

UNIVERSIDAD DE EXTREMADURA



ESCUELA DE INGENIERÍAS AGRARIAS



**ESTUDIO DEL EFECTO DE LA FOTOCATÁLISIS OXIDATIVA
AVANZADA SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA DE LAVADO DE LAS
CENTRALES FRUTÍCOLAS Y LA VIDA POSCOSECHA DE CEREZAS**

TRABAJO FIN DE GRADO

INGENIERÍA DE LAS INDUSTRIAS AGRARIAS Y ALIMENTARIAS

Verónica Becerra Gutiérrez

Badajoz, septiembre 2021

TRABAJO FIN DE GRADO

ESTUDIO DEL EFECTO DE LA FOTOCATÁLISIS OXIDATIVA AVANZADA SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA DE LAVADO DE LAS CENTRALES FRUTÍCOLAS Y LA VIDA POSCOSECHA DE CEREZAS

INGENIERÍA DE LAS INDUSTRIAS AGRARIAS Y ALIMENTARIAS

AUTOR: Verónica Becerra Gutiérrez

TUTOR/ES: Belén Velardo Micharet y María Josefa Bernalte García

Tutor Belén Velardo Micharet

Cotutor María Josefa Bernalte García

Fdo: Belén Velardo Micharet

Fdo: María Josefa Bernalte García

Convocatoria: septiembre 2021

ÍNDICE

ÍNDICE

1. Resumen	2
2. Introducción.....	4
2.1. Importancia económica del sector de la cereza	4
2.2. Principales patógenos poscosecha en cereza	5
2.3. Parámetros de calidad de la cereza	10
2.4. Necesidad de la aplicación de tecnologías poscosecha en cereza	11
2.5. Desinfección del agua de lavado de las centrales frutícolas	16
3. Objetivos.....	19
4. Material y Métodos.....	21
4.1. Evaluación de la eficacia de los reactores de dióxido de titanio en la desinfección del agua de lavado.....	21
4.2. Evaluación del efecto de la desinfección del agua de lavado mediante el reactor de dióxido de titanio sobre la calidad microbiológica de cerezas	27
4.3. Evaluación del efecto de la utilización de reactores de dióxido de titanio a nivel industrial sobre la calidad poscosecha de cerezas	29
5. Resultados y discusión	33
5.1. Eficacia de los reactores de dióxido de titanio en la desinfección del agua de lavado	33
5.2. Efecto de la desinfección del agua de lavado mediante el reactor de dióxido de titanio sobre la calidad microbiológica de cerezas	39
5.3. Efecto de la utilización de reactores de dióxido de titanio a nivel industrial sobre la calidad poscosecha y la vida útil de cerezas	41
6. Estudio económico	51
6.1. Introducción	51
6.2. Características generales.....	51
6.3. Pagos del proyecto	53
6.4. Cobros de explotación	55
6.5. Flujos de cajas.....	56
6.6. Indicadores de evaluación.....	57
6.7. Análisis de sensibilidad	59
7. Conclusiones.....	61
8. Bibliografía.....	63

ÍNDICE

9. Anejos.....	71
9.1. Anejo I: Datos del estudio económico.....	71
9.2. Anejo II: Relación de figuras y tablas	75

1. RESUMEN

RESUMEN

1. RESUMEN

En el presente Trabajo de Fin de Grado se estudió el efecto de la fotocatalisis oxidativa avanzada sobre la calidad del agua de lavado de las centrales frutícolas y la vida poscosecha de cerezas. Los objetivos planteados fueron (I) la evaluación de la reducción de la carga microbiana en el agua de lavado mediante la utilización de un reactor de dióxido de titanio, (II) la evaluación del efecto de la desinfección del agua de lavado mediante esta tecnología sobre la calidad microbiológica de cerezas y (III) la evaluación de la implantación de esta tecnología a nivel industrial sobre la calidad poscosecha de cerezas. Para ello, se realizaron diferentes estudios, tanto a nivel de laboratorio como a escala industrial, para determinar la efectividad del reactor de dióxido de titanio sobre la reducción de la carga microbiológica del agua de lavado (*Monilia fructicola*, *Botrytis cinerea*, *Penicillium expansum*, *Rhizopus stolonifer* y *Geotrichum candidum*) y de las cerezas (bacterias aerobias mesófilas, bacterias aerobias psicrófilas, mohos y levaduras), así como su posible efecto sobre la calidad poscosecha (firmeza, color, sólidos solubles totales, acidez titulable y color de los pedicelos) y vida útil de los frutos (15, 30 y 40 días de almacenamiento refrigerado).

Los resultados mostraron que dos horas de desinfección del agua mediante el reactor de dióxido de titanio fueron suficientes para reducir en un 98% la carga microbiana de *Monilia fructicola* y para eliminar por completo la carga de *Botrytis cinerea*, *Penicillium expansum*, *Rhizopus stolonifer* y *Geotrichum candidum*. La instalación de los reactores de dióxido de titanio en la central frutícola contribuyó positivamente al mantenimiento de la calidad microbiológica del agua utilizada en el proceso de *hydrocooling*, no obstante, el lavado de las cerezas con agua desinfectada mediante esta tecnología no afectó significativamente a la calidad microbiológica ni a la calidad físico-química de las mismas. Las cerezas lavadas con agua desinfectada mediante los reactores de dióxido de titanio presentaron una mayor intensidad del color rojo (mayor valor de a^*/b^*); y la utilización de esta tecnología, unida a la aplicación del fungicida Scholar ®, contribuyó a paliar la pérdida de intensidad del color de los pedicelos que tiene lugar durante el almacenamiento. Por último, la evaluación de la viabilidad económica de la implementación de reactores de dióxido de titanio para la desinfección del agua de las centrales frutícolas resultó positiva, puesto que se logró una reducción del 60% en el consumo de agua.

2. INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

2. INTRODUCCIÓN

2.1. Importancia económica del sector de la cereza

En 2019, la producción de cerezas en Europa fue de 775.983 toneladas, situándose como el segundo continente con mayor producción (29,9% de la producción mundial de cerezas), por detrás de Asia (45,2%). América presentó un 22,7% de la producción mundial, mientras que los porcentajes correspondientes a África y Oceanía fueron muy pequeños en comparación con los de las anteriores regiones, 1,5 y 0,7%, respectivamente, como se puede observar en la Figura 2.1 (FAO, 2021).

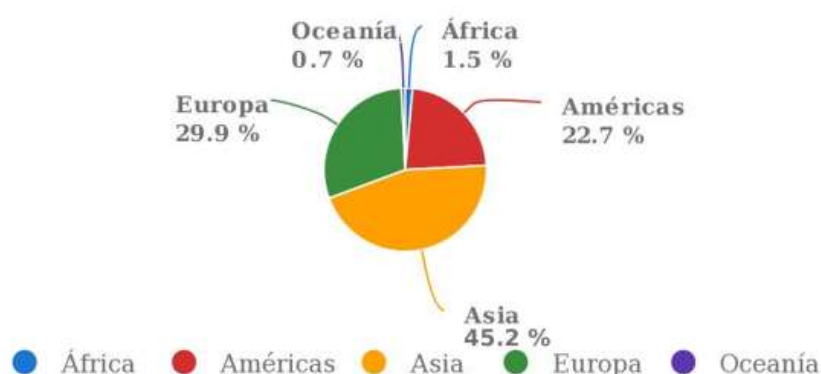


FIGURA 2.1 Distribución mundial de la producción de cerezas en 2019 (FAO, 2021).

La producción de cerezas en España, en el año 2019, fue de 118.380 toneladas (FAO, 2021) situándose como el sexto país productor de cerezas a nivel mundial (Figura 2.2), por detrás de Turquía (664.224 toneladas), Estados Unidos (321.420 toneladas), Chile (233.929 toneladas), Uzbekistán (175.861 toneladas) e Irán (128.354 toneladas).

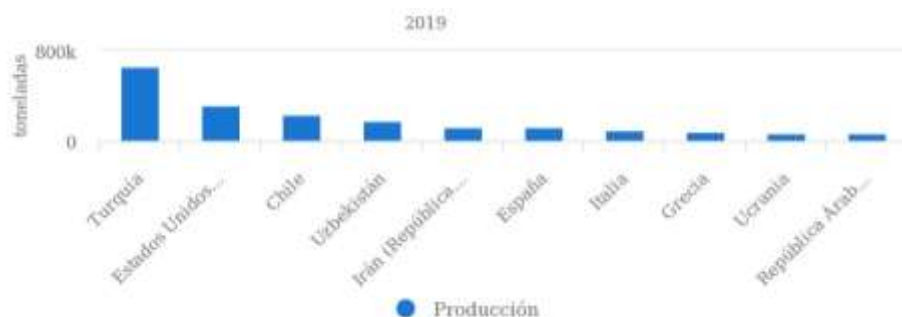


FIGURA 2.2 Producción de los 10 principales países productores de cerezas en 2019 (FAO, 2021).

INTRODUCCIÓN

En España, la superficie total de plantación de cerezos en el año 2018 era de 27.500 hectáreas, de las cuales 8.660 se encontraban en Aragón y 7.520 en Extremadura (MAPA, 2021). En la Figura 2.3 (izquierda) se puede observar cuáles son las comunidades autónomas con mayor superficie de cerezos y el porcentaje que representan con respecto al total de la superficie nacional de plantación de estos frutales en el año 2018.

De las 107.000 toneladas de cerezas producidas en 2018 a nivel nacional, 36.233 toneladas fueron producidas en Extremadura y 32.859 toneladas en Aragón. De esta forma, Extremadura se situó como el principal productor de cerezas, con un 33,86% de la producción nacional (MAPA, 2021), como se puede observar en la Figura 2.3 (derecha). Los datos de superficie de plantación y producción de cerezas en Extremadura ponen de relieve la adaptación de este cultivo a las condiciones agroclimáticas de nuestra región.

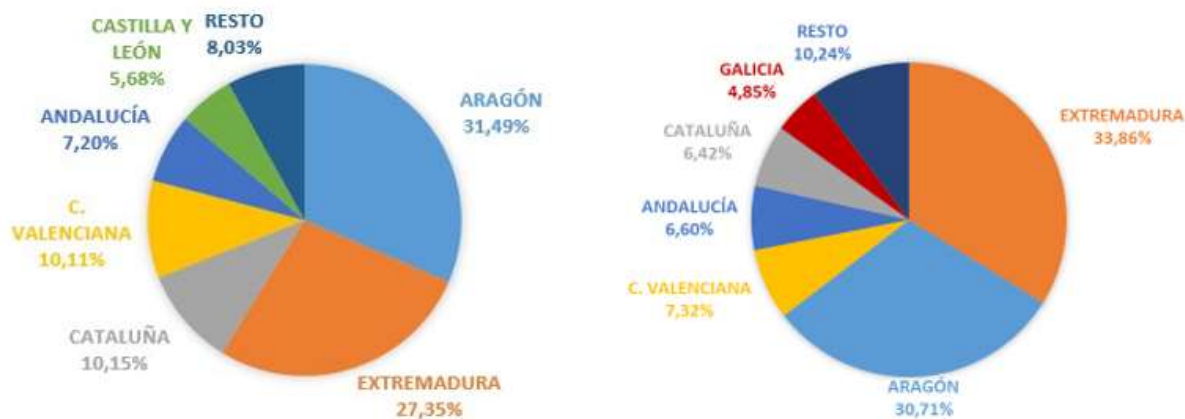


FIGURA 2.3 Distribución de la superficie nacional de plantación de cerezos (izquierda) y de la producción nacional de cerezas (derecha) en 2018 (elaboración propia a partir de datos del MAPA, 2021).

2.2. Principales patógenos poscosecha en cereza

Tras la recolección, la fruta de hueso se deteriora de manera rápida como consecuencia de alteraciones metabólicas, lesiones mecánicas, pérdida de firmeza, senescencia y alteraciones causadas por mohos y levaduras. Más de un tercio de las frutas y hortalizas cosechadas se pierden, debido en gran parte a la infección por patógenos en campo y en poscosecha, que dan lugar a podredumbres cuando la fruta madura (Romanazzi et al., 2016).

Las principales enfermedades poscosecha en cerezas son producidas por la aparición de podredumbres de origen fúngico (Alonso y Alique, 2006). Estas alteraciones pueden

INTRODUCCIÓN

suponer entre un 5 y un 10% de pérdidas cuando se aplican fungicidas poscosecha, y pueden alcanzar más de un 50% cuando no se utiliza ningún tratamiento antifúngico.

Los patógenos que causan las enfermedades más importantes en poscosecha son de varias especies pertenecientes a los géneros *Alternaria*, *Aspergillus*, *Botrytis*, *Fusarium*, *Geotrichum*, *Gloeosporium*, *Cladosporium*, *Mucor*, *Monilinia*, *Penicillium*, *Rhizopus* y otros géneros (Barkai-Goland, 2001). Estos mohos se encuentran en la superficie del fruto, y pueden dar lugar al desarrollo de podredumbres cuando se dan las condiciones ambientales adecuadas (Plaza et al., 2007).

Las enfermedades fúngicas poscosecha tienen un impacto económico significativo en la exportación de frutas (Prusky, 2011). Además, pueden causar serios problemas de salud a los consumidores, debido a la contaminación de las frutas por micotoxinas (Drusch y Ragab, 2003).

A continuación, se presentan algunos de los principales patógenos de origen fúngico que afectan a las cerezas durante el periodo de poscosecha.

2.2.1. *Monilia* spp.

Los agentes causantes de la conocida como podredumbre parda o marrón son tres hongos del género *Monilia*: *M. fructicola*, *M. fructigena* y *M. laxa* (García, 2017). Adaskaveg et al. (2000) comprobaron que la podredumbre parda en cerezas está provocada por *M. fructicola*.

El desarrollo de estos patógenos puede llegar a producir pérdidas de hasta el 80% de la producción de fruta de hueso en años de climatología favorable para la enfermedad (García, 2017). Esta infección se manifiesta principalmente en años lluviosos, durante la época de floración y desarrollo de los frutos, cuando la humedad es elevada y las temperaturas son cálidas, entre los 20 y los 26°C (Alonso y Alique, 2006), y se inicia cuando las conidias germinan en la superficie del fruto, dando lugar a tubos germinativos que después se difunden por el mismo (García, 2017).

La podredumbre parda es la enfermedad más importante que afecta a la fruta de hueso (Sisquella, 2014), y se da principalmente en variedades tardías (Macías, 2020). Según García (2017), la fruta madura es más susceptible al desarrollo de la infección, sin embargo, no se

INTRODUCCIÓN

conoce con exactitud la relación que existe entre los procesos de infección, el grado de madurez de la fruta y las condiciones ambientales.

Las pérdidas de producción pueden darse, además de en las centrales frutícolas, en los puntos de venta o en las casas de los consumidores. Esto hace que al impacto causado al productor debido a las pérdidas de fruta haya que sumar el de las reclamaciones comerciales y la pérdida de confianza del cliente (Sisquella, 2014).

2.2.2. *Botrytis cinerea*

La infección por *Botrytis cinerea*, popularmente conocida como podredumbre gris, es la más común en frutos senescentes y en frutos con un almacenamiento prolongado. En condiciones de baja humedad relativa se producen abundantes esporas de color gris. En cambio, cuando la humedad es alta, se desarrolla un micelio algodonoso. El desarrollo de este patógeno puede producirse a 0°C, temperatura recomendada para el almacenamiento de cerezas, aunque más lentamente que a temperaturas elevadas (Alonso y Alique, 2006).

Botrytis cinerea es responsable de grandes pérdidas no solo en cerezas, sino en una gran variedad de cultivos, pudiendo llegar a afectar hasta un 25% en la cosecha y un 89% en la fase de poscosecha. En algunos casos, la infección se produce en el campo, permaneciendo inactiva durante la temporada de crecimiento y desarrollándose más tarde, en el período de poscosecha (Ugolini et al., 2014).

2.2.3. *Penicillium expansum*

Penicillium expansum es el responsable del mohó azul de la fruta, y es una de las enfermedades poscosecha más importantes en cerezas (De Paiva et al., 2017). Los mohos pertenecientes al género *Penicillium* fueron identificados como los principales patógenos poscosecha en la variedad ‘Ambrunés’ (Serradilla et al., 2013), un cultivar de picota autóctona de Extremadura.

La infección por *Penicillium expansum* es más frecuente en frutos dañados o en senescencia, dando lugar a multitud de pequeñas esporas verde-azuladas, con una enorme capacidad de dispersión. Los cultivares tempranos de cerezas (‘Burlat’, ‘Navalinda’), son más sensibles a este patógeno que los tardíos (‘Lapins’, ‘Ambrunés’). Para evitar y ralentizar el desarrollo de esta infección se recomienda una cuidadosa manipulación, no almacenar fruta rajada y una baja temperatura de conservación (Alonso y Alique, 2006).

INTRODUCCIÓN

Penicillium expansum es capaz de infectar por contacto frutos sanos que toquen a frutos enfermos. No obstante, su crecimiento es relativamente lento en comparación con el de *Botrytis cinerea*. Es capaz de pudrir frutos a temperaturas de 0°C, siendo su temperatura mínima de crecimiento de entre -3,3°C y -2,2°C (Kader, 2011).

2.2.4. *Rhizopus stolonifer*

Los mohos del género *Rhizopus* se pueden encontrar en diversos lugares: en el suelo, en los vegetales, en los residuos, en alimentos ricos en hidratos de carbono y en alimentos húmedos. Este moho puede reproducirse tanto de manera sexual como asexual, dando lugar a una pudrición blanda sobre los tejidos donde se desarrolla (Macías, 2020).

Rhizopus stolonifer es considerado uno de los patógenos de poscosecha más destructivos, debido a su gran velocidad de crecimiento (Petrasch et al., 2019). El proceso de pudrición se desarrolla mediante la excreción por parte del hongo de enzimas pécticas que degradan y disuelven las pectinas de las células vegetales (Velázquez-del Valle et al., 2008), dando lugar a una podredumbre de color marrón, blanda, acuosa y con descomposición interna del fruto. Con el desarrollo de la podredumbre aparece una masa micelar de color blanco con unos esporangios globulares que con el tiempo adquieren un color negro (Casals et al., 2021).

Las esporas de *Rhizopus stolonifer* son capaces de vivir durante largos períodos sin agua y de soportar temperaturas elevadas. Además, puede sobrevivir durante meses en el suelo, las esporas se diseminan por el aire y cuando se dan las condiciones adecuadas germinan y se desarrollan (Velázquez-del Valle et al., 2008). Para el crecimiento de este patógeno se requieren temperaturas superiores a los 4°C, por lo que se recomienda el almacenamiento de los frutos a 0°C para evitar su desarrollo (Alonso y Alique, 2006).

Los frutos maduros o con lesiones producidas por el rajado y la manipulación son más susceptibles a la infección por *Rhizopus stolonifer* (Alonso y Alique, 2006). La mayoría de heridas en los frutos se producen durante la cosecha y el transporte, por lo que las mayores pérdidas por *Rhizopus stolonifer* se dan en el período de poscosecha y envasado de los mismos (Velázquez-del Valle et al., 2008).

INTRODUCCIÓN

2.2.5. *Geotrichum candidum*

Geotrichum candidum da lugar a la infección conocida como pudrición ácida de la fruta de hueso, por el olor a fermentado y agrio que desprenden los frutos afectados, en los que se produce maceración, así como desintegración de la epidermis y la pulpa. A medida que avanza la enfermedad, se forma una capa blanquecina de crecimiento micelar sobre la superficie del fruto, produciendo un exudado que hace que la piel se desintegre y a partir de aquí se infecten los frutos adyacentes (Casals et al., 2021) Con el paso de los años, ha pasado de ser una enfermedad testimonial a un problema de gran importancia en las campañas frutícolas. Esta enfermedad se desarrolla durante el periodo de poscosecha, por lo que sus síntomas suelen observarse durante el almacenamiento y en los mercados de destino (Rodríguez et al., 2016).

