

INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE OCCIDENTE

Departamento de Procesos Tecnológicos e Industriales

Sustentabilidad y tecnología

PROYECTO DE APLICACIÓN PROFESIONAL (PAP)

Programa para mejoramiento de la calidad, productividad y logística en la industria regional



ITESO, Universidad
Jesuita de Guadalajara

4F04 Programa para mejoramiento de la calidad, productividad y logística en la industria regional

PROPUESTA PARA REDUCCIÓN DE PESTICIDAS EN SEMILLAS

PRESENTA

Ing. Químico Alejandro Aguirre Gutiérrez

Profesor PAP

Dra. Gabriela Porras Quevedo

Dra. Sarah Ratkovich González

Tlaquepaque, Jalisco, julio del 2022

ÍNDICE

Contenido

REPORTE PAP	2
Presentación Institucional de los Proyectos de Aplicación Profesional.....	2
Resumen	3
1. Ciclo participativo del Proyecto de Aplicación Profesional	3
1.1 Entendimiento del ámbito y del contexto.....	3
1.2 Caracterización de la organización	5
1.3 Identificación de la(s) problemática(s).....	6
1.4. Planeación de alternativa(s)	6
1.5. Desarrollo de la propuesta de mejora.....	7
1.6. Valoración de productos, resultados e impactos	8
1.7. Bibliografía y otros recursos	8
1.8. Anexos generales	12
2. Productos.....	14
3. Reflexión crítica y ética de la experiencia	27
3.1 Sensibilización ante las realidades	27
3.2 Aprendizajes logrados	28

REPORTE PAP

Presentación Institucional de los Proyectos de Aplicación Profesional

Los Proyectos de Aplicación Profesional (PAP) son experiencias socio-profesionales de los alumnos que desde el currículo de su formación universitaria- enfrentan retos, resuelven problemas o innovan una necesidad sociotécnica del entorno, en vinculación (colaboración) (co-participación) con grupos, instituciones, organizaciones o comunidades, en escenarios reales donde comparten saberes.

El PAP, como espacio curricular de formación vinculada, ha logrado integrar el Servicio Social (acorde con las Orientaciones Fundamentales del ITESO), los requisitos de dar cuenta de los saberes y del saber aplicar los mismos al culminar la formación profesional (Opción Terminal), mediante la realización de proyectos profesionales de cara a las necesidades y retos del entorno (Aplicación Profesional).

El PAP es un proceso acotado en el tiempo en que los estudiantes, los beneficiarios externos y los profesores se asocian colaborativamente y en red, en un proyecto, e incursionan en un mundo social, como actores que enfrentan verdaderos problemas y desafíos traducibles en demandas pertinentes y socialmente relevantes. Frente a éstas transfieren experiencia de sus saberes profesionales y demuestran que saben hacer, innovar, co-crear o transformar en distintos campos sociales.

El PAP trata de sembrar en los estudiantes una disposición permanente de encargarse de la realidad con una actitud comprometida y ética frente a las disimetrías sociales. En otras palabras, se trata del reto de “saber y aprender a transformar”.

El Reporte PAP consta de tres componentes:

El primer componente refiere al ciclo participativo del PAP, en donde se documentan las diferentes fases del proyecto y las actividades que tuvieron lugar durante el desarrollo de este y la valoración de las incidencias en el entorno.

El segundo componente presenta los productos elaborados de acuerdo con su tipología.

El tercer componente es la reflexión crítica y ética de la experiencia, el reconocimiento de las competencias y los aprendizajes profesionales que el estudiante desarrolló en el transcurso de su labor.

Resumen

En el presente proyecto, correspondiente al *PAP Programa para mejoramiento de la calidad, productividad y logística en la industria regional*, titulado *Propuesta para reducción de pesticidas en semillas*, se tuvo por objetivo plantear una propuesta de un método para reducir los pesticidas en las semillas que utiliza la empresa SESAJAL como materia prima en sus procesos. Para ello, se realizó una investigación para determinar cuáles son los métodos más utilizados en la eliminación de pesticidas en alimentos y se analizaron las ventajas y desventajas de su implementación en el sector de las oleaginosas. Se presentaron dos propuestas viables: el uso de ozono gas y el uso de ozono en agua. El primer método posee la ventaja de que se puede aplicar a cualquier tipo de semillas, sin embargo, el costo de su implementación es el mayor. Por otro lado, el uso de ozono en agua reduce el tipo de semillas al que se pueden aplicar, pero su implementación es más económica y garantiza una mejor remoción de los pesticidas.

1. Ciclo participativo del Proyecto de Aplicación Profesional

El PAP es una experiencia de aprendizaje y de contribución social integrada por estudiantes, profesores, actores sociales y responsables de las organizaciones, que de manera colaborativa construyen sus conocimientos para dar respuestas a problemáticas de un contexto específico y en un tiempo delimitado. Por tanto, la experiencia PAP supone un proceso en lógica de proyecto, así como de un estilo de trabajo participativo y recíproco entre los involucrados.

El objetivo general de este proyecto fue plantear una propuesta de un método para reducir los pesticidas en las semillas que utiliza la empresa SESAJAL como materia prima en sus procesos.

Los objetivos específicos del proyecto fueron:

- Comparar diferentes técnicas que se utilizan actualmente para remover pesticidas de diversos alimentos.
- Seleccionar las alternativas que se mejor se ajusten a las necesidades de la empresa y justificar su elección.
- Cotizar las opciones para determinar su viabilidad económica.

1.1 Entendimiento del ámbito y del contexto

El alimento es la necesidad humana más importante. Provee los nutrientes adecuados para el buen crecimiento, desarrollo, mantenimiento y salud del cuerpo (Bajwa & Sandhu, 2014). Un sector de la industria de los alimentos que se encuentra en crecimiento es el de las

plantas oleaginosas, las cuales poseen semillas o frutos de los que se pueden extraer aceites tanto para uso industrial como comestible (SESAJAL, 2020)

La industria de los alimentos a base de oleaginosas en México posee una gran proyección en el mercado nacional e internacional. De acuerdo con un informe de la OCDE (2021), este sector presentará un crecimiento y aumento de precios entre 2021 y 2030. En el caso de México, el mercado de estas semillas tiene un pronóstico de crecimiento de hasta 5.66%, equivalente a 582 mil toneladas en 2030 por lo que las proyecciones indican que se producirán 119 mil toneladas de aceites vegetales en 2030 (OCDE, 2021). Una empresa mexicana que utiliza estas semillas como materia prima de sus procesos es SESAJAL.

SESAJAL es una empresa mexicana con 30 años de historia y se especializa en la producción y comercialización de semillas y sus derivados para la industria alimenticia, farmacéutica, cosmética y de cuidado personal. Entre los artículos más importantes que elabora se encuentran los aceites vegetales, principalmente de aguacate, granos y semillas como ajonjolí, chía, cacahuete y garbanzo; harinas y polvos vegetales; alimentos preparados; y alimentos para mascotas. Posee presencia en más de 30 países, con reconocimiento internacional y un equipo de más de 2,000 colaboradores (SESAJAL, 2022).

Sin embargo, el aumento de la demanda de alimentos en las últimas décadas ha generado la necesidad de optimizar la forma en la que estos se elaboran, lo cual significó que para incrementar su volumen de obtención se tendrían que mejorar los rendimientos de producción de los cultivos.

La principal adversidad con la que se enfrentan los cultivos de alimentos son las plagas. La pérdida de cosechas por plagas en países desarrollados es del 10-30% mientras que en países en vías de desarrollo es del 40-75% lo cual hace que disminuya el valor de la cosecha e incluso dañan la calidad de los productos pudiendo ocasionar que estos se contaminen. (Roy, 2002; CEDRSSA, 2018). Por esta razón, los agricultores tienen la necesidad de emplear pesticidas y así asegurar el bienestar de sus cultivos.

De acuerdo con NIOSH (2019), los pesticidas son compuestos químicos que se usan para destruir o controlar las malezas (herbicidas), plagas de insectos (insecticidas), plagas de roedores (rodenticidas), u hongos (fungicidas). Estas sustancias son utilizadas globalmente para la protección de alimentos y salud de las personas. Sin embargo, su uso excesivo en países en vías de desarrollo ha resultado en la propagación de un problema para la salud de

los seres humanos (Winteringham, 1971). La principal forma en la que los seres humanos se exponen a los pesticidas es a través de los alimentos, aún por encima del aire y del agua potable (Claeys, 2011). Residuos de pesticidas en los alimentos pueden ocasionar enfermedades crónicas en las personas. El consumo prolongado de alimentos que contienen remanentes de pesticidas puede ocasionar el desarrollo de enfermedades como asma, diabetes, leucemia y cáncer (Kim et al., 2017).

