarrollar y que fueron integradas al algoritmo presentado en la [Sección 3.3.4. Propuesta Final](#).

Se pudo avanzar ante el imprevisto de falta de datos gracias a la búsqueda en diversas fuentes bibliográficas de información relacionada a atributos fisicoquímicos del arándano azul, a conciencia de que la calidad de los mismos podría no ser la adecuada al momento de llevar a cabo el análisis estadístico de los mismos y la evaluación de los resultados de precisión de las herramientas de inteligencia artificial desarrolladas.

Una alternativa a lo anterior fue considerar en el proyecto que los datos, más que generar una herramienta que pudiera utilizarse desde el primer momento para categorizar la materia prima, servirían para armar la estructura y desarrollo del algoritmo final contemplando en un mediano plazo la generación de datos reales para estructurar y desarrollar un algoritmo definitivo.

Por otra parte, para las metas de información (ver siguiente sección), el imprevisto que más preocupación generó fue que en la ciudad de Guadalajara, Jalisco no hubiera un laboratorio de análisis bromatológicos capaz de llevar a cabo el análisis cromatográfico para la determinación de antocianinas totales en fruta fresca, valor que ayudará a evaluar la precisión de la red neuronal para el reconocimiento de patrones incorporada al algoritmo final (ver [Sección 3.3.3.1. Reconocimiento de patrones](#)).

Para mitigar este posible riesgo, una alternativa para generar la información requerida fue considerar el montaje de un método espectrofotométrico para la determinación del mismo parámetro en los laboratorios de Ingeniería de Alimentos del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente, tomando en cuenta el coeficiente de variación de la metodología analítica y los porcentajes de error de la metodología en cuestión que pudieran encontrarse reportados en la literatura.

3.7. Metas de información

Las metas de información que se definieron para el presente Trabajo de Obtención de Grado estuvieron direccionadas a la obtención y/o generación de los datos experimentales suficientes para conocer el nivel de precisión de la red neuronal artificial desarrollada e incorporada en el algoritmo presentado en la ilustración 35 (ver [Sección 3.3.4. Propuesta final](#)), con el objetivo de efectuar las actividades requeridas por la etapa de evaluación que enmarca el ciclo de vida del proceso CRISP-DM, obteniendo a su vez la información necesaria para realizar la prueba de concepto de la propuesta de intervención *per se*.

Se decidió enfocar la prueba de concepto sobre esta parte del algoritmo, ya que las categorías estimadas en esta etapa facilitan la toma de decisiones respecto a qué proceso conviene direccionar la frutilla para aprovechar los lotes de arándano disponibles y sus respectivos residuos al máximo. Esta estimación se afina en los pasos subsecuentes mediante restricciones asociadas al costo y las capacidades de los equipos, mismas que están definidas en el código de programación correspondiente (ver [Anexo III](#)).

En este sentido, se pretende realizar la caracterización fisicoquímica de por lo menos tres lotes de arándano azul obtenidos de distintos proveedores que comercialicen su producto dentro de la Zona Metropolitana de Guadalajara, de forma tal que se obtenga la información necesaria para comprobar que la concentración de antocianinas que la frutilla contiene coincida con el rango de antocianinas discretizado en la categoría estimada por la herramienta de aprendizaje automático desarrollada, llevando a cabo la medición de los atributos de entrada del algoritmo (Colorimetría CIE L^*a^*b , peso de la frutilla fresca, *chroma* y grados Brix), con base en la determinación de antocianinas totales en fruta fresca realizado por un laboratorio acreditado que tenga montado el método cromatográfico para su análisis.

Los análisis de varianza entre los valores obtenidos para los atributos fisicoquímicos del arándano, así como una nueva correlación pareada de atributos mediante una matriz de Pearson, generará la información pertinente para evaluar la precisión de la red neuronal para reconocimiento de patrones incorporada al algoritmo de la propuesta final, y con ello generar la etapa final de despliegue considerada en el cronograma de la ilustración 36.

4. Exposición de hallazgos

De acuerdo con lo establecido en la [Sección 3.7. Metas de información](#), se llevó a cabo la recolección en la Zona Metropolitana de Guadalajara de dos muestras de arándano azul de tres diferentes marcas comerciales, mismas que fueron sometidas a una serie de análisis fisicoquímicos para obtener la información necesaria para alimentar a la red neuronal artificial presentada en la [Sección 3.3.3.1. Reconocimiento de patrones](#) y realizar con ello el comparativo de la concentración de antocianinas, obtenidas de manera experimental en las muestras analizadas contra los rangos de este compuesto antioxidante implícitos en las categorías discretizadas que se muestran en la tabla 9 de la [Sección 3.3.2.2.3. Integración de los datos](#).

A continuación, se explican a detalle los materiales y métodos que se utilizaron para realizar la prueba de concepto anterior.

4.1. Materiales y Métodos

Se recolectaron dos muestras de arándano azul maduro de tres lotes distintos pertenecientes a las marcas *Dole Food Company, Inc.*, *Wichi Farms* y *Always Fresh™* en dos distintos puntos de la Ciudad de Guadalajara, Jalisco. Cada muestra tuvo un peso de 170 g de acuerdo con su presentación comercial. A cada una de las dos muestras de los tres lotes correspondientes de frutilla (cada lote correspondía a una marca comercial) se les asignó una etiqueta (A o B) para su diferenciación.

Los arándanos azules de la marca *Dole Food Company, Inc.* (de origen orgánico) fueron los correspondientes al lote de empaque 197 (código de barras 071430011690), cuyo empaquetamiento se llevó a cabo el día 24 de agosto de 2022. De acuerdo con la etiqueta del producto, la cosecha de la frutilla se llevó a cabo en la localidad de Las Condes en Santiago, Chile.

Por otra parte, el lote de frutilla de la marca *Wichi Farms* fue el 289 (código de barras: 7503028154036) cuya cosecha se efectuó en la localidad de Jocotepec, en el Estado de Jalisco, México. Según la declaración de la etiqueta, el producto fue envasado por el proveedor el día 28 de agosto de 2022. Finalmente, el arándano de la marca *Always Fresh™* que se recolectó fue el correspondiente al lote 45423001; la fecha de envasado no estaba disponible en su etiqueta,

haciéndose sólo referencia al origen mexicano de la frutilla. La tabla 17 presenta un resumen de la información de las muestras recolectadas de frutilla para su análisis en laboratorio.

Tabla 17. Resumen de marcas comerciales, lotes y muestras de arándano azul recolectadas en la Ciudad de Guadalajara para la realización de la prueba de concepto, (Fuente: Elaboración Propia).

Marca	Muestras		Lote de Origen	Fecha de Envasado	Lugar de cosecha
<i>Dole Food Company, Inc.</i>		A (Izq.)	197	24/08/2022	Las Condes, Santiago, Chile.
		B (Der.)			
<i>Wichi Farms</i>		A (Izq.)	289	28/08/2022	Jocotepec, Jalisco, México.
		B (Der.)			
<i>Always Fresh™</i>		A (Izq.)	45423001	No disponible	México (Sin ubicación específica)
		B (Der.)			

Las muestras fueron procesadas y analizadas en los laboratorios de ingeniería de alimentos del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente (ITESO) ubicados en la ciudad de Tlaquepaque, Jalisco, México, el día 2 de septiembre de 2022.

Los análisis fisicoquímicos que se efectuaron en los lotes de frutilla se muestran en las siguientes secciones en el mismo orden de realización, comenzando por las pruebas no destructivas y concluyendo con la medición de concentración de antocianinas en el jugo de arándano y de sólidos solubles en el mismo. La ilustración 37 presenta un diagrama de bloques en el que es posible visualizar el orden en que se llevó a cabo la determinación de estos parámetros para la caracterización de la frutilla, así como los análisis estadísticos o cálculos realizados con los datos obtenidos de manera experimental.

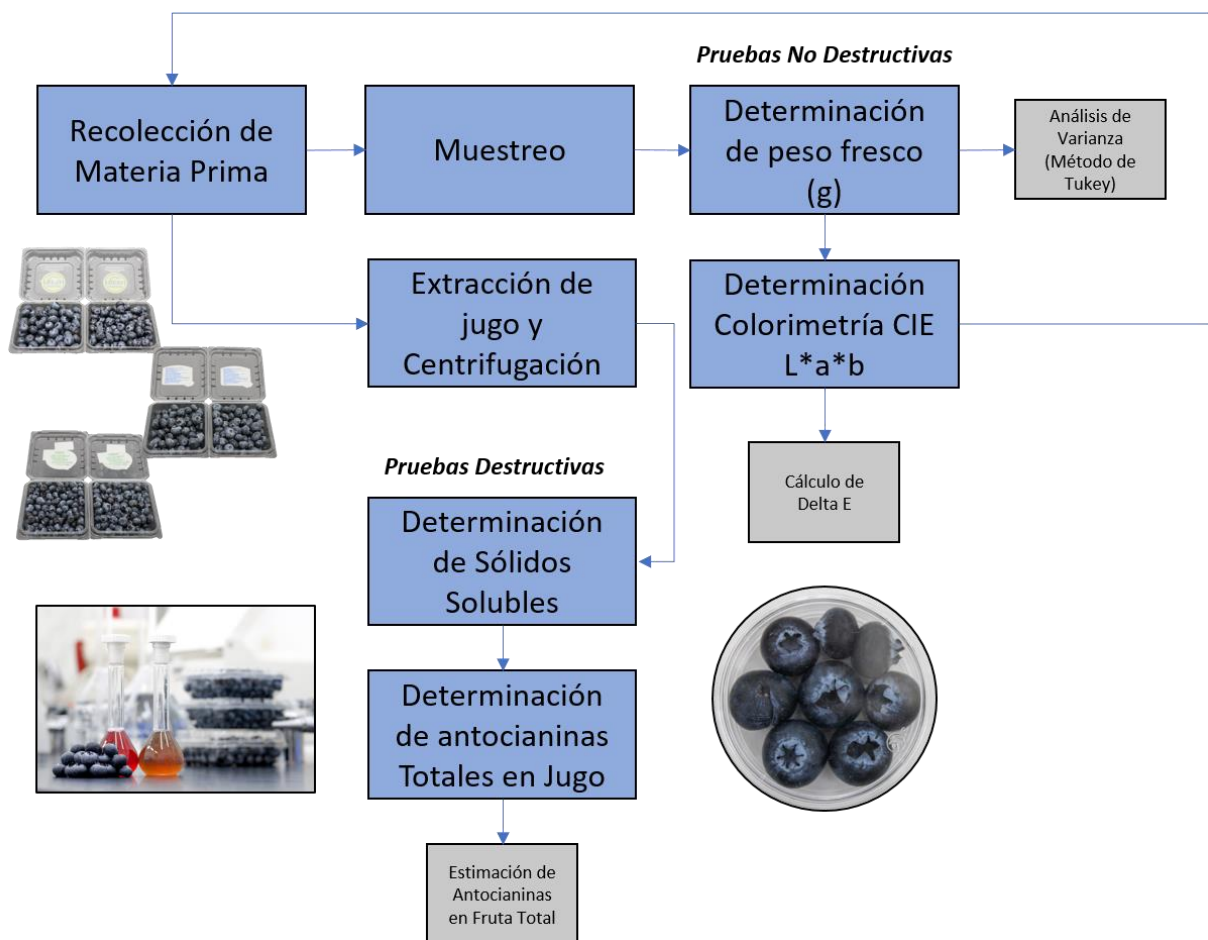


Ilustración 37. Diagrama de bloques de etapas procesamiento y análisis de las muestras de arándano azul utilizadas para la prueba de concepto, (Fuente: Elaboración Propia)

4.1.1. Preparación de la muestra

La frutilla se muestreó cuarteando cada una de las seis cajas de arándanos azules y tomando aleatoriamente 16 piezas de frutilla (ver ilustración 38 en la siguiente sección). La selección de esta muestra representativa para una de las cajas de arándanos disponible sólo se llevó a cabo para determinar su peso fresco y la lectura colorimétrica de la materia prima (ambas pruebas no destructivas). Los análisis de sólidos solubles y antocianinas totales se efectuaron de manera sencilla, ya que se utilizó el total de frutilla disponible por caja, obteniéndose seis resultados totales (uno por lote) para cada una de estas dos pruebas destructivas.

4.1.2. Determinación de Peso Fresco

El peso fresco (en gramos) de cada una de las 16 piezas de fruta seleccionadas (ver Ilustración 38) se determinó mediante el uso de una balanza de precisión de la marca *A&D Weighing*, modelo *GF-3000* con capacidad total de 3100 g x 0.01 g. Los pesos de los 16 arándanos muestreados aleatoriamente se registraron para cada una de las 6 cajas de arándanos recolectadas.

4.1.2. Determinación de Colorimetría CIE L*a*b

El color en el arándano se determinó mediante el uso del espacio de color CIE L*a*b, empleando un colorímetro de la marca *Konica Minolta*, modelo *CR-20*. Para ello, se tomó de manera aleatoria la cantidad bastante de frutilla para llenar la celda del equipo de colorimetría tal como se muestra en la imagen circular del diagrama de la ilustración 37 en la [Sección 4.1](#). La determinación de esta prueba no destructiva se llevó a cabo por duplicado, tomando la lectura de color en ambas caras de la celda contenedora.

4.1.3. Obtención de jugo de arándano

Una vez realizadas las pruebas no destructivas en la frutilla, se obtuvo el jugo de arándano utilizando el total de la materia prima disponible (170 g) para cada una de las muestras, utilizando un extractor de uso rudo marca *Turmix®* modelo *E082*, al que se le colocó la canastilla (filtro) de aluminio anodizado propio del equipo para retener la mayor cantidad posible de cáscara y semillas del arándano. El extracto resultante se centrifugó a 3000 rpm durante 3 minutos las veces necesarias hasta obtener un líquido sobrenadante cristalino empleando para este fin una centrifugadora de la marca *LaboGene™* modelo 406.

4.1.4. Determinación de sólidos solubles en jugo de arándano

A partir del sobrenadante cristalino obtenido por centrifugación fue que se llevó a cabo la determinación del porcentaje de sólidos solubles (°Brix) de cada una de las muestras de la frutilla. Para la medición de este parámetro se utilizó un refractómetro manual *Brix Sperm Scientific* modelo 300001 con un rango de lectura de 0 a 32 por ciento. Debido a la naturaleza destructiva de esta prueba y a la cantidad de materia prima disponible, el análisis de sólidos solubles se efectuó de manera sencilla (sin réplica alguna).



Ilustración 38. Piezas de arándano muestreadas de manera aleatoria para la determinación y registro de su respectivo peso fresco (g), (Fuente: Elaboración Propia).

4.1.5. Determinación de antocianinas totales en jugo de arándano

La concentración de antocianinas en el jugo de arándano se determinó de acuerdo con lo establecido por el método oficial 2005.02 de la *Association of Official Agricultural Chemists* (AOAC) para la medición del contenido total de pigmentos de antocianina monomérica de jugos de frutas, bebidas, colorantes naturales y vinos, cuyo resultado se expresa en partes por millón de cianidina-3-glucósido y que es aplicable para frutas cuyo rango de concentración de dicho compuesto esté entre las 20 y 3000 ppm.

Para la aplicación de dicho método, se prepararon las soluciones establecidas por la metodología utilizando reactivos de grado analítico proporcionados por los laboratorios de Ingeniería Química y de Ingeniería de Alimentos del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente (ITESO).

La solución *buffer* de pH 1.0 se preparó a partir de cloruro de potasio (KCl) de la empresa *Reactivos y Productos Químicos Finos, S.A. de C.V.* (Xalostoc, Estado de México, México), mientras que la solución *buffer* de pH 4.5 se hizo a partir de acetato de sodio trihidratado ($\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) de la marca *Fermont* de la empresa *Productos Químicos Monterrey, S.A. de C.V.* (Monterrey, Nuevo León, México). El ácido clorhídrico (HCl) utilizado para ajustar el pH de las sustancias anteriores a los niveles establecidos por la metodología fue de la marca *Golden Bell Reactivos* perteneciente a la empresa *Materiales y Abastos Especializados, S.A. de C.V.* (Zapopan, Jalisco, México).

Una vez preparadas las soluciones *buffer* anteriores, se colocaron dos alícuotas del jugo de arándano obtenido del proceso de centrifugación dos matraces volumétricos distintos de 50 mL y se aforaron con cada una de las dos soluciones *buffer* previamente mencionadas (ver Ilustración 39). La absorbancia de cada dilución se midió a 520 y 700 nanómetros utilizando un espectrofotómetro *Thermo Scientific* modelo *Genesys 10S UV-Vis*.

Los cálculos para la determinación de las antocianinas totales en cada una de las seis muestras de jugo extractado se realizaron de acuerdo con la ecuación 1 establecida por el método oficial:

$$\text{Pigmento de Antocianina (cianidina - 3 - glucósido, } \frac{\text{mg}}{\text{L}}) = \left(\frac{A \times \text{MW} \times \text{DF} \times 10^3}{\varepsilon \times l} \right)$$

Ecuación 1

Donde A = (A520nm – A 700nm)_{pH 1.0} – (A520nm – A700nm)_{pH 4.5}; MW (peso molecular) = 449.2 g/mol para cianidina-3-glucósido, DF = factor de dilución; l = longitud de la trayectoria en cm; ε = 26 900 coeficiente de extinción molar, en L x mol⁻¹ x cm⁻¹, para cianidina-3-glucósido, y 10³ = factor de conversión de gramos a miligramos. Debido a la naturaleza destructiva de esta prueba y a la cantidad de materia prima disponible, el análisis de antocianinas en jugo se llevó a cabo de manera sencilla (sin réplica alguna).



Ilustración 39. Determinación de antocianinas totales según método de AOAC 2005.02: materia prima utilizada para la prueba de concepto y diluciones del jugo de arándano con cada uno de los reactivos preparados para el análisis en cuestión. Obsérvese el viraje en el color de jugo de arándano para cada una de las soluciones buffer utilizadas (pH 1.0, matraz a la izquierda y pH 4.5, matraz a la derecha), (Fuente: Elaboración Propia).

4.2. Análisis de resultados

En la siguiente sección se presentan los resultados obtenidos para cada una de las determinaciones fisicoquímicas que se llevaron a cabo en laboratorio; con base en los datos de estos parámetros, se realiza más adelante una discusión acerca de las estimaciones obtenidas con la red neuronal artificial para el reconocimiento de patrones durante la prueba de concepto.

4.2.1. Resultados de la caracterización fisicoquímica del arándano azul

4.2.1.1. Peso Fresco

La ilustración 38 (Ver [Sección 4.1.2. Determinación de Peso Fresco](#)) presenta una fotografía de las piezas de arándano azul que se seleccionaron mediante el muestreo aleatorio de cada una de las cajas de los tres lotes que se recolectaron para la realización de la prueba de concepto; en ella es posible observar cómo entre las tres marcas comerciales de arándano existe una diferencia visual perceptible asociada al tamaño de la frutilla.

Nótese cómo las dos muestras (A y B) de la marca *Wichi Farms* (lote 289) contienen frutilla cuyo tamaño es notoriamente menor que el de las dos marcas restantes. Además, el tamaño entre las muestras del mismo lote 45423001 de la marca *Always Fresh™* es visualmente distinto.

El tamaño del arándano azul está directamente asociado al peso del mismo (Jorquera-Fontena, Génard, Ribera-Fonseca, & Franck, 2017); lo anterior llevó al planteamiento de la hipótesis de que por lo menos alguna de las medias del peso fresco (g) de las seis muestras analizadas era diferente. Bajo esta premisa, se llevó a cabo un análisis de varianza (ANOVA) para las medias de este parámetro utilizando el *software* de análisis estadístico *Minitab®* 19.

La aplicación del método de Tukey con un nivel de confianza del 95%, así como la gráfica de intervalos de las medias de cada una de las dos muestras analizadas para las tres marcas de frutilla que se muestra en la ilustración 40, facilitó la visualización y el agrupamiento de las medias estadísticamente iguales entre sí de los pesos frescos (g) determinados.

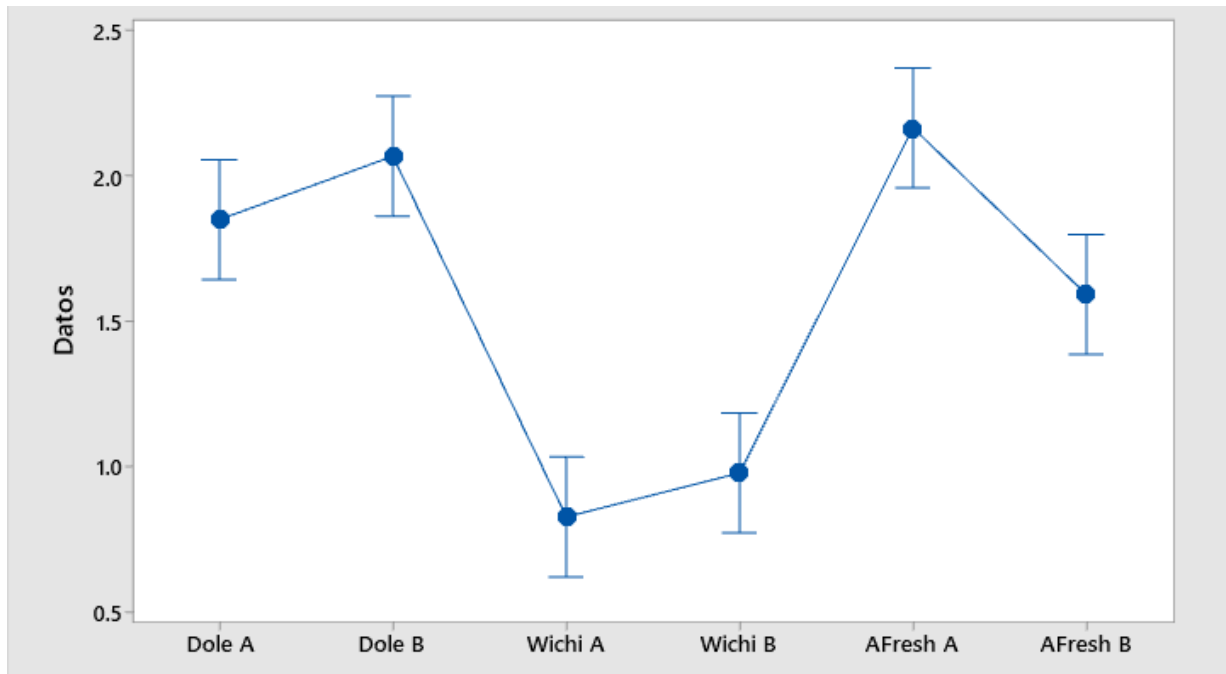


Ilustración 40. Gráfica de Intervalos construida en Minitab®19 para la media de los pesos frescos de cada una de las seis muestras colectadas de arándano azul para las marcas Dole Food Company, Inc. (Dole), Wichi Farms (Wichi) y Always Fresh™ (AFresh). El rótulo de “Datos” en el eje de las ordenadas corresponde al peso fresco (g) de la frutilla, (Fuente: Elaboración Propia).

En la gráfica de intervalos de la ilustración anterior es posible observar cómo entre las medias de los pesos de las dos muestras de la marca *Dole Food Company* no existe diferencia significativa, como sucede también con muestras de la marca *Wichi Farms*; sin embargo, sí existe diferencia significativa entre estas dos marcas, pues el peso de la frutilla de *Dole Food Company* es mayor al de la marca *Wichi Farms*.

Para el caso de la marca *Always Fresh™*, las medias de los pesos entre las muestras A y B del mismo lote (45423001) son estadísticamente diferentes; sin embargo, es interesante observar cómo la media del peso fresco de muestra A de *Always Fresh™* es estadísticamente igual a las muestras A y B de la marca *Dole Food Company*. La tabla 18 ofrece un resumen de las medias obtenidas para el peso fresco (g) de los arándanos y sus respectivos intervalos con un nivel de confianza del 95%. Las muestras cuyas medias no comparten letra (*a*, *b* o *c*) indican diferencia significativa de acuerdo al método de Tukey.

Tabla 18. Medias e intervalos de confianza para el peso fresco (g) de las tres marcas de arándano azul utilizadas para la prueba de concepto. Las medias con la misma letra no fueron significativamente diferentes de acuerdo con el método Tukey ($\alpha = 0.05$, $n = 16$), (Fuente: Elaboración Propia).

Marca	Muestra	Medias (Peso fresco en gramos)	Desviación Estándar	Intervalo de confianza de 95%
Dole Food Company, Inc	A	1.8487 ^{ab}	0.3779	(1.6431, 2.0544)
	B	2.0660 ^a	0.6410	(1.8610, 2.2720)
Wichi Farms	A	0.8287 ^c	0.3606	(0.6231, 1.0344)
	B	0.9794 ^c	0.2522	(0.7738, 1.1850)
Always Fresh™	A	2.1630 ^a	0.4050	(1.9580, 2.3690)
	B	1.5919 ^b	0.3413	(1.3863, 1.7975)

Finalmente, la ilustración 41 ofrece las gráficas de residuos con las que se verificó el cumplimiento de los supuestos necesarios para el análisis de varianza llevado a cabo. En él es posible observar que se cumple con el supuesto de normalidad (valor $p = 0.026$) y de igual de varianzas, pues en la gráfica de residuos contra ajustes no se observa algún patrón contundente y la amplitud de dispersión de los puntos es semejante entre sí, sin ninguna diferencia fuerte en su amplitud (Gutiérrez Pulido & De la Vara Salazar, 2008).

Por otro lado, se asume que se cumple con el supuesto de independencia en el entendido que el muestreo para la selección de la frutilla se llevó de manera aleatoria, tanto en las cajas como en los arándanos en el momento de realizar el pesaje de los mismos.