La dispersión del inóculo de *Geotrichum candidum* parece deberse, principalmente, al polvo del suelo y a salpicaduras del agua de lluvia, no obstante, se ha demostrado que también puede ser transmitido por insectos (Yagmour et al., 2012). La transmisión de *Geotrichum candidum* en tomate y de otros patógenos poscosecha en melocotón y nectarina se asocia con la mosca del vinagre (*Drosophila melanogaster*) y los escarabajos nitidúlidos (*Carpophilus spp.*) (Butler, 1961; Butler y Bracker, 1963; Tate y Ogawa, 1975; Michailides y Spotts, 1990). Por tanto, los insectos pueden desempeñar un importante papel en la pudrición ácida, pero no se ha establecido aún su importancia para la fruta de hueso (Yagmour et al., 2012).

En la Figura 2.4 se pueden observar cultivos puros de *Botrytis cinerea*, *Penicillium expansum*, *Rhizopus stolonifer* y *Geotrichum candidum*.



FIGURA 2.4 Cultivos puros de *Botrytis cinerea*, *Penicillium expansum*, *Rhizopus stolonifer* y *Geotrichum candidum*, de izquierda a derecha.

2.3. Parámetros de calidad de la cereza

La calidad de un fruto es un aspecto muy amplio que engloba diferentes acepciones dependiendo de los atributos a los que se haga referencia: apariencia, textura, sabor, valor nutricional, seguridad, funcionalidad, entre otros (Kader, 2011).

En cerezas, la apariencia es el atributo más importante de calidad y el más fácilmente vulnerable por problemas de diversa naturaleza: defectos de tipo morfológico (cerezas dobles), daños físicos (marchitamiento, *cracking*, abrasiones, rasguños), desórdenes fisiológicos (*pitting*, piel de lagarto) y alteraciones patológicas (pudriciones causadas por hongos y bacterias). Uno de los aspectos importantes que influyen en la aceptación del producto es el color visual de la piel del fruto (Crisosto et al., 2003).

La textura (firmeza) es importante para la calidad comestible y es un factor determinante en la resistencia al estrés mecánico durante el transporte.

La calidad de sabor involucra la percepción de gustos y aromas de muchos compuestos y establece el nivel mínimo de aceptación del producto. Las cerezas son altamente apreciadas por los consumidores por su calidad organoléptica. Muestra de ello es la existencia de una Denominación de Origen Protegida “Cereza del Jerte” como sello de garantía de una calidad superior. La calidad organoléptica la definen, principalmente, tres componentes que son el contenido de azúcares, la acidez y el aroma (Serradilla et al., 2012). La relación entre sólidos solubles totales y acidez titulable tiene un gran impacto en la percepción del dulzor y el sabor, y, por tanto, en la aceptación por parte de los consumidores.

Los factores de seguridad incluyen niveles de residuos químicos o contaminantes, derivados de las prácticas agronómicas y/o del procesado de los frutos. Asegurar la inocuidad del producto es extremadamente importante para el consumidor, que rechazará cualquier producto que le parezca no seguro, independientemente de su calidad.

Finalmente, la calidad funcional o bioactiva es un aspecto que está cobrando importancia en los últimos años. Los compuestos funcionales están presentes de forma natural en la fruta y su ingesta se ha relacionado con la disminución o prevención de ciertas enfermedades degenerativas, como cáncer y enfermedades cardiovasculares. Tales compuestos reciben también el nombre de fitoquímicos o fitonutrientes y poseen la característica común de presentar capacidad antioxidante, ya que son capaces de bloquear el

INTRODUCCIÓN

daño provocado por los radicales libres implicados en muchos procesos degenerativos como consecuencia del estrés (Serradilla, 2012). Pertenecen a este grupo de compuestos los carotenoides, flavonoides, isoflavonas, fitoesteroles y ciertas vitaminas. Además, las cerezas son fuente de melatonina, la hormona encargada de regular los ciclos de sueño-vigilia. Un estudio de Garrido et al. (2010) demostró que el consumo de cerezas del Valle del Jerte mejoraba la calidad del sueño en individuos sanos (sin ningún trastorno patológico del sueño).

El estudio de las propiedades físico-químicas ayuda a los productores a decidir adecuadamente las estrategias de cosecha y las tecnologías poscosecha a utilizar (Hayaloglu y Demir, 2015). Algunos de los parámetros que se tienen en cuenta a la hora de determinar la calidad físico-química de las cerezas son los siguientes: peso, calibre, textura, color del fruto y de los pedicelos, sólidos solubles totales (SST), acidez titulable (AT), pH, e índice de maduración (SST/AT) (Serradilla et al., 2012; Velardo et al., 2015; Serradilla et al., 2017).

2.4. Necesidad de la aplicación de tecnologías poscosecha en cereza

Las cerezas son productos muy perecederos, con una vida útil muy corta tras su recolección, como consecuencia de la maduración y senescencia y de la aparición de alteraciones fisiológicas causadas por los procesos de manipulación y conservación. Otro aspecto importante que limita la vida útil de las cerezas es la aparición de podredumbres de origen fúngico, como ya se ha comentado anteriormente en el apartado 2.2.

La presencia de estas alteraciones da lugar a una pérdida de calidad que se traduce en una disminución de la vida comercial del fruto. Es por ello que se hace necesaria la aplicación de tecnologías poscosecha que tienen como finalidad retrasar los procesos de maduración y senescencia de la fruta, manteniendo la calidad durante el circuito comercial de distribución, comercialización y consumo; así como evitar y/o minimizar la aparición de alteraciones fisiológicas y fúngicas, aumentando así su vida útil (Bernalte et al., 2003; Arribillaga, 2013).

Inmediatamente después de la recolección, es muy importante tratar de reducir el tiempo que las cerezas permanecerán en el campo, así como evitar la exposición de las mismas al sol y a altas temperaturas, y mantener una elevada humedad relativa, para evitar la deshidratación (Zoffoli et al., 2017).

INTRODUCCIÓN

Se debe tener en cuenta que las cerezas son frutos no climatéricos, por lo que una vez que son recolectadas la calidad de las mismas no puede mejorar. Por este motivo, el momento de recolección es muy importante: las cerezas recolectadas antes de tiempo tendrán un bajo contenido en sólidos solubles y poco aroma; en cambio, aquellas recolectadas demasiado tarde tienden a ser blandas y con una vida útil corta (Whiting y Perry, 2017). En el hemisferio norte, la recolección de las cerezas se da desde finales de abril hasta principios de septiembre (Zoffoli et al., 2017).

Por otro lado, gran parte de la producción de cerezas se destina a exportación. Esto hace que la aplicación de tecnologías poscosecha sea más necesaria aún, ya que aumenta el tiempo requerido para que la fruta llegue hasta el consumidor final y, por tanto, las pérdidas de calidad que pueden producirse son mayores. El periodo de poscosecha puede extenderse desde una semana (consumo doméstico) hasta unos 30 días en el caso de exportaciones a mercados lejanos, como China, Taiwán y Hong Kong (Zoffoli et al., 2017).

En la Figura 2.5 se muestra el diagrama de flujo del procesado poscosecha de cerezas.

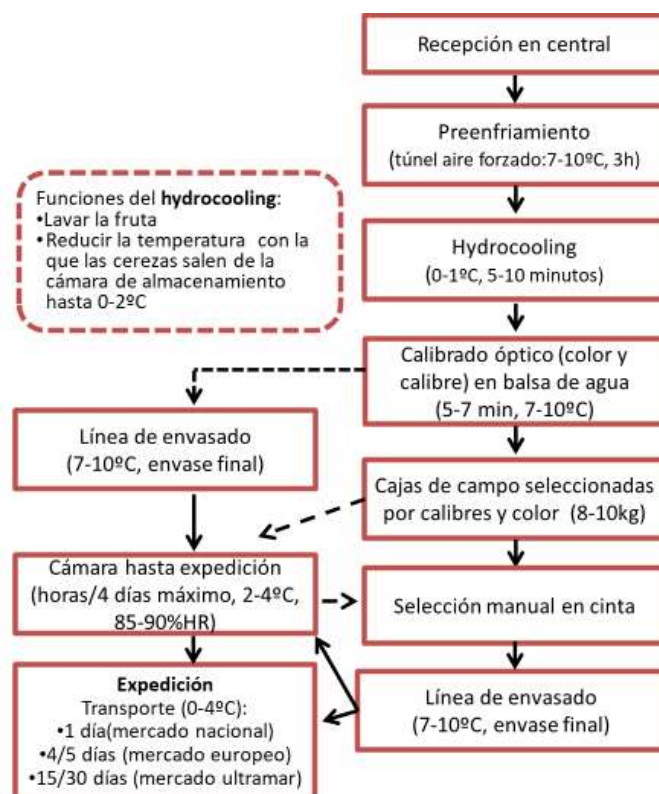


FIGURA 2.5 Procesado poscosecha de cerezas.

INTRODUCCIÓN

A continuación, se describen las tecnologías más utilizadas durante la manipulación y el procesado poscosecha de las cerezas en las centrales frutícolas.

2.4.1. Preenfriamiento por agua (*Hydrocooling*)

El *hydrocooling* consiste en un enfriamiento rápido de la fruta por contacto directo con agua fría, el cual debe realizarse dentro de las cuatro primeras horas posteriores a la cosecha. Su efecto positivo se basa en que la fruta es enfriada de forma rápida y uniforme, a la vez que lavada y desinfectada. Para aumentar su eficiencia, el equipo de enfriamiento debe funcionar de manera continua, a su máxima capacidad, y estar localizado en una sala fría o aislada para evitar la transferencia de calor desde el aire adyacente (Zoffoli et al., 2017). El dimensionamiento del equipo de enfriamiento debe permitir que la temperatura del agua se mantenga entre 0 y 1°C y que no supere los 2°C en momentos de máxima demanda (Candan et al., 2017).

Muñoz et al. (2017) estudiaron el efecto del *hydrocooling* sobre la calidad poscosecha de cerezas de la variedad ‘Sweetheart’. En comparación con cerezas enfriadas 24 horas después de la recolección, aquellas enfriadas inmediatamente después de la cosecha presentaron un mayor índice de aceptabilidad (SST/AT) y una mejor apariencia, con pedicelos más verdes y turgentes y una menor deshidratación.

2.4.2. Aplicación de fungicidas

Los métodos de control más comunes para evitar el desarrollo de microorganismos alterantes comprenden la limpieza y desinfección de la fruta durante su manipulación, y la reducción de la temperatura durante todo el proceso de manipulación, almacenamiento y distribución (Fukuzaki, 2006; FDA, 2008). Pero, incluso siguiendo los procedimientos adecuados, entre un 25 y un 50% de la fruta se deteriora durante el periodo poscosecha debido a la proliferación de mohos y levaduras sobre la fruta, un sustrato rico en agua y nutrientes. El método más efectivo y utilizado para controlar las pérdidas causadas por podredumbres es la utilización de productos químicos de síntesis, por su relativo bajo coste y la comodidad en su aplicación.

Históricamente, el uso de fungicidas en poscosecha no estaba autorizado en la UE, contando sólo con autorizaciones excepcionales emitidas por el Ministerio de Agricultura de un fungicida de síntesis formulado a base de fludioxonil y comercializado bajo el nombre de

INTRODUCCIÓN

Scholar® 230 SC (Syngenta, España, S.A.) desde el año 2012 hasta el 2016, momento en que se autorizó definitivamente su uso en poscosecha de fruta de hueso, pepita y cítricos. En marzo de 2017 se autorizó el uso de otro fungicida de síntesis, formulado a base de pirimetanil y comercializado bajo el nombre de DeccoPyr Pot (Decco Ibérica Post Cosecha S.A.U., España). Ambos fungicidas se diferencian principalmente en su modo de aplicación; el Scholar® 230 SC es un fungicida de contacto que puede utilizarse en sistemas tipo *drench*, inmersión, de gota controlada tipo T-Jet y de flujo continuo; mientras que DeccoPyr Pot es un fumígeno y, por tanto, su modo de aplicación es mediante combustión de un gas. Actualmente, en fruta de hueso, el fungicida poscosecha más utilizado es el Scholar® 230 SC. En el caso concreto de las cerezas las recomendaciones comerciales de uso son aplicaciones en *drencher* e inmersión a una dosis de 200 mL/100 L de agua, ofreciendo protección frente a las enfermedades causadas por *Monilia*, *Botrytis* y *Rhizopus* (Agrofresh, España).

2.4.3. Almacenamiento en refrigeración

Las frutas tienen que almacenarse a bajas temperaturas lo más rápidamente posible después de la recolección y deben mantener la cadena de frío durante todo el proceso de manipulación, confección, conservación, transporte y venta, siendo esta tecnología de conservación post-recolección la más antigua y usada en todo el mundo (Valero y Serrano, 2010). La temperatura óptima de conservación de cerezas es de entre 0 y 1°C. Según Zoffoli et al. (2017), una temperatura estable cercana a los 0°C es el factor más importante para mantener la calidad de las cerezas durante su almacenamiento. Además de la temperatura de la cámara de almacenamiento, es importante monitorizar la humedad relativa en el interior de la misma, que debe encontrarse en torno al 95% (Candan et al., 2017).

Sin la aplicación de tecnologías poscosecha adicionales a la refrigeración, la vida útil de cerezas es corta, en torno a los 17 días (Bernalte et al., 2003), dependiendo de factores como la variedad, el estado de madurez en el momento de la recolección y el proceso de almacenamiento. De esta forma, se hace necesaria la aplicación de otras tecnologías de conservación combinadas con el frío.

2.4.4. Envasado en atmósferas modificadas

El envasado en atmósferas modificadas consiste en la utilización de materiales con diferentes permeabilidades al O₂, CO₂ y vapor de agua, de esta manera se consigue una alteración de la atmósfera que rodea al producto (aumento del CO₂ y disminución del O₂). La disminución del O₂ es necesaria para disminuir, a su vez, la tasa de respiración de los frutos. Las cerezas son muy resistentes a valores elevados de CO₂, por lo que rara vez sufren toxicidad por una concentración elevada de este gas. Se pueden considerar rangos seguros aquellos con valores de entre 3 y 10% de O₂ y de hasta 20% de CO₂. Por debajo de un 1% de O₂, así como por encima de un 25% de CO₂, pueden producirse alteraciones de la calidad del producto, como el desarrollo de sabores y olores extraños (Candan et al., 2017).

La tecnología de envasado en atmósfera modificada evita las pérdidas de peso durante el almacenamiento, reduce la aparición de daños por frío y minimiza las podredumbres causadas por contaminación cruzada de unos envases a otros, a la vez que se consigue disminuir la tasa de respiración y retrasar la maduración de las frutas, alargando de esta manera su vida útil.

El envasado en atmósferas modificadas no solo modifica las concentraciones de O₂ y CO₂, sino que también aumenta la humedad relativa en torno a la fruta, lo que retrasa su deshidratación. No obstante, si se dan fluctuaciones de temperatura, puede producirse condensación, dando lugar a pudriciones (Zoffoli et al., 2017).

Tapia et al. (2017) estudiaron el efecto del envasado en atmósferas modificadas sobre la calidad poscosecha de cerezas del cultivar 'Sweetheart', que presentaron, frente al tratamiento control, una mayor firmeza, un mejor mantenimiento del color y un mejor aspecto general. Además, observaron que el oscurecimiento de los pedicelos se redujo después de 2-3 semanas en refrigeración y envasado en atmósfera modificada. Cuanto menor sea el tiempo transcurrido desde la cosecha hasta que las cerezas son envasadas en atmósferas modificadas, mejor será el comportamiento de las mismas durante el periodo de almacenamiento (Zoffoli et al., 2017).

2.5. Desinfección del agua de lavado de las centrales frutícolas

Una de las estrategias utilizadas para la reducción de las pérdidas por podredumbres consiste en reducir las poblaciones de patógenos en las centrales frutícolas y, más concretamente, en el agua de lavado de la fruta. Esto puede dar lugar a otros beneficios, como la reducción del consumo de agua y del coste energético del proceso productivo y la disminución de agentes químicos empleados en la desinfección del agua, con los beneficios que ello conlleva para el medio ambiente. Esta estrategia es especialmente interesante en las cerezas, ya que su procesado poscosecha transcurre fundamentalmente por agua, a diferencia de otras frutas de hueso.

El consumo de agua en el sector frutícola, tanto de la fruta destinada al consumo en fresco como el de la fruta mínimamente procesada (IV Gama), es muy elevado, con unos 40.000 L/día de media en el proceso de lavado y unos 40 m³/t en la industria de IV Gama. Por ello, resulta interesante la implementación de nuevas estrategias y tecnologías eficientes y de coste no muy elevado para reducir y reutilizar las aguas de proceso.

El uso de aguas de lavado con una calidad inadecuada puede suponer una vía de propagación de contaminación de origen microbiológico (Gil et al., 2009). El desinfectante más utilizado para la desinfección, mediante lavado, de frutas y hortalizas a nivel industrial es el hipoclorito de sodio (NaClO). Un lavado estándar con 100-150 ppm de NaClO a un pH de 6,5 da lugar a una reducción en la concentración de microorganismos mesófilos, psicrótrofos y enterobacterias de 1 a 2 unidades logarítmicas en el producto (Sapers, 2001). En cerezas se suele utilizar una concentración de 100 ppm de NaClO.

La empresa AmbientCare (Valencia, España) ha desarrollado una tecnología consistente en la instalación de un reactor de dióxido de titanio (h₂o.TitaniumTM) que, en presencia de luz ultravioleta, genera enormes cantidades de radicales hidroxilo (-OH), letales para todos los microorganismos y que destruyen la materia orgánica presente en el agua mediante la rotura de los enlaces C-C. Esta reacción se conoce como fotocatalisis oxidativa avanzada, y presenta las siguientes ventajas:

1. Realiza una desinfección sin el uso de precursores químicos, ni generación de subproductos.
2. Se trata de una tecnología inocua y limpia, ya que los radicales -OH transforman los compuestos orgánicos en CO₂ y vapor de agua.

INTRODUCCIÓN

3. No produce ningún tipo de corrosión ni deterioro de las instalaciones, ya que el sistema no emplea el uso de agentes químicos al tratarse de un sistema de tratamiento físico que no modifica las propiedades organolépticas del agua.

El proceso de fotocatalisis consiste en una reacción fotoquímica que involucra la radiación ultravioleta y un material catalizador para la formación de radicales hidroxilo, que presentan actividad oxidante sobre los enlaces C-C. La fotocatalisis oxidativa avanzada, también conocida como fotocatalisis heterogénea, utiliza el dióxido de titanio como catalizador. Este es activado por la luz ultravioleta, y se produce una promoción de electrones de la banda de valencia a la de conducción, quedando un hueco positivo en la banda de valencia. Estos huecos positivos reaccionan con las moléculas de H_2O y con grupos OH^- para formar radicales hidroxilo ($-OH$). Por otra parte, los electrones de la banda de conducción reaccionan con el oxígeno e hidrógeno molecular para formar radicales superóxido ($-O_2$) y peróxido de hidrógeno (H_2O_2), que a su vez generan más radicales hidroxilo. Esta tecnología se ha utilizado previamente en otros sectores industriales para la higienización ambiental y del agua, pero no en el sector hortofrutícola.