Esta situación ha hecho que algunos países regulen estrictamente la cantidad de pesticidas que pueden contener los alimentos. Instituciones como la United States Environmental Agency (EPA) y la European Food Safety Authority (EFSA) han establecido estándares los cuales se deben acatar para que se pueda comercializar productos alimenticios dentro de los territorios de los Estados Unidos y de la Unión Europea. Estos estándares se basan en los Maximum Residue Levels (MRL) los cuales indican los niveles máximos de pesticidas que pueden contener los alimentos de consumo humano. Estos se obtienen a través de un análisis de las propiedades de la sustancia activa y de los usos del pesticida (EFSA, 2020).

Desafortunadamente, México es uno de los países con mayor índice de consumo de pesticidas a nivel mundial (Banco Mundial, 2018). En consecuencia, los productos que se cultivan en México contienen remanentes de pesticidas que rebasan las normas internacionales y obligan a SESAJAL a buscar alternativas para reducir la presencia de estos en los productos que elaboran. Por esta razón, se debe buscar un método para reducir el contenido de pesticidas en las semillas.

1.2 Caracterización de la organización

La elaboración de este proyecto se está llevando a cabo en el departamento de Investigación y Desarrollo de la división de PROVAL de la empresa SESAJAL. En este departamento se encargan de experimentar y desarrollar nuevos productos para después escalarlos a procesos industriales. Todo producto que se elabora en la empresa pasa por este sector previo a producirse en grandes cantidades. Este proyecto se está desarrollando en colaboración con la ingeniera en alimentos Mariana Paulina Vázquez Toral, quien es la responsable de este departamento.

Al corresponder este proyecto únicamente al área investigación, no fue necesario que se asistiera frecuentemente a las instalaciones de la empresa para cumplir con los objetivos

planteados. Sin embargo, se realizaron reuniones en línea con la ingeniera Vázquez para presentarle avances y recibir retroalimentación constantemente. Además, se contó con el apoyo de profesores del ITESO para la aclaración de dudas e implementación de mejoras a la propuesta realizada.

1.3 Identificación de la(s) problemática(s)

SESAJAL, a pesar de contar con una línea de productos que distribuye en el mercado nacional, se encarga de maquilar productos para empresas extranjeras que son comercializados en otras regiones del mundo. Por tanto, estos productos deben acatar las normas y regulaciones del país al que se exportan. Esta situación representa una problemática para la empresa porque la materia prima que ellos emplean en sus procesos proviene del campo nacional mexicano en donde se permite utilizar mayores cantidades de pesticidas para una mayor protección de los cultivos. Sin embargo, un mayor uso de pesticidas en los cultivos se traduce en mayores cantidades de remanentes de estos en los alimentos, lo que hace que los alimentos del campo nacional no se ajusten a las regulaciones internacionales.

Con base en lo anterior, en este proyecto es tema de investigación los métodos a través de los cuales se logran remover los pesticidas contenidos en la variedad de semillas que utiliza la empresa SESAJAL para la elaboración de sus productos y así cumplir con las normas internacionales. Además, se llevó a cabo un análisis financiero para conocer el posible costo que conllevaría la implementación de los métodos seleccionados, ya que SESAJAL debe evaluar cuál será el aumento de los costos de producción para determinar si proceder con la investigación de la propuesta realizada.

1.4. Planeación de alternativa(s)

En este proyecto el objetivo planteado fue realizar una propuesta para determinar el procedimiento óptimo que reduzca la cantidad de pesticidas en semillas. Para cumplir con dicho objetivo se realizó una investigación para determinar cuáles son los métodos que se utilizan actualmente para la remoción de pesticidas. Debido a que no existe un gran campo de investigación sobre la remoción de pesticidas en oleaginosas, se partió de experimentaciones realizadas en frutas y verduras los cuales son los alimentos que más exploración tienen en este tema. La búsqueda de información se realizó en artículos publicados en revistas de investigación de alimentos, en páginas web y en datos reportados por empresas que se encargan de implementar métodos similares.

Posteriormente, se analizaron las ventajas y desventajas de cada alternativa para determinar cuál se ajustaba más a las necesidades de la empresa, es decir, que el proceso no dañe a las semillas y que se pueda implementar para la mayoría de estas. Además, la viabilidad económica fue un factor que se mantuvo presente para realizar una propuesta que no eleve considerablemente los costos de producción y también se consideraron qué residuos se pueden producir si se quiere implementar el proceso. Para esto, se investigaron los posibles costos de los equipos que se necesitan para la efectuar la propuesta para así determinar cuánto se elevarían los costos de producción y que SESAJAL pueda tomar la decisión de continuar o de continuar buscando alternativas. Los datos de precios de equipos se obtuvieron mediante la indagación en internet de diferentes fabricantes y para el análisis económico se tomaron promedios de los costos encontrados. Es importante destacar que el análisis económico es únicamente una aproximación, ya que se deberán realizar pruebas experimentales que corroboren las capacidades de los equipos y que se ajusten a las condiciones de operación que requiera la empresa.

En el **Anexo 1** se muestra el cronograma de actividades que se elaboró para el desarrollo del proyecto durante las 8 semanas del verano.

1.5. Desarrollo de la propuesta de mejora

Inicialmente se realizó una investigación para identificar cuáles son los procesos más comunes que se emplean para retirar remanentes de pesticidas en los alimentos. Debido a que no existe una gran variedad de investigaciones que abarquen el sector de las semillas, se partió del análisis de investigaciones en donde se analizó la remoción de pesticidas en frutas y verduras. Como no existe un gran campo de investigación de este tema en México, se procedió a buscar investigaciones en otras partes del mundo. En el **Anexo 2** se muestran las investigaciones recopiladas y a partir de las cuales se procedió a realizar comparaciones de las ventajas y desventajas de la aplicación de cada una de ellas.

Uno de los procesos que más ventajas presentó, fue el uso de ozono para la degradación de pesticidas. Algunas de estas ventajas fueron que es eficiente para tratar grandes cantidades de pesticidas en poco tiempo, no requiere condiciones ambientales específicas ya que se puede operar con ozono a temperatura ambiente y a presión atmosférica. Además, el ozono tiene un rol para inactivar microorganismos e insectos, razón por la que es usado como medio para almacenar alimentos. En términos de seguridad, el ozono es un

compuesto químico altamente reactivo por lo que si este no reacciona por completo se transforma en oxígeno evitando que se tenga que buscar una alternativa para eliminarlo. En el **Anexo 3** se muestran algunas investigaciones que se han realizado en torno al uso del ozono como agente para eliminar pesticidas.

1.6. Valoración de productos, resultados e impactos

Es posible concluir que el procedimiento que se implementó para cumplir el objetivo establecido, el cual fue elaborar una propuesta de un método para reducir los pesticidas en las semillas que utiliza la empresa SESAJAL como materia prima en sus procesos, fue el adecuado. Mediante dicha investigación se pudo determinar que en el tratamiento de los alimentos no únicamente se deben considerar técnicas que logren descomponer a los alimentos, sino que también es importante que el agente químico que se utiliza para remoción sea sencillo de retirar porque de lo contrario los costos de separación aumenta más. Además, se determinó que en el tratamiento de los alimentos es esencial implementar técnicas que dañen lo menos posible a estos ya que se puede ocasionar que estos pierdan propiedades como texturas, olores, sabores o incluso nutrientes.

Además, esta investigación sirvió para conocer qué técnicas ya son empleadas en áreas industriales y cuáles continúan en el proceso de desarrollo. En cuanto a los entregables, se presentó un reporte con una propuesta en donde se expuso la investigación realizada, la justificación de la elección de la mejor técnica identificada y la viabilidad económica de implementar este proceso.