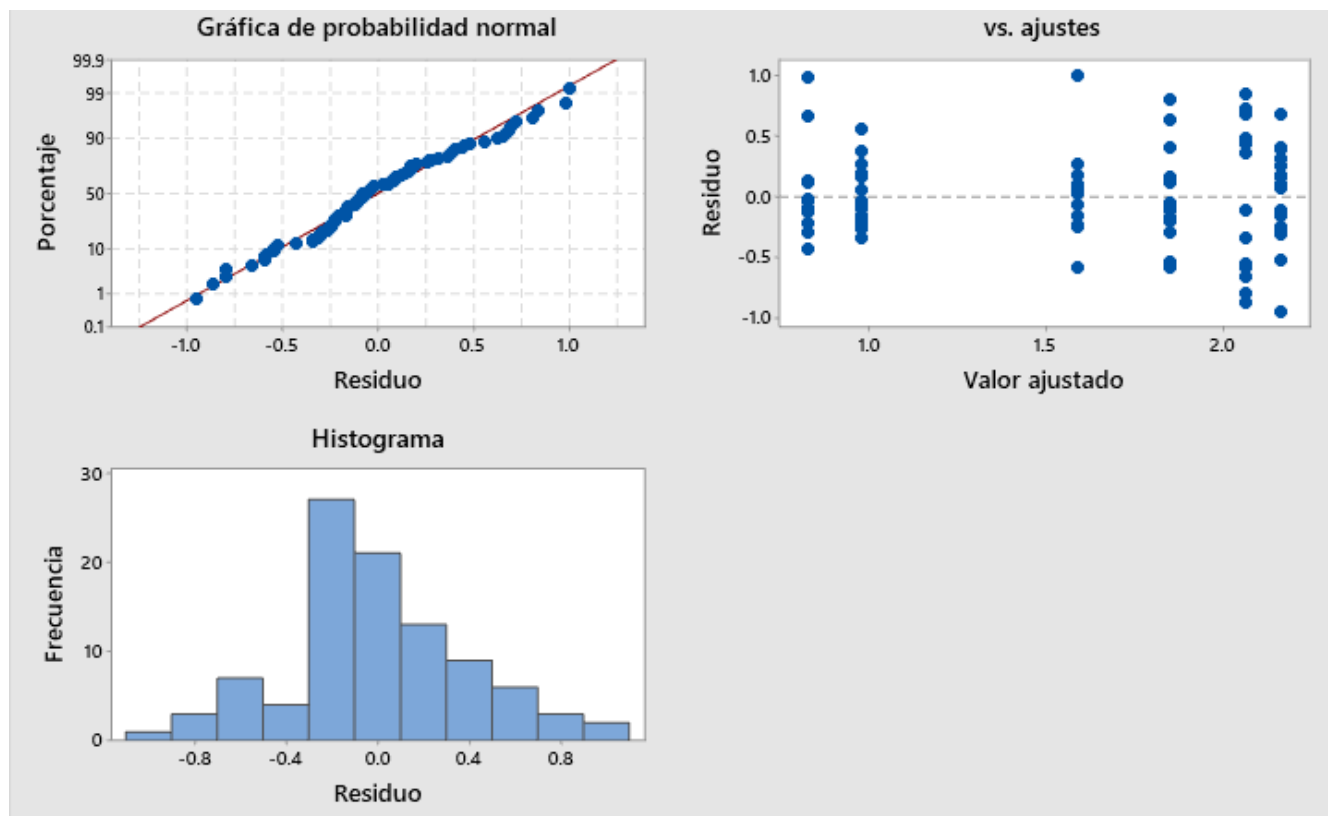


Ilustración 41. Gráficas de residuos para el Análisis de Varianza de los pesos frescos de cada una de las seis muestras colectadas de arándano azul para las marcas Dole Food Company, Inc. (Dole), Wichi Farms (Wichi) y Always Fresh™ (AF) construidas en Minitab®19, (Fuente: Elaboración Propia).

4.2.1.2. Colorimetría CIE L*a*b

La tabla 19 presenta el promedio de los datos obtenidos para los valores de luminosidad, tonos a y tonos b a partir de las dos observaciones que se realizaron para cada una de las muestras de las tres marcas comerciales previamente mencionadas. Incluye el valor de *chroma* calculado con los valores promedio de los tonos a y b, así como el valor ΔE calculado entre las dos lecturas de color (observaciones) llevadas a cabo para cada muestra, y el mismo valor calculado entre las muestras A y B de una misma marca.

Tabla 19. Resultados de colorimetría CIE L^*a^*b de las tres marcas de arándano azul utilizadas para la prueba de concepto, (Fuente: Elaboración Propia).

Marca	Muestra	Colorimetría (Promedio)			Chroma	ΔE entre observaciones *	ΔE entre muestras**
		L	a	b			
Dole Food Company, Inc.	A	31.40	-0.75	-4.30	4.36	2.22	3.70
	B	27.70	-0.75	-4.20	4.27	2.41	
Wichi Farms	A	29.25	-1.00	-4.60	4.71	1.51	0.59
	B	29.00	-0.65	-4.20	4.25	2.04	
Always Fresh™	A	28.95	-0.80	-4.55	4.62	1.91	3.41
	B	25.55	-0.95	-4.70	4.80	2.41	

*Se refiere al ΔE calculado entre las dos mediciones llevadas a cabo para una misma muestra.

**Se refiere al ΔE calculado entre los promedios de los parámetros de las muestras A y B de una misma marca.

El valor de ΔE entre las dos observaciones para cada una de las seis muestras analizadas confirma que no existe una diferencia visual significativa entre las dos mediciones efectuadas para un mismo lote ya que el valor obtenido es menor a 3, límite de referencia establecido por la literatura en el que un ojo humano promedio puede detectar una diferencia entre colores (Nix Sensor Ltd., 2022).

Sin embargo, el valor de ΔE entre las muestras A y B de cada marca comercial sí presentan, al menos para las marcas *Dole Food Company* y *Always Fresh™*, valores mayores a 3 que indican un cambio de color apenas perceptible entre la frutilla. Por otro lado, el ΔE para las dos muestras de la marca *Wichi Farms* es tan pequeño que indica una diferencia de color casi imperceptible entre los arándanos de las muestras A y B del mismo lote correspondiente (Nix Sensor Ltd., 2022).

4.2.1.3. Sólidos Solubles

Los sólidos solubles de la frutilla analizada estuvieron entre los 11° y 12°Brix (% de sólidos solubles). La Tabla 19, que se presenta más adelante, reúne los valores obtenidos para cada uno de las dos muestras (A y B) de las tres marcas comerciales analizadas.

4.2.1.4. Antocianinas totales en jugo

El método de la AOAC empleado para medir la concentración de antocianinas que se llevó a cabo en laboratorio permitió determinar este compuesto antioxidante (expresado en partes por millón de cianidina-3-glucósido) en el jugo de la frutilla, pero no en el arándano total *per sé*, cuyos datos se compilaron de la literatura para la construcción de la herramienta de inteligencia artificial para reconocimiento de patrones mostrada en secciones anteriores.

Sin embargo, la concentración de antocianinas en la fruta fresca total (en las unidades consistentes) pudo estimarse de acuerdo con la proporción de cianidina-3-glucósido que Ribera, *et. al.* (2009) reportó para los principales componentes del arándano azul de la variedad *Bluegold*. De acuerdo a esto, existen aproximadamente 5.31 miligramos de cianidina-3-glucósido en 100 gramos de pulpa por cada 206.00 mg del mismo compuesto, pero en 100 g de fruta fresca total (Ribera, Reyes-Díaz, Alberdi, Zuñiga, & Mora, 2009). Esta relación permitió estimar las concentraciones de antocianinas que se presentan en la tabla 20 a partir de los datos obtenidos de manera experimental en los laboratorios de ingeniería de alimentos del ITESO.

Tabla 20. Resultados experimentales de la determinación de antocianinas totales en jugo de arándano (ppm) y estimación del mismo compuesto en la fruta fresca total (mg/100 g de fruta fresca) para cada una de las muestras utilizadas para la prueba de concepto, (Fuente: Elaboración Propia)

Marca	Muestra	Antocianinas Totales en Jugo (ppm) *	Antocianinas en Fruta total (mg/100g Fruta Fresca Total) * ^A
Dole Food Company, Inc.	A	46.84	181.7
	B	55.36	214.8
Wichi Farms	A	38.82	150.6
	B	61.70	239.4
Always Fresh™	A	93.51	362.8
	B	116.73	452.8

*Antocianinas expresadas en cianidina-3-glucósido.

^A Estimadas según la relación definida a partir de los datos reportados por Ribera, *et. al.* (2009).

4.2.1.5. Discusión de resultados experimentales

La tabla 21 reúne los resultados experimentales obtenidos de la caracterización de las 6 muestras de las tres marcas comerciales de arándano azul recolectadas para la prueba de concepto del presente Trabajo de Obtención de Grado. De manera general, las determinaciones de peso fresco (g), colorimetría (luminosidad, tonos a, tonos b y *chroma*) y grados Brix son muy similares a los datos teóricos que se obtuvieron de la literatura para arándano maduro y que se usaron para la construcción de la red neuronal artificial para reconocimiento de patrones (Ver [Anexo II](#)).

Tabla 21. Resumen de resultados experimentales obtenidos para la determinación de peso fresco (g), colorimetría CIE L^*a^*b , *Chroma*, sólidos solubles (%) y antocianinas totales en jugo de arándano (ppm) para cada una de las muestras recolectadas para la prueba de concepto, (Fuente: Elaboración Propia).

Marca	Muestra	Peso fresco promedio (g)	Colorimetría (Promedio)			<i>Chroma</i>	Sólidos solubles (%)	Antocianinas Totales en Jugo (ppm)
			L	a	b			
Dole Food Company, Inc.	A	1.8487	31.40	-0.75	-4.30	4.36	12.2	46.84
	B	2.0660	27.70	-0.75	-4.20	4.27	12.4	55.36
Wichi Farms	A	0.8287	29.25	-1.00	-4.60	4.71	11.2	38.82
	B	0.9794	29.00	-0.65	-4.20	4.25	11.4	61.70
Always Fresh™	A	2.1630	28.95	-0.80	-4.55	4.62	12.4	93.51
	B	1.5919	25.55	-0.95	-4.70	4.80	12.2	116.73

Pero más allá de la similitud visual de los datos numéricos obtenidos de forma experimental con los reportados por la literatura, la correlación estadística entre los parámetros analizados en laboratorio tuvieron un comportamiento semejante a lo observado durante el proceso de integración de los datos bibliográficos que fue lo que facilitó la discretización de la concentración de antocianinas en rangos para las diferentes categorías definidas al momento de construir la herramienta de inteligencia artificial (Ver [Sección 3.3.2.2.3. Integración de los datos](#)).

La ilustración 42 presenta una matriz de Pearson generada mediante *Minitab® 19*, así como los valores r y p obtenidos de dicho análisis estadístico, mismos que se presentan a su vez en la tabla 22, la cual reúne además las correlaciones en pareja de cada uno de los atributos analizados en laboratorio y sus respectivos intervalos con un nivel de confianza del 95%.

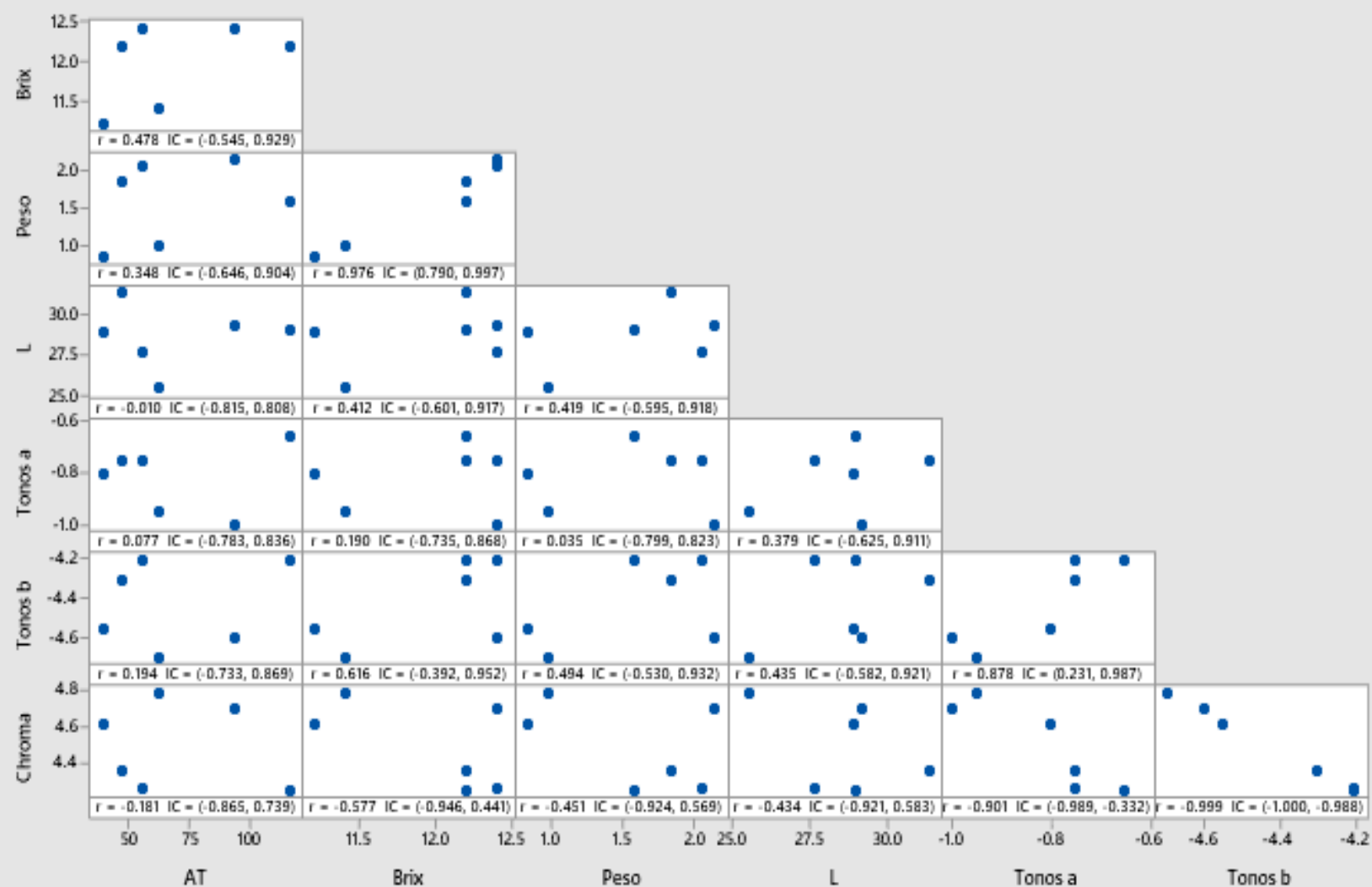


Ilustración 42. Matriz de Correlación de Pearson generada en Minitab® 19 para datos experimentales obtenidos de los parámetros de calidad de arándano azul previamente expuestos. El valor de r corresponde a la correlación mientras que los valores p menores a 0.05 indican que existe una significancia estadística entre parámetros con un nivel de confianza del 95%. AT: Antocianinas Totales en jugo de arándano (ppm), L: Luminosidad (Colorimetría CIE L^*a^*b), (Fuente: Elaboración Propia)

Tabla 22. Correlaciones en Parejas de Pearson: valores de correlación r , Intervalo de confianza del 95% para las correlaciones y valor p para cada una de las parejas de atributos. Un valor p menor o igual a 0.05 indica que la correlación entre las medias es estadísticamente significativa. Antocianinas Totales en jugo de arándano (ppm), L: Luminosidad (Colorimetría CIE L^*a^*b), (Fuente: Elaboración Propia)

Muestra 1	Muestra 2	Correlación	IC de 95% para p	Valor p
Brix	AT	0.478	(-0.545, 0.929)	0.337
Peso	AT	0.348	(-0.646, 0.904)	0.499
L	AT	-0.010	(-0.815, 0.808)	0.984
Tonos a	AT	0.077	(-0.783, 0.836)	0.884
Tonos b	AT	0.194	(-0.733, 0.869)	0.712
Chroma	AT	-0.181	(-0.865, 0.739)	0.732
Peso	Brix	0.976	(0.790, 0.997)	0.001
L	Brix	0.412	(-0.601, 0.917)	0.417
Tonos a	Brix	0.190	(-0.735, 0.868)	0.718
Tonos b	Brix	0.616	(-0.392, 0.952)	0.193
Chroma	Brix	-0.577	(-0.946, 0.441)	0.231
L	Peso	0.419	(-0.595, 0.918)	0.409
Tonos a	Peso	0.035	(-0.799, 0.823)	0.948
Tonos b	Peso	0.494	(-0.530, 0.932)	0.320
Chroma	Peso	-0.451	(-0.924, 0.569)	0.370
Tonos a	L	0.379	(-0.625, 0.911)	0.458
Tonos b	L	0.435	(-0.582, 0.921)	0.388
Chroma	L	-0.434	(-0.921, 0.583)	0.39
Tonos b	Tonos a	0.878	(0.231, 0.987)	0.021
Chroma	Tonos a	-0.901	(-0.989, -0.332)	0.014
Chroma	Tonos b	-0.999	(-1.000, -0.988)	0.000

A simple vista, no es sencillo observar alguna correlación lineal en las gráficas de los parámetros pareados y analizados en la matriz de Pearson que se muestra en la ilustración 42, lo cual se debe (en gran parte) a la poca cantidad de observaciones y datos experimentales que se obtuvieron de la determinación de estos parámetros en laboratorio.

No obstante a lo anterior, muy parecido a lo observado en la matriz de correlación de Pearson generada para el análisis de la calidad de los datos bibliográficos que se utilizaron para la construcción de la herramienta de inteligencia artificial (ver ilustración 24 en la [Sección 3.3.2.2.1](#)), los valores de tonos b y *chroma* presentaron nuevamente una relación lineal muy fuerte entre sí, con un nivel de significancia bastante alto (valor $p = 0.000$); esto se debe a que el parámetro de *chroma* fue calculado con base en la tonalidad de la frutilla. Sin embargo, es

importante recordar que la colorimetría de la frutilla está asociada al nivel visual de madurez del arándano.

Otro par de parámetros que mostraron una relación bastante fuerte en los datos experimentales, pero que no se observó con el mismo nivel correlación lineal en los datos recabados en la literatura, fue el de grados Brix (% de sólidos solubles) con el peso fresco (g) de la frutilla; el nivel de significancia estadística para los datos experimentales también fue bastante alto (valor $p = 0.001$).

Con base en lo observado en el análisis estadístico de los datos recabados en la literatura, se habría esperado una relación más fuerte entre los parámetros experimentales de *chroma*, grados Brix y antocianinas totales, ya que son parámetros asociados a la madurez del arándano azul. Es posible que lo anterior se deba a que los datos generados en laboratorio se realizaron solo para fruta madura, lo cual imposibilita la observación del comportamiento en varios estados de madurez del arándano.

4.2.2. Resultados de la prueba de concepto

Con los parámetros fisicoquímicos experimentales generados a nivel laboratorio, que se muestran en las secciones anteriores, se alimentó el código de programación del algoritmo presentado en la ilustración 35 (ver [Sección 3.3.4. Propuesta final](#)) con el objetivo de llevar a cabo la evaluación del mismo, y con ello dar seguimiento a las etapas del ciclo de vida del proceso CRISP-DM correspondiente, analizando para ello las estimaciones generadas por las herramientas de inteligencia artificial incorporadas al mismo, pero principalmente de la red neuronal para reconocimiento de patrones, de acuerdo con lo establecido en las metas de información del presente documento (ver [Sección 3.7](#)).

4.2.2.1. Categorización del arándano azul a partir de herramienta de inteligencia artificial

La prueba de concepto del presente Trabajo de Obtención de Grado se realizó sobre la etapa de categorización del diagrama de flujo que se muestra en la ilustración 35 de la [Sección 3.3.4. Propuesta final](#), que es donde se encuentra localizada la herramienta de inteligencia

artificial de la red neuronal para el reconocimiento de patrones que se encarga de estimar la categoría a la que pertenece un lote de arándano según sus características fisicoquímicas.

En este sentido, los datos que se obtuvieron a nivel laboratorio, tras llevar a cabo la caracterización de los lotes pertenecientes a las marcas *Dole Food Company, Inc.*, *Wichi Farms* y *Always Fresh™* presentados en las secciones anteriores (y cuyo resumen se muestra en la Tabla 21), se introdujeron al código mostrado en el [Anexo III](#), programado en el *software MATLAB® R2022a*, asignando las etiquetas de L1 a L6 (correspondientes a Lote 1 a Lote 6) para cada una de las muestra de lo proveedores analizados según el orden y correspondencia establecido en la tabla 23 que se presenta a continuación:

Tabla 23. Lotes asignados en el código de MATLAB®R2022a para cada una de las muestras analizadas en laboratorio, (Fuente: Elaboración Propia).

Marca	Muestra	Lote de Origen	Lote asignado en código para MATLAB® R2022a
<i>Dole Food Company, Inc.</i>	A	197	L1
	B		L2
<i>Wichi Farms</i>	A	289	L3
	B		L4
<i>Always Fresh™</i>	A	45423001	L5
	B		L6

Los resultados de las categorizaciones estimadas por la herramienta de inteligencia artificial se muestran en la impresión de pantalla del *Workspace* del *software* utilizado para la construcción del código previamente mencionado de la ilustración 43; en esta imagen, la matriz “Categorías” reúne el número de categorías estimado para cada uno de los lotes analizados, en este caso de 1 para cada una de las muestras analizadas de las tres marcas comerciales en cuestión; las matrices que le siguen a contienen los porcentajes de probabilidad estimados para cada categoría (en el orden del 1 al 4, separados por punto y coma) para cada lote de frutilla (abreviado como L1 para la matriz correspondiente al lote 1, L2 para el lote 2 y así sucesivamente).

En este entendido, para la muestra B del lote 289 del proveedor *Wichi Farms*, a la que se asignó el Lote 4 para su introducción al algoritmo, la categoría estimada por la red neuronal para el reconocimiento de patrones fue la 1, ya que existe un porcentaje de probabilidad del 75.30% (bastante alto comparado contra los porcentajes de probabilidad de las otras categorías) de que la frutilla tenga un rango de concentración de entre 150 y 450 miligramos de antocianinas totales por cada 100 gramos de fruta fresca total, razón por la cual se recomienda que los arándanos de este lote sean direccionados al proceso de elaboración de jugos.

 Categorías	[1,1,1,1,1,1]
 CategorizacionL1	[0.8225;0.1723;0.0040;0.0012]
 CategorizacionL2	[0.7532;0.2416;0.0042;0.0010]
 CategorizacionL3	[0.7508;0.2436;0.0033;0.0023]
 CategorizacionL4	[0.7530;0.2429;0.0027;0.0014]
 CategorizacionL5	[0.7738;0.2195;0.0053;0.0014]
 CategorizacionL6	[0.7228;0.2724;0.0037;0.0011]

Ilustración 43. Impresión de pantalla del Workspace de MATLAB®R2022a con las categorías y porcentajes de probabilidad estimados para cada uno de los lotes analizados en laboratorio, (Fuente: Elaboración Propia).

La tabla 24 resume las marcas, lotes y muestras introducidos al algoritmo y los porcentajes de probabilidad que tiene la frutilla de dichos lotes de pertenecer a cada una de las categorías que se establecieron durante el proceso de *binning*.

Tabla 24. Resumen de resultados obtenidos para la prueba de concepto llevada a cabo sobre la Red Neuronal para Reconocimiento de Patrones en MATLAB®R2022a (Fuente: Elaboración Propia).

Marca	Muestra	Lote asignado para código en MATLAB® R2022a	Categoría estimada por la Red Neuronal para el Reconocimiento de Patrones			
			Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3	Categoría 4
<i>Dole Food Company, Inc.</i>	A	L1	82.25%	17.23%	0.40%	0.12%
	B	L2	75.32%	24.16%	0.42%	0.10%
<i>Wichi Farms</i>	A	L3	75.08%	24.36%	0.33%	0.23%
	B	L4	75.30%	24.29%	0.27%	0.14%
<i>Always Fresh™</i>	A	L5	77.38%	21.95%	0.53%	0.14%
	B	L6	72.28%	27.24%	0.37%	0.11%

4.2.2.2. Comparativo de resultados estimados contra datos experimentales

Como es posible observar en la tabla 24 de la sección anterior, las seis muestras de los tres proveedores analizados tienen un porcentaje de probabilidad bastante alto (comparado contra las probabilidades arrojadas para las demás categorías) de pertenecer a la categoría 1 cuyo proceso de elaboración al que se recomienda direccionar la frutilla es el de elaboración de jugos. Estos porcentajes de precisión estimados por la misma herramienta de inteligencia artificial se calcularon entre el 72.28% y el 82.25% para toda la frutilla analizada en laboratorio. La probabilidad de que la frutilla pudiera pertenecer a la categoría 2 se encuentra para todos los lotes entre el 17.23% y el 27.24%, mientras que la probabilidad de que los arándanos analizados puedan pertenecer a las categorías restantes (3 y 4) es bastante mínima (menor al 1%) comparada contra el resto de las categorías.

Obsérvese la variación existente entre los porcentajes de probabilidad estimados para cada una de las dos muestras de un mismo proveedor o marca comercial; recordando que, para cada marca de frutilla, las muestras analizadas corresponden a un mismo lote. Así pues, para *Dole Food Company, Inc.*, el coeficiente de variación de la precisión estimada por la herramienta de inteligencia artificial entre las muestras A y B es del 6.22%; para *Wichi Farms*, el coeficiente de variación del mismo parámetro de probabilidad es del 0.21%, mientras que para *Always Fresh™*, el coeficiente calculado para la probabilidad estimada en cuestión fue de 4.82%. Dejando a un lado los valores calculados para estos coeficientes (que serían más representativos al tener un mayor número de muestras para un mismo lote de una misma marca comercial), la categorización estimada por la red neuronal artificial se considera precisa y esto puede confirmarse al comparar los rangos de antocianinas en fruta fresca total implícitos en la categoría correspondiente contra los observados y calculados a partir de datos experimentales.