Mediante la incorporación al reactor de dióxido de titanio de un sistema de filtrado de la materia orgánica procedente de la fruta, se podría conseguir que el agua de lavado quede libre de restos orgánicos y reducir la carga microbiológica para su posterior recirculación, contribuyendo de esta manera al ahorro del consumo de agua y a la disminución del volumen de vertidos.

3. OBJETIVOS

OBJETIVOS

3. OBJETIVOS

El objetivo general que se pretende alcanzar en este Trabajo de Fin de Grado es estudiar la viabilidad técnica y económica de la implementación de un reactor de dióxido de titanio, como complemento al uso del cloro, en el tratamiento del agua utilizada en las centrales frutícolas. Para ello, el estudio se llevó a cabo tanto a nivel de planta piloto como de central de procesado de cerezas, ya que el manejo de esta fruta, a diferencia de otras frutas de hueso, implica la utilización de grandes volúmenes de agua en diferentes puntos de la línea (*hydrocooling*, desinfección, clasificación y selección). Por otro lado, la cereza es un producto estratégico, de gran importancia económica para Extremadura, por lo que los resultados obtenidos en este estudio repercutirán directamente en el sector frutícola.

Para desarrollar este objetivo general, se han planteado los siguientes objetivos específicos:

1. Evaluación de la reducción de la carga microbiana en el agua de lavado mediante la utilización del reactor de óxido de titanio.
2. Evaluación del efecto de la desinfección del agua de lavado mediante el reactor de óxido de titanio sobre la calidad microbiológica de cerezas.
3. Evaluación del efecto de la implementación del reactor de óxido de titanio a nivel industrial sobre la calidad poscosecha de cerezas.

4. MATERIAL Y MÉTODOS

4. MATERIAL Y MÉTODOS

4.1. Evaluación de la eficacia de los reactores de dióxido de titanio en la desinfección del agua de lavado

La evaluación del efecto del reactor de dióxido de titanio sobre la calidad microbiológica del agua se llevó a cabo tanto a nivel de laboratorio mediante cultivos *in vivo* de los patógenos poscosecha más comunes en cerezas, como a nivel industrial mediante recuentos microbiológicos de muestras de agua tomadas en diferentes puntos de la central frutícola, según se detalla en las secciones 4.1.1. y 4.1.2., respectivamente.

4.1.1. Evaluación de la reducción de la carga microbiana de patógenos poscosecha en el agua de lavado

Se llevaron a cabo ensayos *in vivo* de los patógenos poscosecha a estudiar: *Monilia fruticola* (CECT 21105), *Botrytis cinerea* (CECT 20973), *Penicillium expansum* (CECT 2275), *Rhizopus stolonifer* (CECT 2344) y *Geotrichum candidum* (CECT 1102), provenientes de la colección española de cultivos tipo (CECT, Paterna, España). Para ello, se prepararon cultivos puros de estos microorganismos, que fueron adicionados a un volumen de 50 L de agua de red.

Se tomaron muestras por duplicado del agua recién inoculada con cada uno de los patógenos. El agua fue posteriormente tratada con el reactor de dióxido de titanio, tomándose muestras en diferentes ciclos de lavado. Estos ensayos fueron realizados en la planta piloto del INTAEX (Instituto Tecnológico Agroalimentario de Extremadura). Las muestras de agua se utilizaron para llevar a cabo recuentos en placas de Petri (DELTALAB, Barcelona, España) de los diferentes patógenos inoculados, estableciéndose para cada uno de ellos el número de ciclos necesarios para la higienización del agua.

4.1.1.1. Preparación de los cultivos puros

Los cultivos puros se prepararon según el método descrito por Hernández et al. (2021). Las cepas fueron cultivadas en agar patata dextrosa (PDA; Pronadisa, Madrid, España) con un pH de $3,5 \pm 0,1$; ajustado con un 1% (v/v) de solución de ácido tartárico al 10% (w/v). Las placas fueron incubadas a 25°C alrededor de 10 días, hasta que se observó la aparición de esporulación.

MATERIAL Y MÉTODOS

La recolección de las esporas de las placas se llevó a cabo mediante la adición de agua destilada estéril con un 0,05% (v/v) de Tween 80 (Scharlab, Barcelona, España). La superficie de cada colonia se frotó con suavidad, y la suspensión formada en cada placa se filtró a través de dos capas de gasa estéril.

Geotrichum candidum es un moho levuriforme, que no se reproduce mediante esporas. En este caso, se preparó una suspensión de células vegetativas. El procedimiento utilizado consistió en la recolección de las mismas mediante un asa de Digralsky estéril (DELTALAB, Barcelona, España) y su posterior resuspensión en agua destilada estéril (Choi et al., 1999). En la Figura 4.1 se pueden observar células vegetativas de *Geotrichum candidum*, vistas al microscopio electrónico.



FIGURA 4.1 Células vegetativas de *Geotrichum candidum* vistas al microscopio electrónico.



FIGURA 4.2 Recuento de esporas mediante cámara de Neubauer.

MATERIAL Y MÉTODOS

Todas las suspensiones se llevaron hasta un volumen final de 200 mL. La concentración de esporas (o células vegetativas, en el caso de *Geotrichum candidum*) de cada suspensión (Tabla 4.1) se midió en una cámara de Neubauer (BLAUBRAND®, Wertheim, Alemania), como se puede observar en la Figura 4.2.

TABLA 4.1 Concentración de la suspensión utilizada con cada patógeno poscosecha.

Patógeno poscosecha	Concentración final (esporas/mL)
<i>Monilia fruticola</i>	$1,6 \times 10^5$
<i>Botrytis cinerea</i>	$6,0 \times 10^7$
<i>Penicillium expansum</i>	$3,5 \times 10^4$
<i>Rhizopus stolonifer</i>	$8,5 \times 10^5$
<i>Geotrichum candidum</i>	$3,6 \times 10^5$ (células/mL)

4.1.1.2. Toma de muestras de agua

Se tomaron muestras del agua a tratar antes de ser inoculada con cada uno de los microorganismos (T0) y justo después de añadir cada uno de los inóculos (T1). En la Figura 4.3 se muestra la adición al tanque de agua de uno de los inóculos preparados en el laboratorio.



FIGURA 4.3 Adición del inóculo de *Rhizopus stolonifer* al tanque de agua del reactor.

La desinfección del agua se llevó a cabo durante 2 horas. Cada ciclo de desinfección dura 40 segundos, desde que el agua sale del tanque hasta que vuelve a él. Por tanto, en el

MATERIAL Y MÉTODOS

ensayo se llevaron a cabo 180 ciclos de desinfección para cada patógeno (Tabla 4.2). Cada una de las muestras de agua se tomó por duplicado.

TABLA 4.2 Ciclos de desinfección en los que se llevó a cabo la toma de muestras y tiempo de ensayo al que corresponden.

Ciclo de desinfección	Tiempo (horas:minutos:segundos)
C1	0:00:40
C2	0:01:20
C3	0:02:00
C6	0:04:00
C11	0:07:20
C17	0:11:20
C19	0:12:40
C27	0:18:00
C35	0:23:20
C43	0:28:40
C51	0:34:00
C59	0:39:20
C67	0:44:40
C75	0:50:00
C83	0:55:20
C90	1:00:00
C135	1:30:00
C180	2:00:00

4.1.1.3. Análisis microbiológico

El medio de cultivo utilizado fue el agar cloranfenicol (YGC; Merck, Darmstadt, Alemania), el cual se preparó siguiendo las indicaciones del fabricante. Una vez que el medio estuvo completamente homogeneizado, se esterilizó en un autoclave (MED 20, J. P. SELECTA®, Abrera, Barcelona, España) durante 15 minutos a 121°C y con una presión de 103 kPa. Más tarde, se repartió en placas de Petri en condiciones de esterilidad (desinfección de la superficie de trabajo con etanol al 70% y manteniendo un mechero Bunsen encendido).

MATERIAL Y MÉTODOS

Tras su preparación, las placas se dejaron solidificar y se conservaron en refrigeración hasta su utilización.

Para cada una de las muestras de agua tomadas se realizó la siembra directa, así como dos diluciones (-1, -2) o concentraciones (10, 100) en función del número de esporas observado en la cámara de Neubauer. Para realizar las diluciones se utilizaron tubos de ensayo (Normax, Marinha Grande, Portugal) estériles con 9 mL de agua de peptona (Oxoid Ltd, Basingstoke, Reino Unido) previamente preparada.

El análisis microbiológico se realizó mediante siembra en superficie, añadiendo 100 μ L de la correspondiente dilución a la placa Petri, que fueron repartidos y extendidos por toda la superficie de la misma con la ayuda de un asa de Digralsky de plástico estéril.

Para realizar las concentraciones, se hizo pasar la muestra por un filtro de 47 mm de diámetro y 0,45 μ m de tamaño de poro (Merck, Darmstadt, Alemania); con ayuda de un Kitasato (Endo Glassware) conectado a una bomba de vacío (Comecta S.A., Barcelona, España). Para obtener la concentración 10, se hizo pasar por el filtro 1 mL de muestra, y para obtener la concentración 100 se hicieron pasar 10 mL de muestra. Los filtros fueron sembrados en las placas de Petri.

Finalmente, se introdujeron las placas en la estufa (Memmert, Schwabach, Alemania) para su incubación a una temperatura de 25°C durante 5 días.

4.1.1.4. Determinación de recuentos microbianos

Las placas se revisaron a las 48 horas y se dejaron en la estufa hasta los 5 días para ver su crecimiento definitivo. Los recuentos se realizaron en aquellas placas que presentaron entre 30 y 300 unidades formadoras de colonias (UFC). Se utilizó un equipo contador de colonias (Stuart Scientific, Staffordshire, Reino Unido) para facilitar el recuento. Para expresar los resultados, se tomó el número de colonias y se tuvo en cuenta, tanto la dilución de la muestra a la que pertenecía la placa, como la cantidad de muestra añadida a la misma. Los resultados se expresaron en UFC/mL y se representaron gráficamente en base logarítmica (Log₁₀ UFC/mL).

4.1.2. Evaluación del efecto de los reactores de dióxido de titanio sobre la calidad microbiológica del agua de lavado a nivel industrial

Se llevó a cabo un seguimiento de la calidad microbiológica del agua utilizada en el proceso de *hydrocooling* tras la instalación de reactores de dióxido de titanio en la central frutícola. Las muestras de agua se tomaron en la central y los análisis se llevaron a cabo en los laboratorios del INTAEX.

4.1.2.1. Toma de muestras de agua

Se tomaron muestras del agua utilizada en el proceso de *hydrocooling* a lo largo de una semana, desde el llenado de la balsa con agua limpia (día 1) hasta su retirada y sustitución (día 7). Los puntos de muestreo fueron tres: a la salida de agua del reactor (I), en la balsa de almacenamiento de agua (II) y en las duchas que rocían el agua sobre las cerezas (III). Las muestras se tomaron en anaclines estériles, por duplicado para cada fecha y punto de muestreo, determinándose la concentración de bacterias aerobias mesófilas, mohos y levaduras.

4.1.2.2. Análisis microbiológico

El medio de cultivo utilizado para las bacterias aerobias mesófilas fue el PCA (Plate Count Agar, Oxoid Ltd, Basingstoke, Reino Unido), y para los mohos y levaduras se utilizó el agar cloranfenicol (YGC), los cuales se prepararon según indicaciones del fabricante.

Para cada una de las muestras de agua tomadas se realizó la siembra directa, así como tres diluciones (-1, -2 y -3). Para realizar las diluciones se utilizaron tubos de ensayo estériles con 9 mL de agua de peptona previamente preparada.

Con las tres diluciones listas, y con las placas de Petri previamente rotuladas, se procedió a la siembra en masa. En cada placa se añadió 1 mL de la correspondiente dilución, trabajando siempre de la más diluida a la más concentrada para evitar posibles contaminaciones cruzadas. A continuación, se plaqueó sobre las diluciones el correspondiente medio de cultivo.

Una vez solidificadas todas las placas, se llevaron a incubar a 30°C durante 3 días en el caso de aerobios mesófilos y a 25°C durante 5 días para mohos y levaduras.

Los recuentos microbianos se realizaron como ya se ha descrito en 4.1.1.4.

4.2. Evaluación del efecto de la desinfección del agua de lavado mediante el reactor de dióxido de titanio sobre la calidad microbiológica de cerezas

Se estudió el efecto de la implementación del reactor de dióxido de titanio sobre la calidad microbiológica de las cerezas. Para ello, la fruta fue hidrogenfriada simulando el proceso de *hydrocooling* de la central y, posteriormente, almacenada en las cámaras de refrigeración de la planta piloto del INTAEX, donde se llevaron a cabo los análisis.

4.2.1. Obtención de muestras

La fruta objeto de estudio fue cereza (*Prunus avium*, L.), del cultivar ‘Sandon Rose’, producida en el Valle del Jerte según las prácticas agronómicas habituales de la zona y recolectada en madurez comercial en mayo de 2021.

Se establecieron dos lotes de cerezas:

- Lote 1. Las cerezas fueron lavadas en agua fría (alrededor de 4 °C) durante tres minutos, simulando a nivel de planta piloto el proceso de *hydrocooling*. El agua fue clorada mediante la adición de hipoclorito sódico al 10% (w/v) (Panreac Química, S.L.U., Barcelona, España) y presentó un pH final de 6,57.
- Lote 2. Las cerezas fueron lavadas en agua fría (alrededor de 4 °C) e higienizada gracias a la acción del reactor de dióxido de titanio y de la adición de hipoclorito sódico al 10%, con un pH final de 6,91. Al igual que para el tratamiento anterior, las cerezas permanecieron en el agua durante 3 minutos, simulando el proceso de *hydrocooling* a nivel de planta piloto.

Las cerezas de ambos lotes fueron envasadas en atmósferas modificadas pasivas, en barquetas de 300 gramos, cubiertas por una película microperforada M 10 (una perforación cada 10 mm). Se utilizaron 5 barquetas de 300 gramos por cada tratamiento y fecha de análisis. Posteriormente a la confección, la fruta fue almacenada en una cámara con control de temperatura y humedad (0°C y 90% HR) durante un periodo total de 28 días.

La fruta de partida fue sometida a una caracterización microbiológica inicial, y después de recibir los tratamientos se analizó en el día 0, y a los 7, 14 y 28 días. Se estudió el desarrollo de bacterias aerobias mesófilas, bacterias aerobias psicrófilas, mohos y levaduras.

4.2.2. Análisis microbiológico

El medio de cultivo utilizado para los aerobios mesófilos y aerobios psicrófilos fue el PCA (Plate Count Agar), y para los mohos y levaduras se utilizó el agar cloranfenicol (YGC). La preparación de los medios de cultivo se realizó según lo descrito en 4.1.1.3.

En condiciones de esterilidad, se tomaron con ayuda de un bisturí 10 gramos de cereza de cada una de las muestras a analizar (5 réplicas por tratamiento y fecha de análisis) y se introdujeron en bolsas tipo Stomacher (BagPage, Interscience, Francia). A cada una de las bolsas se añadieron 90 mL de agua de peptona previamente preparada (dilución -1). De la bolsa estéril se tomó 1 mL y se añadió a un tubo de ensayo con 9 mL de agua de peptona (dilución -2), se homogeneizó en el vortex, y de este último tubo de ensayo se tomó 1 mL y se añadió a un segundo tubo con 9 mL de agua de peptona (dilución -3), homogeneizando de nuevo en el vortex.

Con las tres diluciones listas, y con las placas de Petri previamente rotuladas, se procedió a la siembra en masa, siguiendo el procedimiento descrito en el apartado 4.1.2.2. Para los recuentos de aerobios mesófilos se sembraron las diluciones -1, -2 y -3; en cambio para los recuentos de aerobios psicrófilos, mohos y levaduras se sembraron solo las diluciones -1 y -2.

Una vez solidificadas todas las placas, se llevaron a incubar. Para los recuentos de aerobios mesófilos, las placas se incubaron a 30°C durante 3 días; para los recuentos de aerobios psicrófilos, las placas se incubaron a 6°C durante 10 días; y para los recuentos de mohos y levaduras, las placas se incubaron a 25°C durante 5 días.

Los recuentos microbianos se realizaron como ya se ha descrito en 4.1.1.4.

4.2.4. Análisis estadístico

Los resultados del análisis estadístico fueron expresados como media \pm error estándar de la media para los lotes analizados. Los datos obtenidos se analizaron utilizando el análisis de la varianza (ANOVA) mediante el programa SPSS, v.21.0, 2012 (SPSS Institute Inc., Cary, NC) con la finalidad de evaluar el efecto de los tratamientos estudiados sobre la calidad microbiológica de las cerezas.

4.3. Evaluación del efecto de la utilización de reactores de dióxido de titanio a nivel industrial sobre la calidad poscosecha de cerezas

Se estudió el efecto de la implementación de reactores de dióxido de titanio en la fase de *hydrocooling* en una central frutícola, como complemento a la adición de hipoclorito sódico, sobre la calidad físico-química de las cerezas. La fruta fue tratada en la central frutícola y posteriormente almacenada en las cámaras de refrigeración de la planta piloto del INTAEX. Los análisis de calidad se llevaron a cabo en los laboratorios del INTAEX.

4.3.1. Obtención de muestras

La fruta objeto de estudio fue cereza (*Prunus avium*, L.), del cultivar ‘Lapins’, producida en el Valle del Jerte según las prácticas agronómicas habituales de la zona y recolectada en madurez comercial en julio de 2021.

Se establecieron cuatro lotes de cerezas:

- Lote 1. El tratamiento consistió en lavar las cerezas en agua de red clorada, siguiendo las pautas habituales de actuación de las centrales hortofrutícolas, y no se utilizó ningún fungicida poscosecha.
- Lote 2. Las cerezas se lavaron en agua de red clorada con adición del fungicida poscosecha Scholar®.
- Lote 3. Las cerezas se lavaron, durante la fase de *hydrocooling*, con agua clorada e higienizada mediante los reactores de dióxido de titanio; y no se utilizaron fungicidas.
- Lote 4. El tratamiento consistió en lavar las cerezas con agua clorada e higienizada mediante los reactores de dióxido de titanio en la fase de *hydrocooling*, y se utilizó el fungicida Scholar®.

Las cerezas de los cuatro lotes fueron confeccionadas en cajas de 2,5 kg y envasadas en atmósferas modificadas pasivas en bolsas Xtend® (StePac L.A., LTD, Tefen, Israel), siguiendo las pautas de la central para fruta que se destina a exportación. Finalizada la confección, las muestras fueron trasladadas a los laboratorios del INTAEX en vehículo refrigerado, donde se conservaron en cámara con control de temperatura y humedad relativa (0°C y 90% HR) durante un periodo total de 40 días.

MATERIAL Y MÉTODOS

Los controles de calidad se realizaron sobre la fruta de partida (día 0), y a los 15, 30 y 40 días de almacenamiento refrigerado, analizándose en cada fecha: firmeza, color del fruto y de los pedicelos, sólidos solubles totales (SST), acidez titulable (AT) e índice de maduración (SST/AT). Cada uno de estos análisis se realizó por triplicado sobre muestras de 10 cerezas por tratamiento y fecha de análisis (Figura 4.4).