1.7. Bibliografía y otros recursos

- Abou-Arab, A. A. K. (1999). Behavior of pesticides in tomatoes during commercial and home preparation. *Food Chemistry*, 65, 509–514. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(98\)00231-3](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(98)00231-3)
- Athanasopoulos, P. E., & Pappas, C. (2000). Effects of fruit acidity and storage conditions on the rate of degradation of azinphos-methyl on apples and lemons. *Food Chemistry*, 69, 69–72. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(99\)00241-1](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(99)00241-1)
- Bajwa, U., & Sandhu, K. S. (2014). *Effect of handling and processing on pesticide residues in food- a review*. *Journal of food science and technology*, 51(2), 201–220. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0499-5>

- CEDRSSA. (2018). *Impacto del uso de plaguicidas en el uso de plaguicidas en el sector agropecuario*. Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria. <http://www.cedrssa.gob.mx/files/b/13/54IMPACTO%20DE%20LOS%20PLAGUICIDAS.pdf>
- Cengiz, M. F., Certel, M., Karakas, B., & Gocmen, H. (2006). Residue contents of DDVP (Dichlorvos) and diazinon applied on cucumbers grown in greenhouses and their reduction by duration of a pre-harvest interval and post-harvest culinary applications. *Food Chemistry*, 98, 127–135. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.05.064>
- de Freitas, R.S., Faroni, L.R.D.A., de Queiroz, M.E.L.R., Heleno, F.F. & Prates, L.H.F. (2017). Degradation kinetics of pirimiphosmethyl residues in maize grains exposed to ozone gas. *Journal of Stored Products Research*, 74, 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2017.08.008>
- Chen, J., Lin, Y. & Kuo, W. (2013). Pesticide residue removal from vegetables by ozonation. *Journal of Food Engineering*, 114, 404–411. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.08.033>
- Elkins, E. R. (1989). Effect of commercial processing on pesticide residues in selected fruits and vegetables. *Journal of the Association of Official Agricultural Chemists*, 72(3), 533–535.
- Gao, Y., Fan, Z., Lu, Y., Wu, W. & Sun, Y. (2011). Removal of pesticide residue in fresh-cut lettuces using different cleaning method and its effect on quality. *Food & Machinery*, 27, 159–162. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105891>
- Grupo Banco Mundial. (2018). *Consumo de fertilizantes*. https://datos.bancomundial.org/indicador/AG.CON.FERT.PT.ZS?end=2018&name_desc=false&start=2018&type=shaded&view=map
- Guo, J., Jiang, G., Chu, X., Tian, J., Zhang, W. & Wu, N. (2009). Immobilization of organophosphorus hydrolase and pilot study of its industrialisation application. *Chinese Journal of Environmental Engineering*, 3, 39–42. <https://doi.org/10.1016/j.mcat.2019.110607>
- Hwang, E.S., Cash, J.N. & Zabik, M.J. (2002). Degradation of mancozeb and ethylenethiourea in apples due to postharvest treatments and processing. *Journal of Food Science*, 67, 3295–3300. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb09581.x>

- Ikeura, H., Kobayashi, F. & Tamaki, M. (2011). Removal of residual pesticide, fenitrothion, in vegetables by using ozone microbubbles generated by different methods. *Journal of Food Engineering*, 103, 345–349. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.11.002>
- Jaggi, S., Sood, C., Kumar, V., Ravindranath, S. D., & Shanker, A. (2000). Loss of quinalphos during tea processing. *Pestology*, 24(12), 42–46. <https://link.springer.com/article/10.1007/s13197-011-0499-5>
- Kim, K.H., Kabir, E. & Jahan, S.A. (2017). Exposure to pesticides and the associated human health effects. *Science of the Total Environment*, 575, 525–535. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.009>
- Krishnamurthy, V. V., & Sreeramulu, U. S. (1982). Studies on rice bran and rice bran oil. VI. *Pesticides accumulation in the rice bran. Madras Agricultural Journal*, 69(12), 820–821. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201302552751>
- Lozowicka, B., Kaczynski, P., Paritova, A. et al. (2014). Pesticide residues in grain from Kazakhstan and potential health risks associated with exposure to detected pesticides. *Food and Chemical Toxicology*, 64, 238–248. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2013.11.038>
- Navarro, S., Perez, G., Navarro, G., & Vela, N. (2007). Decline of pesticide residues from barley to malt. *Food Additives and Contaminants*, 24(8), 851–859. <https://doi.org/10.1080/02652030701245189>
- OECD/FAO. (2021). *Oilseeds and oilseed products*. OECD. <https://www.agri-outlook.org/commodities/oecd-fao-agricultural-outlook-oilseeds.pdf>
- Oliviera, J. J. V., Loredó, I. S. D., Rodrigues, J., & De Castro, M. F. P. M. (2002). Evaluation of residue levels of chlorpyrifos, dichlorvos and methyl parathion in coffee dregs and coffee beverage. *Revista Brasileira de Toxicologia*, 15(2), 75–78. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2008.09.009>
- Ruediger, G. A., Pardon, K. H., Sas, A. N., Godden, P. W., & Pollnitz, A. P. (2005). Fate of pesticides during the winemaking process in relation to malolactic fermentation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 3023–3026. <https://doi.org/10.1021/jf048388v>
- Savi, G.D., Piacentini, K.C., Bortolotto, T. & Scussel, V.M. (2016). Degradation of bifenthrin and pirimiphos-methyl residues in stored wheat grains (*Triticum aestivum*

- L.) by ozonation. *Food Chemistry*, 203, 246–251. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.02.069>
- SESAJAL S.A. de C.V. (2020). *La apuesta por las semillas oleaginosas*. SESAJAL. <https://www.sesajal.com/es/articulo/22-la-apuesta-por-las-semillas-oleaginosas>
- SESAJAL S.A de C.V. (2022). *SESAJAL ¿Quiénes somos?* SESAJAL. <https://www.sesajal.com/es/nosotros>
- Uygun, U., Koksel, H., & Atli, A. (2005). Residue levels of malathion and its metabolites and fenitrothion in post-harvest treated wheat during storage, milling and baking. *Food Chemistry*, 92, 643–647. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.08.045>
- Zhang, Y., Luo, J., Wang, L., Ding, X. & Deng, X. (2013). Research of washing effect of five pesticide residues in vegetables by different detergents. *Science & Technology of Food Industry*, 34, 110–114. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0499-5>
- Zhang, Z., Liu, X. & Hong, X. (2007). Effects of home preparation on pesticide residues in cabbage. *Food Control*, 18, 1484–1487. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2006.11.002>
- Zohair, A. (2001). Behavior of some organophosphorous and organochlorine pesticides in potatoes during soaking in different solutions. *Food and Chemical Toxicology*, 39, 751–755. [https://doi.org/10.1016/S0278-6915\(01\)00016-3](https://doi.org/10.1016/S0278-6915(01)00016-3)
- Wu, J.G., Luan, T.G., Lan, C.Y., Lo, W.H. & Chan, G.Y.S. (2007). Efficacy evaluation of low-concentration of ozonated water in removal of residual diazinon, parathion, methyl-parathion and cypermethrin on vegetable. *Journal of Food Engineering*, 79, 803–809. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.02.044>

1.8. Anexos generales

Anexo 1. Cronograma de actividades

Actividad	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8
Inicio del proyecto	■							
Investigación de alternativas para remover pesticidas		■						
Retroalimentación de avances por parte de la empresa			■					
Selección de alternativas			■	■				
Anteproyecto				■				
Planeación				■				
Matriz de Riesgos				■				
Investigación de subproductos de la reacción				■	■			
Evaluación 360					■			
Entrega I del RPAP					■			
Investigación de viabilidad económica					■	■		
Cierre con empresa							■	
Entrega II del RPAP							■	
Entrega III del RPAP								■
Presentación de cierre ante ITESO								■

Anexo 2. Compendio de métodos para remover pesticidas.