De manera general, para toda la frutilla analizada en laboratorio, los rangos discretizados para la categoría 1 son de 0 a 10 para el parámetro colorimétrico de *chroma*, 10 a 20 para sólidos solubles (°Brix) y 150 a 450 para las concentraciones de antocianinas totales en miligramos por cada 100 gramos de fruta fresca, siendo el rango más alto discretizado en esta categoría el de 300 a 450 mg para el compuesto en cuestión. El valor de *chroma* y grados Brix fueron alimentados al algoritmo junto con los demás atributos correspondientes a tonos a, tonos b,

peso fresco, etcétera, por lo cual es de esperarse que estos valores se encuentren dentro de los rangos discretizados anteriores. Sin embargo, en el caso de las concentraciones de antocianinas, sus respectivos valores no son alimentados al algoritmo y se espera que los rangos implícitos en la categorización coincidan con los obtenidos en laboratorio.

Si se compara los rangos del compuesto activo implícito en la categorización contra los reportados en la tabla 9 de la [Sección 3.3.2.2.3. Integración de los datos](#), se puede ar cuenta de que las concentraciones obtenidas a nivel laboratorio entran dentro de los rangos correspondientes, siendo *Always Fresh™* la marca con mayor concentración de este compuesto antioxidante.

Es posible afirmar entonces que la herramienta de inteligencia artificial funciona de acuerdo con la prueba de concepto llevada a cabo; en este entendido, es posible realizar determinaciones fisicoquímicas relativamente sencillas en lotes de arándanos para estimar el rango de concentración de antocianinas que éstos habrán de tener, y con base en ello, direccionarlos al proceso más conveniente para su mejor aprovechamiento.

De esta manera, si las muestras analizadas en laboratorio fueran enviadas al proceso de elaboración de jugos, podría garantizarse que los residuos obtenidos habrán de contener altas concentraciones de antocianinas (en los rangos implícitos correspondiente) que podrían extractarse para concentrarse y/o aislarse, con el fin de darle un uso en la industria cosmética, farmacéutica y/o alimentaria.

Si bien, las estimaciones obtenidas mediante la red neuronal artificial fueron muy buenas (tomando en cuenta la naturaleza bibliográfica y la calidad de los datos utilizados para la construcción del algoritmo), hubiera sido interesante realizar también la misma caracterización fisicoquímica en lotes de arándano con niveles de madurez más bajos (en niveles menores o iguales al 75, 50 o 66.66%, por ejemplo), obtenidas de merma real a nivel agro, con el objetivo de confirmar si los niveles de antocianinas determinados a nivel laboratorio habrían de seguir dentro de los rangos que quedaron implícitos en el algoritmo al discretizar los datos bibliográficos.

La tabla 25 ofrece un resumen de los resultados arrojados por la herramienta de inteligencia artificial y el comparativo de las concentraciones de antocianinas implícitas en las categorías estimadas contra los resultados obtenidos de manera experimental a nivel laboratorio. En ella se observa que los rangos definidos por las categorías estimadas coinciden con los datos experimentales, con lo cual se confirma que la herramienta de inteligencia artificial funciona de acuerdo con lo establecido por la prueba de concepto.

Finalmente, cabe señalar y recordar que el parámetro de nivel de madurez introducido a la red neuronal artificial para reconocimiento de patrones se estimó mediante el uso de otra herramienta de inteligencia artificial (árbol de clasificación) capaz de estimar este parámetro visual con base en la colorimetría de la frutilla.

Para la prueba de concepto realizada, el árbol de clasificación estimó niveles de madurez del 75%, lo cual visualmente no coincide con lo observado en la materia prima caracterizada en laboratorio y que notoriamente se recolectó en un estado de madurez del 100% (ver Ilustración 38 en la [Sección 4.1.2. Determinación de Peso Fresco](#)).

De lo anterior se derivan dos posibilidades: la de robustecer la base de datos para afinar los resultados que puedan derivarse del árbol de clasificación, o la de eliminar dicha herramienta de inteligencia artificial para introducir al algoritmo el nivel de madurez de la frutilla de forma directa con base en lo observado por el analista.

Al no verse afectado el resultado generado por la red neuronal artificial, y considerando que determinar de manera visual el nivel de madurez de la frutilla podría acarrear inconvenientes derivados de subjetividades, la primera opción podría ser en este caso la más conveniente.

Tabla 25. Comparativo de las categorías y rangos de antocianinas en arándano azul estimados por la red neuronal artificial (RNA) para reconocimiento de patrones y las categorías y concentraciones reales determinadas a partir de datos experimentales obtenidos de la caracterización en laboratorio de seis muestras de frutilla de tres marcas comerciales distintas, (Fuente: Elaboración Propia).

Marca de arándanos azules	Muestra de arándanos azules	Lote de Origen	Lote asignado en código para MATLAB® R2022a	Categoría de arándanos azules estimada por RNA ^A	Categoría de arándanos azules real determinada partir de datos experimentales ^B	Concentración de antocianinas en arándano azul (mg/100g fruta fresca total) estimada a partir de datos experimentales ^{*C}	Rangos esperados de concentraciones de antocianinas en arándano azul (mg/100g fruta fresca) según categoría estimada por RNA ^{*D}
Dole Food Company, Inc.	A	197	L1	1	1	181.7	150 a 450
	B		L2	1	1	214.8	150 a 450
Wichi Farms	A	289	L3	1	1	150.6	150 a 450
	B		L4	1	1	239.4	150 a 450
Always Fresh™	A	45423001	L5	1	1	362.8	150 a 450
	B		L6	1	1	452.8	150 a 450

^{*}Antocianinas expresadas en cianidina-3-glucósido.

^A Categoría determinada a partir de los porcentajes de precisión de la tabla 24 calculados por la red neuronal artificial para reconocimiento de patrones.

^B Categoría determinada a partir de los rangos de chroma, grados Brix y antocianinas utilizados para el proceso de discretización resumido y presentado en la tabla 9 de la Sección 3.3.2.2.3.

^C Concentraciones obtenidas en laboratorio y recalculadas para antocianinas en fruta fresca total según la relación definida a partir de los datos reportados por Ribera, et. al. (2009).

^D Rangos de concentraciones implícitos en las categorías de arándano azul definidos durante en el proceso de discretización presentado y resumido en la tabla 9 de la Sección 3.3.2.2.3

4.3. Impacto de la estrategia en la solución del problema

Tal como se explicó al inicio del presente documento (ver [Sección 1.2.1. Contexto de la empresa](#)), la sociedad rural *Agrolmagen* comenzó con sus operaciones en el ámbito de la agricultura protegida y por contrato a inicios del año 2022, cuando la empresa *Hortifrut S.A. de C.V.* brindó la cantidad de planta necesaria para el cultivo de cuatro hectáreas de frambuesa de la variedad *Pacific Centennial™* con intenciones de proporcionar también la planta necesaria para el cultivo de quince hectáreas de arándano azul para febrero del año 2023.

En este sentido, realizar una medición del impacto que ha generado la estrategia propuesta en el presente Trabajo de Obtención de Grado en la solución del problema se considera poco factible, no solo por el tiempo que la empresa lleva en funcionamiento, sino también porque aún no se disponen de los recursos para llevar a cabo la construcción de la planta multifuncional propuesta para implementar la herramienta de inteligencia artificial desarrollada para facilitar la toma de decisiones y optimización de recursos, generando los mayores márgenes de ganancia y reduciendo el impacto en la huella de carbono de los procesos involucrados.

No obstante, el desarrollo del presente proyecto ha brindado un panorama muy amplio de probabilidades que existen en el entorno en que se desenvuelve el negocio. Ejemplo de ello es trasladar el proyecto desarrollado a otro tipo de frutas, hortalizas y/o vegetales, tales como la frambuesa, cuya cosecha actual, así como el aprendizaje obtenido de esta primera etapa (de la mano con el conocimiento técnico del Ingeniero Aldrete Tejeda), han generado nuevas ideas de cómo aprovechar la inteligencia artificial en otros ámbitos dentro de la organización.

La [Sección 5.1. Consecuencias de la aplicación de la estrategia de innovación](#), que se presenta más adelante, expone cuáles han sido estas nuevas perspectivas que se han planteado de acuerdo con las herramientas adquiridas en el posgrado que han sido expuestas a lo largo del presente documento.

4.3.1. Alineación con la estrategia general de la organización

La estrategia general de *Agrolmagen* en este momento (y en el corto plazo) está enfocada en dos objetivos principales; en primer lugar, cumplir con el contrato firmado para la empresa *Hortifrut*, que conlleva generar a nivel agrícola los rendimientos adecuados y necesarios de frambuesa para dicho fin y, por otra parte, cubrir los pagos de las deudas y financiamientos que fueron adquiridos con el propósito de obtener los recursos para la compra de los materiales necesarios para la construcción y acondicionamiento de los macro túneles, la excavación de pozos profundos para riego, transporte, nóminas, etcétera.

Para ello es importante optimizar recursos y aprovechar aquellos otros que puedan generar otros ingresos económicos importantes como lo es aquella frutilla que al no cumplir con los estándares de calidad de exportación debe ser segregada, pero que puede utilizarse con otra finalidad. En este sentido, la intervención que se propone en el presente trabajo de obtención de grado se alinea a dicha estrategia, puesto que permite aprovechar el producto que no está cumpliendo con los estándares establecidos por *Hortifrut* para su revalorización.

Si bien, en el corto plazo la presente propuesta de intervención (al no existir aún la planta multifuncional para el procesamiento de la fruta) no podría generar recursos para ayudar a pagar los compromisos adquiridos con diversos acreedores, sí podría generar los recursos económicos necesarios para renovar y/o dar mantenimiento a la infraestructura de los macro túneles una vez alcanzado el retorno de la inversión de la planta de procesamiento multifuncional que se describe en este documento.

El proyecto también contempla y se alinea a las posibilidades económicas de *Agrolmagen*, ya que toma en consideración la falta de recursos en el corto plazo, para lo cual se ha propuesto el desarrollo de la planta multifuncional por etapas de acuerdo con las consideraciones costo/beneficio establecidas en los apartados de la [Sección 3.4](#) donde la adquisición de los equipos principales mostrados en el [Anexo IV](#) está ligada a su capital de inversión inicial y su respectivo retorno de inversión.

Por otra parte, la generación, registro y compilación de datos propios, así como la red neuronal artificial para el reconocimiento de patrones que se desarrolló en este proyecto

también se alinean a la estrategia de la empresa, ya que su implementación habrá de permitir el desarrollo de nuevas herramientas de inteligencia artificial que permitirán dar un valor agregado a la materia prima que no cumple con la calidad para su exportación, facilitando además la toma de decisiones y enfocando así a los empleados a actividades realmente trascendentales que vayan más allá de la operación rutinaria y que permitan el enfoque en desarrollo humano e intelectual de los mismos.

Esto se asocia y empata a su vez con la red de valores que pretende crearse y fortalecerse con la construcción y operación de la planta multifuncional, explicada a detalle en la [Sección 1.5](#) con la que además se justifica y da pertinencia al proyecto aquí descrito; fortalecer la red de valores implica fortalecer los elementos de valor que pretenden ofrecerse con los servicios y productos generados por la empresa, al mismo tiempo que se genera riqueza económica e intelectual para la sociedad rural y para comunidad (Llano Cifuentes, 2015), lográndose además una sinergia ambiental con el entorno inmediato.

5. Discusión final

5.1. Consecuencias de la aplicación de la estrategia de innovación

Aunque no medible de momento, la presente propuesta de intervención ha logrado un impacto positivo en *Agrolmagen*, ya que ha generado nuevo conocimiento que ha estimulado a su vez a la concientización de sus integrantes para llevar a cabo un correcto registro de información que pueda utilizarse para generar nuevas herramientas de inteligencia artificial que puedan ir más allá del procesamiento de la frutilla y del uso de datos numéricos para su creación.

En este sentido, se pretende que para febrero del año 2023 puedan existir formatos y/o bases de datos donde sea posible registrar la información que se genera día con día, y que pueda empatarse o correlacionarse con la información obtenida en otras fuentes tales como *Agronometrics* con el propósito de facilitar la generación de nuevas herramientas de inteligencia artificial que estén alineadas con la estrategia general de la empresa.

Esta concientización ha estimulado además la detección de nuevas áreas de oportunidad y posibles primeras acciones para su intervención, mismas que se presentan en la siguiente sección y que también son consecuencias del conocimiento adquirido a lo largo del posgrado.

Es importante recordar que *Agrolmagen* comenzó operaciones recientemente y, por lo tanto, la propuesta de intervención que aquí se sugiere habrá de implementarse en un mediano o corto plazo; en este contexto, es muy importante destacar que una prueba fehaciente de una mejora o impacto positivo en la organización radica en que el presente documento representa y contiene el sustento, la viabilidad técnica y económica para la creación de una planta de procesamiento de frutas y hortalizas en la Región Valles de Estado de Jalisco, con los que podrá justificarse el proyecto ante instituciones gubernamentales, financieras y/o bancos al momento de solicitar créditos y/o recursos económicos para llevar a cabo la implementación de la presente propuesta de intervención.

Además, el algoritmo de programación y las herramientas de inteligencia artificial son parte fundamental del mérito innovador del proyecto, que fortalece los elementos principales de la red de valores de la organización y que serán los principales diferenciadores que se resaltarán al momento de presentar la propuesta ante las instituciones correspondientes con el

fin de adoptar la innovación mediante el uso de recursos tales como el de *storytelling* (Denning & Dunham, 2010).

5.1.1. Aspectos de mejora para intervenciones subsecuentes

La principal gran limitante para el desarrollo de la presente propuesta de intervención fue que, al momento de comenzar con el presente Trabajo de Obtención de Grado en agosto de 2020, *Agrolimagen* se encontraba aún en un proceso de adquisición de recursos para la construcción de los macro túneles donde actualmente se lleva a cabo la cosecha de frambuesa para su exportación. Esta primera limitante llevó a tomar la decisión de desarrollar el proyecto tomando como base uno de los principales *berries* generados en la región, el arándano azul.

Lo anterior no implicó gran problema en el sentido de que la organización tiene contemplada la plantación de varias hectáreas *blueberry* en los próximos meses. Sin embargo, la falta de un registro de datos propio de la sociedad, aunada a la falta de recursos para la generación de los mismos, llevó a la búsqueda, compilación y creación de una base de datos obtenida de diversas fuentes bibliográficas que, aunque modesta, pudo arrojar resultados que superaron en mucho las expectativas al momento de realizar la evaluación de la red neuronal artificial para el reconocimiento de patrones que se llevó a cabo durante la prueba de concepto.

De manera casi simultánea al proceso de preparación de datos y modelado, *Agrolimagen* comenzó con la plantación de frambuesa y el levantamiento de macro túneles en la comunidad de San Antonio Puerta de la Vega, Jalisco; desde entonces, tanto en la operación real diaria como en el desarrollo del proyecto se ha generado nuevo conocimiento y se han detectado algunas otras oportunidades de mejora en distintos rubros que podrían solucionarse con la posible implementación de herramientas adquiridas en el posgrado y que podrían brindar elementos de valor a la empresa que pudieran ser diferenciadores contra otras organizaciones dedicadas al cultivo de arándanos en la región.

A continuación, se expone y se abunda respecto a las áreas de oportunidad observadas en la empresa y algunas posibles propuestas para su intervención, habiendo algunas que ya se encuentran en dicho proceso para su mejoramiento.

5.1.1.1. Aspectos de mejora para la organización a nivel agro

A nivel agro, las principales áreas de oportunidad que se han detectado desde que *Agrolmagen* comenzó con la plantación, cultivo y cosecha de frambuesa tienen que ver con la operación rutinaria y la organización que existe en las distintas etapas de los procesos involucrados, mismas que poco a poco han ido adquiriendo forma.

En este sentido, se han detectado dos grandes aspectos de mejora que valdría la pena alinear con los objetivos del presente proyecto para implementar la propuesta de intervención una vez que se lleve a cabo la plantación y cosecha de arándano azul, pensando además en trasladar las herramientas de inteligencia artificial aquí desarrolladas a otros ámbitos y rubros. A continuación, se describen a profundidad las áreas de oportunidad detectadas en la organización y se proponen algunos puntos para su intervención.

5.1.1.1.1. Clasificación adecuada de materia prima segregada

Como era de esperarse, desde el inicio de la cosecha de frambuesa en las primeras semanas del mes de septiembre de 2022, comenzó a generarse una cantidad muy importante de producto que, de acuerdo con los estándares definidos por la empresa *Hortifrut*, no cumplen con la calidad para su exportación, y que tienen que ver principalmente con aspectos asociados a la sobre madurez de la frambuesa, a la contaminación por roya, a que la frutilla aun no se encuentra completamente madura o a que llega al proceso de envasado completamente destajada.

Bajo esta premisa, se recomienda clasificar la frutilla que no cumple con calidad de exportación y realizar el registro de la cantidad en kilogramos de la fruta que se segrega por estas razones, de acuerdo con sus defectos, para evaluar mediante normatividad nacional o extranjera (según la disponibilidad de las regulaciones) a qué procesos podría ligarse la materia prima según sus características. La ilustración 44 muestra una fotografía obtenida durante las primeras semanas de cosecha en campo donde es posible observar que la frambuesa generada dentro de los macro túneles de la empresa *Agrolmagen* es segregada sin llevar a cabo una clasificación de acuerdo con sus defectos.



Ilustración 44. Frambuesa de la variedad Pacific Centennial™ que se segrega en los campos de cultivo de la empresa Agrolmagen sin clasificación por defectos de acuerdo con estándares establecidos por Hortifrut; obsérvese fragmentos de frutilla destajada y con niveles muy altos y/o intermedios de madurez, (Fuente: Elaboración Propia).

5.1.1.1.2. Generación de registros y consolidación de bases de datos e imágenes

Si bien, actualmente hay un registro de datos relacionados con cantidades de producto cosechado y de producto segregado por no cumplir con la calidad de exportación (pero que no ha sido clasificado aún de acuerdo con sus defectos), no existe una base de datos digital en la que se consolide dicha información. En este sentido se recomienda generar una matriz en *Microsoft® Excel* que contenga, entre otros datos, fechas de recolección, cantidades de frutilla enviada a refrigeración para exportación, lotes y cantidades de producto que no cumple con los estándares de calidad para ser enviada al extranjero.

Se recomienda pues, una vez llevada a cabo la correcta clasificación de la materia prima que se segrega por no cumplir con la calidad para su exportación, generar una base de imágenes de esta frutilla muestreada al azar, (así como de la frutilla que sí cumple el estándar de calidad), con el objetivo de conservar registros de datos e imágenes que puedan analizarse eventualmente en una etapa de comprensión de los datos para evaluar si estos pudieran ser

utilizados para generar nuevas herramientas de inteligencia artificial que puedan facilitar la resolución de problemas dentro de la organización. Esta base de imágenes podría incluso construirse para los cultivos, surcos, plantas y frutilla en diferentes estadios de madurez, es decir, no limitarse solamente a la frambuesa una vez que ha sido cosechada.

Los Anexos V y VI presentan fotografías que se generaron en las primeras semanas de septiembre de 2022 en los campos de la empresa *AgrolImagen* durante la cosecha de frambuesa de la variedad *Pacific Centennial™*, y son ejemplos de bases de imágenes que podrían consolidarse para los fines antes mencionados. El [Anexo V](#) contiene imágenes de frambuesa que sí cumple con los estándares de exportación, mientras que el [Anexo VI](#) muestra fotografías de frutilla que fue segregada por defectos de color, forma, madurez y contaminación por roya; estas etiquetas podrían facilitar a una herramienta clasificar esta fruta segregada de acuerdo con las características anteriores.

Se han detectado posibles oportunidades para el uso de inteligencia artificial en los macro túneles de la organización; sin embargo, se pretende antes de dar un paso en falso, realizar un proceso de problematización y búsqueda de soluciones cercanas y lejanas como el realizado para el presente Trabajo de Obtención de Grado, de manera tal que la solución que pueda desarrollarse tenga un impacto importante en la empresa, buscando un mérito innovador en la misma propuesta que se pueda generarse.

5.1.1.2. Aspectos de mejora para la propuesta de intervención

Durante el desarrollo de la propuesta de intervención explicada a lo largo del presente documento fueron detectadas también varias áreas de oportunidad que motivaron a la toma de determinadas decisiones para el manejo de las mismas. Las siguientes secciones abundan más al respecto y especifican la manera en que se intervino (o se interviene actualmente) para el mejoramiento, afinación y robustecimiento del presente proyecto.

5.1.1.2.1. Creación de base de datos fisicoquímicos interna

En su momento, la creación de la herramienta de inteligencia artificial desarrollada para la presente propuesta de intervención tuvo que crearse a partir de datos bibliográficos, debido a que la empresa no contaba con un registro de datos interno y a que estos no podían determinarse de manera sencilla en el corto plazo, ya que la organización aún no entraba en

operaciones. Sin embargo, en el entendido que *Agrolmagen* habrá de plantar varias hectáreas de arándano azul para 2023, se recomienda comenzar con la creación de una base de datos fisicoquímicos interna que pueda generarse a partir de frutilla real que se obtenga de los campos de cultivo de la sociedad rural y que pueda muestrearse en diferentes estadios de madurez, contemplando además la caracterización de frutilla que comience a segregarse durante su cosecha y que se clasifique previamente de acuerdo con sus defectos.

Para dicho fin, se recomienda una caracterización en muestra representativas de arándano azul que contemplen los parámetros fisicoquímicos que se requieren como *inputs* en el código de programación presentado en el [Anexo III](#) (peso fresco, colorimetría CIE L*a*b, sólidos solubles), incluyendo la determinación de antocianinas en jugo de arándano de acuerdo con el método oficial 2005.02 de la AOCS que se utilizó para la evaluación de la red neuronal artificial mediante la prueba de concepto; la importancia de este último análisis radica en que eventualmente podrá correlacionarse con los resultados que las empresas dedicadas a la obtención de antocianinas puedan compartir con *Agrolmagen* y que realizan con el propósito de estandarizar su producto final.

Lo anterior fortalecerá la red de valores de la sociedad rural e impactará positivamente en el robustecimiento y afinamiento constate de la herramienta de inteligencia artificial (otra sugerencia para la mejora de este último punto se presenta en la siguiente sección). Bajo esta premisa, el montaje del método de la AOCS en cuestión, así como la adquisición de los equipos para la medición de los parámetros antes mencionados (los cuales son relativamente rápidos y fáciles de utilizar) se consideran muy importantes. Una alternativa para su realización (en caso de no disponer de un espacio adecuado para el montaje para la determinación rutinaria de estos parámetros o el recurso para la compra de los equipos) es la renta y uso de los equipos de los que dispone los laboratorios de ingeniería de alimentos del ITESO que se utilizaron para llevar a cabo la prueba de concepto y evaluación de la herramienta de inteligencia artificial.

5.1.1.2.2. Robustecimiento y afinamiento constante de la herramienta de inteligencia artificial

Debido a que la planta de procesamiento aún no se encuentra en funcionamiento (y en el entendido de que el despliegue de los procesos se llevará a cabo por etapas de acuerdo con

lo especificado en la [Sección 3.4 Consideraciones costo/beneficio](#)), la etapa final de despliegue contemplada por el ciclo de vida CRISP-DM no podrá llevarse a cabo de manera concreta hasta tener en funcionamiento todos los procesos industriales involucrados.

Esto no limita a la exploración de nuevos datos bibliográficos que puedan robustecer y afinar la red neuronal para reconocimiento de patrones de forma tal que los porcentajes de precisión puedan aumentar significativamente, generando incluso nuevos rangos (más altos y/o cerrados) de antocianinas totales que fortalezcan el elemento de valor con el cual se pretende establecer relaciones estratégicas con aquellas empresas interesadas en los compuestos antioxidantes disponibles en los residuos que se obtengan de los procesos industriales correspondientes.

En este sentido, se recomienda la exploración constante de nuevos artículos científicos para obtener información que pueda sumar más información a la tabla base analítica usada para el desarrollo de la herramienta de inteligencia artificial aquí propuesta.

5.1.1.2.3. Uso de *Python 3.8* como *software* de código abierto dentro de la organización

Si bien, *MATLAB® R2022a* (*software* utilizado para el desarrollo de la presente propuesta de intervención) es una plataforma de programación y cálculo muy utilizada por científicos e ingenieros para el análisis de datos, creación de modelos y algoritmos a nivel mundial (MathWorks, 2022), no es un *software* de libre distribución y uso como sucede con *Python 3.8* (Python Software Foundation, 2022), cuyo lenguaje de programación es actualmente el más popular de acuerdo con el índice de la comunidad de programación TIOBE (TIOBE Software BV, 2022).²⁵

En este contexto, un área de oportunidad detectada durante el desarrollo de la propuesta de intervención fue la de trasladar el algoritmo ya codificado en *MATLAB® R2022a* (presentado en el [Anexo III](#) del presente Trabajo de Obtención de Grado) al lenguaje de programación de *Python 3.8*, utilizando para ello alguno de sus respectivos entornos de desarrollo.

²⁵ El índice TIOBE se actualiza cada mes. Para septiembre de 2022 *Python* obtuvo el primer lugar de popularidad con un rating del 15.74% (seguido por el lenguaje de programación *C* y *Java*, con el 13.96% y el 11.72%, respectivamente). En el lugar 14, con un 1.06% de rating se ubicó *MATLAB*, que a pesar de lo anterior ha tenido un cambio positivo en su popularidad en los últimos 12 meses (TIOBE Software BV, 2022).

Lo anterior facilitará la ejecución de la herramienta de inteligencia artificial en la empresa y brindará la posibilidad de realizar el registro de la propiedad intelectual del y los desarrollos posteriores que se lleven a cabo en la organización.