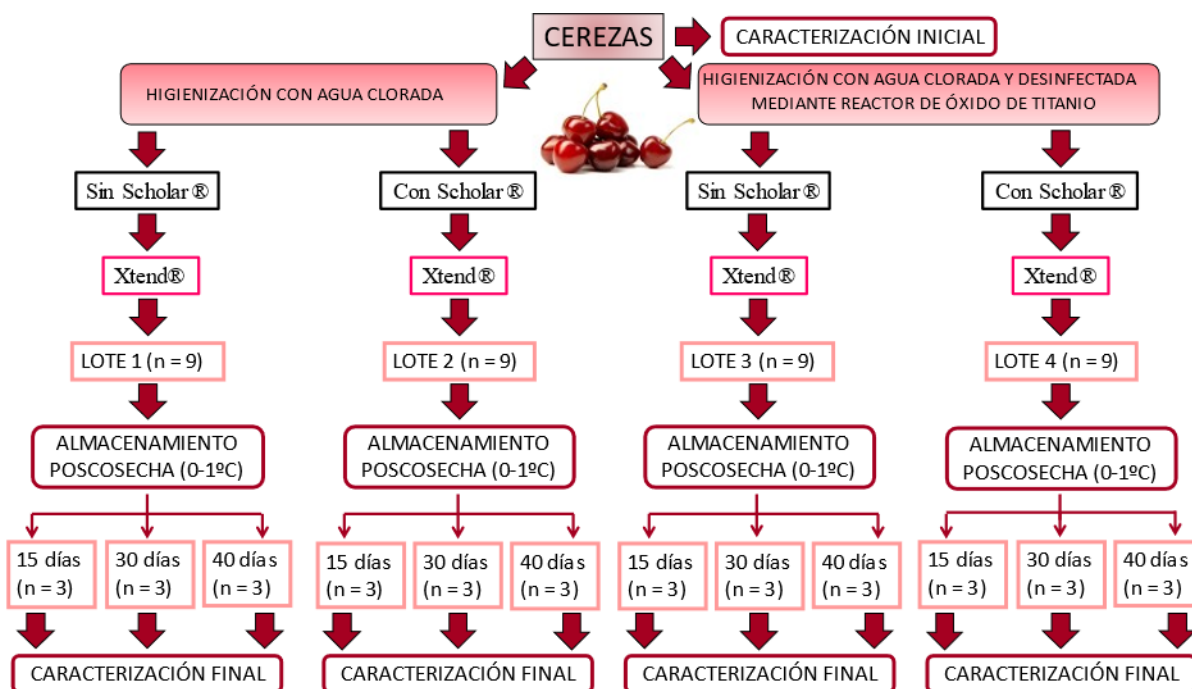


FIGURA 4.4 Diseño experimental y distribución de los lotes de cereza.

4.3.2. Evaluación de la firmeza

La determinación de la firmeza se realizó en un texturómetro TA-XT2i Texture Analyzer (Stable Micro Systems, Godalming, Reino Unido), mediante ensayos de compresión al 3%, utilizando una sonda cilíndrica de 100 mm de diámetro y base plana. Los resultados se expresaron como la fuerza máxima (N) y la pendiente (N mm⁻¹) de la curva fuerza/deformación para cada fruto.

4.3.3. Determinación instrumental del color

El color de la piel de los frutos se evaluó mediante un colorímetro KONICA MINOLTA CR 400 (Aquateknica, S.A., Valencia, España), utilizando las coordenadas del espacio de color CIELAB (L*, luminosidad; a*, rojo/verde y b*, amarillo/azul), el iluminante D65 y 8° de ángulo de visión. El área de medida circular fue de 8 mm. A partir de los parámetros a* y b* se calculó la relación a*/b* para describir la evolución del color de los

MATERIAL Y MÉTODOS

frutos durante el almacenamiento poscosecha. A partir de los parámetros L^* , a^* y b^* se determinó el ángulo de tono (H), como se indica en la Ec. 4.1.

$$H = \arctg\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (\text{Ec. 4.1})$$

4.3.4. Determinación del contenido en sólidos solubles totales (SST)

El contenido en sólidos solubles totales (SST) se determinó utilizando un refractómetro digital Atago (Pocket refractometer PAL-1, Atago CO., LTD, Tokio, Japón), a partir del homogeneizado ($n=3$) de 10 frutos y los resultados fueron expresados como °Brix.

4.3.5. Determinación de la acidez titulable (AT)

La determinación de la acidez titulable (AT) se realizó con un valorador automático DL50 Graphix (Mettler Toledo, S. A. E., Coslada, Madrid, España). A partir del mismo homogeneizado utilizado para la determinación de SST, se pesaron 3 g de muestra que fueron disueltos en 60 mL de agua destilada. Las muestras fueron valoradas utilizando hidróxido de sodio (NaOH) 0,1 N hasta un pH de 8,1. Los resultados fueron expresados como g de ácido málico/100g de muestra.

4.3.6. Determinación del índice de maduración (SST/AT)

El índice de maduración de cada muestra se calculó dividiendo el contenido en sólidos solubles totales (SST) entre el valor de la acidez titulable (AT).

4.3.7. Determinación visual del color de los pedicelos

Para cada uno de los lotes estudiados, se dividieron las cerezas en grupos en función del aspecto de sus pedicelos. Estos grupos fueron los siguientes: pedicelo verde, pedicelo verde pálido, pedicelo marrón, pedicelo color café y sin pedicelo.

4.3.8. Análisis estadístico

Los resultados del análisis estadístico fueron expresados como media \pm desviación típica de la media para los lotes analizados. Los datos obtenidos se analizaron utilizando el análisis de la varianza (ANOVA) mediante el programa SPSS, v.21.0, 2012 con la finalidad de evaluar el efecto de los tratamientos estudiados sobre la calidad final de las cerezas.

En aquellos casos en los que el efecto de alguna de estas variables independientes resultó significativo ($p<0,05$), se realizó el test de Tukey para comparar las medias.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Eficacia de los reactores de dióxido de titanio en la desinfección del agua de lavado

5.1.1. Reducción de la carga de patógenos poscosecha en el agua de lavado

En las Figuras 5.1 y 5.3 a 5.6 se muestra la reducción de la carga microbiana de *Monilia fructicola*, *Botrytis cinerea*, *Penicillium expansum*, *Rhizopus stolonifer* y *Geotrichum candidum* en el agua, respectivamente, a lo largo de los ciclos de desinfección con el reactor de dióxido de titanio. Los resultados se expresan como Log10 UFC/mL, y se obtuvieron mediante recuentos en placas de Petri.

En el caso de *Monilia fructicola* se partió de $7,55 \times 10^3$ UFC/mL en el tiempo 1 (justo después de la adición del inóculo preparado en laboratorio), y después de los 180 ciclos de desinfección se obtuvo un resultado de 1,5 UFC/mL (Figura 5.1). Las dos horas de desinfección no fueron suficientes para destruir todas las esporas viables de *M. fructicola*, si bien se redujo su carga inicial en un 98%, minimizándose de este modo el riesgo de contaminación por este patógeno.

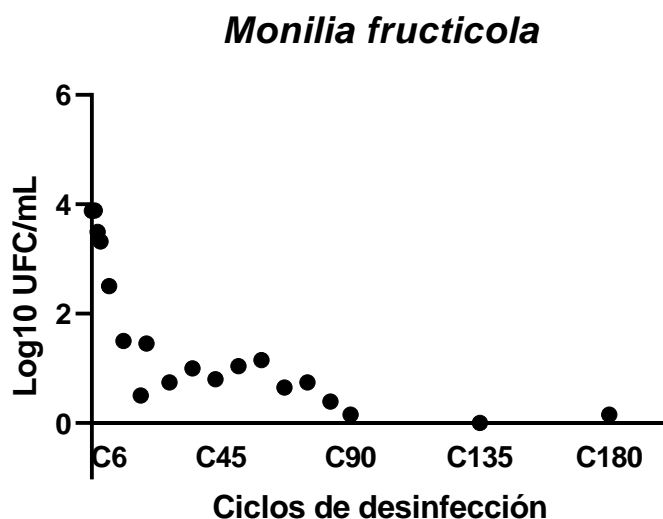


FIGURA 5.1 Reducción de la carga microbiana de *M. fructicola* con los ciclos de desinfección.

En la Figura 5.2 se puede observar de manera visual la reducción del crecimiento de *Monilia fructicola* en las placas de Petri a medida que avanza el proceso de desinfección del agua, entre los ciclos 1 y 11.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN



FIGURA 5.2 Reducción del crecimiento de *Monilia fructicola* entre los ciclos de desinfección 1 y 11.

En el caso de *Botrytis cinerea* se partió de $1,15 \times 10^2$ UFC/mL en el tiempo 1, y después de los 180 ciclos de desinfección se obtuvo un resultado de 0 UFC/mL (Figura 5.3). Los recuentos en las placas de Petri comenzaron a ser de 0 UFC/mL a partir del ciclo 17, por lo que se puede decir que bastaron 17 ciclos de desinfección (11 minutos de tratamiento) para destruir todas las esporas viables de *B. cinerea* en el agua. Este resultado es de gran interés para el sector frutícola, ya que este patógeno, junto con *Monilia* spp., es el principal causante de enfermedades poscosecha en cerezas (Feliziani et al., 2014).

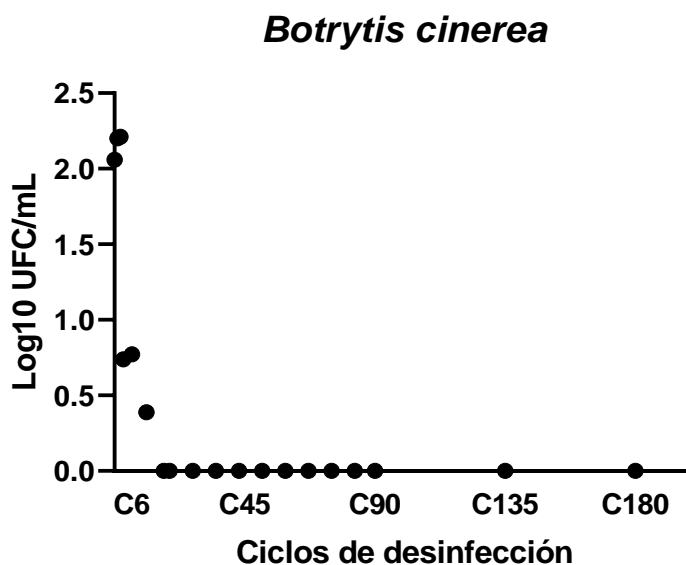


FIGURA 5.3 Reducción de la carga microbiana de *B. cinerea* con los ciclos de desinfección.

En el caso de *Penicillium expansum* se partió de $3,53 \times 10^5$ UFC/mL en el tiempo 1, y después de los 180 ciclos de desinfección se obtuvo un resultado de 0 UFC/mL (Figura 5.4). De esta forma, con las dos horas de desinfección se logró eliminar toda la carga microbiana de *P. expansum* presente en el agua.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

que se puede decir que bastaron 60 minutos de tratamiento para destruir todas las células vegetativas viables de *G. candidum* en el agua.

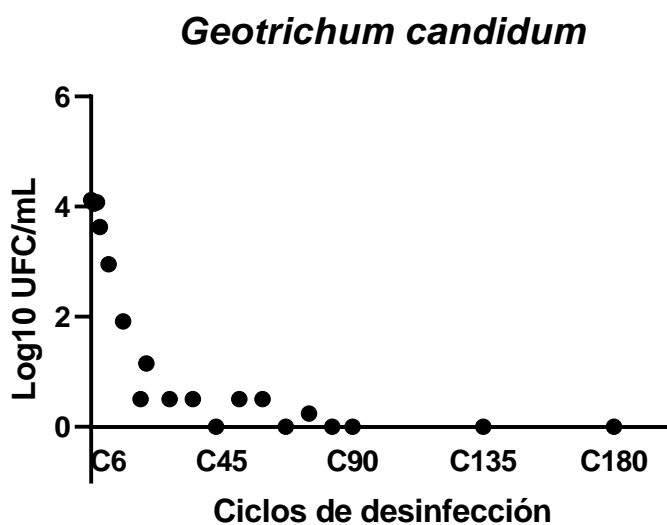


FIGURA 5.6 Reducción de la carga microbiana de *G. candidum* con los ciclos de desinfección.

La fotocátalisis oxidativa avanzada es una tecnología novedosa, ampliamente utilizada en los últimos diez años, para el tratamiento de aguas residuales, purificación del aire exterior e interior, desodorización de ambientes, terapia contra el cáncer, entre otras aplicaciones (Rueda-Márquez et al., 2020). Existen numerosos estudios (más de 16.000 publicaciones científicas) sobre la eficacia de la fotocátalisis oxidativa avanzada o fotocátalisis heterogénea como método de destrucción de la materia orgánica, si bien apenas se ha estudiado aún su posible aplicación en la industria frutícola ni su efecto sobre los patógenos poscosecha, encontrándose solo, hasta donde llega nuestro conocimiento, dos publicaciones donde se utiliza la fotocátalisis oxidativa avanzada en fruta de hueso (Calvo et al., 2019) y arándanos (Lee et al., 2018).

Calvo et al. (2019) estudiaron la eficacia de la fotocátalisis en la eliminación de residuos de pesticidas en fruta de hueso, obteniendo una reducción de residuos de iprodiona de entre el 50 y el 70%. Además, se consiguió una reducción de la presencia de microorganismos en la superficie de la fruta de cerca de dos unidades logarítmicas, y la incidencia de enfermedades bajó un 50%. Lee et al. (2018) estudiaron la utilidad de esta tecnología para la inactivación de *Escherichia coli* en la superficie de arándanos, obteniendo

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

mejores resultados con la aplicación de fotocátalisis oxidativa durante 30 segundos en la superficie de los frutos que mediante la aplicación aislada de luz ultravioleta.

Aranciaga y Vargas (2020) estudiaron el efecto de la fotocátalisis oxidativa sobre microorganismos, en concreto *Escherichia coli* y enterococos intestinales resistentes a antibióticos en aguas residuales hospitalarias. El tiempo mínimo necesario de reacción fue de 90 minutos, y se obtuvieron valores promedios de inactivación del 84,5% tras 180 minutos de tratamiento. López (2016) estudió la utilidad de este proceso para el tratamiento de las aguas contaminadas procedentes de la industria textil, llegando a obtener una eliminación de la materia orgánica superior al 94%. Según Cortez (2018), esta reacción fue capaz de descomponer residuos de ibuprofeno y diclofenaco en aguas residuales hospitalarias hasta niveles inferiores a los considerados como peligrosos. Muñoz y Palomino (2019) obtuvieron una reducción de la materia orgánica del 36,31% en las aguas residuales procedentes de mataderos mediante la reacción de fotocátalisis heterogénea en condiciones óptimas previamente establecidas.

5.1.2. Efecto del reactor de dióxido de titanio sobre la calidad microbiológica del agua de lavado a nivel industrial

A continuación, se muestra el efecto que tuvo la utilización de los reactores de dióxido de titanio sobre los recuentos de bacterias aerobias mesófilas (Figura 5.7) y mohos y levaduras (Figura 5.8) en el agua utilizada en la central hortofrutícola durante el proceso de *hydrocooling*.

Tras 7 días de funcionamiento de los reactores, se observó una disminución de aerobios mesófilos tanto en el agua de la balsa de almacenamiento como en las duchas de rociado. Los recuentos aumentaron en el agua a la salida del reactor, pero de manera muy leve. En el caso de los mohos y levaduras, se observó un aumento de los recuentos a los 2-3 días y una disminución a los 7 días, alcanzándose valores similares a los del primer día. Estos resultados muestran la idoneidad de esta tecnología que permite mantener el agua con una buena calidad durante 7 días, mientras que en condiciones normales el agua debe cambiarse cada 2-3 días debido a su pérdida de calidad.

Por tanto, la instalación de los reactores de dióxido de titanio contribuyó positivamente al mantenimiento de la calidad microbiológica del agua utilizada durante el proceso de *hydrocooling* en la central hortofrutícola, con el consiguiente ahorro económico

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

que ello conlleva para la central y mejora desde el punto de vista medioambiental, tanto por la reducción del consumo de agua como por el vertido de un agua más limpia.

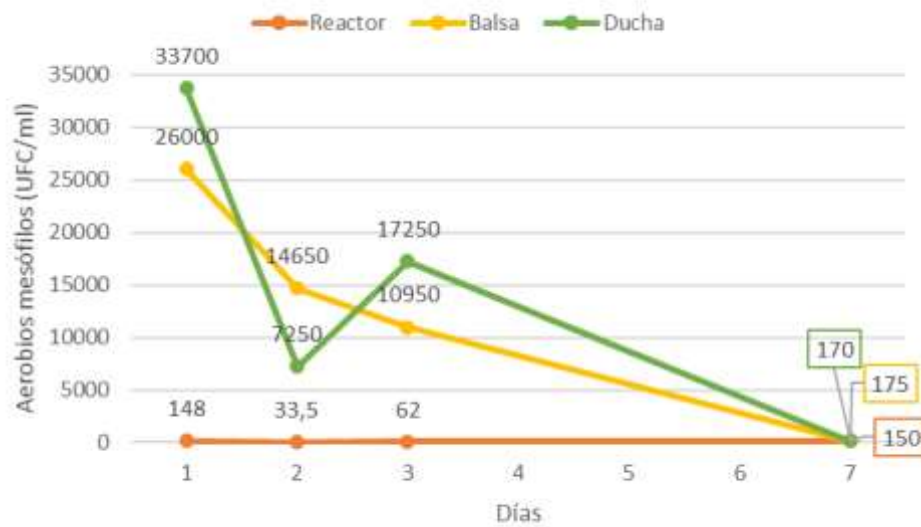


FIGURA 5.7 Recuentos de aerobios mesófilos expresados en UFC/mL a lo largo de una semana, en los diferentes puntos de muestreo (reactor, balsa y ducha).

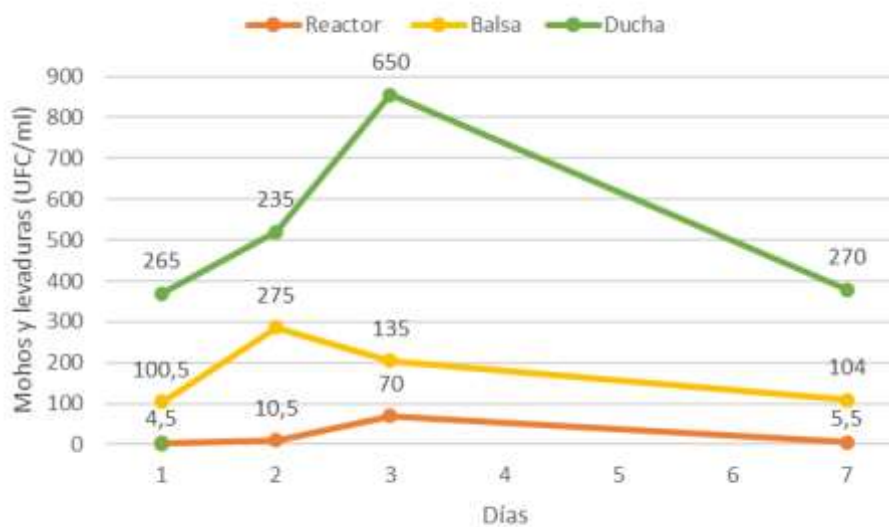


FIGURA 5.8 Recuentos de mohos y levaduras expresados en UFC/mL a lo largo de una semana, en los diferentes puntos de muestreo (reactor, balsa y ducha).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.2. Efecto de la desinfección del agua de lavado mediante el reactor de dióxido de titanio sobre la calidad microbiológica de cerezas

En las Figuras 5.9, a 5.11 se muestra el efecto de los tratamientos utilizados sobre la calidad microbiológica de las cerezas (aerobios mesófilos, aerobios psicrófilos y mohos y levaduras, respectivamente) en las diferentes fechas de análisis (0, 7, 14 y 28 días).