Método	Alimento	Pesticida	Remoción (%)	Referencia
Molienda	Trigo	Malatión	95	Uygun et al. (2005)
Lavado con agua	Lechuga	Tricolfón	9.21	Zhang et al. (2013)
	Jitomate	Procimidina	68	Cengiz et al. (2006)
		Captan	83	
	Col	Clorotalonil	15.2	Zhang et al. (2007)
Clorpirifós		17.2		
Cipermetrina		19.1		
Enzimático	–	Metil Paratión	90	Guo et al. (2009)
Peróxido de hidrógeno	Papas	Pirimifos-metil	100	Zohair (2001)
		Malatión	93	
		Profenofos	100	
Dióxido de cloro	Manzanas	Mancozeb	87–100	Hwang et al. (2002)
Elevar a altas temperaturas	Col	Clorpirifós	86.6	Zhang et al., 2007
Hipoclorito de sodio	Lechuga	–	88	Gao et al. (2011)

Secado	Uvas	Metamidofos	64	Athanasopoulos et al. (2000)
Fermentación	Uvas	Clorpirifos	73	Ruediger et al. 2005
Congelamiento	Jitomates	Dimetoato	28.5	Abou-Arab (1999)
		Profenofos	26.2	
		Pirimifos-metil	26.2	
Infusión	Té	Quinalphos	16	Jaggi et al. (2000)
	Café	Diclorvos Metil Paratión	26 12	Olivera et al. (2002)
Malteado	–	Fenitrión	13	Navarro et al. (2007)
		Naurimol	51	
Cocción parcial	Arroz	Fentiión	51	Krishnamurthy & Sreeramulu (1982)
		Clorpirifos	49	
Cocción	Espinaca	Diazinón	58	Elkins et al. (1980)
		Azinfos metil	100	

Anexo 3. Investigaciones sobre uso de ozono para remoción de pesticidas.

Método	Alimento	Pesticida	Remoción (%)	Referencia
Ozono gas	Granos de maíz	Pirimifos-metil	91	<i>de Freitas et al. (2017)</i>
Ozono gas	Granos de trigo	Pirimifos-metil	71	<i>Savi et al. (2016)</i>
Ozono en agua	Fresas	Clorpirifos	75.1	<i>Lozowicka et al. (2016)</i>
Ozono en gas	Granos de trigo	Deltametrina	89.8	<i>Savi et al. (2015)</i>
Ozono en agua	Vegetales	Cipermetrina	61.1	<i>Wu et al. (2007)</i>
		Diazinón	53.4	
		Paratión	55.3	
		Metil Paratión	47.9	
Ozono en agua	Lechuga	Fenitrotión	67	<i>Ikeura et al. (2011)</i>
Ozono gas	Col	Clorotalonil	77	<i>Chen et al. (2013)</i>

2. Productos

A continuación, se muestra el reporte de investigación que se le entregó a SESAJAL el cual contienen los apartados de resumen, introducción, métodos para eliminar pesticidas, el fundamento del uso del ozono como agente químico, un análisis económico para la viabilidad económica y la conclusión del reporte.

Resumen

El presente reporte tuvo por objetivo plantear una propuesta de un método para remover los pesticidas de las semillas que utiliza la empresa SESAJAL como materia prima en sus procesos. A partir de la investigación de los métodos más utilizados en la eliminación de pesticidas en alimentos, se analizaron las ventajas y desventajas de su implementación en el sector de las oleaginosas. Se presentaron dos propuestas viables: el uso de ozono gas y el uso de ozono en agua. El primer método posee la ventaja de que se puede aplicar a cualquier tipo de semillas y que tiene un menor costo por kilogramo de semillas procesadas (\$0.23), sin embargo, requiere de una mayor inversión inicial en equipos. Por otro lado, el uso de ozono en solución garantiza una mejor remoción de pesticidas debido a la formación de iones hidroxilo en el agua, pero restringe el tipo de semillas al cuál se pueden aplicar y una menor inversión inicial, pero su aplicación a largo plazo es mayor (\$0.53).

Introducción

El alimento es la necesidad humana más importante. Provee los nutrientes adecuados para el buen crecimiento, desarrollo, mantenimiento y salud del cuerpo (Bajwa & Sandhu, 2014). Sin embargo, el aumento de la demanda de alimentos en las últimas décadas ha generado la necesidad de optimizar la forma en la que estos se elaboran, lo cual significó que para incrementar su volumen de obtención se tendrían que mejorar los rendimientos de producción de los cultivos. Una forma de optimizar la producción de cultivos es utilizando pesticidas.

De acuerdo con NIOSH (2019), los pesticidas son compuestos químicos que se usan para destruir o controlar las malezas (herbicidas), plagas de insectos (insecticidas), plagas de roedores (rodenticidas), u hongos (fungicidas).

Estas sustancias son utilizadas globalmente para la protección de alimentos y salud de las personas. Además, los pesticidas ayudan a optimizar la producción de cultivos ya que en países desarrollados la pérdida de cultivos por plagas llega a ser del 30% mientras que en países en vías de desarrollo alcanza hasta el 75% (Roy, 2002). Sin embargo, su uso excesivo

en países en vías de desarrollo ha resultado en la propagación de un problema para la salud de los seres humanos (Winteringham, 1971). Residuos de pesticidas en los alimentos pueden ocasionar enfermedades crónicas en las personas. El consumo prolongado de alimentos que contienen remanentes de pesticidas puede resultar en el desarrollo de enfermedades como asma, diabetes, leucemia y otras formas de cáncer (Kim et al., 2017).

La principal forma en la que los seres humanos se exponen a los pesticidas es a través de los alimentos, aún por encima del aire y del agua potable (Claeys, 2011). Las autoridades de alimentos y salud regulan constantemente los residuos de pesticidas en los productos alimenticios que se ofertan a las personas. La cantidad permitida de pesticida que pueden contener los alimentos está dada en términos de los límites máximos de residuos (MRL, por sus siglas en inglés).

Los MRL son los niveles máximos de pesticidas que pueden contener los alimentos de consumo humano y es el criterio que utiliza la Unión Europea y Estados Unidos para autorizar la comercialización de productos dentro de su territorio. Estos se obtienen a través de un análisis de las propiedades de la sustancia activa y de los usos del pesticida (EFSA, 2020).

En el portal de la European Food Safety Authority (EFSA) se encuentran los valores MRL para una gran variedad de alimentos. En la **Tabla 1** se muestran los valores reportados por EFSA (2017) de MRL para la cipermetrina, un insecticida, en distintas semillas.

Tabla 1. MRL para semillas (EFSA, 2017).

Alimento	MRL de cipermetrina (mg/kg)
Semilla de cacahuete	0.1
Semilla de ajonjolí	0.2
Semilla de girasol	0.2
Semilla de calabaza	0.05
Semilla de mostaza	0.1

Métodos para eliminar pesticidas

Existen diversas técnicas para procesar la comida y así asegurar una reducción en la exposición que tienen las personas con remanentes de pesticidas en los alimentos. Sin embargo, al aplicar alguna operación para eliminar o reducir los pesticidas de un alimento es muy importante considerar que no se generen subproductos que sean más dañinos que el que

se trata de remover o que contaminen aún más a los alimentos. También es importante considerar las implicaciones ambientales que puede haber al utilizar algún método ya que no se quiere solucionar un problema y generar otro. Finalmente, se debe considerar que la técnica utilizada no afecte de forma representativa a los alimentos. En la **Tabla 2** se muestra el efecto de diferentes técnicas para la remoción de pesticidas.

Tabla 2. Métodos para remover pesticidas.

Método	Alimento	Pesticida	Remoción (%)	Referencia
Molienda	Trigo	Malatión	95	Uygun et al. (2005)
Lavado con agua	Lechuga	Tricolfón	9.21	Zhang et al. (2013)
	Jitomate	Procimidina	68	Cengiz et al. (2006)
		Captan	83	
	Col	Clorotalonil	15.2	Zhang et al. (2007)
		Clorpirifós	17.2	
		Cipermetrina	19.1	
Enzimático	–	Metil Paratión	90	Guo et al. (2009)
Peróxido de hidrógeno	Papas	Pirimifos-metil	100	Zohair (2001)
		Malatión	93	
		Profenofos	100	
Dióxido de cloro	Manzanas	Mancozeb	87–100	Hwang et al. (2002)
Elevar a altas temperaturas	Col	Clorpirifós	86.6	Zhang et al., 2007
Hipoclorito de sodio	Lechuga	–	88	Gao et al. (2011)
Secado	Uvas	Metamidofos	64	Athanasopoulos et al. (2000)
Fermentación	Uvas	Clorpirifos	73	Ruediger et al. 2005
Congelamiento	Jitomates	Dimetoato	28.5	Abou-Arab (1999)
		Profenofos	26.2	
		Pirimifos-metil	26.2	
Infusión	Té	Quinalphos	16	Jaggi et al. (2000)
	Café	Di-clorvos	26	Olivera et al. (2002)
Metil Paratión		12		
Malteado	–	Fenitrión	13	Navarro et al. (2007)
		Naurimol	51	
Cocción parcial	Arroz	Fentiión	51	Krishnamurthy & Sreeramulu (1982)
		Clorpirifos	49	
Cocción	Espinaca	Diazinón	58	Elkins et al. (1980)
		Azinfos metil	100	

A pesar de la diversidad de opciones, los métodos anteriores no siempre garantizan una buena relación entre eficiencia y viabilidad económica. Por ejemplo, los métodos físicos son los más económicos de emplear, pero no son aptos para todos los tipos de pesticidas. El lavado con agua no es eficiente para remover compuestos orgánicos que no son solubles en agua y se debe utilizar una gran cantidad de agua o dejar los alimentos mucho tiempo en remojo para obtener una remoción efectiva (Zhang et al., 2007).