Cabe señalar que esta situación fue el detonante para inscribir la asignatura electiva *Programación para el análisis de datos* en el último semestre de la Maestría en Ingeniería de Productos y Procesos (otoño 2022) en la que se planteó la construcción de un algoritmo *k-nearest neighbors (KNN)* en *Python 3.8* para comparar su efectividad contra la red neuronal artificial para reconocimiento de patrones desarrollada en *MATLAB® R2022a*.

5.2. Relevancia y trascendencia disciplinaria del caso

El presente proyecto se desarrolló a lo largo de los semestres que involucra la Maestría en Ingeniería de Productos y Procesos del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente en el periodo de tiempo que va desde agosto 2020 hasta diciembre 2022.

Cada una de las secciones que conforman el presente Trabajo de Obtención de Grado se construyeron a partir de actividades específicas que se realizaron en cada uno de los semestres de acuerdo con el programa de estudios del posgrado. Si bien, la mayoría de las actividades se fueron determinando semestre con semestre durante el curso de las cinco asignaturas de Investigación, Desarrollo e Innovación (IDI) que conforman la ruta curricular de estudios, las asignaturas del área fundamental y del área electiva del plan de estudios proporcionaron herramientas y conceptos que permitieron reforzar las propuestas del proyecto en general, mismas que se entrelazaron y/o correlacionaron de manera adecuada para crear una especie de sistema que propició la resolución de la problemática planteada y que quedó evidenciada en el desarrollo del presente documento.

La búsqueda de soluciones cercanas reforzó la propuesta de diseñar una planta multifuncional de procesamiento de frutas y hortalizas que se planteó a manera de anteproyecto; sin embargo, fue la problematización realizada durante las primeras etapas de las asignaturas de Investigación, Desarrollo e Innovación la que permitió enfocar del proyecto a la fruta que más impacto comercial y producción estaba teniendo en la Región Valles del Estado de Jalisco: el arándano azul.

Por otro lado, la asignatura de *Sustentabilidad de Productos y Procesos* influyó en el desarrollo de un pensamiento sistémico que facilitó la comprensión del impacto ambiental que el proceso de cultivo de arándano azul bajo el esquema de agricultura protegida estaba generando en la Región Valles con base en los supuestos establecidos utilizados para el análisis de su ciclo de vida, donde quedó demostrado que la etapa de almacenamiento en frío de la frutilla era la que más huella de carbono generaba en el proceso analizado; esto, aunado al concepto estudiado en la misma asignatura acerca de la creación de valor compartido con los actores involucrados, concientizó sobre la importancia de establecer relaciones cercanas con los agricultores de la región para lograr una adecuada segregación y entrega de la materia prima para su procesamiento inmediato.

Posteriormente, la asignatura electiva de *Gestión de la Innovación y Desarrollo Sostenible de la Empresa* fortaleció la inquietud de generar valor compartido y facilitó la comprensión de la importancia de alinear este concepto con la creación de una Red de Valores entre los actores involucrados de la organización con otras empresas interesadas, con el propósito de crear alianzas estratégicas y fortalecer los elementos de valor en los productos y servicios de la sociedad rural. Además, facilitó la comprensión del mérito innovador de la propuesta de intervención (analizada en IDI II) una vez que se llevó a cabo la búsqueda de soluciones lejanas, y brindó las herramientas para comprender la importancia de innovar constantemente en *Agrolmagen* para darle perpetuidad al negocio, tomando en cuenta la necesidad de generar riqueza (económica e intelectual) no solo para la empresa, sino también para los trabajadores y la sociedad (sin olvidar el medio ambiente y el entorno inmediato).

La búsqueda de estas soluciones lejanas (asociadas al uso de inteligencia artificial, tecnologías limpias y biotecnología) fue de gran importancia, pues permitió incorporar el elemento innovador en la propuesta de intervención, propiciando el involucramiento del proyecto en el área de la ciencia de datos, rubro ajeno al dominio y *expertise* del autor de este documento y de los miembros de la empresa, cuyas bases de conocimiento generaron durante el curso de la asignatura de *Simulación de productos, procesos y negocios* mediante el desarrollo de una red neuronal artificial para la formulación de mezclas sinérgicas de antioxidantes

naturales y optimización de parámetros asociados a la eficiencia de los compuestos y a su costo en uso respectivo.

Una vez que se incorporó el uso de herramientas de inteligencia artificial al proyecto de posgrado, se observó cómo las etapas del proceso de aplicación e intervención, además de empatar muy bien con el orden de los capítulos y secciones de este documento (así como con los temas de las asignaturas IDI del posgrado), cuadraban muy bien también con las etapas del ciclo de vida del proceso CRISP-DM para proyectos de ciencia de datos (ver Ilustración 17 en la [Sección 2.2. Conceptos y enfoques teóricos relacionados](#)), el cual se siguió de manera puntual para el desarrollo de la red neuronal artificial para reconocimiento de patrones que se estableció como parte clave del algoritmo desarrollado y que se fijó como pieza esencial para la realización de la prueba de concepto.

Siguiendo este flujo, el análisis de los datos recopilados para el modelado de la herramienta de inteligencia artificial se pudo llevar a cabo de manera adecuada gracias a la recapitulación de algunos conceptos de estadística impartidos en la asignatura electiva de *Diseño de Experimentos y Optimización*, que proporcionó también las herramientas para realizar el análisis estadístico de los datos obtenidos de manera experimental para la evaluación del algoritmo.

Estas herramientas, unidas al conocimiento adquirido durante el estudio de la carrera en ingeniería de alimentos y a la experiencia obtenida en la industria alimentaria, facilitaron la comprensión de los datos, de los datos arrojados por la red neuronal artificial y del negocio *per se*, agilizándose de esta manera la toma de decisiones, mismas que se consultaron de manera oportuna con los asesores y tutores involucrados en el desarrollo del proyecto.

La relevancia disciplinaria del caso es muy alta, pues las herramientas, temas y conceptos pudieron entrelazarse, correlacionarse, cohesionarse y alinearse de manera adecuada generando un sistema en el cual cada elemento fue de vital importancia para la resolución de la problemática planteada en este documento.

El proyecto además se considera trascendental porque la propuesta de intervención toma en cuenta elementos de sustentabilidad y logra empatarlos muy bien con el mérito

innovador de la misma; en este sentido, el proyecto se plantea bajo la premisa de generar riqueza para la comunidad (intelectual y económica), teniendo además un impacto positivo en el medio ambiente y dentro de la organización al aprovechar los residuos generados en el campo cuyos efectos pueden derivar en la generación de plagas y/u otros focos de infección que podrían afectar el rendimiento de los cultivos y la inocuidad de la frutilla, pero aprovechando también los residuos obtenidos una vez llevado a cabo el procesamiento de la frutilla a nivel industrial para la obtención de ingresos económicos que permitan cumplir con los objetivos económicos de la organización.

Así pues, fue en este contexto en que se desarrolló la propuesta de intervención para el uso de inteligencia artificial para el aprovechamiento y procesamiento industrial del arándano azul de calidad de no exportación que se produce bajo el esquema de agricultura protegida en la Región Valles del Estado de Jalisco, cuyo resultado en este momento se considera favorable (de acuerdo con lo observado en la prueba de concepto) pero del que se han reconocido varias áreas de oportunidad, varias de las cuales se están interviniendo actualmente para su alineación con los objetivos de la organización y del proyecto *per se*.

Referencias bibliográficas

- Agronometrics. (29-30 de Enero de 2022). *Agronometrics*. Obtenido de Market Updates - Week 3. 2022 [Jan 17 - Jan 23] - US Blueberries Market Update: <https://www.agronometrics.com/system/updates/20/3/2022/?units=KG>
- Aldrete. (29 de Abril de 2021). *Análisis de Ciclo de Vida de la Cuna a la Puerta del Arándano Azul (Vaccinium corybosum L) que se produce bajo el esquema de agricultura protegida en la Región Valles del Estado de Jalisco*. Tlaquepaque: ITESO - CANVAS - Sustentabilidad de Productos y Procesos. Obtenido de <https://www.dropbox.com/s/42ipfiziiz9o7x1/An%C3%A1lisis%20de%20Ciclo%20de%20Vida%20de%20Ar%C3%A1ndano%20Azul%20-%20Rom%C3%A1n%20Aldrete%20Olvera.pdf?dl=0>
- Aldrete, R. (2014). *Organización de ejidatarios y agricultores en la comunidad de San Antonio Puerta de la Vega*.
- Aldrete, R., Federico, N., Hermosillo, S., Martínez, M., & Vargas, S. (2020). *Propuestas de Mejora para Planta Procesadora de Alimentos de BAMX Tepatitlán*. Proyecto Final, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente, Departamento de Procesos Tecnológicos e Industriales. Obtenido de https://1drv.ms/b/s!AuzuwgBuVfM_yTia7iKnFqnkV5yL?e=Ial3hV
- Aliman, J., Michalak, I., Bušatlić, E., Aliman, L., Kulina, M., Radovic, M., & Hasanbegovic, J. (2020). Study of the physicochemical properties of highbush blueberry and wild bilberry fruit in central Bosnia. . *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*(44), 156–168. doi:10.3906/tar-1902-36
- Almquist, E., Senior, J., & Bloch, N. (Septiembre de 2016). The Elements of Value. *Harvard Business Review*, 46 -53.
- Amazon. (04 de Julio de 2022). *Amazon*. Recuperado el 04 de Julio de 2022, de Arándanos azules deshidratados marca Kirkland: https://www.amazon.com.mx/Ar%C3%A1ndanos-azules-deshidratados-marca-Kirkland/dp/B001VO9D0C/ref=asc_df_B001VO9D0C/?tag=gledskshopmx-20&linkCode=df0&hvadid=511873077998&hvpos=&hvnetw=g&hvrnd=16688096435745890628&hvpone=&hvpstwo=&hvpmt=&hvdev=c&hvdvcmld=&hvl
- Aquino-Mercado, P., Cuevas-Alvarado, C., & Carrillo-Arévalo, K. (2017). *Asociación de Técnicos Azucareros de México, A.C*. Recuperado el 23 de Abril de 2022, de Balance de las emisiones de gases y partículas de la quema de caña de azúcar en México: <https://www.atamexico.com.mx/wp-content/uploads/2017/11/11-F%C3%A1brica.pdf>
- Beijing Technology and Business University. (2020). *Google Patents*. Recuperado el 24 de Abril de 2022, de CN111972486A - China - Combined drying method for blueberries: <https://patents.google.com/patent/CN111972486A/en?q=CN111972486A+>
- Biasi, L., Sousa Medeiros, J., de Bona, C., & Cuquel, F. (Junio de 2018). Phenology, production and quality of blueberry produced in humid subtropical climate. *Revista Brasileira de Fruticultura*.(40). doi:10.1590/0100-29452018520

- Blue Books Services, Inc. (06 de Enero de 2021). *Blue Books Services, Inc.* Recuperado el 20 de Febrero de 2022, de U.S. and international blueberry companies form coalition to oppose limitations on imports: <https://www.producebluebook.com/2021/01/06/u-s-and-international-blueberry-companies-form-coalition-to-oppose-limitations-on-imports/#>
- Bukhari, M. (04 de Abril de 2015). *The MathWorks, Inc.* Obtenido de MATLAB Answers: How to analyse the performance of Neural Network using Neural Network Toolbox? The performance and training state graphs are attached. Kindly Check.: <https://la.mathworks.com/matlabcentral/answers/181543-how-to-analyse-the-performance-of-neural-network-using-neural-network-toolbox-the-performance-and-t>
- Carrillo, M. (09 de Enero de 2020). *Blueberries Consulting.* Recuperado el 22 de Mayo de 2022, de Jalisco sigue liderando la producción de arándanos en México: <https://blueberriesconsulting.com/jalisco-sigue-liderando-la-produccion-de-arandanos-en-mexico/>
- Carrillo, M. (1 de Octubre de 2020). *Blueberry Magazine Consulting.* Obtenido de Jalisco continues to lead blueberry production in Mexico: <https://www.blueberriesconsulting.com/en/jalisco-sigue-liderando-la-produccion-de-arandanos-en-mexico/>
- CEA Jalisco. (29 de Enero de 2022). *Comisión Estatal del Agua Jalisco.* Obtenido de Región 11 Valles: <http://info.ceajalisco.gob.mx/region11.html>
- Cera, J., Cuellar, J. L., Rodríguez-Roque, M. J., Parra-Quezada, R., Soto Caballero, M., Pérez-Leal, R., & Cruz Álvarez, O. (2018). Vegetative Growth and Quality of Blueberry Fruit Cultivated in Chihuahua, Mexico. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 2(47). doi:10.15835/nbha47111245
- Cervantes Ceja, M. L. (2009). *Potencial Nutracéutico de Cultivos de Arándano (Vaccinium spp.) seleccionados en México.* Tesis de Posgrado, Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Química, Querétaro.
- China Inspection Testing Technology Co Ltd. (2019). *Google Patents.* Recuperado el 24 de Abril de 2022, de CN110092772A - China - A kind of highly selective separation method of blueberry anthocyanin and separation material: <https://patents.google.com/patent/CN110092772A/en?q=CN110092772A>
- Choisy, P., & Guenault, E. (2016). *Google Patents.* Recuperado el 24 de Abril de 2022, de WO2018050504A1 - WIPO (PCT) - Blue powder and use thereof in cosmetics: <https://patents.google.com/patent/WO2018050504A1/en?q=WO2018050504A1>
- Coronado Maldonado, M. (2005). *TRIZ, la metodología más moderna para inventar o innovar tecnológicamente de manera sistemática.* México: Panorama Editorial S.A. de C.V.
- Cortés-Rojas, M. E., Mesa-Torres, P. A., Grijalba-Rativa, C. M., & Pérez-Trujillo, M. M. (28 de Marzo de 2016). Yield and fruit quality of the blueberry cultivars Biloxi and Sharpblue in Guasca, Colombia. *Agronomía Colombiana*, 34(1).

- Denning, P., & Dew, N. (Diciembre de 2015). Why Our Theories of Innovation Fail Us. *Communications of the ACM*, 58(12), 24-26. doi:10.1145/2835854
- Denning, P., & Dunham, R. (2010). *The Innovator's Way: Essential Practices for Successful Innovation*. London: The MIT Press.
- Durance, T. D., Vaghri, Z., Scaman, C. H., Kitts, D. D., Wang, J. H., & Hu, C. (2000). *Google Patents*. Recuperado el 24 de Abril de 2022, de US6312745B1 - United States - Process for dehydration of berries: <https://patents.google.com/patent/US6312745B1/en?q=US6312745B1>
- Ehlenfeldt, M. K., Rowland, L. J., & Polashock, J. J. (11 de Marzo de 2022). Fertile Intersectional Hybrids of 4x Andean Blueberry (*Vaccinium meridionale*) and 2x Lingonberry (*V. vitis-idaea*). *HortScience*, 57(4). doi:10.21273/HORTSCI16285-21
- Estrategia aduanera. (19 de Enero de 2021). *Estrategia aduanera*. Recuperado el 26 de Agosto de 2021, de México y la exportación de arándanos azules: <https://www.estrategiaaduanera.mx/mexico-y-la-exportacion-de-arandanos-azules/>
- Evans, E. A., & Ballen, F. H. (9 de Mayo de 2019). *University of Florida - IFAS Extension*. Obtenido de An overview of US Blueberry production, trade, and consumption, with special reference to Florida: <https://edis.ifas.ufl.edu/publication/fe952>
- Fall Creek Farm & Nursery, Inc. (20 de Febrero de 2022). *Fall Creek Farm & Nursery, Inc.*. Obtenido de AtlasBlue® 'FCM12-045' - ES: <https://www.fallcreeknursery.com/es/productores-de-frutas-comerciales/variedades/atlasblue-fcm12-045>
- Fall Creek Farm & Nursery, Inc. (20 de Febrero de 2022). *Fall Creek Farm & Nursery, Inc.*. Obtenido de JupiterBlue® 'FCM12-131' - ES: <https://www.fallcreeknursery.com/es/productores-de-frutas-comerciales/variedades/jupiterblue-fcm12-131>
- FAO. (2005). *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. Recuperado el 28 de Junio de 2022, de Norma General del Codex para zumos (jugos) y néctares de frutas (CODEX STAN 247-2005): https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/es/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252Fstandards%252FCXS%2B247-2005%252FCXS_247s.pdf
- FAO. (2009). *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. Recuperado el 27 de Junio de 2022, de Norma para las confituras, jaleas y mermeladas CXS 296-2009 (Adoptada en 2009. Enmendada en 2017, 2020.): https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252Fstandards%252FCXS%2B296-2009%252FCXS_296s.pdf
- FruitFast. (10 de Julio de 2022). *FruitFast*. Recuperado el 10 de Julio de 2022, de Wild Blueberry Juice Concentrate (32 oz): <https://www.fruitfast.com/wild-blueberry-juice-concentrate-quart-32-oz.html>

- Gallegos, A. (22 de Julio de 2019). *El Informador*. Obtenido de Economía: Jalisco exporta 60% de las berries nacionales: <https://www.informador.mx/economia/Jalisco-exporta-60-de-las-berries-nacionales-20190722-0119.html>
- Giant Eagle, Inc. (09 de Julio de 2022). *Giant Eagle*. Recuperado el 09 de Julio de 2022, de Smucker'S Fruit Spread, Blueberry NET WT 17.25 OZ (1 LB 1.25 OZ) 489g: <https://shop.gianteagle.com/wadsworth/search/product/00051500782279>
- Google Maps. (03 de Abril de 2022). *Google Maps*. Recuperado el 03 de Abril de 2022, de San Antonio Puerta de la Vega, Jalisco a Guadalajara, Jalisco: <https://www.google.com/maps/dir/San+Antonio+Puerta+de+la+Vega,+Jal/Guadalajara/@20.609786,-103.9108279,10z/data=!3m1!4b1!4m13!4m12!1m5!1m1!1s0x84260b3b97354373:0xa275711040045f3a!2m2!1d-103.8984492!2d20.5910319!1m5!1m1!1s0x8428b18cb52fd39b:0xd63d9302bf865>
- Guangzhou Institute of Biomedicine and Health of CAS. (2013). *Google Patents*. Recuperado el 24 de Febrero de 2022, de CN104543817A - China - Blueberry seed powder as well as preparation method and application of blueberry seed powder: <https://patents.google.com/patent/CN104543817A/en>
- Guangzhou Institute of Biomedicine and Health of CAS. (2013). *Google Patents*. Recuperado el 24 de Abril de 2022, de CN104560378A - China - Blueberry seed oil as well as preparation method and application thereof: <https://patents.google.com/patent/CN104560378A/en?q=CN104560378A>
- Guiné, R., Gonçalves, C., Gonçalves, F., & Costa, D. (2015). Physical-chemical properties of blueberry as influenced by production and conservation processes. *ICEUBI2015 – International Conference of Engineering: Engineering for Society*. Covilhã, Portugal. Obtenido de Physical-chemical properties of blueberry as influenced by production and conservation processes. : https://www.researchgate.net/publication/296969595_Physical-chemical_properties_of_blueberry_as_influenced_by_production_and_conservation_processes/link/56dc21a308aebabdb4141d32/download
- Guizhou Aerospace Wujiang Electro Mechanical Equipment Co Ltd. (2017). *Google Patents*. Recuperado el 24 de Abril de 2022, de CN108085127A - China - A kind of method for extracting blueberry seed oil: <https://patents.google.com/patent/CN108085127A/en>
- Gündüz, K., Serce, S., & Hancock, J. (2014). Variation among highbush and rabbiteye cultivars of blueberry for fruit quality and phytochemical characteristics. *Journal of Food Composition and Analysis*, 38. doi:10.1016/j.jfca.2014.09.007.
- Gutiérrez Pulido, H., & De la Vara Salazar, R. (2008). *Análisis y Diseño de Experimentos (Segunda Edición)*. México: McGraw Hill/Interamericana.
- Hancock, J. F., & Millas, T. D. (12 de Enero de 2022). Inheritance of Resistance to Anthracnose Fruit Rot Caused by *Colletotrichum fioriniae* in Highbush Blueberry. *International Journal of Fruit Science*, 22(1), 160-169. doi:10.1080/15538362.2021.2022567

- Heeg, T. (2004). *Google Patents*. Recuperado el 24 de Abril de 2022, de JP2011045372A - Japan - Berry oil and product:
<https://patents.google.com/patent/JP2011045372A/en?q=JP2011045372A>
- Hernández, D. (2014). *Estudio Nutricional de Arándano Azul (Vaccinium corymbosum L.) cv. Biloxi en Los Reyes, Michoacán*. Tesis de Posgrado, Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas, Texcoco. Obtenido de
https://cdn.blueberriesconsulting.com/2015/09/pdf_320.pdf
- Hernández, I., Bautista, P., & Juárez, N. (2017). Evaluación de calidad del fruto de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) var. Biloxi, en dos regiones del estado de Oaxaca. *Especial CIVITEC*, 6, 256-273. Obtenido de
<https://revistas.unica.mx/index.php/uciencia/article/view/797>
- Hortifrut. (2020). *Hortifrut*. Recuperado el 08 de Abril de 2022, de Pacific Centennial:
<https://hortifrut.com/es/innovacion/desarrollo-genetico/pacific-centennial/>
- Hwang, H., Kim, Y.-J., & Shin, Y. (26 de Mayo de 2020). Assessment of Physicochemical Quality, Antioxidant Content and Activity, and Inhibition of Cholinesterase between Unripe and Ripe Blueberry Fruit. *Foods*(9). doi:10.3390/foods9060690
- IBM Cloud Education. (17 de Agosto de 2020). *IBM*. Recuperado el 24 de Abril de 2022, de IBM Cloud Learn Hub: ¿Qué son las redes neuronales?: <https://www.ibm.com/mx-es/cloud/learn/neural-networks>
- IIEG. (2021). *Ameca: Diagnóstico del Municipio - Agosto 2021*. Zapopan: Instituto de Información Estadística y Geográfica de Jalisco. Recuperado el 03 de Abril de 2022, de <https://iieg.gob.mx/ns/wp-content/uploads/2021/10/Ameca.pdf>
- InfoRural. (17 de Febrero de 2020). *InfoRural*. Recuperado el 08 de Abril de 2022, de Berry Lovers abre planta de arándanos en Tala, Jalisco: <https://www.inforural.com.mx/berry-lovers-abre-planta-de-arandanos-en-tala-jalisco/>
- Innova Market Insights. (13 de Octubre de 2021). *Innova Market Insights*. Recuperado el 20 de Febrero de 2022, de “Shared Planet” lidera las diez principales tendencias de Innova Market Insights para 2022: <https://www.innovamarketinsights.com/press-release/shared-planet-leads-innova-market-insights-top-ten-trends-for-2022/>
- Jiangnan University. (2014). *Google Patents*. Recuperado el 24 de Abril de 2022, de CN104256801A - China - Method for increasing juice yield and anthocyanidin content of blueberry pulp:
<https://patents.google.com/patent/CN104256801A/en?q=CN104256801A>
- Jorquera-Fontena, E., Génard, M., Ribera-Fonseca, A., & Franck, N. (2017). A simple allometric model for estimating blueberry fruit weight from diameter measurements. *Scientia Horticulturae*. doi:10.1016/j.scienta.2017.03.009
- Judin, V.-P., & Larmo, P. (2012). *Google Patents*. Recuperado el 24 de Abril de 2022, de EP2749288A2 - European Patent Office - Kapsel und Zusammensetzung mit Samenöl:
<https://patents.google.com/patent/EP2749288A2/de?q=EP2749288A2+>

- Kalt, W. (Marzo de 2020). Recent Research on the Health Benefits of Blueberries and Their Anthocyanins. *Advances in Nutrition*, 11(2), 224–236.
- Kalt, W., Cassidy, A., Howard, L. R., Krikorian, R., Stull, A. J., Tremblay, F., & Zamora-Ros, R. (Julio de 2019). Recent Research on the Health Benefits of Blueberries and Their Anthocyanins. *Advances in Nutrition*, 11(2), 224–236. doi:10.1093/advances/nmz065
- Kelleher, J. D., & Tierney, B. (2021). *Ciencia de Datos*. Santiago: Massachusetts Institute of Technology / Ediciones Universidad Católica de Chile .
- Kim, J. G. (2013). Fruit quality, anthocyanin and total phenolic contents, and antioxidant activities of 45 blueberry cultivars grown in Suwon, Korea. *Journal of Zhejiang University. Science. B*, 14(9), 793-799. doi:10.1631/jzus.B1300012
- Kim, P. (2017). *MATLAB Deep Learning: With Machine Learning, Neural Networks and Artificial Intelligence*. Seoul: Apress.
- Kretzschmar, N., & Chekurov, S. (2018). Manufacturing, The Applicability of the 40 TRIZ Principles in Design for Additive. En *Proceedings of the 29th DAAAM International Symposium* (págs. 888-893). Vienna: DAAAM International.
- Lazo-Aguirre, W. (2019). Espectroscopia infrarrojo y técnicas de machine learning y deep learning para la detección y clasificación de arándanos. *Pueblo Continente*, 30(2), 555-570. Obtenido de <http://journal.upao.edu.pe/PuebloContinente/article/download/1363/1171>
- Lee, J., & Wrolstad, R. E. (2006). Extraction of Anthocyanins and Polyphenolics from Blueberry Processing Waste. *Journal of Food Science*, 69(7), 564–573. doi:10.1111/j.1365-2621.2004.tb13651.x
- Liang, Z., Sang, M., Fan, P., Wu, B., L, W., Yang, S., & Li, S. (2011). CIELAB Coordinates in Response to Berry Skin Anthocyanins and Their Composition in Vitis. *Journal of Food Science*, 76(3). doi:10.1111/j.1750-3841.2011.02095.x
- Lin, Y., Huang, G., Zhang, Q., Wang, Y., & Meng, X. (Abril de 2020). Ripening affects the physicochemical properties, phytochemicals and antioxidant capacities of two blueberry cultivars. *Postharvest Biology and Technology*, 162. doi:10.1016/j.postharvbio.2019.111097.
- Llano Cifuentes, C. (2015). *Dilemas éticos en la empresa contemporánea*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Lyrene, P., Ferrão, L. F., & Sater, H. (Agosto de 2022). Terpene volatiles mediates the chemical basis of blueberry aroma and consumer acceptability. *Food Research International*, 158. doi:10.1016/j.foodres.2022.111468
- MathWorks. (2022). *The MathWorks, Inc*. Recuperado el 25 de Abril de 2022, de Fill missing values: <https://la.mathworks.com/help/matlab/ref/fillmissing.html#d123e442301>
- MathWorks. (05 de Julio de 2022). *The MathWorks, Inc*. Obtenido de Plot classification confusion matrix: <https://la.mathworks.com/help/deeplearning/ref/plotconfusion.html>