Como era de esperar, los recuentos microbiológicos aumentaron con el tiempo de almacenamiento de las cerezas analizadas, aunque sin diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos en ninguna de las fechas estudiadas. Esto se debe a que el efecto directo de la utilización de los reactores de dióxido de titanio se produce sobre la calidad microbiológica del agua de lavado, afectando a la calidad de las cerezas de manera indirecta.

Como se ha visto en el apartado anterior, el principal beneficio de la implementación de esta tecnología reside en el efecto directo de los reactores sobre la calidad microbiológica del agua de lavado, sin alterar las propiedades organolépticas del agua y, por tanto, las de la fruta, por lo que su instalación sigue suponiendo un gran beneficio para la central frutícola.

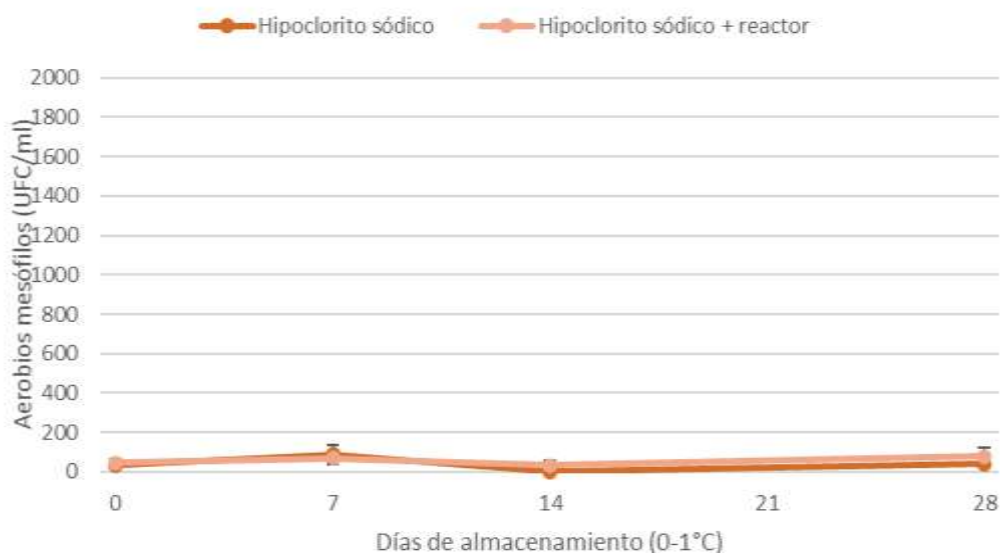


FIGURA 5.9 Recuentos de aerobios mesófilos expresados en UFC/mL para las cerezas de ambos tratamientos, en las diferentes fechas de análisis. Los valores corresponden a la media \pm error estándar de la media.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

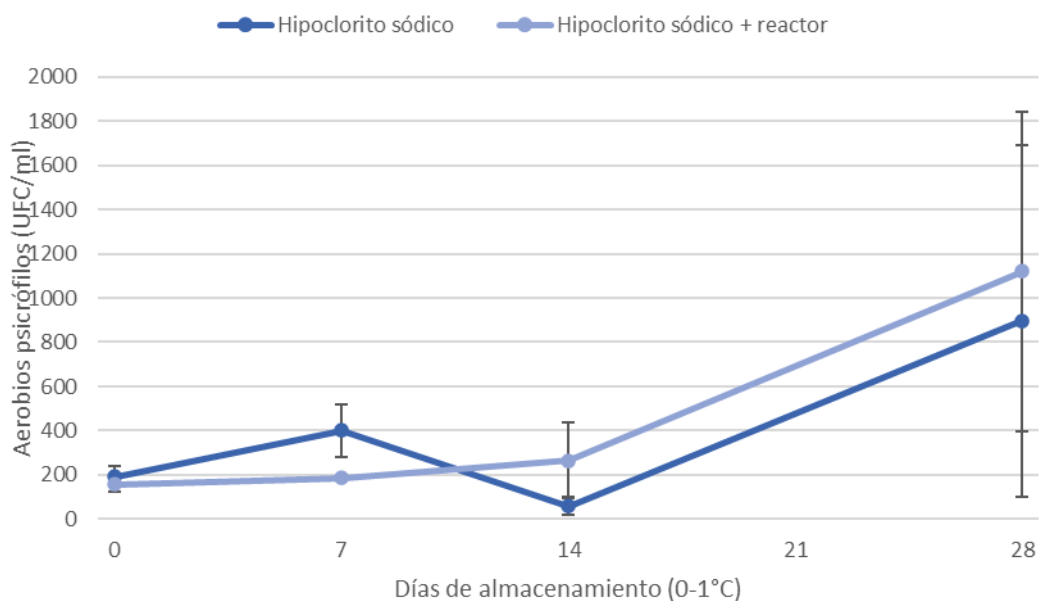


FIGURA 5.10 Recuentos de aerobios psicrófilos expresados en UFC/mL para las cerezas de ambos tratamientos, en las diferentes fechas de análisis. Los valores corresponden a la media \pm error estándar de la media.

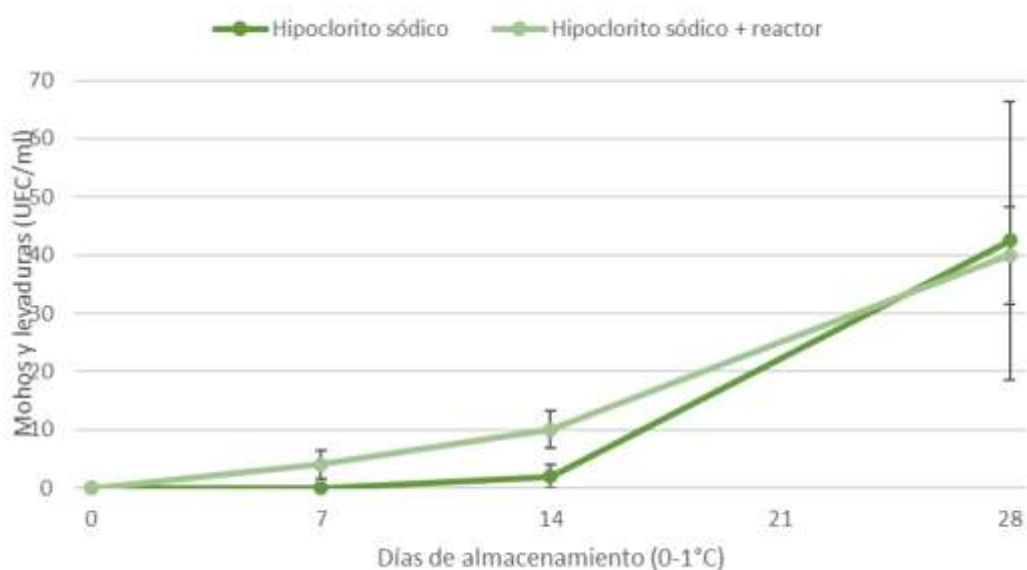


FIGURA 5.11 Recuentos de mohos y levaduras expresados en UFC/mL para las cerezas de ambos tratamientos, en las diferentes fechas de análisis. Los valores corresponden a la media \pm error estándar de la media.

5.3. Efecto de la utilización de reactores de dióxido de titanio a nivel industrial sobre la calidad poscosecha y la vida útil de cerezas

5.3.1. Efecto sobre la firmeza

En la Figura 5.12 se muestra el efecto de los tratamientos estudiados sobre la firmeza, pendiente de la curva fuerza/deformación, de las cerezas medidas a los 15, 30 y 40 días de almacenamiento refrigerado.

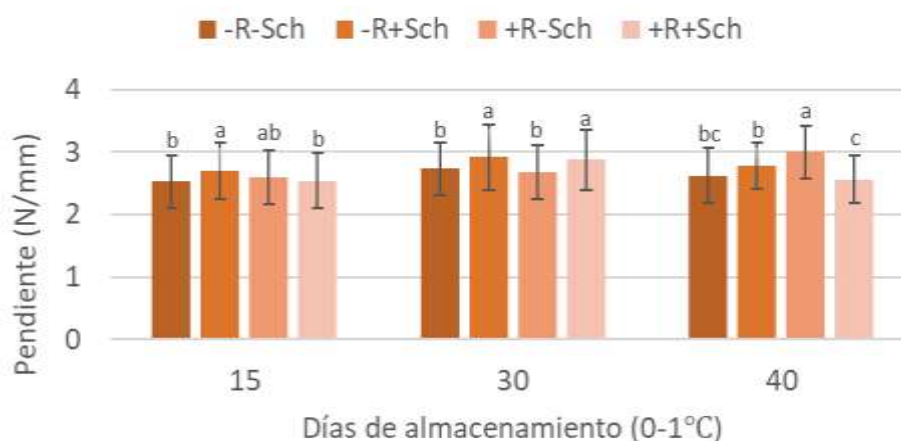


FIGURA 5.12 Efecto de los tratamientos sobre la pendiente de la curva fuerza/deformación de las cerezas, a los 15, 30 y 40 días. Los valores corresponden a la media \pm desviación típica de la media. Letras diferentes indican diferencias significativas entre los valores para los diferentes tratamientos ($p < 0,05$).

Los valores de la pendiente de la curva de fuerza/deformación se encontraron comprendidos entre 2,53 y 2,69 N/mm para las cerezas analizadas a los 15 días, entre 2,68 y 2,92 N/mm a los 30 días y entre 2,57 y 3,00 N/mm a los 40 días de almacenamiento en refrigeración. Se observó un aumento de la pendiente y, por tanto, de la firmeza de los frutos con el tiempo de almacenamiento. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Horvitz et al. (2004), que observaron un aumento en la firmeza de cerezas de la variedad ‘Sweetheart’ al almacenarlas durante 21 y 42 días en refrigeración (0° C), y por Remón et al. (2000), que encontraron un aumento en la firmeza de cerezas ‘Burlat’ a los 7 y 14 días de almacenamiento en frío mediante la aplicación de atmósferas modificadas, si bien este efecto no se mantuvo a los 21 días. Según Zoffoli (2000), la firmeza de las cerezas generalmente se mantiene o aumenta cuando se almacenan en atmósferas modificadas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se trata de resultados positivos, ya que según Kappel y MacDonald (2007) los consumidores prefieren frutos más firmes, siendo este un criterio importante para la comercialización.

Se encontraron diferencias significativas entre los distintos tratamientos para las tres fechas de análisis estudiadas, sin embargo, no existe una tendencia común a estas tres fechas en cuanto al efecto de los tratamientos sobre la firmeza. Este resultado es interesante desde el punto de vista práctico, ya que la implementación de esta tecnología no altera las propiedades de textura de las cerezas.

5.3.2. Efecto sobre el color instrumental

En la Figura 5.13 se muestra el efecto de los tratamientos estudiados sobre la relación a^*/b^* de la piel de las cerezas, a los 15, 30 y 40 días, respectivamente.

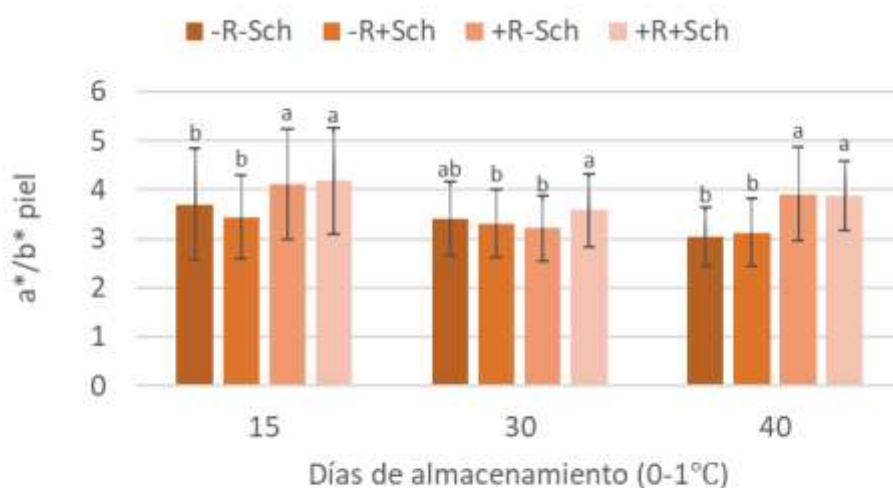


FIGURA 5.13 Efecto de los tratamientos sobre la relación a^*/b^* de la piel de las cerezas, a los 15, 30 y 40 días. Los valores corresponden a la media \pm desviación típica de la media. Letras diferentes indican diferencias significativas entre los valores para los diferentes tratamientos ($p < 0,05$).

El valor de a^*/b^* osciló entre 3,45 y 4,18 para las cerezas analizadas a los 15 días, entre 3,22 y 3,58 a los 30 días y entre 3,13 y 3,91 a los 40 días, valores correspondientes al rojo caoba característico de este cultivar.

En las tres fechas de análisis se encontraron diferencias significativas entre los distintos tratamientos, presentando, en general, las cerezas tratadas con el agua higienizada con los reactores, mayores valores de a^*/b^* y, por tanto, mayor intensidad de color.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 5.14 se muestra el efecto de cada uno de los tratamientos estudiados sobre el valor del ángulo de tono H de la piel de las cerezas, a los 15, 30 y 40 días, respectivamente.

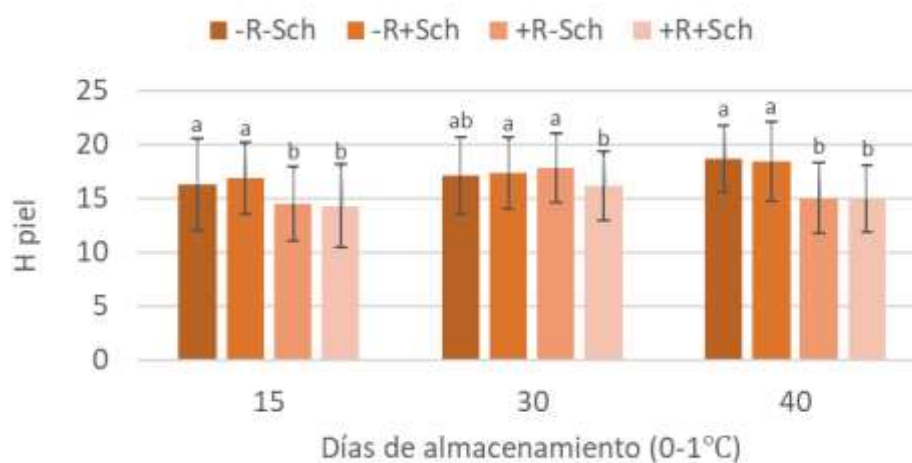


FIGURA 5.14 Efecto de los tratamientos sobre el valor del ángulo de tono H de la piel de las cerezas, a los 15, 30 y 40 días. Los valores corresponden a la media \pm desviación típica de la media. Letras diferentes indican diferencias significativas entre los valores para los diferentes tratamientos ($p < 0,05$).

Los valores del ángulo de tono H se encontraron entre 14,31 y 16,90 para las cerezas analizadas a los 15 días, entre 16,20 y 17,85 a los 30 días y entre 14,96 y 18,73 a los 40 días de almacenamiento en refrigeración. Se encontraron diferencias significativas para los distintos tratamientos en las tres fechas de análisis.

Tanto a los 15 como a los 40 días de almacenamiento, el valor de a^*/b^* fue estadísticamente superior para las cerezas de los lotes 3 y 4, es decir, aquellos en los que se empleó el reactor de dióxido de titanio para la desinfección del agua utilizada durante el proceso de *hydrocooling*. Se trata de un efecto positivo, ya que este parámetro indica una mayor intensidad del color rojo y, por tanto, una mayor aceptación por parte del consumidor. A su vez, el valor de H fue significativamente inferior para estos dos lotes, lo que indica que las cerezas en cuyo tratamiento se utilizó el reactor de dióxido de titanio presentaron un color rojo más oscuro.

5.3.3. Efecto sobre el contenido en sólidos solubles totales (SST)

En la Figura 5.15 se muestra el efecto de los tratamientos estudiados sobre el contenido en sólidos solubles totales de las cerezas, a los 15, 30 y 40 días, respectivamente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

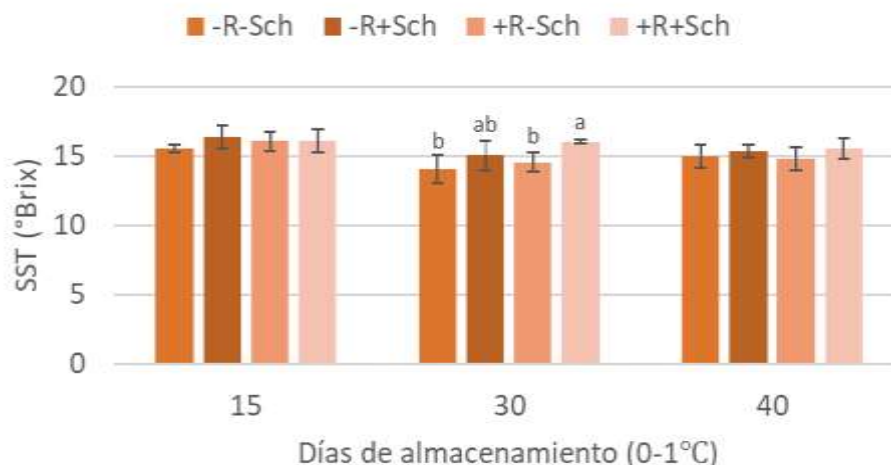


FIGURA 5.15 Efecto de los tratamientos sobre el contenido en SST de las cerezas, a los 15, 30 y 40 días. Los valores corresponden a la media \pm desviación típica de la media. Letras diferentes indican diferencias significativas entre los valores para los diferentes tratamientos ($p < 0,05$).

Los valores obtenidos para el contenido en sólidos solubles totales se movieron entre 15,52 y 16,40° Brix para las cerezas analizadas a los 15 días, entre 14,08 y 16,04° Brix a los 30 días y entre 14,83 y 15,53° Brix a los 40 días de almacenamiento en refrigeración. Se produjo una disminución del contenido en sólidos soluble totales con el tiempo de almacenamiento en refrigeración. Estos resultados difieren de los obtenidos por Horvitz et al. (2004), que observaron un aumento del contenido en sólidos solubles totales en cerezas ‘Sweetheart’ almacenadas en refrigeración (0°) durante 21 y 42 días.

Según Loyola-López et al. (2013), las cerezas que presentan un menor contenido en sólidos solubles son más firmes, lo que podría explicar los resultados obtenidos relacionándolos con el aumento que se observó en la firmeza con el tiempo de almacenamiento.

Solamente se observaron diferencias significativas entre tratamientos para las cerezas analizadas a los 30 días, presentando los tratamientos con Scholar® (lotes 2 y 4), independientemente de si pasaron o no por el reactor, un mayor contenido de SST.

A los 15 y 40 días, el contenido en sólidos solubles totales también fue mayor para los lotes a los que se aplicó Scholar® (2 y 4) que para los lotes a los que no se aplicó ningún fungicida (1 y 3), sin embargo, estas diferencias no presentaron significación estadística.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fernández (2020) realizó un estudio del efecto de la aplicación de diferentes fungicidas sobre la calidad de uva de mesa de la variedad 'Crimson', obteniendo un aumento de los sólidos solubles totales con la aplicación de tratamientos de salicilatos a concentraciones entre 0,01 y 1 mM. Según Bautista-Baños et al. (2005), la aplicación de quitosano para prevenir pudriciones de origen fúngico en productos hortofrutícolas puede dar lugar a otros efectos, como el aumento del contenido en sólidos solubles.

5.3.4. Efecto sobre la acidez titulable (AT)

En la Figura 5.16 se muestra el efecto de los tratamientos estudiados sobre la acidez titulable de las cerezas, a los 15, 30 y 40 días, respectivamente.