Los métodos que involucran enzimas o microbios requieren ambientes de trabajo muy controlados para poder tener un desempeño óptimo por lo que los costos de operación aumentan considerablemente (Wang et al., 2018). Además, los métodos enzimáticos son efectivos para remover pesticidas específicos, por lo que se deben usar diversas enzimas en un solo proceso para reducir una mayor variedad de pesticidas. El método ideal deber ser aquel que sea capaz de remover un gran espectro de pesticidas.

Finalmente, los métodos químicos son los más comunes y sencillos de usar para poder lograr la remoción deseada, sin embargo, se debe escoger cuidadosamente cuál es el más conveniente. El uso de peróxido de hidrógeno, a pesar de ser efectivo, requiere herramientas y ambientes controlados para su transporte y almacenamiento, por lo que su costo de implementación es alto. Por otro lado, el uso de dióxido de cloro logra remover casi por completo a los pesticidas, pero los subproductos que se generan en el proceso pueden llegar a contaminar a los alimentos y su implementación requiere un tratamiento de las soluciones previo a que sean desechadas.

Un método químico que ayuda a eliminar eficientemente los pesticidas, cuya implementación es sencilla, con costos de operación no altos y que no ocasiona un problema de residuos es el uso de ozono.

Ozono

El ozono (O_3) es una molécula inorgánica que en condiciones ambientales se encuentra como un gas incoloro o de color azul pálido cuando se encuentra en grandes concentraciones (Cengiz & Certel, 2012). Comparado con el oxígeno (O_2), el ozono tiene un mayor potencial reductor lo que le permite descomponer cloruros orgánicos, dioxinas, fenoles, cianuros y otras sustancias inocuas, en sustancias inofensivas (Shang et al., 2018). De acuerdo con Qiao et al. (2012) el O_3 es capaz de oxidar compuestos orgánicos con un gran peso molecular

y que en raras ocasiones son biodegradables, en compuestos con un menor peso molecular y que se pueden descomponer más fácilmente.

El ozono es comúnmente usado en Europa en métodos de tratamiento de agua y el procesamiento de comida, mientras que en Estados Unidos es usado para la potabilización del agua. En el 2001, la U.S. Food and Drugs Administration (FDA) aprobó formalmente el uso de ozono como agente antimicrobiano y para el procesamiento y procesamiento de alimentos en fase líquida y gaseosa (Food Safety Magazine, 2016). Por tanto, este compuesto es efectivo para eliminar cualquier microorganismo que contengan los alimentos.

Como gas oxidante, el ozono puede ser potencialmente peligroso para la salud de las personas si se mantiene una exposición prolongada a concentraciones altas. De acuerdo con la Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales (ACGIH, por sus siglas en inglés), el límite de exposición máximo para el ozono es de 0.1 ppm para una jornada laboral de 8 h/día o 40 h/semana. Afortunadamente, este compuesto tiene un fuerte olor irritante y puede ser detectado hasta en bajas concentraciones de 0.02 ppm (Wang et al., 2018). Además, se pueden diseñar esquemas de trabajo para que los trabajadores no deban estar en contacto con el ozono mientras este se aplique. El implementar buenos sistemas de ventilación elimina el riesgo de intoxicación por ozono. Por otro lado, si la implementación del ozono se lleva a cabo mediante la dilución de este en agua, el riesgo de intoxicación se reduce casi por completo. Desde 1995 la FDA reconoció a este agente como seguro en relación con el tratamiento de agua y para el contacto con alimentos (Sarron et al., 2021)

El ozono gas o en solución no es un compuesto que se pueda adquirir fácilmente debido a su naturaleza inestable, sino que se debe producir en el lugar en donde se desea implementar. Sin embargo, desde hace más de 100 años existen equipos para generarlo, transportarlo, monitorearlo y controlarlo. Existen dos formas de producirlo (The International Ozone Association, 2007):

- Efecto corona: proceso en el que energía eléctrica pasa a través de dos electrodos creando una carga eléctrica constante, lo cual hace que se genere ozono en fase gas. Este es el proceso más económico, eficiente y el cual utilizan las máquinas comerciales generadoras de ozono.

- Radiación UV: rayos UV de alta energía pasan a través del aire de los alrededores produciendo ozono. Este método forma ozono en menores cantidades que el efecto corona.

Fundamento de la degradación de pesticidas usando ozono

El ozono tiene la tendencia natural de descomponerse en oxígeno (O₂) y oxígeno atómico (O) o de reaccionar con otros compuestos. Esta habilidad de ceder fácilmente un átomo de oxígeno le proporciona un fuerte poder oxidativo (E⁰=2.07V) por encima del cloro (E⁰=1.36 V) y del oxígeno (E⁰=1.23 V) (Sarron et al., 2021). Esta propiedad permite que sea un buen agente para eliminar microorganismos y reducir la presencia de pesticidas en los alimentos. En la **Tabla 3** se muestran algunas propiedades del ozono.

Tabla 3. Propiedades fisicoquímicas del ozono (Sarron et al., 2021).

Propiedad	Valor
Fórmula molecular	O ₃
Número CAS	10028-15-6
Masa molecular	47.998 g/mol
Temperatura de fusión	-192.5±0.4°C
Temperatura de ebullición	-111.9±0.3°C
Temperatura Crítica	-12.1°C
Presión Crítica	64.6 atm
Densidad (0°C, 1 atm)	2.14 g/L
Potencial de oxidación	2.07 V

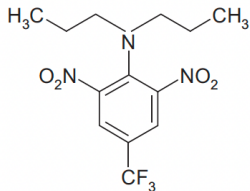
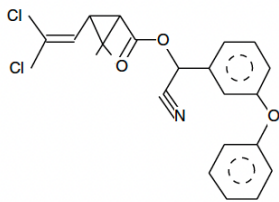
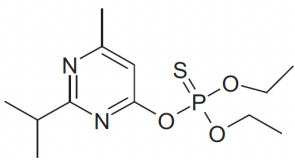
La descomposición de pesticidas con ozono gas se basa en su poder oxidativo ya que cuando este reacciona con pesticidas orgánicos altera los compuestos alifáticos, como por ejemplo alcanos, alquenos y alquinos, en la estructura de los pesticidas rompiendo las cadenas de carbono y abriendo los anillos de benceno, y también es capaz de oxidar diclorovinilo, nitro, metoxi, amino y otros grupos funcionales (Wang et al. 2018). De acuerdo con Balawejder et al. (2012), en el proceso de ozonización, la reacción principal, la cual es responsable de la descomposición de los contaminantes, es la ozonólisis de los dobles enlaces de los compuestos insaturados.

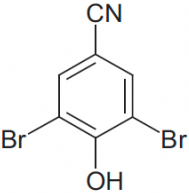
Cuando el ozono es aplicado en un medio acuoso, la oxidación de los contaminantes se basa en la oxidación directa con el ozono y en la oxidación indirecta con los radicales que

se generan en el agua. El radical hidroxilo (OH^\cdot) es capaz de mejorar la remoción de los pesticidas orgánicos porque la reacción se basa en la remoción de hidrógeno o en la adición electrofílica a los dobles enlaces (Chiron et al, 2000). Reacciones entre estos radicales y contaminantes orgánicos tienen en general velocidades de reacción más rápidas entre las moléculas de los contaminantes orgánicos. Por otro lado, estos radicales son menos selectivos, por lo que brindan un apoyo óptimo para los procesos de tratamiento de pesticidas (Balawejder et al., 2012). Además, las pequeñas moléculas formadas después de la reacción del ozono con las cadenas insaturadas de carbono en los pesticidas, como ácidos, alcoholes, aminas, carbonilos, y carboxilatos, son principalmente solubles en agua. Por tanto, pueden ser removidos sencillamente con agua (Wang et al., 2018).