- MathWorks. (2022). *The MathWorks, Inc.* Recuperado el 01 de Octubre de 2022, de MATLAB: Visión General: <https://la.mathworks.com/products/matlab.html>
- Matsko Hood, K. J. (2014). *Blueberry Delights Cookbook: A Collection of Blueberry Recipes (Cookbook Delights Series 2)*. Washington: Whispering Pine Press International, Inc.
- McKinsey & Company. (2022). *McKinsey & Company*. Recuperado el 24 de Abril de 2022, de The top trends in tech. Trend 5: Applied AI - Technology Deep Dive: Computer Vision/NLP/Speech Tech: <https://www.mckinsey.com/business-functions/mckinsey-digital/our-insights/the-top-trends-in-tech>
- MIDE. (2 de Febrero de 2021). *Gobierno del Estado de Jalisco. Secretaría de Planeación y Participación Ciudadana*. Obtenido de Monitoreo de Indicadores del Desarrollo de Jalisco: Hectáreas de berries (Reportado al 31/12/2018): <https://seplan.app.jalisco.gob.mx/mide/panelCiudadano/detalleIndicador/1278?temaEamental=1&format=&sortBusqueda=1&max=10&offset=0&vista=1&subsistema=1&accionRegreso=busqueda>
- MIDE. (29 de Enero de 2022). *Monitoreo de Indicadores del Desarrollo de Jalisco*. Obtenido de Hectáreas de berries - Ficha de Indicador (Reportado al 31/12/2019): https://mide.jalisco.gob.mx/mide/reporte/ficha_indicador/1278
- Minitab®2018. (2022). *Soporte de Minitab®2018*. Recuperado el 29 de Abril de 2022, de Revisión general de Análisis de componentes principales: <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/modeling-statistics/multivariate/how-to/principal-components/before-you-start/overview/>
- Moggia, C., González, C., Lobos, G., Bravo, C., Valdés, M., Lara, I., & Graell, J. (Abril de 2018). Changes in quality and maturity of 'Duke' and 'Brigitta' blueberries during fruit development: postharvest implications. *Acta Horticulturae*(1194), 1495-1501. doi:10.17660/ActaHortic.2018.1194.209
- Molina, J., Calvo, D., Medina, J., Barrau, C., & Romero, F. (2008). Fruit quality parameters of some southern highbush blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.) grown in Andalusia (Spain). *Spanish journal of agricultural research*, 671-676. . doi:10.5424/sjar/2008064-359
- Nix Sensor Ltd. (2022). *Nix Color Sensor*. Recuperado el 11 de Septiembre de 2022, de How do you Measure Color Accuracy?: <https://www.nixsensor.com/blog/measure-color-accuracy/>
- Notimex. (16 de Mayo de 2016). *Blueberries Magazine Consulting*. Obtenido de Mexico: Jalisco exports 90% of its berries: <https://blueberriesconsulting.com/en/mexico-jalisco-exporta-el-90-de-sus-berries/>
- Obregón Domínguez, J. A. (09 de Marzo de 2018). *Registro Nacional de Trabajos de Investigación*. Recuperado el 25 de Abril de 2022, de Beneficio de redes neuronales en el modelamiento de la optimización del pre-tratamiento osmótico en mermelada de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) variedad Biloxi: <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/2696129>

- OECD; Eurostat. (2018). *Oslo Manual 2018: Guidelines for Collecting, Reporting and Using Data on Innovation (4th Edition)*. Luxembourg: OECD Publishing/Eurostat.
- Ogden, A. B., & van Iersel, M. W. (Diciembre de 2009). Southern Highbush Blueberry Production in High Tunnels: Temperatures, Development, Yield, and Fruit Quality During the Establishment Years. *HortScience*, 44(7), 1850-1856. doi:10.21273/HORTSCI.44.7.1850
- Ordóñez-Díaz, J., Pereira-Caro, G., Cardeñosa, V., Muriel, J., & Moreno-Rojas, J. (2020). Study of the Quality Attributes of Selected Blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) Varieties Grown under Different Irrigation Regimes and Cultivation Systems. *Applied Sciences*, 10(23). doi:10.3390/app10238459
- Paluszek, M., & Thomas, S. (2019). *MATLAB Machine Learning Recipes: A Problem-Solution Approach*. Plainsboro: Apress.
- Porter, M. E., & Kramer, M. R. (Enero - Febrero de 2011). The Big Idea: Creating Shared Value. *Harvard Business Review*, 62-77.
- Prior, R., Cao, G., Martin, A., Sofic, E., McEwen, J., O'Brien, C., . . . Kalt, W. K. (19 de Junio de 1998). Antioxidant Capacity As Influenced by Total Phenolic and Anthocyanin Content, Maturity, and Variety of *Vaccinium* Species. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2686–2693. doi:10.1021/jf980145d
- Proceso. (03 de Noviembre de 2004). *Revista Proceso*. Recuperado el 03 de Noviembre de 2022, de Alertan contra sobreproducción de agave, en Jalisco: <https://www.proceso.com.mx/nacional/2004/11/3/alertan-contra-sobreproduccion-de-agave-en-jalisco-61949.html>
- Python Software Foundation. (2022). *Python*. Recuperado el 01 de Octubre de 2022, de About Python: <https://www.python.org/about/>
- Rantanen, K., Conley, D. W., & Domb, E. R. (2018). *Simplified TRIZ: New Problem Solving Applications for Technical and Business Professionals* (Third ed.). Productivity Press.
- Redpath, L., Gumpertz, M., Ballington, J., Bassil, N., & Ashrafi, H. (2021). Genotype, Environment, Year, and Harvest Effects on Fruit Quality Traits of Five Blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) Cultivars. *Agronomy*(9). doi:10.3390/agronomy11091788
- Retamales, J., & Hancock, J. (2018). *Blueberries (2nd Edition)*. *Crop Production Science in Horticulture*. Cab International.
- Ribera, A., Reyes-Díaz, M., Alberdi, M., Zuñiga, G., & Mora, M. (Diciembre de 2009). Antioxidant compounds in skin and pulp of fruits change among genotypes and maturity stages in highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) grown in southern Chile. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 10(4), 509-536. doi:10.4067/S0718-95162010000200010
- Rodrigues, L., Souza, D., Silva, E., Oliveira, T., & Lima, J. (2017). Physical and chemical characterization and quantification of bioactive compounds in berries and berry jams. *Ciências Agrárias*, 38(4), 1853-1864. doi:10.5433/1679-0359.2017v38n4p1853
- Rodríguez, N. H. (20 - 21 de Febrero de 2021). Comunicación personal con Ingeniero de la empresa "Berry Lovers" ubicada en Tala, Jalisco. (R. A. Olvera, Entrevistador)

- Rodríguez, N. H. (22 de Febrero de 2022). Segunda comunicación personal con Ingeniero de la empresa "Berry Lovers" ubicada en Tala, Jalisco. (R. Aldrete Olvera, Entrevistador)
- Rodríguez-Madrera, R., Suárez-Valles, B., Campa-Negrillo, A., & Ferreira-Fernández, J. (21 de Octubre de 2019). Physicochemical characterization of blueberry (*Vaccinium* spp.) juices from 55 cultivars grown in Northern Spain. *Acta Alimentaria*, 260-268. doi:10.1556/066.2019.48.2.14
- Roewer, N., & Jens, B. (2013). *Google Patents*. Recuperado el 24 de Abril de 2022, de EP2854553A1 - European Patent Office - Verwendung von delphinidin gegen staphylococcus aureus: <https://patents.google.com/patent/EP2854553A1/de>
- Rowland, L. J., Edger, P. P., Bassil, N. V., & Benevenuto, J. (11 de Abril de 2022). There and back again; historical perspective and future directions for *Vaccinium* breeding and research studies. *Horticulture Research*, 9. doi:10.1093/hr/uhac083
- Saftner, R., Polashock, J., Ehlenfeldt, M., & Vinyard, B. (Julio de 2008). Instrumental and sensory quality characteristics of blueberry fruit from twelve cultivars. *Postharvest Biology and Technology*, 49(1), 19-26. doi:10.1016/j.postharvbio.2008.01.008
- Salmerón, R. M. (5 de Febrero de 2022). *Síntesis Digital*. Recuperado el 13 de Febrero de 2022, de Bebidas endulzadas y su relación con el sobrepeso y obesidad en México: <https://sintesis.com.mx/puebla/2022/02/05/bebidas-endulzadas-relacion/>
- Savkín, A. (31 de Enero de 2020). *BSC Designer*. Recuperado el 21 de Junio de 2022, de Marco de Análisis VRIO para la Planificación Estratégica: <https://bscdesigner.com/es/analisis-vrio.htm>
- Scalzo, J., Stevenson, D., & Hedderley, D. (2013). Blueberry estimated harvest from seven new cultivars: Fruit and anthocyanins. *Food Chemistry*, 139(1-4), 44–50. doi:10.1016/j.foodchem.2013.01.091
- Siegel, S., Mavric, E., & Krammer, G. (2008). *Google Patents*. Recuperado el 24 de Abril de 2022, de US20090041872A1 - United States - Encapsulated *Vaccinium* Extracts with Balanced Gastrointestinal Release: <https://patents.google.com/patent/US20090041872A1/en?q=US20090041872A1>
- Singh, D. &. (2017). Blueberry-An Option for Fruit Crop Diversification Under Mid-hills. *Indian Journal of Ecology*, 44(6), 677-680. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/336057201_Blueberry-An_Option_for_Fruit_Crop_Diversification_Under_Mid-hills_Manuscript_Number_NAAS_Rating_496_142/link/5d8c58f9a6fdcc25549a5587/download
- Skrede, G., Wrolstad, R. E., & Durst, R. W. (2000). Changes in Anthocyanins and Polyphenolics During Juice Processing of Highbush Blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.). *Journal of Food Science*, 65(2), 357–364. doi:10.1111/j.1365-2621.2000.tb16007.x
- Skrede, G., Wrolstad, R., & Durst, R. (2000). Changes in Anthocyanins and Polyphenolics During Juice Processing of Highbush Blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.). *Journal of Food Science*, 65(2), 357–364. doi:10.1111/j.1365-2621.2000.tb16007.x

- Song, J., Shi, Q., Yan, S.-M., Fu, H.-Y., Wu, S.-Z., & Xu, L. (2020). Classification of Different Blueberry Cultivars by Analysis of Physical Factors, Chemical and Nutritional Ingredients, and Antioxidant Capacities. *Journal of Food Quality*, 2020, 9.
- Sousa Medeiros, J. G., de Bona, C. M., Cuquel, F., & Biasi, L. A. (2017). Performance of blueberry cultivars under mild winter conditions. *Ciência Rural*, 47(9). doi:10.1590/0103-8478cr20160795
- Strik, B. C., & Davis, A. J. (16 de Junio de 2022). Pruning Method and Trellising Impact Hand- and Machine-harvested Yield and Costs of Production in 'Legacy' Highbush Blueberry. *HortiScience*, 57(7). doi:10.21273/HORTSCI16640-22
- TecnoAgro. (20 de Febrero de 2019). *TecnoAgro: Avances Tecnológicos y Agrícolas*. Obtenido de Producción de arándano en México (Revista Tecnoagro No. 135.): <https://tecnoagro.com.mx/no.-135/produccion-de-arandano-en-mexico>
- Tecnología Hortícola. (13 de Febrero de 2022). *Tecnología Hortícola*. Obtenido de ¿Cómo lograr la máxima calidad en frutos de arándanos?: <https://www.tecnologiahorticola.com/maxima-calidad-frutos-arandanos/>
- TIOBE Software BV. (Septiembre de 2022). *TIOBE: The software quality company*. Recuperado el 01 de Octubre de 2022, de TIOBE Index for September 2022: <https://www.tiobe.com/tiobe-index/>
- Tomra. (08 de Abril de 2022). *Tomra Fresh Food*. Obtenido de LUCAi Inteligencia Artificial: <https://bbctechnologies.cl/es/technology/artificial-intelligence/>
- Tomra. (08 de Abril de 2022). *Tomra Fresh Food*. Recuperado el 08 de Abril de 2022, de Clasificación y Clasificación: <https://bbctechnologies.cl/es/technology/sorting-grading/>
- USDA. (01 de Abril de 2019). *U.S. Department of Agriculture*. Recuperado el 26 de Junio de 2022, de Blueberries, dried, sweetened (SR Legacy, 168158): <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/168158/nutrients>
- Van Hoed, V., De Clercq, N., Echim, C., Andjelkovic, M., Leber, E., Dewettinck, K., & Verhé, R. (2009). Berry seeds: a source of specialty oils with high content of bioactives and nutritional value. *Journal of food lipids*, 16(1). doi:10.1111/j.1745-4522.2009.01130.x
- Vieira, L. M. (2019). Chromatic analysis for predicting anthocyanin content in fruits and vegetables. *Food Science and Technology*. doi:10.1590/fst.32517
- Vilela, A., Gonçalves, B., Ribeiro, C., Fonseca, A., Correia, S., Fernandes, H., . . . Silva, A. (02 de Enero de 2016). Study of Textural, Chemical, Color and Sensory Properties of Organic Blueberries Harvested in Two Distinct Years: A Chemometric Approach. *Journal of Texture Studies*, 47(3). doi:doi.org/10.1111/jtxs.12173
- WIPO. (2011). *Google Patents*. Recuperado el 24 de Abril de 2022, de WO2013055048A1 - WIPO (PCT) - Method for extracting blueberry, and methods for manufacturing a beverage and a tablet containing blueberry: <https://patents.google.com/patent/WO2013055048A1/en?q=WO2013055048A1>

- Yuan, B.-Z., & Sun, J. (20 de Diciembre de 2021). Bibliometric analysis of blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) research publications based on Web of Science. *Food Science and Technology*. doi:10.1590/fst.96321
- Zee, F., Hummer, K., Nishijima, W., Kai, R., Strauss, A., Yamasaki, M., & Hamasaki, R. (Febrero de 2006). Preliminary Yields of Southern Highbush Blueberry in Waimea, Hawai'i. (U. o. Hawaii, Ed.) *Fruit, Nut, and Beverage Crops*. Obtenido de <https://scholarspace.manoa.hawaii.edu/items/04b8f963-1a77-4835-babf-90abf20588f5>
- Zúñiga Hansen, M. E., Poirrier González, P., & Soto Maldonado, C. (2012). *Google Patents*. Recuperado el 24 de Abril de 2022, de WO2013171545A1 - WIPO (PCT) - Commercial process for the recovery of phenolic compounds with antioxidant capacity from waste from the berry-processing industry: <https://patents.google.com/patent/WO2013171545A1/en?q=WO2013171545A1>
- 홍성애. (2007). *Google Patents*. Recuperado el 24 de Abril de 2022, de KR100883862B1 - South Korea - Method for production of fermented liquor with blueberry: <https://patents.google.com/patent/KR100883862B1/en>

Índice de figuras

Ilustración 1.....	12
Ilustración 2.....	13
Ilustración 3.....	14
Ilustración 4.....	20
Ilustración 5.....	21
Ilustración 6.....	23
Ilustración 7.....	24
Ilustración 8.....	27
Ilustración 9.....	29
Ilustración 10.....	35
Ilustración 11.....	37
Ilustración 12.....	38
Ilustración 13.....	39
Ilustración 14.....	40
Ilustración 15.....	42
Ilustración 16.....	44
Ilustración 17.....	46
Ilustración 18.....	51
Ilustración 19.....	57
Ilustración 20.....	59
Ilustración 21.....	62
Ilustración 22.....	64
Ilustración 23.....	67
Ilustración 24.....	71
Ilustración 25.....	75
Ilustración 26.....	75
Ilustración 27.....	76
Ilustración 28.....	79
Ilustración 29.....	84
Ilustración 30.....	84
Ilustración 31.....	85
Ilustración 32.....	86
Ilustración 33.....	88
Ilustración 34.....	89
Ilustración 35.....	91
Ilustración 36.....	104
Ilustración 37.....	109
Ilustración 38.....	111
Ilustración 39.....	113
Ilustración 40.....	115
Ilustración 41.....	117
Ilustración 42.....	121

Ilustración 43..... 125

Ilustración 44..... 136

Índice de tablas

Tabla 1.	10
Tabla 2.	11
Tabla 3.	16
Tabla 4.	63
Tabla 5.	72
Tabla 6.	72
Tabla 7.	76
Tabla 8.	80
Tabla 9.	81
Tabla 10.	95
Tabla 11.	95
Tabla 12.	96
Tabla 13.	97
Tabla 14.	98
Tabla 15.	100
Tabla 16.	102
Tabla 17.	108
Tabla 18.	116
Tabla 19.	118
Tabla 20.	119
Tabla 21.	120
Tabla 22.	122
Tabla 23.	124
Tabla 24.	125
Tabla 25.	129

Índice onomástico

A

Agrolimagen, 7, 8, 9, 25, 28, 29, 30, 31, 32, 54, 55, 58, 68, 94, 130, 131, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 141, 186, 187
Algoritmo, 25, 31, 32, 43, 45, 47, 52, 53, 54, 55, 56, 58, 65, 77, 82, 84, 87, 90, 91, 92, 93, 101, 104, 105, 106, 123, 125, 126, 127, 128, 133, 139, 140, 142
Ameca, 7
Análisis de varianza
ANOVA. Véase *Análisis estadístico*
Análisis estadístico, 65, 74, 105, 114, 120, 123, 142
Análisis VRIO, 49, 54
Antocianinas, 10, 71, 72, 79, 80, 81, 119, 120, 121, 122, 129, 161
Aprendizaje automático. Véase *Inteligencia artificial*
Arándano azul, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 22, 23, 24, 25, 26, 28, 30, 33, 34, 35, 41, 45, 50, 53, 54, 55, 56, 58, 59, 60, 62, 63, 64, 65, 66, 68, 71, 80, 81, 88, 90, 97, 99, 101, 102, 103, 105, 106, 107, 108, 114, 115, 116, 118, 119, 120, 121, 123, 129, 130, 134, 135, 138, 140, 141, 143
Árbol de clasificación. Véase *Inteligencia artificial*

B

Binning. Véase *Discretización*
Blueberries. Véase *Arándano azul*
Blueberry. Véase *Arándano azul*
Brix. Véase *Sólidos solubles*

C

Calidad, 7, 9, 10, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 22, 23, 24, 25, 26, 28, 29, 30, 31, 34, 35, 38, 41, 45, 47, 48, 52, 53, 54, 56, 58, 61, 65, 66, 68, 69, 71, 75, 79, 82, 88, 93, 98, 105, 121, 122, 127, 131, 132, 135, 136, 143, 186, 187
Ciencia de datos, 43, 46, 47, 48, 141, 142
Classification Learning. Véase Véase MATLAB® R2022a
Codex alimentarius, 80
Código de programación, 56, 106, 123, 138
*Colorimetría CIE L*a*b*, 58, 68, 69, 71, 72, 82, 88, 90, 106, 121, 122, 160
Conjunto de datos. Véase *Tabla base analítica*
Contexto, 7, 9, 30, 45, 68, 93, 130
Contexto de la empresa. Véase *Contexto*
Contexto de la industria. Véase *Contexto*
Costos, 7, 18, 25, 53, 56, 60, 61, 77, 90, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 102, 103, 183
CRISP-DM
Proceso estándar de la industria cruzada para la minería de datos, 46, 47, 66, 103, 104, 106, 123, 139, 142

D

Deep Learning. Véase *Inteligencia artificial*
Deshidratado, 61, 62, 63, 81, 82, 93, 97, 98, 99
Discretización, 47, 77, 78, 81, 82, 83, 92, 120, 129

E

Elementos de valor. Véase *Red de valores*
Estado de Jalisco. Véase *Jalisco*
Estado de la cuestión, 10

F

Frutilla. Véase *Arándano azul*

H

Herramientas, 49
Hortifrut, 8, 9, 130, 131, 135, 136

I

Imprevistos, 105
Innovación, 31, 49, 53, 55, 130, 133, 134
Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente
ITESO, 1, 9, 50, 105, 108, 112, 140
Inteligencia artificial, 15, 16, 25, 28, 30, 31, 41, 43, 44, 45, 46, 48, 53, 54, 55, 56, 65, 77, 78, 82, 89, 90, 92, 104, 105, 119, 120, 122, 123, 124, 126, 127, 128, 130, 132, 133, 135, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143
ITESO
Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente, 50, 108, 112, 119, 138

J

Jalisco, 7, 9, 11, 12, 14, 20, 21, 23, 25, 26, 49, 53, 55, 105, 107, 108, 112, 133, 134, 140, 143, 186, 187
Jugo, 39, 58, 59, 60, 61, 94, 101, 102, 103, 108, 110, 112, 113, 119, 120, 121, 122, 138

L

Luminosidad. Véase *Colorimetría CIE L*a*b*

M

Machine Learning. Véase *Inteligencia artificial*
Maestría en Ingeniería de Productos y Procesos
MIPP, 1, 9, 52, 140

Marco conceptual o de referencia, 33
MATLAB® R2022a. Véase Software
Matriz de marco lógico, 25
Matriz de *Pearson*. Véase Análisis estadístico
Mermelada, 63, 64, 99, 100, 101
Metas de información, 106
Método de Tukey. Véase Análisis estadístico
Microsoft® Excel. Véase Software
Minitab® 19. Véase Software

O

Objetivos, 26, 27, 47, 80, 104, 131, 135, 143

P

Patentes, 35, 36, 38, 39, 40, 41, 42, 45, 48, 52, 66
Pattern Recognition App (nprtool). Véase *MATLAB® R2022a*
problema, 25
Problema, 7, 16, 22, 24, 25, 35, 41, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 130, 134
Proceso, 9, 19, 20, 25, 28, 32, 41, 45, 46, 47, 49, 50, 52, 53, 54, 55, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 77, 78, 80, 81, 82, 83, 92, 94, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 106, 112, 120, 123, 125, 126, 127, 129, 134, 135, 137, 141, 142
Proceso estándar de la industria cruzada para la minería de datos
CRISP-DM, 46
Procesos, 52, 104, 141
Propuesta de intervención, 7, 9, 25, 28, 30, 31, 48, 49, 53, 54, 55, 56, 68, 77, 90, 92, 106, 131, 133, 134, 135, 137, 139, 141, 142, 143
Prueba de concepto, 77, 80, 106, 107, 108, 114, 116, 118, 119, 120, 123, 125, 127, 128, 134, 138, 142, 143
Python 3.8. Véase Software

R

Red de valores, 28, 54, 55, 94, 132, 133, 138

Red Neuronal Artificial. Véase Inteligencia artificial, Véase Redes Neuronales Artificiales
Red neuronal para el reconocimiento de patrones y clasificación. Véase Inteligencia artificial
Redes Neuronales Artificiales, 15, 44, 45, 52
Román Aldrete Olvera (Hijo), 9
Román Aldrete Tejeda (Padre), 7

S

San Antonio Puerta de la Vega, 7, 9, 25, 32, 134, 186, 187
SimaPro 9.1.1.1. Véase Software
Software, 5, 19, 65, 69, 70, 74, 79, 83, 84, 85, 86, 88, 89, 90, 92, 114, 124, 139, 166, 171
Sólidos solubles, 10
Soluciones cercanas. Véase Patentes
Soluciones lejanas, 42, 141
Sustentabilidad. Véase Red de valores

T

Tabla base analítica, 47, 68, 78, 83, 84, 85, 86, 139
Teoría de la Resolución Inventiva de Problemas
TRIZ, 48
Tonos a. Véase Colorimetría CIE L*a*b
Tonos b. Véase Colorimetría CIE L*a*b
Trabajo de Obtención de Grado
TOG, 103, 106, 120, 123, 130, 134, 137, 139, 140, 171
TRIZ
Teoría de la Resolución Inventiva de Problemas, 48, 49, 52

V

Vaccinium corymbosum L. Véase Arándano azul, Véase Arándano azul
Valor compartido. Véase Red de valores
Valor de *Chroma*. Véase Colorimetría CIE L*a*b
Valor ΔE . Véase Colorimetría CIE L*a*b

Anexos

Anexo I: Conjunto de datos para la creación de Tablas Base Analíticas.

El siguiente conjunto de datos se construyó a partir de datos reportados en la literatura; su primera versión consistió en una matriz incompleta debido a que en la mayoría de las ocasiones las fuentes secundarias consultados no reportaron la información completa para los parámetros fisicoquímicos que finalmente se seleccionaron para la construcción del modelo.