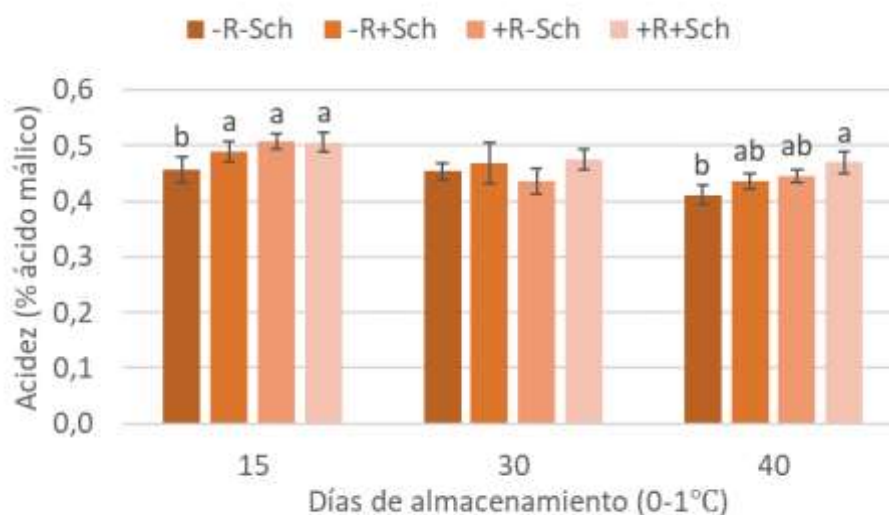


FIGURA 5.16 Efecto de los tratamientos sobre la acidez titulable de las cerezas, a los 15, 30 y 40 días. Los valores corresponden a la media \pm desviación típica de la media. Letras diferentes indican diferencias significativas entre los valores para los diferentes tratamientos ($p < 0,05$).

La acidez titulable de las cerezas osciló entre el 0,46 y el 0,51% de ácido málico para las cerezas analizadas a los 15 días, entre el 0,44 y el 0,47% a los 30 días y entre el 0,41 y el 0,47% tras 40 días de almacenamiento en refrigeración. Se puede observar una disminución de la acidez de las cerezas con el tiempo de almacenamiento, como consecuencia del proceso de maduración. La acidez titulable es un parámetro que tiende a disminuir conforme la fruta madura, no obstante, se ha detectado un aumento de la misma en los días previos a la cosecha, si bien vuelve a disminuir gradualmente después de la recolección (Candan et al., 2017). Loyola-López et al. (2013) observaron una disminución del contenido del ácido málico del

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

0,06% en cerezas ‘Sweetheart’ a los 35 días de almacenamiento con respecto a la medición a los 20 días, y del 0,18-0,19% a los 50 días en comparación con la primera medición.

Se observaron diferencias significativas entre tratamientos a los 15 y a los 40 días de almacenamiento en refrigeración. Para las cerezas que se almacenaron durante 15 días, el contenido en ácido málico fue significativamente superior para los lotes 2, 3 y 4 (sin reactor y con Scholar®, con reactor y sin Scholar®, con reactor y con Scholar®) respecto al lote 1 (sin reactor y sin Scholar®).

A los 40 días esta tendencia fue similar, el contenido en ácido málico fue significativamente superior para el lote 4 que para los lotes 2 y 3, y la acidez de estos lotes fue a su vez significativamente superior que la del lote 1.

5.3.5. Efecto sobre el índice de maduración o aceptabilidad (SST/AT)

En la Figura 5.17 se muestra el efecto de los tratamientos estudiados sobre el índice de maduración o aceptabilidad (SST/AT) de las cerezas, a los 15, 30 y 40 días, respectivamente.

Los valores del índice de maduración (SST/AT) se encontraron entre 31,69 y 34,08 para las cerezas almacenadas durante 15 días, entre 31,08 y 33,86 a los 30 días y entre 33,16 y 36,45 a los 40 días. Las cerezas que fueron almacenadas en refrigeración durante más tiempo (40 días) presentaron, como era de esperar, un mayor índice de maduración, como consecuencia de una menor acidez.

No se encontraron diferencias significativas entre tratamientos en ninguna de las fechas de análisis. A los 15 y 40 días de almacenamiento, las cerezas higienizadas con agua sin tratar con el reactor de dióxido de titanio (lotes 1 y 2) presentaron un mayor índice de maduración que las cerezas de los lotes en los que sí se utilizó esta tecnología (lotes 3 y 4). En cambio, a los 30 días de almacenamiento se puede observar la tendencia contraria, las cerezas de los lotes 3 y 4 presentaron un mayor índice de maduración que las cerezas pertenecientes a los lotes 1 y 2. Estas diferencias no mostraron significación estadística.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

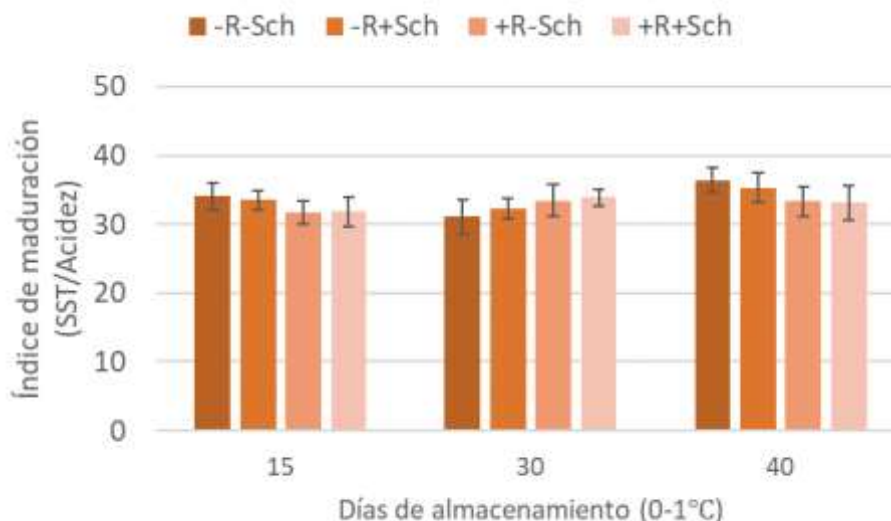


FIGURA 5.17 Efecto de los tratamientos sobre el índice de maduración o aceptabilidad de las cerezas, a los 15, 30 y 40 días. Los valores corresponden a la media \pm desviación típica de la media.

5.3.6. Efecto sobre el color visual de los pedicelos

En la Figura 5.18 se muestra el efecto de los tratamientos estudiados sobre el porcentaje de cerezas con pedicelo de color verde, a los 15, 30 y 40 días, respectivamente.

El porcentaje de cerezas con pedicelo de color verde estuvo entre el 95,33 y el 100% para las cerezas analizadas a los 15 días, entre el 23,33 y el 86% a los 30 días y entre el 75 y el 89% tras 40 días de almacenamiento en refrigeración.

Solo se encontraron diferencias significativas entre tratamientos para las cerezas analizadas a los 30 días de almacenamiento, siendo el porcentaje de pedicelos color verde estadísticamente superior para el lote 4 (utilización del reactor de dióxido de titanio y aplicación de Scholar®). Esta tendencia puede observarse también en las cerezas analizadas a los 40 días de almacenamiento en refrigeración, aunque sin diferencias significativas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

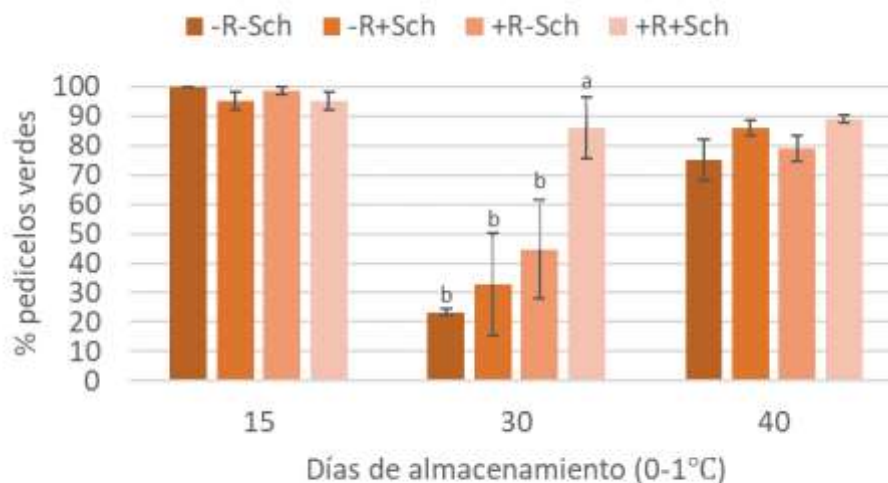


FIGURA 5.18 Efecto de los tratamientos sobre el porcentaje de pedicelos de color verde, a los 15, 30 y 40 días. Los valores corresponden a la media \pm desviación típica de la media. Letras diferentes indican diferencias significativas entre los valores para los diferentes tratamientos ($p < 0,05$).

En la Figura 5.19 se muestra el efecto de los tratamientos estudiados sobre el porcentaje de cerezas con pedicelo de color verde pálido, a los 15, 30 y 40 días, respectivamente.

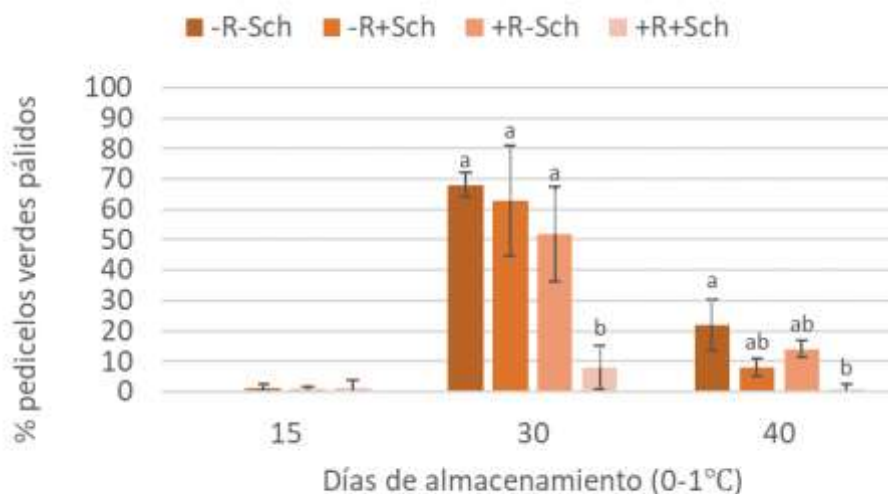


FIGURA 5. 19 Efecto de los tratamientos sobre el porcentaje de pedicelos color verde pálido, a los 15, 30 y 40 días. Los valores corresponden a la media \pm desviación típica de la media. Letras diferentes indican diferencias significativas entre los valores para los diferentes tratamientos ($p < 0,05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El porcentaje de cerezas con pedicelo de color verde pálido se encontró entre el 0 y el 1,33% para las cerezas analizadas a los 15 días, entre el 8 y el 68% a los 30 días y entre el 1 y el 22% a los 40 días de almacenamiento en refrigeración.

Se encontraron diferencias significativas entre tratamientos en las cerezas analizadas a los 30 y 40 días de almacenamiento en refrigeración, siendo la tendencia similar en ambos casos. A los 30 días de almacenamiento, el porcentaje de pedicelos de color verde pálido fue significativamente superior para los lotes 1, 2 y 3 respecto al lote 4. A los 40 días de almacenamiento, el porcentaje de pedicelos verde pálido fue estadísticamente superior para el lote 1 que para los lotes 2 y 3, y a su vez superior para estos tres lotes con respecto al lote 4. Por tanto, la combinación de tratamientos contribuyó a paliar la pérdida de intensidad del color de los pedicelos que tiene lugar con el almacenamiento.

El color verde de los pedicelos, sin pardeamiento o decoloración, se relaciona con fruta fresca y de gran calidad (Kafkaletou et al., 2015). Loyola-López et al. (2014) estudiaron el efecto de tres tratamientos (atmósfera modificada, fungicida en combinación con atmósfera modificada y fungicida con un 1% de sucralosa en combinación con atmósfera modificada) sobre el deterioro de cerezas ‘Lapins’, incluyendo la deshidratación y caída del pedicelo, concluyendo que ninguno de los tratamientos consiguió disminuir este deterioro.

6. ESTUDIO ECONÓMICO

6. ESTUDIO ECONÓMICO

6.1. Introducción

En este apartado se pretende analizar los costes derivados de la implementación de reactores de dióxido de titanio para la desinfección del agua de lavado de las centrales hortofrutícolas.

Para comprobar la viabilidad de la implementación de los reactores de dióxido de titanio para la desinfección del agua, se debe tener en cuenta que estos ensayos se han realizado en fase experimental. Por tanto, aunque a continuación se desarrollan unos costes orientativos, sería necesario incluir más estudios económicos sobre el proceso. La evaluación de la inversión a ejecutar para llevar a cabo el proyecto se realiza en base a flujos de caja.

A continuación, se plantean una serie de supuestos que serán imprescindibles para determinar los criterios de evaluación de la inversión:

1. Los cobros y los pagos se ejecutan en un mismo instante, al final de cada año.
2. El inversor se mueve en un mercado perfecto de capitales.
3. Las tendencias de inflación o de deflación afectan de la misma forma a cobros y pagos, de manera que los flujos de caja generados cada año permanecen invariables.
4. Los parámetros que definen la inversión, tales como los flujos de caja, el pago de la inversión y la vida útil, son conocidos con certeza por el inversor.

Los criterios que se emplean en la evaluación de la inversión son el Valor Actual Neto (VAN), la relación Beneficio-Inversión (Q), el Plazo de Recuperación (*PAY-BACK*) y la Tasa Interna de Rendimiento (TIR).

6.2. Características generales

6.2.1. Características de la industria y el producto

En el presente Trabajo Fin de Grado se ha realizado el ensayo con cerezas. La mayoría de industrias hortofrutícolas no están dedicadas únicamente al sector de una determinada

fruta, por lo que sería interesante estudiar la opción de realizar este ensayo con otras frutas de hueso.

El proyecto se llevará a cabo en una industria hortofrutícola ya existente, con una capacidad de procesado de 600 toneladas de fruta al día durante los 4 meses de campaña (mediados de abril a mediados de agosto). En esta industria se instalarán cuatro reactores de dióxido de titanio para la desinfección del agua que se utilizará en la fase de *hydrocooling* para el enfriamiento de la fruta.

6.2.2. Vida útil del proyecto

Se estima una vida útil para el proyecto de 20 años, siendo la de los equipos de 10 años; al terminar este periodo, su valor residual se incorporará al flujo de caja como cobro extraordinario.

6.2.3. Inversión

Se considerará como inversión inicial los equipos y el material necesario para la instalación de los reactores de dióxido de titanio para la desinfección del agua. Se instalarán 4 reactores y la inversión necesaria para cada uno de ellos es de 11.000 €. En la Tabla 6.1 se muestra el cálculo de la suma total de la inversión inicial.

TABLA 6.1 Inversión inicial.

Reactor 1	10.000 €
Material adicional al reactor 1	1.000 €
Reactor 2	10.000 €
Material adicional al reactor 2	1.000 €
Reactor 3	10.000 €
Material adicional al reactor 3	1.000 €
Reactor 4	10.000 €
Material adicional al reactor 4	1.000 €
Suma total de la inversión inicial	44.000€

6.2.4. Financiación

El proyecto será costado en su totalidad por el promotor, suponiendo la situación más desfavorable. Podrán presentarse situaciones más favorables si el promotor recibiese algún tipo de subvención o ayuda.

6.3. Pagos del proyecto

6.3.1. Pagos anuales de explotación

Los pagos anuales de explotación son los que se llevan a cabo anualmente debido a la actividad de la empresa. Se puede diferenciar entre pagos ordinarios y pagos extraordinarios.

6.3.1.1. Pagos ordinarios

Los pagos ordinarios son aquellos que derivan directamente del proceso productivo: materias primas, consumos de agua y energía... Se trata de desembolsos regulares que afectan a la actividad de la empresa.

6.3.1.1.1. Materias primas

Las materias primas son todas las provisiones necesarias para la elaboración de los productos. El precio de las mismas dependerá de los contratos que se establezcan entre los proveedores y la industria.

La central hortofrutícola ya estaba en marcha antes de implementar los reactores de dióxido de titanio; por tanto, los costes en materias primas seguirán siendo los mismos y podemos considerarlos como cero.

6.3.1.1.2. Energía eléctrica

La industria hortofrutícola consume aproximadamente 726.000 kWh/año. El precio de 1 kWh es de 0,16779 €, por tanto, el coste del total de energía eléctrica consumida en un año es de 121.815,54 €.

El incremento en el gasto en energía eléctrica a la hora de implantar los reactores de dióxido de titanio sería de 309,27 € al año (77,32 € cada reactor), ya que cada uno de ellos consume 0,16 kW en su máximo rendimiento y estarían en marcha 24 horas al día, durante unos 120 días al año.

6.3.1.1.3. Conservación y reparación de equipos

Se estima en un 6% sobre la inversión inicial de los equipos. $44.000 \text{ €} \times 0,06 = 2.640 \text{ €}$ por año de conservación y reparación.

6.3.1.1.4. Suministro de agua

Sin la instalación de los reactores de dióxido de titanio, el agua utilizada cada año en el hidro-palet (donde se sitúan los reactores) es de 1.000.000 litros. Sabiendo que el coste del litro es de 0,01915 €: $1.000.000 \times 0,01915 \text{ €} = 19.150 \text{ € / año}$.

La utilización de los reactores de dióxido de titanio, en combinación con un desinfectante como el hipoclorito sódico, supondrá una reducción del 60% del consumo de agua. Por tanto, el consumo de agua anual será de 400.000 litros, lo que supondrá un coste de 7.660 € al año, y de esta forma un ahorro de 11.490 €.

6.3.1.1.5. Mano de obra

No es necesaria la contratación de mano de obra adicional para ocuparse del funcionamiento de los reactores, es suficiente con un buen mantenimiento de limpieza anual y periódica.

6.3.1.1.6. Seguros

En este apartado se estudian los pagos realizados por la industria hortofrutícola para la contratación del seguro de los equipos. Los reactores de dióxido de titanio no suponen ningún coste adicional, ya que el seguro contratado por la central hortofrutícola cubre todas las instalaciones de la misma.

6.3.1.1.7. Pagos ordinarios anuales de la producción

En la Tabla 6.2 se muestra el cálculo de los pagos ordinarios anuales de la producción.

TABLA 6.2 Pagos ordinarios anuales de la producción.

Pagos anuales ordinarios	Importe (€/año)
Materias primas	0
Energía eléctrica	309,27
Conservación y reparación de equipos	2.640,00
Suministro de agua	-11.490,00
Mano de obra	0
Seguros	0
Total	-8.540,73

6.3.1.2. Pagos extraordinarios

Son los pagos que se deben realizar como consecuencia de la renovación de los equipos cuya vida útil es inferior a la del proyecto.

6.3.1.2.1. Pagos por renovación de equipos

Se considera que al final de la vida útil de los equipos (10 años) habrá que realizar una inversión por obsolescencia y reposición de los mismos. El pago de renovación en este caso será de 44.000 € a los 10 años.

Además, las lámparas de luz ultravioleta deberán renovarse cada 5 años. Cada uno de los reactores tiene dos lámparas, cada una con un precio de 400 €; por lo que en los años 5, 10 y 15 habrá que hacer un pago de 3.200 €

6.4. Cobros de explotación

Estos cobros representan las entradas en caja que tienen lugar en la empresa y son los siguientes: cobros ordinarios y cobros extraordinarios.