En los estudios que se han realizado en donde se compara ambos métodos (ozono gas y ozono disuelto en agua), la efectividad de remoción siempre es mayor cuando el proceso se lleva a cabo en medio acuoso. En la **Tabla 4** se describen algunos de los mecanismos de reacción que se llevan a cabo en este proceso.

Tabla 4. Mecanismos de ozonización de diversas clases de pesticidas.

Pesticida	Fórmula Química	Mecanismo de ozonización
Trifluralina		La oxidación de la trifluralina se genera por dos mecanismos principales: hidroxilación y alquilación. Los posibles subproductos son α -trifluoro-2,6-dinitro-N-dipropil-p-toluidina, 2,6-dinitro-4-(trifluorometil)anilina y 4-(trifluorometil)anilina (Chelme-Alaya et al.,2010).
Cipermetrina		Los subproductos formados por la oxidación con ozono son 3-fenoxibenzaldehído y ácido bifenil-2-carboxílico (Segal-Rosenheimer, 2011).
Diazinón		Para este compuesto, el ozono oxidó P=S a P=O. Entre los 6 subproductos generados, el más relevante es el diazoxón (Wu et al., 2007).

Bromoxynil		<p>La oxidación del bromoxil puede ocurrir mediante la adición electrofílica y el ataque indirecto de radicales libres. Los subproductos formados son 3-bromo-4,5-hidroxibenzonitrilo, 3-bromo-4-hidroxibenzonitrilo y 4-hidroxibenzonitrilo (Chelme-Alaya et al.,2010).</p>
------------	---	--

Ozono gas para remover pesticidas

Entre las ventajas del uso de ozono sobre otros métodos para remover pesticidas se encuentran (Food Safety Magazine, 2016; Wang et al., 2018):

- Puede ser empleado para degradar una gran variedad de pesticidas como organofosfatos, organoclorados, piretroides, carbamatos, etc.
- Tiene un rol para inactivación de microorganismos como bacterias, hongos, protistas y virus. Además, se puede utilizar para el control de insectos.
- A diferencia de los métodos que utilizan enzimas o microbios, el ozono no requiere condiciones especiales para su operación. Se puede implementar a temperatura ambiente y a presión atmosférica.
- No es costoso de producir.
- Su cinética de reacción es rápida debido a su alto potencial oxidativo.
- Si se aplica en las concentraciones adecuadas, no daña a los alimentos que se están tratando.
- En términos de seguridad, el ozono posee un tiempo de vida de entre 20-50 min, posteriormente se transforma en oxígeno. Por tanto, este compuesto no genera una contaminación secundaria y no es necesario que se remueva de los alimentos después de su uso.
- Posee un olor fuertemente distintivo por lo que puede ser percibido en concentración tan bajas como de 0.02 ppm.

Una consideración que se debe tener en el uso de ozono en gas es que se tienen que seleccionar los materiales con los que tendrá contacto este.

En la **Tabla 5** se muestran algunas investigaciones realizadas para remover pesticidas en alimentos usando ozono gas.

Tabla 5. Ejemplos de uso de ozono gas en alimentos.

Método	Alimento	Pesticida	Remoción (%)	Referencia
Ozono gas	Granos de maíz	Pirimifos-metil	91	<i>de Freitas et al. (2017)</i>
Ozono gas	Granos de trigo	Pirimifos-metil	71	<i>Savi et al. (2016)</i>
Ozono gas	Granos de trigo	Deltametrina	89.8	<i>Savi et al. (2015)</i>
Ozono gas	Zanahoria	Difenoconazol	94.9	<i>Souza et al. (2018)</i>

Ozono en solución para remover pesticidas

De acuerdo con Wang et al. (2018), una de las ventajas de utilizar la técnica en donde se trabaja con una solución de agua es que se pueden conseguir mejores efectos de degradación de pesticidas debido a que el ozono también reacciona con el agua formando OH^- el cual contribuye a la remoción.

El motivo por el que es necesario adicionar un agente químico al agua para remover los pesticidas es porque usar únicamente agua es muy poco efectivo. Factores como la ubicación del residuo, su polaridad, temperatura y método de lavado afectan al rendimiento del proceso (Lozowicka et al., 2016). Además, es importante destacar que la mayoría de los pesticidas son hidrofóbicos (Pandiselvam et al., 2020).

Adicional a las ventajas mencionadas del uso de ozono en gas, el ozono diluido en agua posee las siguientes:

- Es capaz de degradar pesticidas que no son solubles en agua (Wang et al., 2018).
- Al agua en donde se llevará a cabo el proceso de remoción de pesticidas no es necesario someterla a algún método de tratamiento debido a que los contaminantes orgánicos que pueda haber en esta son destruidos por el ozono lo cual también permite reutilizar el agua de proceso varias veces (The International Ozone Association, 2007).
- Es altamente inestable en agua por lo que también se transforma en agua (Souza, et al., 2018).
- Se requiere emplear menos energía que en el método de ozono gas (Botondi et al., 2021).

Las desventajas de este proceso radican en el uso del agua. El humedecer las semillas restringe los usos que se le pueden dar a este método. Un ejemplo de lo anterior es que las semillas de chia no se pueden mojar porque desarrollan una capa gelatina que impide su procesamiento (Guevara, 2015). Por otro lado, el mojar las semillas implica la incorporación de un método de secado el cual además de elevar los costos, puede afectar a algunas semillas como el cacahuete generando un tostado no deseable.

En la **Tabla 6** se muestran investigaciones que se han realizado del uso de ozono en agua para remover pesticidas de alimentos.

Tabla 6. Ejemplos de uso de ozono en agua en alimentos.

Método	Alimento	Pesticida	Remoción (%)	Referencia
Ozono en agua	Fresas	Clorpirifos	75.1	<i>Lozowicka et al. (2016)</i>
Ozono en agua	Vegetales	Cipermetrina	61.1	<i>Wu et al. (2007)</i>
		Diazinón	53.4	
		Paratión	55.3	
		Metil Paratión	47.9	
Ozono en agua	Lechuga	Fenitrotión	67	<i>Ikeura et al. (2011)</i>
Ozono en agua	Zanahoria	Difenoconazol	70.3	<i>Souza et al. (2018)</i>
		Linuron	50.9	

Comparación económica y análisis de viabilidad

Con el propósito de tener una referencia de los posibles costos económicos de la implementación tanto de la técnica del uso de ozono gas como la de ozono en solución para reducir la cantidad de pesticidas en semillas, se realizó un análisis en donde se identificaron los principales costos en términos de maquinaria requerida y sus respectivos costos de operación.

El escenario que se planteó fue el de conocer el incremento económico por kilogramo de material procesado que tendrán ambos procesos. Para ello, se consideró un periodo de análisis de 3 años y se establecieron las mismas condiciones de operación para los dos métodos analizados (**Tabla 7**).

Tabla 7. Condiciones laborales para ambos métodos.

Condiciones laborales	
Horas al día	9
Horas muertas	3
Días laborales al año	255
Años de operación	3
Semilla procesada por hora (kg):	500
Semilla procesada al día (kg):	3,000
Semilla procesada por 3 años (kg):	2,295,000

En la **Tabla 8** se muestran los principales gastos involucrados en la implementación de la técnica de remoción con ozono gas y en la **Tabla 9** se muestran los de ozono diluido en agua. Es importante destacar que el costo de la maquinaria reportada es un estándar de la gran variedad de equipos que existen en el mercado; si se continua el desarrollo de este proyecto, los valores mostrados en las siguientes tablas se deben ajustar a las condiciones de operación obtenidas experimentalmente y a las necesidades de producción de la empresa.

Tabla 8. Costo de equipos y operación del método de ozono gas

Equipo	Precio (M.X.N.)	Costo durante 3 años (M.X.N.)
Generador de ozono	\$342,118.89	\$342,118.89
Costo de operación del generador de ozono (\$*kWh)	\$12.60	\$57,834.00
Manguera de Silicona	\$800.00	\$4,000.00
Monitor de ozono	\$32,066.51	\$32,066.51
Sistema de ventiladores	\$17,879.31	\$17,879.31
Estantes para colocar las semillas	\$26,862.00	\$26,862.00
Destructores de ozono	\$53,472.96	\$53,472.96

Tabla 9. Costo de equipos y operación del método de ozono en solución.