En total, se recabó información de veintisiete artículos científicos, reportes y/o trabajos académicos [(Redpath, Gumpertz, Ballington, Bassil, & Ashrafi, 2021), (Aliman, y otros, 2020), (Hwang, Kim, & Shin, 2020), (Lin, Huang, Zhang, Wang, & Meng, 2020), (Ordóñez-Díaz, Pereira-Caro, Cardeñosa, Muriel, & Moreno-Rojas, 2020), (Rodríguez-Madrera, Suárez-Valles, Campa-Negrillo, & Ferreira-Fernández, 2019), (Biasi, Sousa Medeiros, de Bona, & Cuquel, 2018), (Cera, y otros, 2018), (Moggia, y otros, 2018), (Hernández, Bautista, & Juárez, 2017), (Rodrigues, Souza, Silva, Oliveira, & Lima, 2017), (Singh, 2017), (Sousa Medeiros, de Bona, Cuquel, & Biasi, 2017), (Cortés-Rojas, Mesa-Torres, Grijalba-Rativa, & Pérez-Trujillo, 2016), (Vilela, y otros, 2016), (Guiné, Gonçalves, Gonçalves, & Costa, 2015), (Gündüz, Serce, & Hancock, 2014), (Hernández D. , 2014), (Kim J. G., 2013), (Scalzo, Stevenson, & Hedderley, 2013), (Cervantes Ceja, 2009), (Ogden & van Iersel, 2009), (Ribera, Reyes-Díaz, Alberdi, Zuñiga, & Mora, 2009), (Molina, Calvo, Medina, Barrau, & Romero, 2008), (Saftner, Polashock, Ehlenfeldt, & Vinyard, 2008), (Zee, y otros, 2006) y (Prior, y otros, 1998)] que consolidaron la primera base con datos crudos, misma que se sometió a un proceso de limpieza en la etapa de procesamiento y entendimiento de datos antes de llevar a cabo el modelado de la Red Neuronal para Reconocimiento de Patrones.

De acuerdo con lo explicado en la [Sección 3.3.2.2. Preparación de los datos](#) de este documento, muchos de los espacios en blanco en la versión previa al *dataset* que se muestra en este anexo fueron llenados utilizando ecuaciones para el cálculo de valores asociados a otras variables tales como *chroma* mediante Colorimetría CIE L*a*b (Liang, y otros, 2011), diámetro ecuatorial asociado a peso fresco de la fruta (Jorquera-Fontena, Génard, Ribera-Fonseca, & Franck, 2017) y antocianinas totales (asociado a la colorimetría de la fruta según Vieira, 2019).

Nivel de Madurez (%)	Peso de un arándano fresco (g)	Luminosidad	Tonos A	Tonos B	Chroma	° Brix	Antocianinas Totales (mg/100 g de Fruta Fresca)
16.67	0.97	60.18	-5.20	27.29	27.86	9.89	3.19
16.67	0.93	50.68	6.13	10.02	14.23	9.11	3.43
16.67	0.94	53.17	0.47	18.66	20.21	9.39	3.79
33.33	0.95	48.04	11.68	6.60	15.43	10.00	5.76
33.33	1.01	38.77	8.77	1.24	11.44	10.00	6.01
33.33	0.95	37.35	5.86	-4.12	8.93	10.33	8.01
50.00	1.01	36.11	7.90	1.28	9.33	11.72	9.88
50.00	0.98	37.52	6.44	0.95	9.08	11.00	12.33
50.00	1.04	37.13	7.66	4.22	10.10	10.53	14.81
0.00	0.65	60.18	-5.20	27.29	27.86	11.52	16.49
50.00	0.97	36.19	7.65	3.11	8.26	10.23	19.67
50.00	1.23	37.68	7.01	6.01	9.23	9.57	21.81
66.67	1.08	32.59	9.22	0.62	9.70	11.70	22.99
50.00	1.11	32.60	8.46	1.78	8.65	9.87	27.39
50.00	1.27	34.11	8.31	2.42	8.66	7.93	28.19
0.00	0.43	61.89	-5.20	27.29	27.55	9.11	28.72
66.67	1.16	32.78	7.09	-0.54	8.66	11.79	39.27
50.00	1.05	33.43	10.84	2.29	11.08	8.53	40.28
0.00	0.56	62.60	-5.20	27.29	33.60	6.00	42.48
66.67	1.03	32.76	3.34	-3.36	5.57	12.32	44.52
0.00	0.37	59.78	-3.26	15.80	23.71	8.24	48.18
0.00	0.39	58.37	-3.26	15.80	18.77	7.64	51.03
100.00	2.63	25.17	5.80	1.00	5.34	11.33	58.30
100.00	2.80	24.52	-0.09	-4.90	4.90	12.40	58.70
0.00	0.73	53.84	-3.26	15.80	16.34	9.80	61.56
100.00	2.00	9.68	1.36	-2.51	2.85	11.70	69.20
100.00	2.05	25.46	0.17	-2.75	2.76	11.53	70.89
100.00	1.82	11.93	0.82	-5.10	5.17	13.60	71.00
100.00	2.50	24.52	-0.09	-4.90	4.90	14.00	73.10
100.00	1.28	9.68	1.36	-2.51	2.85	14.92	77.70
100.00	1.82	9.68	1.36	-2.51	2.85	13.33	77.70
100.00	2.30	26.30	-0.02	-3.08	3.08	9.85	83.00
25.00	0.62	55.90	8.91	8.31	16.90	8.60	86.56
100.00	1.74	26.33	5.80	1.00	4.97	13.47	89.20
25.00	1.11	46.15	6.13	10.02	12.55	10.08	90.32
25.00	1.13	55.20	8.91	8.31	15.90	7.80	91.17
100.00	1.90	27.15	-0.13	-3.38	11.29	13.40	92.00
100.00	1.54	32.52	4.31	-5.19	6.90	15.40	92.60
100.00	2.38	28.84	0.05	-4.70	16.20	9.40	105.00
100.00	3.30	24.52	-0.09	-4.90	4.90	11.60	110.90

100.00	2.20	26.30	-0.02	-3.08	3.08	9.40	112.73
100.00	2.10	27.47	0.91	-0.50	1.04	16.60	113.10
100.00	1.70	24.15	-0.04	-2.04	2.04	13.20	115.20
25.00	0.86	40.18	11.68	6.60	13.95	12.12	116.71
100.00	3.00	24.52	-0.09	-4.90	4.90	13.00	117.50
100.00	1.60	26.17	-0.25	-2.89	2.90	10.50	117.50
100.00	1.96	27.51	-0.01	-5.30	5.30	10.85	118.80
100.00	1.90	20.50	5.80	1.00	5.89	11.80	118.80
100.00	1.55	26.17	-0.25	-2.89	9.55	9.00	118.92
100.00	2.50	21.94	-0.04	-3.94	3.94	11.20	123.70
100.00	1.56	21.62	0.70	-3.66	3.75	9.50	125.86
100.00	1.80	27.71	1.25	-1.12	1.69	18.00	127.50
100.00	2.67	28.51	0.54	-3.50	3.69	10.93	128.40
100.00	0.66	11.93	0.82	-5.10	5.17	13.50	130.90
100.00	2.77	26.30	-0.02	-3.08	3.08	9.10	133.63
100.00	1.99	26.17	-0.25	-2.89	2.90	10.27	134.76
100.00	1.72	11.93	0.82	-5.10	5.17	12.20	134.98
100.00	1.92	19.09	1.44	-5.27	5.46	13.50	136.51
100.00	2.00	24.15	-0.04	-2.04	2.04	12.67	136.51
100.00	1.90	27.15	-0.13	-3.38	3.38	12.87	137.10
100.00	2.30	26.20	2.16	-1.44	3.35	13.10	140.60
100.00	1.88	9.68	1.36	-2.51	2.85	14.00	144.40
100.00	2.72	26.30	-0.02	-3.08	3.08	10.30	145.20
100.00	3.20	11.93	0.82	-5.10	5.17	12.85	147.00
100.00	1.94	30.84	-0.70	-5.10	5.15	11.67	151.80
100.00	1.45	26.62	1.10	-0.73	1.46	14.50	157.30
100.00	2.34	27.15	-0.13	-3.38	9.14	8.40	165.28
100.00	1.10	30.84	-0.70	-5.10	5.15	19.50	165.30
50.00	1.21	43.90	8.39	2.10	12.10	9.30	165.52
100.00	2.11	35.27	2.59	-4.40	5.36	13.70	167.33
100.00	3.14	26.30	-0.02	-3.08	3.08	9.30	167.60
100.00	2.47	27.15	-0.13	-3.38	14.90	10.00	170.30
100.00	1.60	27.21	-0.13	-5.36	5.36	11.90	175.70
100.00	2.23	29.01	1.21	-1.51	1.93	10.10	179.35
100.00	2.38	26.28	-0.03	-5.11	5.11	11.10	190.65
100.00	1.21	11.93	0.82	-5.10	5.17	13.80	191.00
100.00	3.17	26.28	-0.03	-5.11	5.11	10.50	191.00
50.00	1.55	39.60	7.66	4.22	12.40	12.30	193.82
50.00	1.35	37.35	5.86	-4.12	8.93	10.92	196.71
100.00	1.23	30.12	-0.66	-5.70	5.74	13.72	206.00
100.00	2.32	24.96	1.82	0.89	2.03	9.80	208.70
100.00	2.25	26.16	-0.32	-3.88	3.89	11.10	210.98

100.00	2.80	27.33	0.09	-5.48	5.48	10.90	213.50
75.00	1.44	36.40	3.35	-2.73	5.20	11.60	214.87
100.00	2.14	30.84	-0.70	-5.10	5.15	9.80	215.04
50.00	0.92	31.75	7.60	-1.06	8.33	12.82	215.69
100.00	2.26	28.60	-0.31	-3.77	3.80	13.10	222.10
100.00	1.42	34.24	6.01	-6.33	8.80	13.19	223.91
100.00	2.40	31.30	1.34	-4.94	5.42	9.70	225.05
100.00	1.79	35.27	2.59	-4.40	5.36	14.18	225.67
100.00	1.11	27.71	1.25	-1.12	1.69	14.72	226.65
100.00	1.31	21.94	-0.04	-3.94	3.94	11.40	226.70
100.00	1.83	30.12	-0.66	-5.70	5.74	9.80	227.20
100.00	2.21	34.40	0.99	0.06	5.70	14.70	228.03
75.00	1.09	29.26	6.62	0.65	7.03	14.00	230.65
100.00	2.16	25.53	1.88	-0.25	2.20	9.60	232.82
75.00	1.95	33.40	4.98	-1.36	4.90	14.70	234.61
100.00	1.46	34.08	4.79	-7.80	9.20	12.54	235.23
100.00	1.20	26.09	1.93	-1.39	2.38	9.80	237.15
75.00	1.61	32.12	3.34	-3.36	6.24	12.65	239.63
100.00	1.12	33.70	2.56	-6.24	6.95	12.50	242.34
100.00	1.64	27.51	-0.01	-5.30	5.30	11.50	242.60
100.00	2.42	19.09	1.44	-5.27	5.46	13.40	246.00
100.00	1.52	33.31	0.32	-4.68	4.70	12.00	249.46
100.00	1.75	27.15	-0.13	-3.38	19.20	9.70	250.40
100.00	1.35	28.24	4.36	-0.83	4.65	17.62	252.22
100.00	2.38	33.15	0.54	-5.84	5.86	11.26	253.42
100.00	1.46	30.79	2.60	-4.04	5.00	13.40	253.90
100.00	2.75	28.24	4.36	-0.83	4.65	10.70	255.00
100.00	2.21	28.24	4.36	-0.83	4.65	9.70	256.40
100.00	2.53	29.81	1.20	-1.63	2.02	10.75	258.43
100.00	2.07	31.30	1.34	-4.94	5.42	13.30	259.08
100.00	1.77	27.33	0.09	-5.48	5.48	10.50	260.04
100.00	1.39	22.68	2.17	7.71	8.01	13.00	260.17
100.00	1.49	28.30	3.36	-2.42	6.26	11.46	261.57
100.00	1.56	29.01	1.21	-1.51	1.93	11.57	263.24
100.00	3.13	26.68	1.48	-1.55	2.99	10.30	263.50
100.00	1.80	26.16	-0.32	-3.88	3.89	14.50	264.30
100.00	1.94	31.73	-0.78	-4.79	4.85	11.30	265.04
100.00	1.94	31.73	-0.78	-4.79	4.85	11.30	265.04
100.00	1.83	27.51	-0.01	-5.30	5.30	10.90	265.50
100.00	2.38	28.25	1.13	-0.75	1.36	10.03	266.05
100.00	1.90	27.51	-0.01	-5.30	5.30	7.90	266.41
100.00	1.40	30.84	-0.70	-5.10	5.15	14.30	268.30

100.00	1.57	29.36	0.30	-2.55	2.57	12.67	268.41
100.00	1.44	27.95	1.58	-1.74	2.35	12.08	269.37
100.00	0.78	28.98	3.09	-5.75	6.55	13.00	269.38
100.00	1.55	22.68	2.17	7.71	8.01	14.01	269.85
100.00	1.67	27.47	0.91	-0.50	1.04	11.30	271.31
100.00	2.48	30.84	-0.70	-5.10	5.15	11.50	271.59
100.00	2.48	30.84	-0.70	-5.10	5.15	11.50	271.59
100.00	1.22	29.80	0.15	-4.90	4.91	12.80	274.07
100.00	1.57	20.50	5.80	1.00	5.89	12.30	274.40
100.00	1.47	27.15	1.48	-1.55	2.15	10.10	274.43
100.00	1.79	27.98	0.17	-2.75	3.97	10.80	274.86
100.00	1.40	27.95	1.58	-1.74	2.35	16.30	277.30
100.00	2.57	30.12	-0.66	-5.70	5.74	13.20	278.16
100.00	2.57	30.12	-0.66	-5.70	5.74	13.20	278.16
100.00	2.11	30.12	-0.66	-5.70	5.74	12.40	278.16
100.00	1.05	25.53	1.88	-0.25	2.20	10.00	278.50
100.00	1.13	26.09	1.93	-1.39	2.38	13.70	278.90
100.00	1.69	24.96	1.82	0.89	2.03	13.27	279.19
100.00	0.86	28.24	4.36	-0.83	4.65	14.00	281.80
100.00	1.20	26.21	3.75	-3.94	3.83	13.87	281.92
100.00	2.32	26.16	-0.32	-3.88	3.89	11.70	282.52
100.00	1.38	27.51	-0.01	-5.30	5.30	12.30	285.40
100.00	2.40	9.68	1.36	-2.51	2.85	11.50	286.30
100.00	1.51	22.68	2.17	7.71	8.01	12.27	286.92
100.00	1.77	24.22	0.99	0.06	0.99	12.28	290.48
100.00	1.96	20.50	5.80	1.00	5.89	5.33	290.72
100.00	2.24	27.51	-0.01	-5.30	5.30	10.80	291.14
100.00	2.24	27.51	-0.01	-5.30	5.30	10.80	291.14
100.00	2.41	27.33	0.09	-5.48	5.48	11.50	292.49
100.00	2.41	27.33	0.09	-5.48	5.48	11.50	292.49
100.00	2.08	30.12	-0.66	-5.70	5.74	12.60	293.13
100.00	2.38	27.21	-0.13	-5.36	5.36	10.90	293.84
100.00	2.38	27.21	-0.13	-5.36	5.36	10.90	293.84
100.00	2.45	26.16	-0.32	-3.88	3.89	10.60	296.63
100.00	2.45	26.16	-0.32	-3.88	3.89	10.60	296.63
100.00	1.59	30.79	2.60	-4.04	5.00	11.70	298.60
100.00	2.01	26.28	-0.03	-5.11	5.11	9.70	298.69
100.00	2.85	26.28	-0.03	-5.11	5.11	12.30	298.69
100.00	2.85	26.28	-0.03	-5.11	5.11	12.30	298.69
100.00	0.74	22.68	2.17	7.71	8.01	13.90	304.00
100.00	2.09	24.52	-0.09	-4.90	4.90	13.00	309.83
100.00	2.09	24.52	-0.09	-4.90	4.90	13.00	309.83

100.00	1.76	31.73	-0.78	-4.79	4.85	12.60	314.33
100.00	1.56	21.94	-0.04	-3.94	3.94	11.20	323.37
100.00	1.56	21.94	-0.04	-3.94	3.94	11.20	323.37
100.00	2.46	26.16	-0.32	-3.88	3.89	10.60	325.20
100.00	0.61	22.68	2.17	7.71	8.01	13.20	357.00
100.00	1.66	29.21	1.10	-0.73	2.88	12.90	361.80
100.00	1.82	21.94	-0.04	-3.94	3.94	10.90	368.90
100.00	1.42	29.36	0.30	-2.55	2.57	12.60	376.00
100.00	1.58	31.73	-0.78	-4.79	4.85	11.20	379.01

Anexo II: Tabla Base Analítica utilizada para la herramienta *Pattern Recognition app (nprtool)* del software *MATLAB® R2022a*

Nivel de Madurez (%)	Peso de un arándano fresco (g)	Luminosidad	Tonos A	Tonos B	Chroma	° Brix	Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3	Categoría 4
16.67	0.97	60.18	-5.20	27.29	27.86	9.89	0	0	0	1
16.67	0.93	50.68	6.13	10.02	14.23	9.11	0	0	0	1
16.67	0.94	53.17	0.47	18.66	20.21	9.39	0	0	0	1
33.33	0.95	48.04	11.68	6.60	15.43	10.00	0	0	0	1
33.33	1.01	38.77	8.77	1.24	11.44	10.00	0	0	0	1
33.33	0.95	37.35	5.86	-4.12	8.93	10.33	0	1	0	0
50.00	1.01	36.11	7.90	1.28	9.33	11.72	0	1	0	0
50.00	0.98	37.52	6.44	0.95	9.08	11.00	0	1	0	0
50.00	1.04	37.13	7.66	4.22	10.10	10.53	0	0	1	0
0.00	0.65	60.18	-5.20	27.29	27.86	11.52	0	0	0	1
50.00	0.97	36.19	7.65	3.11	8.26	10.23	0	1	0	0
50.00	1.23	37.68	7.01	6.01	9.23	9.57	0	1	0	0
66.67	1.08	32.59	9.22	0.62	9.70	11.70	0	1	0	0
50.00	1.11	32.60	8.46	1.78	8.65	9.87	0	1	0	0
50.00	1.27	34.11	8.31	2.42	8.66	7.93	0	1	0	0
0.00	0.43	61.89	-5.20	27.29	27.55	9.11	0	0	0	1
66.67	1.16	32.78	7.09	-0.54	8.66	11.79	0	1	0	0
50.00	1.05	33.43	10.84	2.29	11.08	8.53	0	0	0	1
0.00	0.56	62.60	-5.20	27.29	33.60	6.00	0	0	0	1
66.67	1.03	32.76	3.34	-3.36	5.57	12.32	0	1	0	0
0.00	0.37	59.78	-3.26	15.80	23.71	8.24	0	0	0	1
0.00	0.39	58.37	-3.26	15.80	18.77	7.64	0	0	0	1
100.00	2.63	25.17	5.80	1.00	5.34	11.33	0	1	0	0
100.00	2.80	24.52	-0.09	-4.90	4.90	12.40	0	1	0	0
0.00	0.73	53.84	-3.26	15.80	16.34	9.80	0	0	0	1
100.00	2.00	9.68	1.36	-2.51	2.85	11.70	0	1	0	0
100.00	2.05	25.46	0.17	-2.75	2.76	11.53	0	1	0	0
100.00	1.82	11.93	0.82	-5.10	5.17	13.60	0	1	0	0
100.00	2.50	24.52	-0.09	-4.90	4.90	14.00	0	1	0	0
100.00	1.28	9.68	1.36	-2.51	2.85	13.33	0	1	0	0
100.00	1.82	9.68	1.36	-2.51	2.85	14.92	0	1	0	0
100.00	2.30	26.30	-0.02	-3.08	3.08	9.85	0	1	0	0
25.00	0.62	55.90	8.91	8.31	16.90	8.60	0	0	0	1
100.00	1.74	26.33	5.80	1.00	4.97	13.47	0	1	0	0
25.00	1.11	46.15	6.13	10.02	12.55	10.08	0	0	1	0
25.00	1.13	55.20	8.91	8.31	15.90	7.80	0	0	0	1
100.00	1.90	27.15	-0.13	-3.38	11.29	13.40	0	0	1	0

100.00	1.54	32.52	4.31	-5.19	6.90	15.40	0	1	0	0
100.00	2.38	28.84	0.05	-4.70	16.20	9.40	0	0	0	1
100.00	3.30	24.52	-0.09	-4.90	4.90	11.60	0	1	0	0
100.00	2.20	26.30	-0.02	-3.08	3.08	9.40	0	1	0	0
100.00	2.10	27.47	0.91	-0.50	1.04	16.60	0	1	0	0
100.00	1.70	24.15	-0.04	-2.04	2.04	13.20	0	1	0	0
25.00	0.86	40.18	11.68	6.60	13.95	12.12	0	0	1	0
100.00	3.00	24.52	-0.09	-4.90	2.90	10.50	0	1	0	0
100.00	1.60	26.17	-0.25	-2.89	4.90	13.00	0	1	0	0
100.00	1.96	27.51	-0.01	-5.30	5.30	10.85	0	1	0	0
100.00	1.90	20.50	5.80	1.00	5.89	11.80	0	1	0	0
100.00	1.55	26.17	-0.25	-2.89	9.55	9.00	0	1	0	0
100.00	2.50	21.94	-0.04	-3.94	3.94	11.20	0	1	0	0
100.00	1.56	21.62	0.70	-3.66	3.75	9.50	0	1	0	0
100.00	1.80	27.71	1.25	-1.12	1.69	18.00	0	1	0	0
100.00	2.67	28.51	0.54	-3.50	3.69	10.93	0	1	0	0
100.00	0.66	11.93	0.82	-5.10	5.17	13.50	0	1	0	0
100.00	2.77	26.30	-0.02	-3.08	3.08	9.10	0	1	0	0
100.00	1.99	26.17	-0.25	-2.89	2.90	10.27	0	1	0	0
100.00	1.72	11.93	0.82	-5.10	5.17	12.20	0	1	0	0
100.00	1.92	19.09	1.44	-5.27	2.04	12.67	0	1	0	0
100.00	2.00	24.15	-0.04	-2.04	5.46	13.50	0	1	0	0
100.00	1.90	27.15	-0.13	-3.38	3.38	12.87	0	1	0	0
100.00	2.30	26.20	2.16	-1.44	3.35	13.10	0	1	0	0
100.00	1.88	9.68	1.36	-2.51	2.85	14.00	0	1	0	0
100.00	2.72	26.30	-0.02	-3.08	3.08	10.30	0	1	0	0
100.00	3.20	11.93	0.82	-5.10	5.17	12.85	0	1	0	0
100.00	1.94	30.84	-0.70	-5.10	5.15	11.67	1	0	0	0
100.00	1.45	26.62	1.10	-0.73	1.46	14.50	1	0	0	0
100.00	2.34	27.15	-0.13	-3.38	9.14	8.40	0	1	0	0
100.00	1.10	30.84	-0.70	-5.10	5.15	19.50	1	0	0	0
50.00	1.21	43.90	8.39	2.10	12.10	9.30	0	0	0	1
100.00	2.11	35.27	2.59	-4.40	5.36	13.70	1	0	0	0
100.00	3.14	26.30	-0.02	-3.08	3.08	9.30	0	1	0	0
100.00	2.47	27.15	-0.13	-3.38	14.90	10.00	0	0	0	1
100.00	1.60	27.21	-0.13	-5.36	5.36	11.90	1	0	0	0
100.00	2.23	29.01	1.21	-1.51	1.93	10.10	1	0	0	0
100.00	2.38	26.28	-0.03	-5.11	5.11	11.10	1	0	0	0
100.00	1.21	11.93	0.82	-5.10	5.11	10.50	1	0	0	0
100.00	3.17	26.28	-0.03	-5.11	5.17	13.80	1	0	0	0
50.00	1.55	39.60	7.66	4.22	12.40	12.30	0	0	1	0
50.00	1.35	37.35	5.86	-4.12	8.93	10.92	1	0	0	0

100.00	1.23	30.12	-0.66	-5.70	5.74	13.72	1	0	0	0
100.00	2.32	24.96	1.82	0.89	2.03	9.80	0	1	0	0
100.00	2.25	26.16	-0.32	-3.88	3.89	11.10	1	0	0	0
100.00	2.80	27.33	0.09	-5.48	5.48	10.90	1	0	0	0
75.00	1.44	36.40	3.35	-2.73	5.20	11.60	1	0	0	0
100.00	2.14	30.84	-0.70	-5.10	5.15	9.80	0	1	0	0
50.00	0.92	31.75	7.60	-1.06	8.33	12.82	1	0	0	0
100.00	2.26	28.60	-0.31	-3.77	3.80	13.10	1	0	0	0
100.00	1.42	34.24	6.01	-6.33	8.80	13.19	1	0	0	0
100.00	2.40	31.30	1.34	-4.94	5.42	9.70	0	1	0	0
100.00	1.79	35.27	2.59	-4.40	5.36	14.18	1	0	0	0
100.00	1.11	27.71	1.25	-1.12	1.69	14.72	1	0	0	0
100.00	1.31	21.94	-0.04	-3.94	3.94	11.40	1	0	0	0
100.00	1.83	30.12	-0.66	-5.70	5.74	9.80	0	1	0	0
100.00	2.21	34.40	0.99	0.06	5.70	14.70	1	0	0	0
75.00	1.09	29.26	6.62	0.65	7.03	14.00	1	0	0	0
100.00	2.16	25.53	1.88	-0.25	2.20	9.60	0	1	0	0
75.00	1.95	33.40	4.98	-1.36	4.90	14.70	1	0	0	0
100.00	1.46	34.08	4.79	-7.80	9.20	12.54	1	0	0	0
100.00	1.20	26.09	1.93	-1.39	2.38	9.80	0	1	0	0
75.00	1.61	32.12	3.34	-3.36	6.24	12.65	1	0	0	0
100.00	1.12	33.70	2.56	-6.24	6.95	12.50	1	0	0	0
100.00	1.64	27.51	-0.01	-5.30	5.30	11.50	1	0	0	0
100.00	2.42	19.09	1.44	-5.27	5.46	13.40	1	0	0	0
100.00	1.52	33.31	0.32	-4.68	4.70	12.00	1	0	0	0
100.00	1.75	27.15	-0.13	-3.38	19.20	9.70	0	0	0	1
100.00	1.35	28.24	4.36	-0.83	4.65	17.62	1	0	0	0
100.00	2.38	33.15	0.54	-5.84	5.86	11.26	1	0	0	0
100.00	1.46	30.79	2.60	-4.04	5.00	13.40	1	0	0	0
100.00	2.75	28.24	4.36	-0.83	4.65	10.70	1	0	0	0
100.00	2.21	28.24	4.36	-0.83	4.65	9.70	0	1	0	0
100.00	2.53	29.81	1.20	-1.63	2.02	10.75	1	0	0	0
100.00	2.07	31.30	1.34	-4.94	5.42	13.30	1	0	0	0
100.00	1.77	27.33	0.09	-5.48	5.48	10.50	1	0	0	0
100.00	1.39	22.68	2.17	7.71	8.01	13.00	1	0	0	0
100.00	1.49	28.30	3.36	-2.42	6.26	11.46	1	0	0	0
100.00	1.56	29.01	1.21	-1.51	1.93	11.57	1	0	0	0
100.00	3.13	26.68	1.48	-1.55	2.99	10.30	1	0	0	0
100.00	1.80	26.16	-0.32	-3.88	3.89	14.50	1	0	0	0
100.00	1.94	31.73	-0.78	-4.79	4.85	11.30	1	0	0	0
100.00	1.94	31.73	-0.78	-4.79	4.85	11.30	1	0	0	0
100.00	1.83	27.51	-0.01	-5.30	5.30	10.90	1	0	0	0