6.4.1. Cobros ordinarios

Los cobros ordinarios son los cobros del producto una vez comercializado. Este valor puede variar cada año, aproximadamente es de 1,40 €/kg de fruta.

En el supuesto de que la industria tuviese una capacidad de procesado, en campaña, de 600.000 kilogramos de fruta al día, en un mes se procesarían 18.000 toneladas de fruta aproximadamente, teniendo en cuenta que este dato puede variar debido a factores ambientales. El destrío en la selección de cerezas es muy variable dependiendo de cada campaña y de las condiciones atmosféricas, de media representa en torno a un 10% de la producción; en nuestro caso, 1.800.000 kilogramos de fruta se perderían cada mes.

Siendo el precio de las cerezas de aproximadamente 1,40 €/kg, su venta supone a la industria un reembolso de 22.680.000 € al mes. Suponiendo que la campaña de la cereza dure 4 meses, de mediados de abril a mediados de agosto, los cobros ordinarios serían de 90.720.000 € al año.

Consideraremos los cobros ordinarios como cero, ya que son los mismos que antes de la instalación de los reactores de dióxido de titanio.

6.4.2. Cobros extraordinarios

Los cobros extraordinarios son los cobros como consecuencia de la venta de los equipos que se sustituyen durante la vida útil del proyecto, se considera un valor residual del 10% del valor de compra.

6.4.2.1. Valor residual por la venta de equipos renovados

44.000 € (valor de los equipos renovados) x 0,10 = 4.400 € cobro de valor residual en el año 10.

6.4.2.2. Valor residual al final de la vida del proyecto

El único cobro extraordinario que hay en el año 20 corresponde al valor residual de la venta de equipos, al igual que en el año 10. 44.000 € (valor de los equipos renovados) x 0,10 = 4.400 € cobro de valor residual en el año 20.

6.5. Flujos de cajas

Los flujos de cajas son la diferencia entre los cobros y los pagos efectuados cada año a lo largo de la vida útil del proyecto, y se calculan como se indica en la Ec. 6.1:

$$R_j = C_j - P_j \quad (\text{Ec. 6.1.})$$

R_j es la cantidad de dinero, positiva o negativa, que la empresa tiene a final de año. C_j son los ingresos al final del año, incluyendo los extraordinarios. P_j son los pagos al final del año, incluyendo los extraordinarios.

El estudio de la viabilidad económica del proyecto se encuentra recogido en forma de tabla en el Anejo 9.1.1.

6.6. Indicadores de evaluación

6.6.1. VAN (Valor Actual Neto)

El VAN es la suma homogeneizada de unidades monetarias que la inversión proporciona al inversor menos la suma homogeneizada de unidades que ha desembolsado el inversor; es decir, es la diferencia entre el saldo económico real y la inversión. Refleja la ganancia bruta generada por el proyecto.

El VAN se calcula mediante la expresión indicada en la Ec. 6.2. Esta expresión se utiliza cuando la inversión se realiza en un pago único en el año 0.

$$VAN = \sum_{j=1}^n \frac{R_j}{(1+r)^j} - K \quad (\text{Ec. 6.2.})$$

Los parámetros que la definen son los siguientes:

- RJ: equilibrio económico = (cobros ordinarios + cobros extraordinarios) – (pagos ordinarios + pagos extraordinarios)
- r: tasa de actualización (en este caso, 4%)
- n: año del proyecto
- K: inversión realizada en el año 0

Si el VAN es mayor que cero el proyecto es viable, si es menor que cero el proyecto es inviable.

El VAN de este proyecto es de 40.758,25 €, lo que supone una rentabilidad positiva.

6.6.2. Relación Beneficio-Inversión (Q)

La ratio Beneficio-Inversión mide la rentabilidad relativa del proyecto, la ganancia neta generada por cada unidad monetaria invertida, y se calcula según la Ec. 6.3:

$$Q = \frac{VAN}{K} \quad (\text{Ec. 6.3.})$$

Esta relación complementa al VAN, que mide la rentabilidad absoluta, mientras que Q mide la rentabilidad relativa. Se trata de una condición necesaria, pero no suficiente para llevar a cabo la inversión. Si el resultado tiene un valor superior a cero el proyecto será viable, si su valor es inferior a cero el proyecto será inviable.

ESTUDIO ECONÓMICO

Para nuestro proyecto, el valor adoptado es de 0,93 €, por tanto, el proyecto es viable.

6.6.3. Plazo de Recuperación o *PAY-BACK*

Este indicador representa el número de años que transcurren desde el inicio del proyecto hasta que la suma de los cobros actualizados supera a la de pagos actualizados, es decir, el tiempo necesario para recuperar la inversión o el tiempo necesario para que el VAN se vuelva 0. Una vez llegado a este punto, se considera que el proyecto genera recursos.

El *PAY-BACK* no proporciona información sobre la rentabilidad del proyecto, y es complementario de los indicadores anteriores. Cuanto menor sea el plazo de recuperación, más interesante será la inversión.

En este proyecto, el *PAY-BACK* toma el valor de 6 años y 3 meses.

6.6.4. TIR (Tasa Interna de Rendimiento)

La Tasa Interna de Rendimiento o Tasa de Retorno se define como la tasa de actualización para la que el VAN toma el valor cero, y muestra la rentabilidad que el inversor obtiene de la inversión en el proyecto. Es el λ que verifica la Ec. 6.4:

$$\sum_{j=1}^n \frac{R_j}{(1+\lambda)^j} - K = 0 \quad (\text{Ec. 6.4.})$$

El valor de la TIR es del 9,28%, lo que hace que el proyecto sea rentable, ya que solo interesa ejecutar aquellas inversiones cuya TIR sea superior a la tasa de actualización (r).

En la Tabla 6.3 se muestran los valores obtenidos por las fórmulas relacionadas con ellos:

TABLA 6.3 Indicadores de evaluación utilizados.

VAN (€)	40.758,25
Q	0,93
TIR	9,28%
<i>PAY-BACK</i>	6 años y 3 meses

6.7. Análisis de sensibilidad

El análisis de sensibilidad tiene como finalidad determinar la influencia o repercusión que tienen las posibles variaciones de los parámetros en los índices de rentabilidad de la inversión.

El análisis, en este caso, se realiza variando el consumo de agua. Como se puede observar en la Tabla 6.4, reduciendo el ahorro de agua hasta el 55%, sigue siendo viable implantar este sistema en la industria. No obstante, con un ahorro de agua del 50% dejaría de ser rentable, ya que la TIR es menor que la tasa de actualización (4%).

TABLA 6.4 Análisis de sensibilidad utilizando como parámetro de análisis el ahorro de agua.

Ahorro de agua	VAN (€)	Q	TIR	PAY-BACK
Estado base (60 %)	40.758,25	0,93	9,28%	6 años y 3 meses
Situación más favorable (80%)	92.809,20	2,11	19,68%	3 años y 10 meses
Situación desfavorable (55 %)	27.745,51	0,63	6,46%	7 años y 2 meses
Situación más desfavorable (50 %)	14.732,78	0,33	3,52%	8 años y 5 meses

En el Anejo 9.1.2. se muestra en forma de tablas la viabilidad económica del proyecto considerando un ahorro de agua del 80%, 55% y 50%.

7. CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

7. CONCLUSIONES

1. Dos horas de desinfección del agua mediante el reactor de dióxido de titanio fueron suficientes para reducir en un 98% la carga microbiana de *Monilia fructicola* y para eliminar por completo la carga de *Botrytis cinerea*, *Penicillium expansum*, *Rhizopus stolonifer* y *Geotrichum candidum*.
2. La instalación de los reactores de dióxido de titanio en la central frutícola contribuyó positivamente al mantenimiento de la calidad microbiológica del agua utilizada en el proceso de *hydrocooling*.
3. El lavado de las cerezas con agua desinfectada mediante fotocátalisis oxidativa avanzada no alteró la calidad microbiológica ni la calidad físico-química de las mismas.
4. La evaluación de la viabilidad económica de la implementación de reactores de dióxido de titanio para la desinfección del agua de las centrales frutícolas resulta positiva, al obtenerse una reducción del 60% en el consumo de agua.

8. BIBLIOGRAFÍA

8. BIBLIOGRAFÍA

Adaskaveg, J. E., Förster, H., Thompson, D. F. (2000). Identification and etiology of visible quiescent infections of *Monilinia fructicola* and *Botrytis cinerea* in sweet cherry fruit. *Plant Disease*, 84(3), 328-333.

Alonso, J., Alique, R. (2006). Tratamiento de postcosecha para mantener la calidad de las cerezas. *Vida Rural*, 223, 31-36.

Aranciaga Pajuelo, R. B., Vargas Lopez, J. P. (2020). Inactivación de *Escherichia coli* y *Enterococos* intestinales resistentes a los antibióticos mediante fotocátalisis en aguas residuales del Centro Médico Naval (Doctoral dissertation, Universidad César Vallejo).

Arribillaga, D. (2013). Parametros de calidad. Manejo de pre y post cosecha del cultivo del cerezo (*Prunus avium* L.) en Chile Chico, Región de Aysén. *Boletín INIA-Instituto de Investigaciones Agropecuarias*, 27-32.

Barkai-Goland, R. (2001). *Postharvest diseases of fruit and vegetables. Development and control*. Ed. Elsevier. Amsterdam, The Netherlands.

Bautista-Baños, S., Hernández-Lauzardo, A. N., del Valle, M. V., Bosquez-Molina, E., Sánchez-Domínguez, D. (2005). Quitosano: una alternativa natural para reducir microorganismos postcosecha y mantener la vida de anaquel de productos hortofrutícolas. *Revista Iberoamericana de tecnología postcosecha*, 7(1), 1-6.

Bernalte, M. J., Sabio, E., Hernandez, M. T., Gervasini, C. (2003). Influence of storage delay on quality of 'Van' sweet cherry. *Postharvest Biology and Technology*, 28(2), 303-312.

Butler, E. E. (1961). Transmission of *Geotrichum* rot of tomato fruit by *Drosophila melanogaster*. *Phytopathology*, 51, 250-255.

Butler, E. E., Bracker, C. E. (1963). Role of *Drosophila melanogaster* in epiphytology of *Geotrichum*, *Rhizopus*, and other fruit rots of tomato. *Phytopathology*, 53, 1016-1020.

Calvo, H., Redondo, D., Remón, S., Venturini, M. E., Arias, E. (2019). Efficacy of electrolyzed water, chlorine dioxide and photocatalysis for disinfection and removal of pesticide residues from stone fruit. *Postharvest biology and technology*, 148, 22-31.

BIBLIOGRAFÍA

- Candan, A. P., Raffo, D., Gomila, T., Colodner, A. (2017). Pautas para el mantenimiento de la calidad de cerezas frescas. Ediciones Inta, Alto Valle, Argentina.
- Casals, C., Plaza, P., Vilanova, L., Sisquella, M., Torres, R., Teixidó, N. (2021). *Geotrichum* spp. y *Rhizopus* spp., enfermedades emergentes en fruta de hueso. ¿Qué sabemos de ellas? Dossier Fruta de Hueso. Horticultura, 354, 32-37.
- Choi, Y. W., Hyde, K. D., Ho, W. H. (1999). Single spore isolation of fungi. Fungal diversity 3, 29-38.
- Cortez González, V. H. (2018). Eliminación de contaminantes emergentes de aguas residuales hospitalarias mediante procesos de oxidación avanzada (Bachelor's thesis, Universidad Estatal Amazónica).
- Crisosto, C. H., Crisosto, G. M., Metheney, P. (2003). Consumer acceptance of 'Brooks' and 'Bing' cherries is mainly dependent on fruit SSC and visual skin color. Postharvest Biology and Technology, 28(1), 159-167.
- De Paiva, E., Serradilla, M. J., Ruiz-Moyano, S., Córdoba, M. G., Villalobos, M. C., Casquete, R., Hernández, A. (2017). Combined effect of antagonistic yeast and modified atmosphere to control *Penicillium expansum* infection in sweet cherries cv. Ambrunés. International journal of food microbiology, 241, 276-282.
- Drusch, S., Ragab, W. (2003). Mycotoxins in fruits, fruit juices, and dried fruits. Journal of food protection, 66(8), 1514-1527.
- FAO (2021). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Disponible en: <http://www.fao.org/faostat/es/> (consultado en febrero de 2021).
- FDA (2008). Guidance for Industry: Guide to Minimize Microbial Food Safety Hazards of Fresh-cut Fruits and Vegetables. Food and Drug Administration.
- Feliziani, E., Landi, L., Romanazzi, G. (2014). Use of resistance inducers to control storage decay of sweet cherry. Acta Horticulturae, 1053, 227-235.
- Fernández Rodríguez, M. (2020). Efecto de los tratamientos con salicilatos sobre los compuestos bioactivos en uva Crimson. (Trabajo Fin de Máster, Universidad Miguel Hernández de Elche, España).

BIBLIOGRAFÍA

Fukuzaki, S. 2006. Mechanisms of actions of sodium hypochlorite in cleaning and disinfection processes. *Biocontrol Sci.*, 11(4), 147-57.

García, C. (2017). Epidemiología y control de la podredumbre parda del melocotón en postcosecha (Doctoral dissertation, Universidad Politécnica de Madrid).

Garrido, M., Paredes, S. D., Cubero, J., Lozano, M., Toribio-Delgado, A. F., Muñoz, J. L., ... Rodríguez, A. B. (2010). Jerte Valley cherry-enriched diets improve nocturnal rest and increase 6-sulfatoxymelatonin and total antioxidant capacity in the urine of middle-aged and elderly humans. *Journals of Gerontology Series A: Biomedical Sciences and Medical Sciences*, 65(9), 909-914.

Gil, M. I., Selma, M. V., López-Gálvez, F., Allende, A. (2009). Fresh-cut product sanitation and wash water disinfection: problems and solutions. *International Journal of Food Microbiology*, 134(1-2), 37-45.

Hayaloglu, A. A., Demir, N. (2015). Physicochemical characteristics, antioxidant activity, organic acid and sugar contents of 12 sweet cherry (*Prunus avium* L.) cultivars grown in Turkey. *Journal of food science*, 80(3), 564-570.

Hernández, A., Ruiz-Moyano, S., Galván, A. I., Merchán, A. V., Nevado, F. P., Aranda, E., ... Martín, A. (2021). Anti-fungal activity of phenolic sweet orange peel extract for controlling fungi responsible for post-harvest fruit decay. *Fungal Biology*, 125(2), 143-152.

Horvitz, S., Yommi, A., López Camelo, A. F., Godoy, C. A. (2004). Efecto del estado de madurez y atmósferas modificadas sobre la calidad de cerezas cv. Sweetheart. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias.*, 36(2), 39-48.

Kader, A.A. (2011). Tecnología postcosecha de cultivos hortofrutícolas. *Postharvest Technology Research & Information Center*, Universidad de California.

Kafkaletou, M., Christopoulos, M. V., Ktistaki, M. E., Sotiropoulos, T., Tsantili, E. (2015). The influence of rain cover on respiration, quality attributes and storage of cherries (*Prunus avium* L.). *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 88(1).

BIBLIOGRAFÍA

Kappel, F., MacDonald, R. (2007). Early gibberellic acid sprays increase firmness and fruit size of 'Sweetheart' sweet cherry. *Journal of the American Pomological Society* 61(1): 38-43.

Lee, M., Shahbaz, H. M., Kim, J. U., Lee, H., Lee, D. U., Park, J. (2018). Efficacy of UV-TiO₂ photocatalysis technology for inactivation of *Escherichia coli* K12 on the surface of blueberries and a model agar matrix and the influence of surface characteristics. *Food microbiology*, 76, 526-532.

López, C. (2016). Procesos físico-químicos de oxidaciones avanzadas (H₂O₂/UV; Fe²⁺/H₂O₂/UV; TiO₂/H₂O₂/UV) y la mejora con un sistema de coagulación-floculación, en el tratamiento de aguas residuales para la eliminación de colorantes (Doctoral dissertation, Universidad de Granada).

Loyola-López, N., Valenzuela, P. H., Torres, C. P. (2013). Aplicación de sucralosa a cerezas orgánicas cv. Sweetheart® en atmósfera modificada y su aceptación sensorial. *Acta Agronómica*, 63(2), 113-126.

Loyola-López, N., Acuña, C., Arriola, M., Alegría, M. (2014). Efecto de la aplicación de fungicida, sucralosa y modificación de atmósfera en atributos sensoriales de cerezas (*Prunus cerasus*) cv. Lapins, provenientes de un huerto orgánico. *Agro Sur*, 42(1), 41-49.

Macías Miranda, M. (2020). *Alternaria*: alteraciones postcosecha en frutas (Trabajo Fin de Máster, Universidad de Extremadura, España).

MAPA (2021). Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Disponible en: <https://www.mapa.gob.es/es/> (consultado en febrero de 2021).

Michailides, T. J., Spotts, R. A. (1990). Transmission of *Mucor piriformis* to fruit of *Prunus persica* by *Carpophilus* spp. and *Drosophila melanogaster*. *Plant Disease*, 74, 287-291.

Muñoz, M., Tapia García, M. I., Velardo-Micharet, B., Hernández, M. T., Rodríguez Gómez, M. J., Bernalte, M. J., Ayuso, M. C. (2017). In-field hydrocooling: effect on postharvest quality of sweet cherries. *Acta Horticulturae*, 1161, 535-542.

BIBLIOGRAFÍA

Muñoz Flores, Y. Y., Palomino Mercado, S. E. (2019). Influencia de la concentración del TiO_2 y tiempo de tratamiento en la degradación de las aguas residuales de camal por fotocátalisis heterogénea (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Centro del Perú).

Petrasch, S., Silva, C. J., Mesquida-Pesci, S. D., Gallegos, K., Van Den Abeele, C., Papin, V., ... Blanco-Ulate, B. (2019). Infection strategies deployed by *Botrytis cinerea*, *Fusarium acuminatum*, and *Rhizopus stolonifer* as a function of tomato fruit ripening stage. *Frontiers in plant science*, 10, 223.

Plaza, P., Bobillo, E., Costa, E., Usall, J. (2007). Eficacia del ozono en la desinfección de agua en centrales hortofrutícolas. *Horticultura Internacional*, 59, 34-40.

Prusky, D. (2011). Reduction of the incidence of postharvest quality losses, and future prospects. *Food Security*, 3(4), 463-474.

Remón, S., Ferrer, A., Marquina, P., Burgos, J., Oria, R. (2000). Use of modified atmospheres to prolong the postharvest life of Burlat cherries at two different degrees of ripeness. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80(10), 1545-1552.

Rodríguez, M. J., Calvo, P., Velardo, B., Delgado, J., Sánchez, F., Fernández, J., Serradilla, M. J. (2016). Efecto de fungicidas triazoles sobre el crecimiento micelial de *Geotrichum candidum* en melocotón 'Crimson Lady'. *Actas Portuguesas de Horticultura*, 28(2), 218-223.

Romanazzi, G., Sanzani, S. M., Bi, Y., Tian, S., Martínez, P. G., Alkan, N. (2016). Induced resistance to control postharvest decay of fruit and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, 122, 82-94.

Rueda-Marquez, J. J., Levchuk, I., Ibañez, P. F., Sillanpää, M. (2020). A critical review on application of photocatalysis for toxicity reduction of real wastewaters. *Journal of Cleaner Production*, 258, 120694.

Sapers, G. M. (2001). Efficacy of washing and sanitizing methods for disinfection of fresh fruit and vegetable products. *Food Technology and Biotechnology*, 39(4).