Equipo	Precio (M.X.N.)	Costo durante 3 años (M.X.N.)
Máquina de lavado con ozono	\$47,643.20	\$47,643.20
Costo de operación (\$/kWh)	\$1.80	\$8,262.00
Costo de uso de agua (\$/m ³)	\$215.16	\$987,584.40
Costo de operación del secado (\$/kWh)	\$27.00	\$123,930.00
Generador de ozono	\$39,731.80	\$39,731.80
Costo de operación del generador de ozono (\$/kWh)	\$2.70	\$12,393.00

En la **Tabla 10** se muestra una comparación económica entre ambos métodos. Se puede observar que para una misma cantidad de semillas procesadas en un periodo de 3 años el incremento de costos de producción por kilogramo de material procesado es más de dos veces mayor en el método de ozono en solución. Esto se debe a que esta técnica requiere de un insumo de agua para limpiar las semillas, el cual es el principal factor que hace que aumente el costo de operación. Por otro lado, la implementación del método gas solo requiere de electricidad para que se lleve a cabo, lo cual resulta en un incremento menor en costo por kilogramos de semilla procesada. Sin embargo, el utilizar ozono gas para remover pesticidas requiere una inversión inicial mucho mayor, pero que es compensada a largo plazo ya que posterior a la inversión inicial los costos de operación son menores a \$100,000 (M.X.N) durante un periodo de tres años.

Tabla 10. Comparación entre ambos métodos por un periodo de tres años.

	Ozono gas	Ozono en solución
Semillas procesadas (kg)	2,295,000	2,295,000
Incremento de precio (\$/kg)	\$0.23	\$0.53
Inversión inicial (M.X.N.)	\$473,200	\$87,375
Inversión total (M.X.N.)	\$534,234	\$1,219,544.40

Conclusión

A partir de la investigación realizada se puede concluir que el ozono es un agente químico efectivo para la remoción de pesticidas debido a que proporciona una remoción efectiva, no requiere condiciones especiales para su producción y manejo, el costo de producirlo no es alto y su corto tiempo de vida evita que haya remanentes de este en los alimentos.

En la implementación del ozono gas, la principal ventaja es que es una técnica que se puede aplicar a cualquier tipo de semilla. El costo de los equipos para el tratamiento con ozono gas definitivamente es más elevado que otros métodos convencionales, sin embargo, su implementación es compensada en aplicaciones a largo plazo debido a que su costo de operación dependerá únicamente de la energía eléctrica que este consume. Sin embargo, de acuerdo con la investigación realizada la principal desventaja de este método es que la semilla debe tener tiempos de contacto más largos con el ozono por lo que los tiempos de operación aumentan. Por tanto, si se desean tratar grandes cantidades de semillas se necesitan amplias instalaciones para que se pueda llevar a cabo el proceso de forma efectiva. Además, esta técnica requiere que se mantengan las precauciones adecuadas para que el manejo del ozono sea seguro y que no represente un peligro para los trabajadores del lugar.

En el caso del ozono en solución, los resultados de la investigación realizada demuestran que este es el método más efectivo ya que normalmente garantiza mayores porcentajes de remoción de pesticidas debido a la aportación de los iones hidroxilo en el proceso. Además, al estar en una solución el O_3 no representa un problema de seguridad para los trabajadores que se encuentren en el área de trabajo. El inconveniente de esta técnica es que no es posible utilizarla en todos los tipos de semillas debido a que el contacto con agua puede alterar las propiedades de estas.

La efectividad de ambos métodos depende de factores como el tiempo de exposición, composición del pesticida y tipo de semilla. Por lo tanto, los parámetros de aplicación de las condiciones óptimas de operación para un producto determinado deben ser analizados experimentalmente. Con base en esto, se recomienda continuar con la investigación experimental de ambos métodos y así corroborar que se logra la remoción deseada.

3. Reflexión crítica y ética de la experiencia

El RPAP tiene también como propósito documentar la reflexión sobre los aprendizajes en sus múltiples dimensiones, las implicaciones éticas y los aportes sociales del proyecto para compartir una comprensión crítica y amplia de las problemáticas en las que se intervino.

3.1 Sensibilización ante las realidades

Al inicio de este proyecto tenía muchas incertidumbres sobre cómo iba a poder desarrollar de forma exitosa el proyecto que se me solicitó. Yo era consciente de que poseía los conocimientos técnicos para desarrollarlo, pero me preocupaba cumplir con las exigencias de la empresa con la que trabajé. Afortunadamente, conté con unas excelentes asesoras que me apoyaron haciéndome notar cuáles son los aspectos más relevantes para que un proyecto de investigación pueda tener la aprobación para un alcance práctico. Descubrí nuevas formas muy eficientes de presentar una investigación y, sobre todo, adquirí la habilidad de buscar y discriminar una gran variedad de información para obtener eficientemente los datos que necesito para comprobar una hipótesis que planteo. Además, me llevo muchos aprendizajes de las varias sesiones que tuve con Arturo para realizar un correcto análisis económico, que al final, siempre será el factor más importante que se consideré para tomar alguna decisión en cualquier empresa.

En cuanto al tema ético, la primera opción que se me ocurrió fue la de implementar la solución de ozono gas, pero tuve la necesidad de proponer otra debido a que este puede ocasionar problemas para los trabajadores y, aunque sea efectivo, no se puede disponer de la seguridad de los trabajadores.

Por otro lado, fue una experiencia retadora el desarrollar este proyecto de forma individual. Estaba acostumbrado a trabajar en equipos en donde las actividades se dividen y la carga no es tan pesada. Sin embargo, al trabajar de forma autónoma tuve que adquirir la responsabilidad de cumplir los objetivos en tiempo y forma sin que nadie estuviera recordándomelo. Me siento muy orgulloso del trabajo que llevé a cabo. Finalmente, la experiencia en este PAP me permitió tener el primer acercamiento profesional con una empresa, el cual era un anhelo que tenía desde hace mucho tiempo y me siento realizado después de haberlo tenido.

3.2 Aprendizajes logrados

Una de las principales habilidades que adquirí durante el desarrollo de este proyecto fue cómo buscar información y poder extraerla eficientemente para sustentar una hipótesis planteada. Me gustó mucho aprender cómo realizar un análisis económico de una propuesta y cómo se debe presentar la información para que ésta sea atractiva, ya que este tema no es muy común que se vea en mi carrera. Además, el trabajar de forma individual me permitió desarrollar las habilidades de autogestión e iniciativa que me permitieron lograr avances sin tener que depender de los recordatorios de otra persona. Finalmente, me llevo muchos aprendizajes en el ámbito de cómo exponer la información ante un gran grupo de personas para que esta se pueda entender y que al mismo tiempo sea eficiente.

3.3 Inventario de competencias Inicial (ingreso del PAP) e Inventario de competencias Final (salida al PAP).

	Competencia	Evidencia	Relevancia/Fortaleza*
Conocimientos	Matemáticas	Las materias de mi carrera están basadas en esta área	Poseer recursos para afrontar problemáticas de esta índole
	Reactores	Aprobé con muy buena calificación esta materia	Gran parte de las industrias emplean reactores para la elaboración de sus productos
	Simuladores	Soy capaz de elaborar simulaciones en programas especializados	Me ayuda a plantear diversos escenarios para poder seleccionar el óptimo
	Excel	He tomado diversos cursos para mejorar mi desempeño en este programa	La mayor parte del registro y análisis de datos se lleva a cabo en este software
	Realizar presentaciones formales.	Realicé presentaciones en donde abarqué mucha información de forma ordenada y concisa.	Poder comunicar de forma efectiva para que una propuesta siga adelante.