100.00	2.38	28.25	1.13	-0.75	1.36	10.03	1	0	0	0
100.00	1.90	27.51	-0.01	-5.30	5.30	7.90	0	1	0	0
100.00	1.40	30.84	-0.70	-5.10	5.15	14.30	1	0	0	0
100.00	1.57	29.36	0.30	-2.55	2.57	12.67	1	0	0	0
100.00	1.44	27.95	1.58	-1.74	2.35	12.08	1	0	0	0
100.00	0.78	28.98	3.09	-5.75	6.55	13.00	1	0	0	0
100.00	1.55	22.68	2.17	7.71	8.01	14.01	1	0	0	0
100.00	1.67	27.47	0.91	-0.50	1.04	11.30	1	0	0	0
100.00	2.48	30.84	-0.70	-5.10	5.15	11.50	1	0	0	0
100.00	2.48	30.84	-0.70	-5.10	5.15	11.50	1	0	0	0
100.00	1.22	29.80	0.15	-4.90	4.91	12.80	1	0	0	0
100.00	1.57	20.50	5.80	1.00	5.89	12.30	1	0	0	0
100.00	1.47	27.15	1.48	-1.55	2.15	10.10	1	0	0	0
100.00	1.79	27.98	0.17	-2.75	3.97	10.80	1	0	0	0
100.00	1.40	27.95	1.58	-1.74	2.35	16.30	1	0	0	0
100.00	2.57	30.12	-0.66	-5.70	5.74	12.40	1	0	0	0
100.00	2.57	30.12	-0.66	-5.70	5.74	13.20	1	0	0	0
100.00	2.11	30.12	-0.66	-5.70	5.74	13.20	1	0	0	0
100.00	1.05	25.53	1.88	-0.25	2.20	10.00	0	1	0	0
100.00	1.13	26.09	1.93	-1.39	2.38	13.70	1	0	0	0
100.00	1.69	24.96	1.82	0.89	2.03	13.27	1	0	0	0
100.00	0.86	28.24	4.36	-0.83	4.65	14.00	1	0	0	0
100.00	1.20	26.21	3.75	-3.94	3.83	13.87	1	0	0	0
100.00	2.32	26.16	-0.32	-3.88	3.89	11.70	1	0	0	0
100.00	1.38	27.51	-0.01	-5.30	5.30	12.30	1	0	0	0
100.00	2.40	9.68	1.36	-2.51	2.85	11.50	1	0	0	0
100.00	1.51	22.68	2.17	7.71	8.01	12.27	1	0	0	0
100.00	1.77	24.22	0.99	0.06	0.99	12.28	1	0	0	0
100.00	1.96	20.50	5.80	1.00	5.89	5.33	0	1	0	0
100.00	2.24	27.51	-0.01	-5.30	5.30	10.80	1	0	0	0
100.00	2.24	27.51	-0.01	-5.30	5.30	10.80	1	0	0	0
100.00	2.41	27.33	0.09	-5.48	5.48	11.50	1	0	0	0
100.00	2.41	27.33	0.09	-5.48	5.48	11.50	1	0	0	0
100.00	2.08	30.12	-0.66	-5.70	5.74	12.60	1	0	0	0
100.00	2.38	27.21	-0.13	-5.36	5.36	10.90	1	0	0	0
100.00	2.38	27.21	-0.13	-5.36	5.36	10.90	1	0	0	0
100.00	2.45	26.16	-0.32	-3.88	3.89	10.60	1	0	0	0
100.00	2.45	26.16	-0.32	-3.88	3.89	10.60	1	0	0	0
100.00	1.59	30.79	2.60	-4.04	5.00	11.70	1	0	0	0
100.00	2.85	26.28	-0.03	-5.11	5.11	12.30	1	0	0	0
100.00	2.85	26.28	-0.03	-5.11	5.11	12.30	1	0	0	0
100.00	2.01	26.28	-0.03	-5.11	5.11	9.70	0	1	0	0

100.00	0.74	22.68	2.17	7.71	8.01	13.90	1	0	0	0
100.00	2.09	24.52	-0.09	-4.90	4.90	13.00	1	0	0	0
100.00	2.09	24.52	-0.09	-4.90	4.90	13.00	1	0	0	0
100.00	1.76	31.73	-0.78	-4.79	4.85	12.60	1	0	0	0
100.00	1.56	21.94	-0.04	-3.94	3.94	11.20	1	0	0	0
100.00	1.56	21.94	-0.04	-3.94	3.94	11.20	1	0	0	0
100.00	2.46	26.16	-0.32	-3.88	3.89	10.60	1	0	0	0
100.00	0.61	22.68	2.17	7.71	8.01	13.20	1	0	0	0
100.00	1.66	29.21	1.10	-0.73	2.88	12.90	1	0	0	0
100.00	1.82	21.94	-0.04	-3.94	3.94	10.90	1	0	0	0
100.00	1.42	29.36	0.30	-2.55	2.57	12.60	1	0	0	0
100.00	1.58	31.73	-0.78	-4.79	4.85	11.20	1	0	0	0

Anexo III: Código de programación para el *software MATLAB® R2022a* para la propuesta final de intervención del Trabajo de Obtención de Grado

El siguiente anexo contiene el código de programación que se desarrolló en el *software MATLAB® R2022a* para la propuesta de intervención del presente Trabajo de obtención de grado; los parámetros de entrada (de datos fisicoquímicos y costos) que aparecen en él son reales y fueron los que se utilizaron para la prueba de concepto de acuerdo con lo que se explica en [Capítulo 4. Exposición de hallazgos](#).

Hacia el final del código se anexa también el resultado arrojado por el código en la ventana de comando del software utilizado.

```
%INICIO DEL CÓDIGO
%Lotes disponibles de Arándano:

%Introducir Fecha de recolección en corchetes en formato ddmmaaaa, Ejm: 05062022
Fecha=[24082022,24082022,28082022,28082022,30082022,30082022];

%Paso 1:Introducir código de tres dígitos de Proveedores para Lotes
correspondientes:
%Proveedor=[Lote 1, Lote 2, Lote 3, Lote n]
Proveedores=[001, 001, 002, 002, 003, 003];

%Introducir código de tres dígitos de Lugar de recolección:
%Lugares=[Lugar 1, Lugar 2, Lugar 3, Lugar n]
Lugares=[001, 001, 002, 002, 003, 003];

%Introducir costo ($MNX/Kg de Materia Prima):
%Precios=[Lote 1, Lote 2, Lote 3, Lote n]
Precios=[47, 47, 47, 47, 39, 39];

%Introducir cantidades (kg) de lotes disponibles de un arándano:
%CantidadTotal=[Lote 1, Lote 2, Lote 3, Lote n]
CantidadTotal=[0.170, 0.170, 0.170, 0.170, 0.170, 0.170];

%Introducir peso fresco promedio (g) de un arándano para cada lote:
%PesoPromedio=[Peso1, Peso2, Peso3, Peso n]
PesoPromedio=[1.8487, 2.0660, 0.8287, 0.9794, 2.1630, 1.5919];

%Introducir Sólidos Solubles (°Brix) para cada lote:
%Brix=[Brix1, Brix2, Brix3, Brix n]
Brix=[12.2, 12.4, 11.2, 11.4, 12.4, 12.2];

%Introducir Luminosidad (Colorimetría CIE L*a*b) para cada lote:
%Luminosidad=[Luminosidad 1, Luminosidad 2, Luminosidad 3, Luminosidad n]
Luminosidad=[31.4, 27.70, 29.25, 29.00, 28.95, 25.55];

%Introducir Tonos A (Colorimetría CIE L*a*b) para cada lote:
%TonosA=[Tonos A 1, =[Tonos A 2, =[Tonos A 3, =[Tonos A n]
TonosA=[-0.75, -0.75, -1.00, -0.65, -0.80, -0.95];
```

```

%Introducir Tonos B (Colorimetría CIE L*a*b) para cada lote:
%TonosB=[Tonos B 1, =[Tonos B 2, =[Tonos B 3, =[Tonos B n]
TonosB=[-4.30, -4.20, -4.60, -4.20, -4.55, -4.70];

%Cálculo de Chroma (Colorimetría CIE L*a*b) cada lote:
%Chroma=[Tonos B 1, Tonos B 2, =[Tonos B 3, =[Tonos B n]
Chroma=[sqrt((TonosA(1,1))^2+(TonosB(1,1))^2),
sqrt((TonosA(1,2))^2+(TonosB(1,2))^2), sqrt((TonosA(1,3))^2+(TonosB(1,3))^2),
sqrt((TonosA(1,4))^2+(TonosB(1,4))^2), sqrt((TonosA(1,5))^2+(TonosB(1,5))^2),
sqrt((TonosA(1,6))^2+(TonosB(1,6))^2)];

%Matriz A: Lotes, Cantidad, Costos de MP
A=[Fecha];
B=[Proveedores];
C=[Lugares];
D=[Precios];
E=[CantidadTotal];

%Matriz B: Caracterización Fisicoquímica
F=[PesoPromedio];
G=[Brix];
H=[Luminosidad];
I=[TonosA];
J=[TonosB];
K=[Chroma];

%Determinar Nivel de Madurez para cada Lote:
PredictoresLote1=[G(1,1),K(1,1),H(1,1),F(1,1),I(1,1),J(1,1)];
PredictoresLote2=[G(1,2),K(1,2),H(1,2),F(1,2),I(1,2),J(1,2)];
PredictoresLote3=[G(1,3),K(1,3),H(1,3),F(1,3),I(1,3),J(1,3)];
PredictoresLote4=[G(1,4),K(1,4),H(1,4),F(1,4),I(1,4),J(1,4)];
PredictoresLote5=[G(1,5),K(1,5),H(1,5),F(1,5),I(1,5),J(1,5)];
PredictoresLote6=[G(1,6),K(1,6),H(1,6),F(1,6),I(1,6),J(1,6)];

PrediccionMadurez=ADDFV1.ClassificationTree;
[PL1]= predict(PrediccionMadurez,PredictoresLote1);
[PL2]= predict(PrediccionMadurez,PredictoresLote2);
[PL3]= predict(PrediccionMadurez,PredictoresLote3);
[PL4]= predict(PrediccionMadurez,PredictoresLote4);
[PL5]= predict(PrediccionMadurez,PredictoresLote5);
[PL6]= predict(PrediccionMadurez,PredictoresLote6);

Madurez=[PL1 PL2 PL3 PL4 PL5 PL6];
L=[Madurez];

BaseA=[F',G',H',I',J',K',L'];
BaseB=[A',B',C',D',E'];

PredictoresLote1RNA=[L(1,1),F(1,1),H(1,1),I(1,1),J(1,1),K(1,1),G(1,1)];
PredictoresLote2RNA=[L(1,2),F(1,2),H(1,2),I(1,2),J(1,2),K(1,2),G(1,2)];
PredictoresLote3RNA=[L(1,3),F(1,3),H(1,3),I(1,3),J(1,3),K(1,3),G(1,3)];
PredictoresLote4RNA=[L(1,4),F(1,4),H(1,4),I(1,4),J(1,4),K(1,4),G(1,4)];
PredictoresLote5RNA=[L(1,5),F(1,5),H(1,5),I(1,5),J(1,5),K(1,5),G(1,5)];
PredictoresLote6RNA=[L(1,6),F(1,6),H(1,6),I(1,6),J(1,6),K(1,6),G(1,6)];

```

```

%Estimación de Categoría de Lote por RNA Pattern Recognition:
CategorizacionL1=BlueClassNeural(PredictoresLote1RNA');
CategorizacionL2=BlueClassNeural(PredictoresLote2RNA');
CategorizacionL3=BlueClassNeural(PredictoresLote3RNA');
CategorizacionL4=BlueClassNeural(PredictoresLote4RNA');
CategorizacionL5=BlueClassNeural(PredictoresLote5RNA');
CategorizacionL6=BlueClassNeural(PredictoresLote6RNA');

%Buscar valor mayor en categorías y determinar categoría per sé:
[ValorL1, CategoriaL1] = max(CategorizacionL1);
[ValorL2, CategoriaL2] = max(CategorizacionL2);
[ValorL3, CategoriaL3] = max(CategorizacionL3);
[ValorL4, CategoriaL4] = max(CategorizacionL4);
[ValorL5, CategoriaL5] = max(CategorizacionL5);
[ValorL6, CategoriaL6] = max(CategorizacionL6);

Categorias=[CategoriaL1 CategoriaL2 CategoriaL3 CategoriaL4 CategoriaL5
CategoriaL6];

M=[Categorias];

%Sección de Costos
FVA=4; %Factor de Venta de Residuos.
%Este factor puedes hacerlo con base en costo de venta de Residuos.
%Considerar para este factor ppm de Antocianinas Estimadas.

%Costos Unitarios por Proceso sin costos de arándano (por Lote de PF)
%CtoProceso=Cto.Unitario*PiezasLoteEfectivas
CtoPJugo= 72.15*19; %Costo de Producción de Jugos (1 Lote de P. Final= 19.82
Kg)
CtoPMermelada= 41.75*160; %Costo de Producción de Mermelada (1 Lote de P. Final =
72.89 Kg)
CtoPSecado=35.66*70; %Costo de Producción de Secado (1 Lote de P. Final =
17.72 Kg)

%Ecuaciones de márgenes de Ganancia por Proceso:
MGJ = (1-(50/100)); %Para Jugo
MGM = (1-(40/100)); %Para Mermelada
MGS = (1-(40/100)); %Para Secado

%Cálculo de Precio de Venta de Producto Final por Lote de Arándano
%Considerando capacidad total para un Lote de Producto Final por Proceso
%Considerando Costo de Materia Prima Real (Arándano)

CtoProdLote1=[(CtoPJugo+120*D(1,1))/MGJ, (CtoPMermelada+35*D(1,1))/MGM,
(CtoPSecado+100*D(1,1))/MGS];
CtoProdLote2=[(CtoPJugo+120*D(1,2))/MGJ, (CtoPMermelada+35*D(1,2))/MGM,
(CtoPSecado+100*D(1,2))/MGS];
CtoProdLote3=[(CtoPJugo+120*D(1,3))/MGJ, (CtoPMermelada+35*D(1,3))/MGM,
(CtoPSecado+100*D(1,3))/MGS];
CtoProdLote4=[(CtoPJugo+120*D(1,4))/MGJ, (CtoPMermelada+35*D(1,4))/MGM,
(CtoPSecado+100*D(1,4))/MGS];
CtoProdLote5=[(CtoPJugo+120*D(1,5))/MGJ, (CtoPMermelada+35*D(1,5))/MGM,
(CtoPSecado+100*D(1,5))/MGS];

```

```
CtoProdLote6=[(CtoPJugo+120*D(1,6))/MGJ, (CtoPMermelada+35*D(1,6))/MGM,
(CtoPSecado+100*D(1,6))/MGS];
```

```
GananciasLote1=[CtoProdLote1(1,1)*FVA-(CtoPJugo+120*D(1,1)), CtoProdLote1(1,2)*8-
(CtoPMermelada+35*D(1,1)), CtoProdLote1(1,3)-(CtoPSecado+100*D(1,1))];
GananciasLote2=[CtoProdLote2(1,1)*FVA-(CtoPJugo+120*D(1,2)), CtoProdLote2(1,2)-
(CtoPMermelada+35*D(1,2)), CtoProdLote2(1,3)-(CtoPSecado+100*D(1,2))];
GananciasLote3=[CtoProdLote3(1,1)*FVA-(CtoPJugo+120*D(1,3)), CtoProdLote3(1,2)-
(CtoPMermelada+35*D(1,3)), CtoProdLote3(1,3)-(CtoPSecado+100*D(1,3))];
GananciasLote4=[CtoProdLote4(1,1)*FVA-(CtoPJugo+120*D(1,4)), CtoProdLote4(1,2)-
(CtoPMermelada+35*D(1,4)), CtoProdLote4(1,3)-(CtoPSecado+100*D(1,4))];
GananciasLote5=[CtoProdLote5(1,1)*FVA-(CtoPJugo+120*D(1,5)), CtoProdLote5(1,2)*55-
(CtoPMermelada+35*D(1,5)), CtoProdLote5(1,3)-(CtoPSecado+100*D(1,5))];
GananciasLote6=[CtoProdLote6(1,1)*FVA-(CtoPJugo+120*D(1,6)), CtoProdLote6(1,2)-
(CtoPMermelada+35*D(1,6)), CtoProdLote6(1,3)*69-(CtoPSecado+100*D(1,6))];
```

```
%Multiplicar Ganancias de Jugo por Factor que implique costo de Residuos.
```

```
%Buscar valor mayor en ganancias y determinar proceso más conveniente:
```

```
[ValorPr1, MejPrL1] = max(GananciasLote1);
[ValorPr2, MejPrL2] = max(GananciasLote2);
[ValorPr3, MejPrL3] = max(GananciasLote3);
[ValorPr4, MejPrL4] = max(GananciasLote4);
[ValorPr5, MejPrL5] = max(GananciasLote5);
[ValorPr6, MejPrL6] = max(GananciasLote6);
```

```
MejPr=[MejPrL1 MejPrL2 MejPrL3 MejPrL4 MejPrL5 MejPrL6];
```

```
%Regresa el Mejor Proceso donde 1) Jugo, 2) Mermelada y 3)Secado.
```

```
%Considerar que esto sólo es Válido si se trata de Categoría 1.
```

```
disp('De acuerdo con las estimaciones del algoritmo:')
```

```
%Toma de decisiones de acuerdo con Categorías, Costos y Cantidades
```

```
%Desplegar Categoría por Lotes
```

```
%Lote 1
```

```
if CategoriaL1==1 && MejPr(1,1)==1
    disp('Arándano de Lote 1 es de Categoría 1. Enviar a proceso de Jugos.')
elseif CategoriaL1==1 && MejPr(1,1)==2
    disp('Arándano de Lote 1 es de Categoría 1. Enviar a Proceso de Mermeladas.')
elseif CategoriaL1==1 && MejPr(1,1)==3
    disp('Arándano de Lote 1 es de Categoría 1. Enviar a Proceso de Deshidratado.')
elseif CategoriaL1==2
    disp('Arándano de Lote 1 es de Categoría 2. Enviar a Proceso de Mermeladas.')
elseif CategoriaL1==3
    disp('Arándano de Lote 1 es de Categoría 3. Enviar a Proceso de Deshidratado.')
elseif CategoriaL1==4
    disp('Arándano de Lote 1 es de Categoría 4. Enviar a compostaje o alimento para
ganado.')
end
```

```

%Lote 2
if CategoriaL2==1 && MejPr(1,2)==1
    disp('Arándano de Lote 2 es de Categoría 1. Enviar a proceso de Jugos.')
elseif CategoriaL2==1 && MejPr(1,2)==2
    disp('Arándano de Lote 2 es de Categoría 1. Enviar a Proceso de Mermeladas.')
elseif CategoriaL2==1 && MejPr(1,2)==3
    disp('Arándano de Lote 2 es de Categoría 1. Enviar a Proceso de Deshidratado.')
elseif CategoriaL2==2
    disp('Arándano de Lote 2 es de Categoría 2. Enviar a Proceso de Mermeladas.')
elseif CategoriaL2==3
    disp('Arándano de Lote 2 es de Categoría 3. Enviar a Proceso de Deshidratado.')
elseif CategoriaL2==4
    disp('Arándano de Lote 2 es de Categoría 4. Enviar a compostaje o alimento para
ganado.')
end

%Lote 3
if CategoriaL3==1 && MejPr(1,3)==1
    disp('Arándano de Lote 3 es de Categoría 1. Enviar a proceso de Jugos.')
elseif CategoriaL3==1 && MejPr(1,3)==2
    disp('Arándano de Lote 3 es de Categoría 1. Enviar a Proceso de Mermeladas.')
elseif CategoriaL3==1 && MejPr(1,3)==3
    disp('Arándano de Lote 3 es de Categoría 1. Enviar a Proceso de Deshidratado.')
elseif CategoriaL3==2
    disp('Arándano de Lote 3 es de Categoría 2. Enviar a Proceso de Mermeladas.')
elseif CategoriaL3==3
    disp('Arándano de Lote 3 es de Categoría 3. Enviar a Proceso de Deshidratado.')
elseif CategoriaL3==4
    disp('Arándano de Lote 3 es de Categoría 4. Enviar a compostaje o alimento para
ganado.')
end

%Lote 4
if CategoriaL4==1 && MejPr(1,4)==1
    disp('Arándano de Lote 4 es de Categoría 1. Enviar a proceso de Jugos.')
elseif CategoriaL4==1 && MejPr(1,4)==2
    disp('Arándano de Lote 4 es de Categoría 1. Enviar a Proceso de Mermeladas.')
elseif CategoriaL4==1 && MejPr(1,4)==3
    disp('Arándano de Lote 4 es de Categoría 1. Enviar a Proceso de Deshidratado.')
elseif CategoriaL4==2
    disp('Arándano de Lote 4 es de Categoría 2. Enviar a Proceso de Mermeladas.')
elseif CategoriaL4==3
    disp('Arándano de Lote 4 es de Categoría 3. Enviar a Proceso de Deshidratado.')
elseif CategoriaL4==4
    disp('Arándano de Lote 4 es de Categoría 4. Enviar a compostaje o alimento para
ganado.')
end

```

```

%Lote 5
if CategoriaL5==1 && MejPr(1,5)==1
    disp('Arándano de Lote 5 es de Categoría 1. Enviar a proceso de Jugos.')
elseif CategoriaL5==1 && MejPr(1,5)==2
    disp('Arándano de Lote 5 es de Categoría 1. Enviar a Proceso de Mermeladas.')
elseif CategoriaL5==1 && MejPr(1,5)==3
    disp('Arándano de Lote 5 es de Categoría 1. Enviar a Proceso de Deshidratado.')
elseif CategoriaL5==2
    disp('Arándano de Lote 5 es de Categoría 2. Enviar a Proceso de Mermeladas.')
elseif CategoriaL5==3
    disp('Arándano de Lote 5 es de Categoría 3. Enviar a Proceso de Deshidratado.')
elseif CategoriaL5==4
    disp('Arándano de Lote 5 es de Categoría 4. Enviar a compostaje o alimento para
ganado.')
end

```

```

%Lote 6
if CategoriaL6==1 && MejPr(1,6)==1
    disp('Arándano de Lote 6 es de Categoría 1. Enviar a proceso de Jugos')
elseif CategoriaL6==1 && MejPr(1,6)==2
    disp('Arándano de Lote 6 es de Categoría 1. Enviar a Proceso de Mermeladas.')
elseif CategoriaL6==1 && MejPr(1,6)==3
    disp('Arándano de Lote 6 es de Categoría 1. Enviar a Proceso de Deshidratado.')
elseif CategoriaL6==2
    disp('Arándano de Lote 6 es de Categoría 2. Enviar a Proceso de Mermeladas.')
elseif CategoriaL6==3
    disp('Arándano de Lote 6 es de Categoría 3. Enviar a Proceso de Deshidratado.')
elseif CategoriaL6==4
    disp('Arándano de Lote 6 es de Categoría 4. Enviar a compostaje o alimento para
ganado.')
end

```

%Cantidades Disponibles de Frutilla por Categoría de Lote

```

%A) CATEGORÍA 1
%LOTE 1
%Lote 1/Categoría 1/Mejor Proceso 1 (Disponibilidad para Jugo)
if CategoriaL1==1 && MejPr(1,1)==1 && MejPr(1,1)~=2 && MejPr(1,1)~=3 &&
MejPr(1,1)~=4;
    TDJL1=E(1,1);
else CategoriaL1==1 && MejPr(1,1)~=1 && MejPr(1,1)==2 && MejPr(1,1)==3 &&
MejPr(1,1)==4;
    TDJL1=0;
end
%Lote 1/Categoría 1/Mejor Proceso 2 (Disponibilidad para Mermelada)
if CategoriaL1==1 && MejPr(1,1)==2 && MejPr(1,1)~=1 && MejPr(1,1)~=3 &&
MejPr(1,1)~=4;
    TDML1=E(1,1);
else CategoriaL1==1 && MejPr(1,1)~=2 && MejPr(1,1)==1 && MejPr(1,1)==3 &&
MejPr(1,1)==4;
    TDML1=0;
end