Serradilla, M. J. (2012). Estudio para la caracterización y prolongación de la vida útil de cerezas de las variedades tipo "picotas" tradicionalmente cultivadas en el Valle del Jerte (Doctoral dissertation, Universidad de Extremadura, España).

BIBLIOGRAFÍA

Serradilla, M. J., Martín, A., Ruiz-Moyano, S., Hernández, A., López-Corrales, M., de Guía Córdoba, M. (2012). Physicochemical and sensorial characterisation of four sweet cherry cultivars grown in Jerte Valley (Spain). *Food Chemistry*, 133(4), 1551-1559.

Serradilla, M. J., del Carmen Villalobos, M., Hernández, A., Martín, A., Lozano, M., de Guía Córdoba, M. (2013). Study of microbiological quality of controlled atmosphere packaged 'Ambrunés' sweet cherries and subsequent shelf-life. *International journal of food microbiology*, 166(1), 85-92.

Serradilla, M. J., Akšic, M. F., Manganaris, G. A., Ercisli, S., González-Gómez, D., Valero, D. (2017). Fruit Chemistry, Nutritional Benefits and Social Aspects of Cherries. *Cherries: Botany, Production and Uses*, 420-441.

Sisquella Sanagustín, M. (2014). Tratamientos con ácido peracético, radiofrecuencias y microondas para el control de *Monilinia* spp. en poscosecha de fruta de hueso (Doctoral dissertation, Universitat de Lleida, España). Disponible en: <https://www.tdx.cat/handle/10803/285454> (consultado en julio de 2021).

Tate, K. G., Ogawa, J. M. (1975). Nitidulid beetles as vectors of *Monilinia fructicola* in California stone fruits. *Phytopathology*, 65, 977-983.

Tapia García, I. M., Velardo-Micharet, B., Ayuso, M. C., Bernalte, M. J., González-Gómez, D. (2017). Effect of modified atmosphere on postharvest quality of 'Sweetheart' cherries. *Acta Horticulturae*, 1161, 653-660.

Ugolini, L., Martini, C., Lazzeri, L., D'Avino, L., Mari, M. (2014). Control of postharvest grey mould (*Botrytis cinerea* Per.: Fr.) on strawberries by glucosinolate-derived allyl-isothiocyanate treatments. *Postharvest biology and technology*, 90, 34-39.

Valero, D., Serrano, M. (2010). Postharvest biology and technology for preserving fruit quality. CRC Press, Boca Raton, Florida.

Velardo, B., Miguel, C., Serradilla, M. J., Rodríguez, M. J., Ayuso, M. C., Bernalte, M. J., ... Aguilheiro-Santos, A. C. (2015). Efecto de la zona de producción sobre la calidad y funcionalidad de cerezas 'Sweetheart'. *Actas de Horticultura*, 71, 55-58.

BIBLIOGRAFÍA

Velázquez-del Valle, M. G., Bautista-Baños, S., Hernández-Lauzardo, A. N., Guerra-Sánchez, M. G., Amora-Lazcano, E. (2008). Estrategias de control de *Rhizopus stolonifer* Ehrenb. (Ex Fr.) Lind, agente causal de pudriciones postcosecha en productos agrícolas. Revista mexicana de fitopatología, 26(1), 49-55.

Whiting, M. D., Perry, R., L. (2017). Fruit Harvest Methods and Technologies. Cherries: Botany, Production and Uses, 442-459.

Yagmour, M. A., Bostock, R. M., Morgan, D. P., Michailides, T. J. (2012). Biology and sources of inoculum of *Geotrichum candidum* causing sour rot of peach and nectarine fruit in California. Plant disease, 96(2), 204-210.

Zoffoli, J. P. (2000). Evaluación Crítica del Manejo Poscosecha de Cerezas. Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal, Pontificia Universidad Católica de Chile.

Zoffoli, J. P., Toivonen, P., Wang, Y. (2017). Postharvest Biology and Handling for Fresh Markets. Cherries: Botany, Production and Uses, 460-484.

9. ANEJOS

ANEJOS

9. ANEJOS

9.1. Anejo I: Datos del estudio económico

9.1.1. Viabilidad económica del proyecto

TABLA 9.1 Viabilidad económica del proyecto.

Año	Inversión	Cobros ordinarios	Cobros extraordinarios	Pagos ordinarios	Pagos extraordinarios	Financiación	Flujo de caja	Flujo de caja actualizado	PAY-BACK
0	44.000 €								44.000 €
1		0 €		-8.540,73 €			8.540,73 €	8.212,24 €	35.787,76 €
2		0 €		-8.540,73 €			8.540,73 €	7.896,38 €	27.891,37 €
3		0 €		-8.540,73 €			8.540,73 €	7.592,68 €	20.298,70 €
4		0 €		-8.540,73 €			8.540,73 €	7.300,65 €	12.998,04 €
5		0 €		-8.540,73 €	3.200 €		5.340,73 €	4.389,69 €	8.608,35 €
6		0 €		-8.540,73 €			8.540,73 €	6.749,86 €	1.858,49 €
7		0 €		-8.540,73 €			8.540,73 €	6.490,25 €	-4.631,76 €
8		0 €		-8.540,73 €			8.540,73 €	6.240,63 €	-10.872,39 €
9		0 €		-8.540,73 €			8.540,73 €	6.000,60 €	-16.872,99 €
10		0 €	4.400 €	-8.540,73 €	47.200 €		-34.259,27 €	-23.144,34 €	6.271,34 €
11		0 €		-8.540,73 €			8.540,73 €	5.547,90 €	723,45 €
12		0 €		-8.540,73 €			8.540,73 €	5.334,51 €	-4.611,07 €
13		0 €		-8.540,73 €			8.540,73 €	5.129,34 €	-9.740,41 €
14		0 €		-8.540,73 €			8.540,73 €	4.932,06 €	-14.672,47 €
15		0 €		-8.540,73 €	3.200 €		5.340,73 €	2.965,52 €	-17.637,99 €
16		0 €		-8.540,73 €			8.540,73 €	4.559,97 €	-22.197,95 €
17		0 €		-8.540,73 €			8.540,73 €	4.384,58 €	-26.582,53 €
18		0 €		-8.540,73 €			8.540,73 €	4.215,94 €	-30.798,48 €
19		0 €		-8.540,73 €			8.540,73 €	4.053,79 €	-34.852,27 €
20		0 €	4.400 €	-8.540,73 €			12.940,73 €	5.905,98 €	-40.758,25 €

ANEJOS

9.1.2. Análisis de sensibilidad

TABLA 9.2 Viabilidad económica del proyecto considerando un ahorro de agua del 80%.

Año	Inversión	Cobros ordinarios	Cobros extraordinarios	Pagos ordinarios	Pagos extraordinarios	Financiación	Flujo de caja	Flujo de caja actualizado	PAY-BACK
0	44.000 €								44.000 €
1		0 €		-12.370,73 €			12.370,73 €	11.894,93 €	32.105,07 €
2		0 €		-12.370,73 €			12.370,73 €	11.437,44 €	20.667,63 €
3		0 €		-12.370,73 €			12.370,73 €	10.997,53 €	9.670,10 €
4		0 €		-12.370,73 €			12.370,73 €	10.574,55 €	-904,45 €
5		0 €		-12.370,73 €	3.200 €		9.170,73 €	7.537,67 €	-8.442,13 €
6		0 €		-12.370,73 €			12.370,73 €	9.776,77 €	-18.218,89 €
7		0 €		-12.370,73 €			12.370,73 €	9.400,74 €	-27.619,63 €
8		0 €		-12.370,73 €			12.370,73 €	9.039,17 €	-36.658,80 €
9		0 €		-12.370,73 €			12.370,73 €	8.691,51 €	-45.350,31 €
10		0 €	4.400 €	-12.370,73 €	47.200 €		-30.429,27 €	-20.556,92 €	-24.793,39 €
11		0 €		-12.370,73 €			12.370,73 €	8.035,79 €	-32.829,18 €
12		0 €		-12.370,73 €			12.370,73 €	7.726,72 €	-40.555,90 €
13		0 €		-12.370,73 €			12.370,73 €	7.429,54 €	-47.985,44 €
14		0 €		-12.370,73 €			12.370,73 €	7.143,79 €	-55.129,23 €
15		0 €		-12.370,73 €	3.200 €		9.170,73 €	5.092,18 €	-60.221,41 €
16		0 €		-12.370,73 €			12.370,73 €	6.604,83 €	-66.826,24 €
17		0 €		-12.370,73 €			12.370,73 €	6.350,80 €	-73.177,05 €
18		0 €		-12.370,73 €			12.370,73 €	6.106,54 €	-79.283,59 €
19		0 €		-12.370,73 €			12.370,73 €	5.871,67 €	-85.155,26 €
20		0 €	4.400 €	-12.370,73 €			16.770,73 €	7.653,94 €	-92.809,20 €

ANEJOS

TABLA 9.3 Viabilidad económica del proyecto considerando un ahorro de agua del 55%.

Año	Inversión	Cobros ordinarios	Cobros extraordinarios	Pagos ordinarios	Pagos extraordinarios	Financiación	Flujo de caja	Flujo de caja actualizado	PAY-BACK
0	44.000 €								44.000 €
1		0 €		-7.583,23 €			7.583,23 €	7.291,57 €	36.708,43 €
2		0 €		-7.583,23 €			7.583,23 €	7.011,12 €	29.697,31 €
3		0 €		-7.583,23 €			7.583,23 €	6.741,46 €	22.955,85 €
4		0 €		-7.583,23 €			7.583,23 €	6.482,18 €	16.473,67 €
5		0 €		-7.583,23 €	3.200 €		4.383,23 €	3.602,70 €	12.870,97 €
6		0 €		-7.583,23 €			7.583,23 €	5.993,14 €	6.877,84 €
7		0 €		-7.583,23 €			7.583,23 €	5.762,63 €	1.115,21 €
8		0 €		-7.583,23 €			7.583,23 €	5.540,99 €	-4.425,79 €
9		0 €		-7.583,23 €			7.583,23 €	5.327,88 €	-9.753,66 €
10		0 €	4.400 €	-7.583,23 €	47.200 €		-35.216,77 €	-23.791,19 €	14.037,52 €
11		0 €		-7.583,23 €			7.583,23 €	4.925,92 €	9.111,60 €
12		0 €		-7.583,23 €			7.583,23 €	4.736,46 €	4.375,14 €
13		0 €		-7.583,23 €			7.583,23 €	4.554,29 €	-179,15 €
14		0 €		-7.583,23 €			7.583,23 €	4.379,13 €	-4.558,28 €
15		0 €		-7.583,23 €	3.200 €		4.383,23 €	2.433,85 €	-6.992,13 €
16		0 €		-7.583,23 €			7.583,23 €	4.048,75 €	-11.040,88 €
17		0 €		-7.583,23 €			7.583,23 €	3.893,03 €	-14.933,91 €
18		0 €		-7.583,23 €			7.583,23 €	3.743,30 €	-18.677,20 €
19		0 €		-7.583,23 €			7.583,23 €	3.599,32 €	-22.276,52 €
20		0 €	4.400 €	-7.583,23 €			11.983,23 €	5.468,99 €	-27.745,51 €

ANEJOS

TABLA 9.4 Viabilidad económica del proyecto considerando un ahorro de agua del 50%.

Año	Inversión	Cobros ordinarios	Cobros extraordinarios	Pagos ordinarios	Pagos extraordinarios	Financiación	Flujo de caja	Flujo de caja actualizado	PAY-BACK
0	44.000 €								44.000 €
1		0 €		-6.625,73 €			6.625,73 €	6.370,89 €	37.629,11 €
2		0 €		-6.625,73 €			6.625,73 €	6.125,86 €	31.503,25 €
3		0 €		-6.625,73 €			6.625,73 €	5.890,25 €	25.613,00 €
4		0 €		-6.625,73 €			6.625,73 €	5.663,70 €	19.949,29 €
5		0 €		-6.625,73 €	3.200 €		3.425,73 €	2.815,70 €	17.133,59 €
6		0 €		-6.625,73 €			6.625,73 €	5.236,41 €	11.897,18 €
7		0 €		-6.625,73 €			6.625,73 €	5.035,01 €	6.862,17 €
8		0 €		-6.625,73 €			6.625,73 €	4.841,36 €	2.020,82 €
9		0 €		-6.625,73 €			6.625,73 €	4.655,15 €	-2.634,33 €
10		0 €	4.400 €	-6.625,73 €	47.200 €		-36.174,27 €	-24.438,04 €	21.803,71 €
11		0 €		-6.625,73 €			6.625,73 €	4.303,95 €	17.499,76 €
12		0 €		-6.625,73 €			6.625,73 €	4.138,41 €	13.361,35 €
13		0 €		-6.625,73 €			6.625,73 €	3.979,24 €	9.382,11 €
14		0 €		-6.625,73 €			6.625,73 €	3.826,19 €	5.555,91 €
15		0 €		-6.625,73 €	3.200 €		3.425,73 €	1.902,19 €	3.653,73 €
16		0 €		-6.625,73 €			6.625,73 €	3.537,53 €	116,19 €
17		0 €		-6.625,73 €			6.625,73 €	3.401,47 €	-3.285,28 €
18		0 €		-6.625,73 €			6.625,73 €	3.270,65 €	-6.555,92 €
19		0 €		-6.625,73 €			6.625,73 €	3.144,85 €	-9.700,78 €
20		0 €	4.400 €	-6.625,73 €			11.025,73 €	5.032,00 €	-14.732,78 €

9.2. Anejo II: Relación de figuras y tablas

9.2.1. Relación de figuras

FIGURA 2.1 Distribución mundial de la producción de cerezas en 2019 (FAO, 2021) 4

FIGURA 2.2 Producción de los 10 principales países productores de cerezas en 2019 (FAO, 2021) 4

FIGURA 2.3 Distribución de la superficie nacional de plantación de cerezos (izquierda) y de la producción nacional de cerezas (derecha) en 2018 (elaboración propia a partir de datos del MAPA, 2021) 5

FIGURA 2.4 Cultivos puros de *Botrytis cinerea*, *Penicillium expansum*, *Rhizopus stolonifer* y *Geotrichum candidum*, de izquierda a derecha 9

FIGURA 2.5 Procesado poscosecha de cerezas 12

FIGURA 4.1 Células vegetativas de *Geotrichum candidum* vistas al microscopio electrónico 22

FIGURA 4.2 Recuento de esporas mediante cámara de Neubauer 22

FIGURA 4.3 Adición del inóculo de *Rhizopus stolonifer* al tanque de agua del reactor 23

FIGURA 4.4 Diseño experimental y distribución de los lotes de cereza 30

FIGURA 5.1 Reducción de la carga microbiana de *M. fructicola* con los ciclos de desinfección 33

FIGURA 5.2 Reducción del crecimiento de *Monilia fructicola* entre los ciclos de desinfección 1 y 11 34

FIGURA 5.3 Reducción de la carga microbiana de *B. cinerea* con los ciclos de desinfección 34

FIGURA 5.4 Reducción de la carga microbiana de *P. expansum* con los ciclos de desinfección 35

ANEJOS

FIGURA 5.5 Reducción de la carga microbiana de <i>R. stolonifer</i> con los ciclos de desinfección	35
FIGURA 5.6 Reducción de la carga microbiana de <i>G. candidum</i> con los ciclos de desinfección	36
FIGURA 5.7 Recuentos de aerobios mesófilos expresados en UFC/mL a lo largo de una semana, en los diferentes puntos de muestreo (reactor, balsa y ducha)	38
FIGURA 5.8 Recuentos de mohos y levaduras expresados en UFC/mL a lo largo de una semana, en los diferentes puntos de muestreo (reactor, balsa y ducha)	38
FIGURA 5.9 Recuentos de aerobios mesófilos expresados en UFC/mL para las cerezas de ambos tratamientos, en las diferentes fechas de análisis. Los valores corresponden a la media \pm error estándar de la media	39
FIGURA 5.10 Recuentos de aerobios psicrófilos expresados en UFC/mL para las cerezas de ambos tratamientos, en las diferentes fechas de análisis. Los valores corresponden a la media \pm error estándar de la media	40
FIGURA 5.11 Recuentos de mohos y levaduras expresados en UFC/mL para las cerezas de ambos tratamientos, en las diferentes fechas de análisis. Los valores corresponden a la media \pm error estándar de la media	40
FIGURA 5.12 Efecto de los tratamientos sobre la pendiente de la curva fuerza/deformación de las cerezas, a los 15, 30 y 40 días. Los valores corresponden a la media \pm desviación típica de la media. Letras diferentes indican diferencias significativas entre los valores para los diferentes tratamientos ($p < 0,05$)	41
FIGURA 5.13 Efecto de los tratamientos sobre la relación a^*/b^* de la piel de las cerezas, a los 15, 30 y 40 días. Los valores corresponden a la media \pm desviación típica de la media. Letras diferentes indican diferencias significativas entre los valores para los diferentes tratamientos ($P < 0,05$)	42
FIGURA 5.14 Efecto de los tratamientos sobre el valor del ángulo de tono H de la piel de las cerezas, a los 15, 30 y 40 días. Los valores corresponden a la media \pm desviación típica de la	

ANEJOS

media. Letras diferentes indican diferencias significativas entre los valores para los diferentes tratamientos ($p < 0,05$) 43

FIGURA 5.15 Efecto de los tratamientos sobre el contenido en SST de las cerezas, a los 15, 30 y 40 días. Los valores corresponden a la media \pm desviación típica de la media. Letras diferentes indican diferencias significativas entre los valores para los diferentes tratamientos ($p < 0,05$) 44

FIGURA 5.16 Efecto de los tratamientos sobre la acidez titulable de las cerezas, a los 15, 30 y 40 días. Los valores corresponden a la media \pm desviación típica de la media. Letras diferentes indican diferencias significativas entre los valores para los diferentes tratamientos ($p < 0,05$) 45

FIGURA 5.17 Efecto de los tratamientos sobre el índice de maduración o aceptabilidad de las cerezas, a los 15, 30 y 40 días. Los valores corresponden a la media \pm desviación típica de la media 47

FIGURA 5.18 Efecto de los tratamientos sobre el porcentaje de pedicelos de color verde, a los 15, 30 y 40 días. Los valores corresponden a la media \pm desviación típica de la media. Letras diferentes indican diferencias significativas entre los valores para los diferentes tratamientos ($p < 0,05$) 48

FIGURA 5.19 Efecto de los tratamientos sobre el porcentaje de pedicelos de color verde pálido, a los 15, 30 y 40 días. Los valores corresponden a la media \pm desviación típica de la media. Letras diferentes indican diferencias significativas entre los valores para los diferentes tratamientos ($p < 0,05$) 48

9.2.2. Relación de tablas

TABLA 4.1 Concentración de la suspensión utilizada con cada patógeno poscosecha 23

TABLA 4.2 Ciclos de desinfección en los que se llevó a cabo la toma de muestras y tiempo de ensayo al que corresponden 24

TABLA 6.1 Inversión inicial 52

TABLA 6.2 Pagos ordinarios anuales de la producción 54

ANEJOS

TABLA 6.3 Indicadores de evaluación utilizados	58
TABLA 6.4 Análisis de sensibilidad utilizando como parámetro de análisis el ahorro de agua	59
TABLA 9.1 Viabilidad económica del proyecto	71
TABLA 9.2 Viabilidad económica del proyecto considerando un ahorro de agua del 80%	72
TABLA 9.3 Viabilidad económica del proyecto considerando un ahorro de agua del 55%	73
TABLA 9.4 Viabilidad económica del proyecto considerando un ahorro de agua del 50%	74