	Plantear un análisis de viabilidad económica	Elaboré un análisis para determinar el incremento que tendrían las propuestas que planteé en los costos de producción.	Evaluar qué tan beneficioso o perjudicial es continuar con una propuesta.
	Redactar un documento de investigación	Escribí un reporte de investigación argumentado las propuestas que seleccioné.	Poder realizar reportes para que se puedan tomar decisiones.
Habilidades	Reportes de trabajo	Toda mi carrera los he elaborado	Puedo analizar fenómenos para darles una interpretación
	Elaboración de presentaciones	Buenas calificaciones en las presentaciones que he realizado	Poder presentar resultados de una forma concisa y comprensible
	Reconozco mis equivocaciones	Cambio mi postura cuando se me hace notar un error	Se pueden lograr mejores resultados con diversos puntos de vista
	Paquete de Office	En este software siempre realizo mis entregables	Buena presentación de los resultados obtenidos
	Uso de buscadores de información	La información presentada en el reporte de investigación.	Conseguir información importante y especializada.
	Búsqueda de información	Pude reunir una gran cantidad de información para mi investigación	Me permite obtener los artículos científicos más recientes e innovadores.
Actitudes	Honestidad	Nunca se me ha sancionado por plagio	Se me brinda la confianza tanto por compañeros como profesores
	Responsabilidad	Siempre finalizo los entregables en tiempo y forma	Mis compañeros de trabajo pueden contar conmigo para el desarrollo de un proyecto
	Organización	Ordeno mis actividades para entregarlas con la mejor calidad	Puedo optimizar mis tiempos de trabajo
	Resiliencia	Puedo afrontar retos complicados y no desanimarme	Siempre hay obstáculos, así que puedo sobrellevarlos

	Perseverancia	El sustento teórico fue difícil de encontrar.	El poder seguir con un objetivo a pesar de las adversidades.
	Iniciativa	Para avanzar de forma efectiva, se tuvo que trabajar aún y cuando no teníamos asesoras.	Considero que es importante trabajar aún y cuando nadie te lo pide es importante para avanzar en los objetivos.
	Flexibilidad	Me ajusté a las necesidades tanto del PAP como de la empresa	Se alcanzaron los objetivos planteados en el PAP

3.4 Dimensión persona

Reflexiona y responde todos los puntos del siguiente cuestionario. Sé lo más honesto posible. (En el fondo es una oportunidad de hacer un diálogo trascendente contigo mismo).

1. Ante los cambios inesperados y radicales de la vida: ¿cuál es tu brújula?

Cuando me encuentro en escenarios adversos en mi vida siempre trato de guiarme a través de las decisiones que me proporcionan paz. Además, trato de ver el lado positivo de la situación que esté enfrentando porque si únicamente veo aspectos negativos en los cambios inesperados, puedo entrar en un círculo en donde solo vea problemas y no soluciones.

2. a) En este momento de tu vida ¿cuál es tu principal motivación?

Mi principal motivación es terminar la carrera universitaria con un buen promedio para que pueda aplicar por una beca para un posgrado en el extranjero. Pero al mismo tiempo intento disfrutar ese proceso para que no lo vea como una carga, sino que también la pueda disfrutar.

b) ¿En qué principales aspectos inviertes tu atención y tu energía?

Aspectos externos (Relaciones laborales, amistades, familia): me gusta salir con mis amigos a lugares en donde podamos divertirnos y poder compartir experiencias. Dedico mucho tiempo con compañeros de la universidad especialmente cuando desarrollamos proyectos escolares. Últimamente he invertido mi energía en la búsqueda de trabajo en donde pueda aplicar los conocimientos que he adquirido a lo largo de mi carrera y obtener nuevos para mi desarrollo profesional. Finalmente, mi atención está enfocada en la convivencia con familia con la que no convivo mucho presencialmente debido a que soy foráneo, por lo que añoro mucho estar con ellos.

Aspectos internos (Meditación, pensamientos positivos, nutrición de anhelos, así como pensamientos tóxicos, miedos a situaciones presentes o futuras, situaciones

inconclusas que te amarran al pasado -duelos, rencores, miedos, etc.-):
desafortunadamente, dedico mucho de mi tiempo en miedos o expectativas de situaciones futuras. Esto hace que tengan muchas decepciones que bajan mi energía. He estado trabajando esto, pero aún me queda mucho camino por recorrer.

- Escribir la lista con porcentajes a lo que le inviertes tu energía.

- 15% ejercicio y meditación.
- 15% recreación.
- 40% aspectos relacionados con la universidad.
- 10% búsqueda de una oportunidad laboral.
- 20% lectura y aprendizajes nuevos.

- Al leer tus datos y proyectarlos hacia el futuro:

- ¿Qué tanto son logros a corto, mediano o largo plazo?

La mayoría de mis propósitos son a largo plazo. Soy consciente de que muchas de las actividades que realizo no darán resultados hasta mucho tiempo después pero siempre que las realizo me gusta mentalizarme a que estoy realizando una inversión para mi futuro. Ya he cosechado muchos logros de este proceso de inversión que me han dejado muy satisfecho. Los logros que tengo planteados a corto y mediano plazo siempre son un complemento de los logros a largo plazo.

- c) **¿Cuál es tu propósito de vida?**

Legué a la conclusión que el propósito de mi vida es llevar a cabo las acciones que me otorguen paz y felicidad. Si tomo una decisión que me da paz, sé que la decisión fue la correcta. Esa paz será la que me permitirá ser feliz y disfrutar de la vida de una mejor forma.

- d) **Enumera lista de cosas que haces:**

- Por obligación (evado responsabilidad, hago cosas por amenazas o castigos)

Por obligación realizo actividades como pagar mis deudas, pagar los servicios de la casa (agua, luz, internet), las actividades escolares y del trabajo.

- Por convicción (asumo responsabilidad, construcción común basada en diálogo y compromisos)

Por convicción hago deporte todos los días, busco cursos para complementar mi formación académica, realizo lecturas diarias, tengo una dieta balanceada y asisto a reuniones espirituales.

- ¿Qué cultura es más común en tu vida? (¿coerción o convencimiento?)

La cultura el convencimiento porque de esta forma se logra un mejor desarrollo de las relaciones interpersonales.

3. Busca en tu interior y enlista una situación personal en la que hayas estado o estés viviendo en la cárcel interior debido al “sólo por esta vez está bien” (una mentira que se ha mantenido, algo que tomaste que no es tuyo, algo que se oculta, una actitud que dañe a otros y a ti mismo, promesas incumplidas, vicios, etc.)

- ¿Cuál es el costo? (físico, energético, afectivo, social, económico, espiritual, etc.)

El costo de implementar la mentalidad de “solo por esta vez está bien” en diferentes aspectos de mi vida siempre que trae consecuencias en el ámbito mental y físico. Primeramente, mi mente no puede pensar en otra cosa que remordimiento y eso me llega a afectar ocasionando dolores de cabeza o de estómago. Definitivamente esto no me trae paz.

- Busca y enlista una o varias convicciones que den certeza y base a tu vida.

Una convicción que tengo muy arraigada es que la persistencia siempre supera al talento. Esto me ha permitido alcanzar objetivos que no creía posibles debido a que observaba tenían un talento natural para diversas áreas. Debía de trabajar un poco más que el resto, pero paulatinamente siempre los alcanzaba.

4. Visualiza:

- Tres personas a quien hayas tratado con soberbia o desprecio en los últimos 10 días. ¿Qué tienes tú de ellos?

Lo que tengo de ellos son actitudes o formas de pensar que yo tengo, pero que no deseo en mí. Presiento que más que un disgusto u odio hacia las otras personas lo que veo es un reflejo de mí en ellos de ciertos comportamientos que deseo eliminar.

- Tres personas a quienes hayas ayudado en los últimos 10 días.

¿Qué has compartido que es parte de tu esencia?

He razonado que lo que tengo de las personas que he ayudado es que comparto su forma de afrontar las dificultades o cómo se comportan ante situaciones adversas. Ese comportamiento, si es parecido al mío, genera una empatía muy fuerte en mí que me hace querer ayudarlos involuntariamente.

5. Es el momento de tu muerte. ¿Qué le dejas al mundo?

Le dejo buenos recuerdos a las personas que estuvieron cercanas a mí. Dejo buenas acciones que tal vez no fueron vistas o apreciadas, pero lograron tener un impacto positivo en este mundo. Con esto me puedo ir de este mundo satisfecho.

6. Al leer todas tus respuestas:

- ¿De qué te das cuenta, con respecto al momento de tu vida en el que te encuentras?
Considero que estoy en un punto muy emocionante de mi vida. Estoy por comenzar una nueva etapa y cuento con las herramientas mentales y técnicas para poder afrontarla de la mejor manera. Sin embargo, creo que tengo actitudes con las que no estoy satisfecho y que debo de trabajar para poder estar tranquilo conmigo mismo.
- A partir de lo que te das cuenta ¿Qué vas a hacer?
Para los aspectos con los que no estoy satisfecho y que no puedo trabajar yo solo, debo de pedir apoyo externo para obtener una mejor visión de lo que estoy enfrentando.