```

```

%Lote 1/Categoría 1/Mejor Proceso 3 (Disponibilidad para Secado)
if CategoriaL1==1 && MejPr(1,1)==3 && MejPr(1,1)~=1 && MejPr(1,1)~=2 &&
MejPr(1,1)~=4;
    TDSL1=E(1,1);
else CategoriaL1==1 && MejPr(1,1)~=3 && MejPr(1,1)==1 && MejPr(1,1)==2 &&
MejPr(1,1)==4;
    TDSL1=0;
end

%Lote 1/Categoría 2 = Mejor Proceso 2 (Disponibilidad para Mermelada)
if CategoriaL1==2 && CategoriaL1~=1 && CategoriaL1~=3 && CategoriaL1~=4;
    TDML1=E(1,1);
else CategoriaL1~=2;
    TDML1=0;
end

%Lote 1/Categoría 3 = Mejor Proceso 3 (Disponibilidad para Secado)
if CategoriaL1==3 && CategoriaL1~=1 && CategoriaL1~=2 && CategoriaL1~=4;
    TDSL1=E(1,1);
else CategoriaL1~=3;
    TDSL1=0;
end

%Lote 1/Categoría 4 = Mejor Proceso 4 (Disponibilidad para Compostaje)
if CategoriaL1==4 && CategoriaL1~=1 && CategoriaL1~=2 && CategoriaL1~=3;
    TDCL1=E(1,1);
else CategoriaL1~=4;
    TDCL1=0;
end

%LOTE 2
%Lote 2/Categoría 1/Mejor Proceso 1 (Disponibilidad para Jugo)
if CategoriaL2==1 && MejPr(1,2)==1 && MejPr(1,2)~=2 && MejPr(1,2)~=3 &&
MejPr(1,2)~=4;
    TDJL2=E(1,2);
else CategoriaL2==1 && MejPr(1,2)~=1 && MejPr(1,2)==2 && MejPr(1,2)==3 &&
MejPr(1,2)==4;
    TDJL2=0;
end

%Lote 2/Categoría 1/Mejor Proceso 2 (Disponibilidad para Mermelada)
if CategoriaL2==1 && MejPr(1,2)==2 && MejPr(1,2)~=1 && MejPr(1,2)~=3 &&
MejPr(1,2)~=4;
    TDML2=E(1,2);
else CategoriaL2==1 && MejPr(1,2)~=2 && MejPr(1,2)==1 && MejPr(1,2)==3 &&
MejPr(1,2)==4;
    TDML2=0;
end

%Lote 2/Categoría 1/Mejor Proceso 3 (Disponibilidad para Secado)
if CategoriaL2==1 && MejPr(1,2)==3 && MejPr(1,2)~=1 && MejPr(1,2)~=2 &&
MejPr(1,2)~=4;
    TDSL2=E(1,2);
else CategoriaL2==1 && MejPr(1,2)~=3 && MejPr(1,2)==1 && MejPr(1,2)==2 &&
MejPr(1,2)==4;
    TDSL2=0;
end

```

```

%Lote 2/Categoría 2 = Mejor Proceso 2 (Disponibilidad para Mermelada)
if CategoriaL2==2 && CategoriaL2~=1 && CategoriaL2~=3 && CategoriaL2~=4;
    TDML2=E(1,2);
else CategoriaL2~=2;
    TDML2=0;
end
%Lote 2/Categoría 3 = Mejor Proceso 3 (Disponibilidad para Secado)
if CategoriaL2==3 && CategoriaL2~=1 && CategoriaL2~=2 && CategoriaL2~=4;
    TDSL2=E(1,2);
else CategoriaL2~=3;
    TDSL2=0;
end

%Lote 2/Categoría 4 = Mejor Proceso 4 (Disponibilidad para Compostaje)
if CategoriaL2==4 && CategoriaL2~=1 && CategoriaL2~=2 && CategoriaL2~=3;
    TDCL2=E(1,2);
else CategoriaL2~=4;
    TDCL2=0;
end

%LOTE 3
%Lote 3/Categoría 1/Mejor Proceso 1 (Disponibilidad para Jugo)
if CategoriaL3==1 && MejPr(1,3)==1 && MejPr(1,3)~=2 && MejPr(1,3)~=3 &&
MejPr(1,3)~=4;
    TDJL3=E(1,3);
else CategoriaL3==1 && MejPr(1,3)~=1 && MejPr(1,3)==2 && MejPr(1,3)==3 &&
MejPr(1,3)==4;
    TDJL3=0;
end
%Lote 3/Categoría 1/Mejor Proceso 2 (Disponibilidad para Mermelada)
if CategoriaL3==1 && MejPr(1,3)==2 && MejPr(1,3)~=1 && MejPr(1,3)~=3 &&
MejPr(1,3)~=4;
    TDML3=E(1,3);
else CategoriaL3==1 && MejPr(1,3)~=2 && MejPr(1,3)==1 && MejPr(1,3)==3 &&
MejPr(1,3)==4;
    TDML3=0;
end
%Lote 3/Categoría 1/Mejor Proceso 3 (Disponibilidad para Secado)
if CategoriaL3==1 && MejPr(1,3)==3 && MejPr(1,3)~=1 && MejPr(1,3)~=2 &&
MejPr(1,3)~=4;
    TDSL3=E(1,3);
else CategoriaL3==1 && MejPr(1,3)~=3 && MejPr(1,3)==1 && MejPr(1,3)==2 &&
MejPr(1,3)==4;
    TDSL3=0;
end

%Lote 3/Categoría 2 = Mejor Proceso 2 (Disponibilidad para Mermelada)
if CategoriaL3==2 && CategoriaL3~=1 && CategoriaL3~=3 && CategoriaL3~=4;
    TDML3=E(1,3);
else CategoriaL3~=2;
    TDML3=0;
end

```

```

%Lote 3/Categoría 3 = Mejor Proceso 3 (Disponibilidad para Secado)
if CategoriaL3==3 && CategoriaL3~=1 && CategoriaL3~=2 && CategoriaL3~=4;
    TDSL3=E(1,3);
else CategoriaL3~=3;
    TDSL3=0;
end
%Lote 3/Categoría 4 = Mejor Proceso 4 (Disponibilidad para Compostaje)
if CategoriaL3==4 && CategoriaL3~=1 && CategoriaL3~=2 && CategoriaL3~=3;
    TDCL3=E(1,3);
else CategoriaL3~=4;
    TDCL3=0;
end

%LOTE 4
%Lote 4/Categoría 1/Mejor Proceso 1 (Disponibilidad para Jugo)
if CategoriaL4==1 && MejPr(1,4)==1 && MejPr(1,4)~=2 && MejPr(1,4)~=3 &&
MejPr(1,4)~=4;
    TDJL4=E(1,4);
else CategoriaL4==1 && MejPr(1,4)~=1 && MejPr(1,4)==2 && MejPr(1,4)==3 &&
MejPr(1,4)==4;
    TDJL4=0;
end
%Lote 4/Categoría 1/Mejor Proceso 2 (Disponibilidad para Mermelada)
if CategoriaL4==1 && MejPr(1,4)==2 && MejPr(1,4)~=1 && MejPr(1,4)~=3 &&
MejPr(1,4)~=4;
    TDML4=E(1,4);
else CategoriaL4==1 && MejPr(1,4)~=2 && MejPr(1,4)==1 && MejPr(1,4)==3 &&
MejPr(1,4)==4;
    TDML4=0;
end
%Lote 4/Categoría 1/Mejor Proceso 3 (Disponibilidad para Secado)
if CategoriaL4==1 && MejPr(1,4)==3 && MejPr(1,4)~=1 && MejPr(1,4)~=2 &&
MejPr(1,4)~=4;
    TDSL4=E(1,4);
else CategoriaL4==1 && MejPr(1,4)~=3 && MejPr(1,4)==1 && MejPr(1,4)==2 &&
MejPr(1,4)==4;
    TDSL4=0;
end

%Lote 4/Categoría 2 = Mejor Proceso 2 (Disponibilidad para Mermelada)
if CategoriaL4==2 && CategoriaL4~=1 && CategoriaL4~=3 && CategoriaL4~=4;
    TDML4=E(1,4);
else CategoriaL4~=2;
    TDML4=0;
end
%Lote 4/Categoría 3 = Mejor Proceso 3 (Disponibilidad para Secado)
if CategoriaL4==3 && CategoriaL4~=1 && CategoriaL4~=2 && CategoriaL4~=4;
    TDSL4=E(1,4);
else CategoriaL4~=3;
    TDSL4=0;
end

```

```

%Lote 4/Categoría 4 = Mejor Proceso 4 (Disponibilidad para Compostaje)
if CategoriaL4==4 && CategoriaL4~=1 && CategoriaL4~=2 && CategoriaL4~=3;
    TDCL4=E(1,4);
else CategoriaL4~=4;
    TDCL4=0;
end

%LOTE 5
%Lote 5/Categoría 1/Mejor Proceso 1 (Disponibilidad para Jugo)
if CategoriaL5==1 && MejPr(1,5)==1 && MejPr(1,5)~=2 && MejPr(1,5)~=3 &&
MejPr(1,5)~=4;
    TDJL5=E(1,5);
else CategoriaL5==1 && MejPr(1,5)~=1 && MejPr(1,5)==2 && MejPr(1,5)==3 &&
MejPr(1,5)==4;
    TDJL5=0;
end
%Lote 5/Categoría 1/Mejor Proceso 2 (Disponibilidad para Mermelada)
if CategoriaL5==1 && MejPr(1,5)==2 && MejPr(1,5)~=1 && MejPr(1,5)~=3 &&
MejPr(1,5)~=4;
    TDML5=E(1,5);
else CategoriaL5==1 && MejPr(1,5)~=2 && MejPr(1,5)==1 && MejPr(1,5)==3 &&
MejPr(1,5)==4;
    TDML5=0;
end

%Lote 5/Categoría 1/Mejor Proceso 3 (Disponibilidad para Secado)
if CategoriaL5==1 && MejPr(1,5)==3 && MejPr(1,5)~=1 && MejPr(1,5)~=2 &&
MejPr(1,5)~=4;
    TDSL5=E(1,5);
else CategoriaL5==1 && MejPr(1,5)~=3 && MejPr(1,5)==1 && MejPr(1,5)==2 &&
MejPr(1,5)==4;
    TDSL5=0;
end

%Lote 5/Categoría 2 = Mejor Proceso 2 (Disponibilidad para Mermelada)
if CategoriaL5==2 && CategoriaL5~=1 && CategoriaL5~=3 && CategoriaL5~=4;
    TDML5=E(1,5);
else CategoriaL5~=2;
    TDML5=0;
end
%Lote 5/Categoría 3 = Mejor Proceso 3 (Disponibilidad para Secado)
if CategoriaL5==3 && CategoriaL5~=1 && CategoriaL5~=2 && CategoriaL5~=4;
    TDSL5=E(1,5);
else CategoriaL5~=3;
    TDSL5=0;
end
%Lote 5/Categoría 4 = Mejor Proceso 4 (Disponibilidad para Compostaje)
if CategoriaL5==4 && CategoriaL5~=1 && CategoriaL5~=2 && CategoriaL5~=3;
    TDCL5=E(1,5);
else CategoriaL5~=4;
    TDCL5=0;
end

```

```

%LOTE 6
%Lote 6/Categoría 1/Mejor Proceso 1 (Disponibilidad para Jugo)
if CategoriaL6==1 && MejPr(1,6)==1 && MejPr(1,6)~=2 && MejPr(1,6)~=3 &&
MejPr(1,6)~=4;
    TDJL6=E(1,6);
else CategoriaL6==1 && MejPr(1,6)~=1 && MejPr(1,6)==2 && MejPr(1,6)==3 &&
MejPr(1,6)==4;
    TDJL6=0;
end
%Lote 6/Categoría 1/Mejor Proceso 2 (Disponibilidad para Mermelada)
if CategoriaL6==1 && MejPr(1,6)==2 && MejPr(1,6)~=1 && MejPr(1,6)~=3 &&
MejPr(1,6)~=4;
    TDML6=E(1,6);
else CategoriaL6==1 && MejPr(1,6)~=2 && MejPr(1,6)==1 && MejPr(1,6)==3 &&
MejPr(1,6)==4;
    TDML6=0;
end
%Lote 6/Categoría 1/Mejor Proceso 3 (Disponibilidad para Secado)
if CategoriaL6==1 && MejPr(1,6)==3 && MejPr(1,6)~=1 && MejPr(1,6)~=2 &&
MejPr(1,6)~=4;
    TDSL6=E(1,6);
else CategoriaL6==1 && MejPr(1,6)~=3 && MejPr(1,6)==1 && MejPr(1,6)==2 &&
MejPr(1,6)==4;
    TDSL6=0;
end

%Lote 6/Categoría 2 = Mejor Proceso 2 (Disponibilidad para Mermelada)
if CategoriaL6==2 && CategoriaL6~=1 && CategoriaL6~=3 && CategoriaL6~=4;
    TDML6=E(1,6);
else CategoriaL6~=2;
    TDML6=0;
end

%Lote 6/Categoría 3 = Mejor Proceso 3 (Disponibilidad para Secado)
if CategoriaL6==3 && CategoriaL6~=1 && CategoriaL6~=2 && CategoriaL6~=4;
    TDSL6=E(1,6);
else CategoriaL6~=3;
    TDSL6=0;
end
%Lote 6/Categoría 4 = Mejor Proceso 4 (Disponibilidad para Compostaje)
if CategoriaL6==4 && CategoriaL6~=1 && CategoriaL6~=2 && CategoriaL6~=3;
    TDCL6=E(1,6);
else CategoriaL6~=4;
    TDCL6=0;
end

disp('Las cantidades de arándano disponible para casa proceso serían las
siguientes:')

```

```

%Cálculo de Total de Frutilla Disponible para cada Proceso
TotalJugoDisponible= TDJL1+TDJL2+TDJL3+TDJL4+TDJL5+TDJL6;
TotalMermeladasDisponible= TDML1+TDML2+TDML3+TDML4+TDML5+TDML6;
TotalSecadoDisponible= TDSL1+TDSL2+TDSL3+TDSL4+TDSL5+TDSL6;
TotalCompostajeDisponible= TDCL1+TDCL2+TDCL3+TDCL4+TDCL5+TDCL6;

TJD=[num2str(TotalJugoDisponible),' Kilogramos de arándano total diponibles para
Elaboración de Jugo.'];
disp(TJD)
TMD=[num2str(TotalMermeladasDisponible),' Kilogramos de arándano total diponibles
para elaboración de Mermeladas.'];
disp(TMD)
TSD=[num2str(TotalSecadoDisponible),' Kilogramos de arándano total diponibles para
elaboración de producto deshidratado.'];
disp(TSD)
TCD=[num2str(TotalCompostajeDisponible),' Kilogramos de arándano total para
compostaje y/o alimento para ganado. Segregar.'];
disp(TCD)

BaseHistorica=[BaseB BaseA M']; %Esta matriz contiene los datos acumulados.
xlswrite('BaseHistorica',BaseHistorica) %Consolidar datos en libro de Excel
correspondiente.
disp('Guardar libro de Excel de base de catos Histórica en carpeta correspondiente
asignando nombre de parámetros correspondientes.')

>> CodigoTOGBblueberryPC
De acuerdo con las estimaciones del algoritmo:
Arándano de Lote 1 es de Categoría 1. Enviar a Proceso de Mermeladas.
Arándano de Lote 2 es de Categoría 1. Enviar a proceso de Jugos.
Arándano de Lote 3 es de Categoría 1. Enviar a proceso de Jugos.
Arándano de Lote 4 es de Categoría 1. Enviar a proceso de Jugos.
Arándano de Lote 5 es de Categoría 1. Enviar a Proceso de Mermeladas.
Arándano de Lote 6 es de Categoría 1. Enviar a Proceso de Deshidratado.
Las cantidades de arándano disponible para casa proceso serían las siguientes:
0.51 Kilogramos de arándano total diponibles para Elaboración de Jugo.
0 Kilogramos de arándano total diponibles para elaboración de Mermeladas.
0 Kilogramos de arándano total diponibles para elaboración de producto deshidratado.
0 Kilogramos de arándano total para compostaje y/o alimento para ganado. Segregar.
Guardar libro de Excel de base de catos Histórica en carpeta correspondiente
asignando nombre de parámetros correspondientes.
>>

```

Anexo IV: Equipos Principales cotizados para la estimación de CAPEX y costos de producción

El siguiente anexo contiene los equipos, características técnicas, proveedores, país de origen, costo (\$MXN), fuente y fecha de consulta.

La última columna de la tabla contiene los hipervínculos de las páginas de internet de donde se obtuvo la información de cada uno de los equipos; cabe señalar que las ilustraciones presentes en la tabla fueron obtenidas de la misma fuente de consulta. El tipo de cambio para la conversión de USD a MXN fue de 1USD=20.35 MXN (al 27 de febrero de 2022).

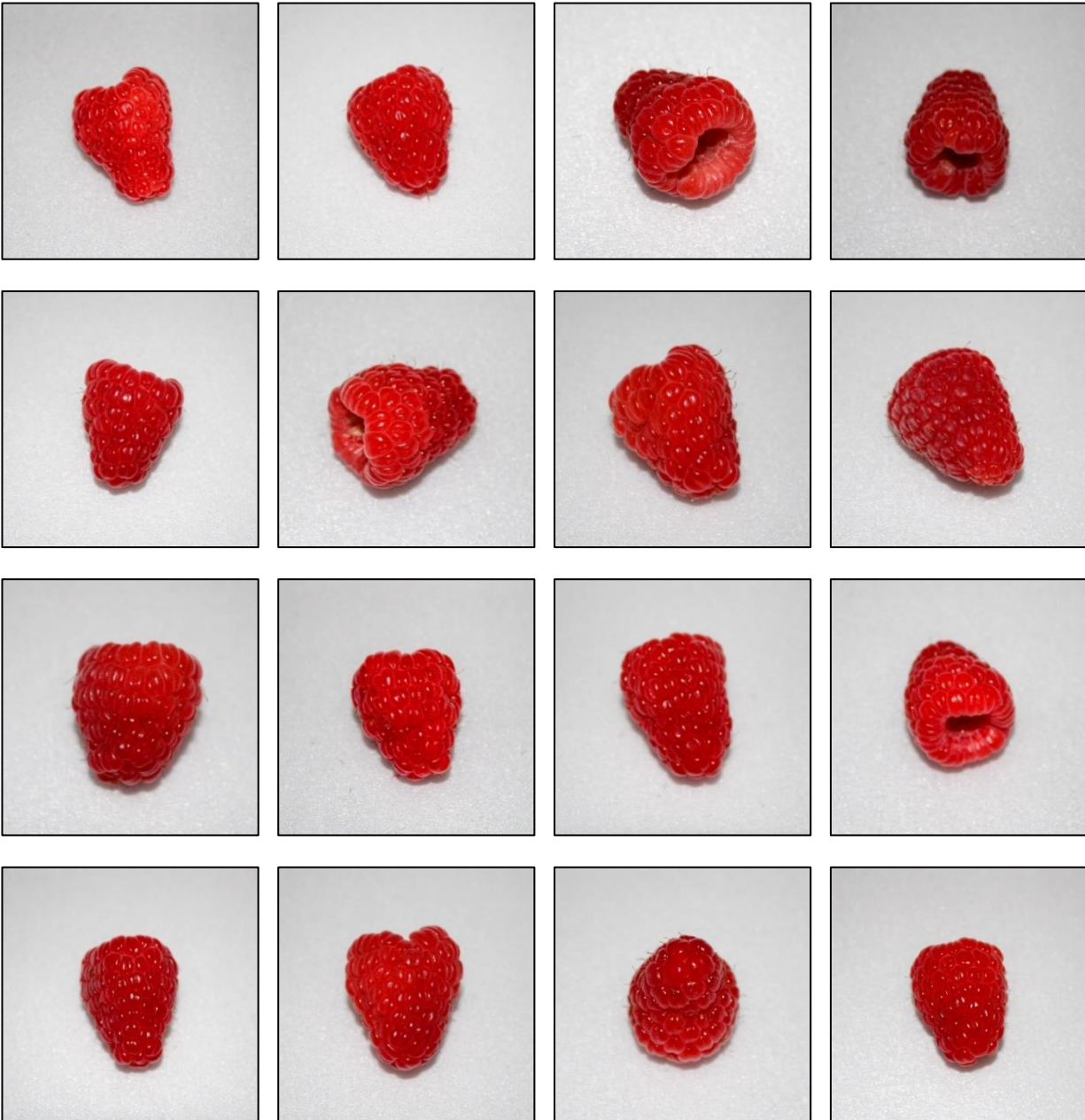
Equipo, Marca y Modelo	Proveedor (País de Origen)	Descripción del equipo y Capacidades	Cotización	Fuente y fecha de consulta
 Secador Híbrido (Solar/Eléctrico) Marca: 23 Grados Modelo: DHINOX23G-100 KG	23 Grados Energía Solar (México)	Elaborado con Acero Inoxidable. El equipo contiene 24 charolas y alcanza temperaturas de 40 a 70°C. Su consumo promedio es 3000 Watts por hora. Voltaje de 220 V.	Costo + IVA = \$136,000.00 MXN	23 Grados (Consultado: 13/02/2022)
 Despulpadora Marca: Aureus Steeli Modelo: S002	MercadoLibre (México)	Elaborado con Acero Inoxidable grado alimenticio 304; Incluye 2 cilindros o cribas con aperturas de 5 mm y 1mm. La salida para la pulpa tiene una conexión <i>clamp</i> de 3 pulgadas que permite conectar una manguera o bomba para dirigir la pulpa a donde se requiere. Cuenta con Motor bifásico; Voltaje de 220 V y potencia de 5 HP.	Costo= \$68,000.00 MXN (se asume con IVA)	MercadoLibre México (Consultado: 23/02/2022)
 Filtro Prensa Automático Modelo: XY12/450-30U	Zhengzhou Toper Industrial Equipment Co., Ltd (China)	Elaborado con Acero Inoxidable. El filtro de volumen de la cámara es de 182 litros. Sus dimensiones son de 2950x700x900mm. Filtro de tamaño de las placas 450x450mm. Filtro de presión: de 0.6Mpa. Contiene 29 placas. Voltaje de 380V.	Costo = \$97,680.00 MXN (Tipo de cambio de \$1 USD = \$20.35 MXN)	Alibaba (Consultado: 23/02/2022)

 Marmita Enchaquetada Semiesférica a Vapor Modelo: MTA100VPRSEFJRY	InoxiMéxico (México)	Marmita Fija de 150 Litros Nominales y 100 Litros Útiles. Elaborada con Acero Inoxidable y equipada con motorreductor y variador de 0 a 36 rpm de 1.5 HP de potencia con raspadores y agitador tipo ancla. Conexión trifásica con voltaje de 220V. Chaqueta para vapor soporta hasta 20 psi de presión.	Costo= \$241,506.20 MXN (valor recalculado al asumirse sin IVA)	InoxiMéxico (Consultado: 24/02/2022)
 Evaporador al vacío Modelo: Y-N-100L	Shanghai Yuyan Machinery Equipment (China)	Elaborado con Acero Inoxidable, grado alimenticio 304. Volumen de la cámara de evaporación de 150 litros. Capacidad de evaporación de 100 litros por hora- Temperatura de evaporación entre 50 y 80°C. Contiene taque de colección de 50 litros. Consumo de vapor de 60 kg/h.	Costo= \$120,024.30 MXN ((Tipo de cambio de \$1 USD = \$20.35 MXN)	Alibaba (Consultado: 23/02/2022)
 Llenadora de líquidos viscosos y cremas Modelo: 1746	Tecnologías Sagaon S.A. de C.V. (México)	Elaborado con Acero Inoxidable, grado alimenticio 304. Rango de llenado de 50 a 500 ml. El volumen de la tolva es de 30 litros. Potencia de 750 Watts y Voltaje de 110 V. Rango de presión de entre 0.4 y 0.6 MPa. La precisión de llenado es mayor o igual al 1%. Dimensiones: 135x75x55 cm.	Costo= \$22,608.40 MXN (valor recalculado al asumirse sin IVA)	Tecnologías Sagaon S.A. de C.V. (Consultado: 24/02/2022)
 Lavadora de Verduras por Lote Modelo: Tecnodac TSH-05	Inmeza (México)	Elaborado con Acero Inoxidable. El tiempo de lavado va de entre los 2 y 5 minutos. Capacidad para 250 litros útiles de agua de lavado. Dimensiones de 1100x 1100x960mm. Contiene bomba centrífuga de acero inoxidable de 2 HP de potencia, con un voltaje de 220V, (60Hz). Se requiere aire a una presión de 5-7 Kg/cm², por lo que se recomienda compresor de 1 HP de potencia.	Costo= \$254,219.00 MXN (al 27/02/2022, incluido IVA)	Inmeza (Consultado: 27/02/2022)

 Caldera de Vapor Modelo: LX-100 SG	Miura México (México/USA)	Calentamiento alimentado por gas. Caldera de vapor baja y de alta presión. 100 BHP, presión máxima de 11.95 kg/cm² MAWP. Producción equivalente de 1565 kg/h. Producción calorífica de 843,800 Kcal/h. Eficiencia (combustible a vapor) de 94% (89% sin economizador). Consumo de gas de 99.74 m³/h. 15.5 KVA (máximo consumo eléctrico)	Costo= \$ 1'098,900.00 MXN (Tipo de cambio de \$1 USD = \$20.35 MXN)	Bid on Equipment
--	--------------------------------------	---	---	---

Anexo V: Ejemplo de imágenes de frambuesas que sí cumplen con el estándar de calidad para su exportación para la consolidación de base interna de datos

El siguiente anexo contiene imágenes frambuesas cosechadas en campos de la empresa *Agrolmagen*. La frutilla fue cosechada el domingo 18 de septiembre en la comunidad de San Antonio Puerta de la Vega, Jalisco, y se obtuvo a partir de una muestra del lote 7145 123 listo para exportación.



Anexo VI: Ejemplo de imágenes de frambuesas que no cumplen con los estándares de calidad para exportación para la consolidación de base interna de datos

El siguiente anexo contiene imágenes frambuesas segregadas por no cumplir con los estándares de exportación en campos de la empresa *Agrolimagen*. La frutilla fue recolectada el domingo 18 de septiembre en la comunidad de San Antonio Puerta de la Vega, Jalisco.

