

Análisis de la pérdida y desperdicio de lechuga durante la cadena de producción en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano

Doménica Gutiérrez Sabando

Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano

Honduras

Noviembre, 2019

ZAMORANO
CARRERA DE AMBIENTE Y DESARROLLO

Análisis de la pérdida y desperdicio de lechuga durante la cadena de producción en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingeniera en Ambiente y Desarrollo en el
Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

Doménica Gutiérrez Sabando

Noviembre, 2019

Análisis de la pérdida y desperdicio de lechuga durante la cadena de producción en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano

Doménica Gutiérrez Sabando

Resumen. La pérdida y desperdicio de alimentos es un problema mundial asociado al uso innecesario de recursos que deriva en impactos como la emisión de gases de efecto invernadero y pérdida de nutrientes. Los indicadores ambientales evalúan el desempeño de una unidad productiva y permiten la homologación de los diferentes impactos en una misma unidad de medida, facilitando la comparación entre procesos diferentes y la priorización de fuentes emisoras. En el presente estudio se realizó la cuantificación de los residuos generados en la cadena de producción de la lechuga en Zamorano, estimando su potencial de calentamiento global mediante el Protocolo FLW. Además, se verificó la aplicabilidad de la herramienta comparando las emisiones generadas mediante la metodología propuesta por el Protocolo GHG con un enfoque parcial en Análisis de Ciclo de Vida. Se realizó un balance de materia para lechuga en las unidades productivas de olericultura extensiva, planta de poscosecha, puesto de ventas y el comedor estudiantil. Se obtuvo una generación semanal de residuos de 2,353.55 kg de lechuga con un aporte de 448.46 kg CO₂eq según la Calculadora FLW. Conforme al Protocolo GHG, la producción de lechuga aporta 4,428.67 kg CO₂eq/sem, de los cuales 10% se atribuyen al compostaje de residuos. Asimismo, se estimó un aporte de 2.36 kg CO₂eq/kg de producto terminado. Finalmente, se prioriza la planta de poscosecha como la unidad productiva con mayor aporte a la generación de residuos y emisiones de GEI en la cadena de producción de lechuga.

Palabras clave: Análisis de ciclo de vida, gases de efecto invernadero, olericultura, poscosecha, residuos.

Abstract. Food loss and waste is a global problem associated with the unnecessary use of resources that results in impacts such as greenhouse gases emissions (GHG) and nutrient loss. Environmental indicators allow the evaluation of a productive unit performance through homologation of the different impacts in the same measurement unit, facilitating the comparison between different processes and the prioritization of polluting sources. In the present study, the quantification of the waste generated along the lettuce production chain in Zamorano was performed, estimating its global warming potential through the FLW Protocol. In addition, the applicability of the tool was verified by comparing results with the methodology proposed by the GHG Protocol with a partial Life Cycle Analysis. A material balance for lettuce was carried out in extensive olericulture, postharvest plant, sales post and the student dining hall. A weekly generation of 2,353.55 kg of lettuce was obtained with a contribution of 448.46 kg CO₂eq according to the FLW Calculator. According to the GHG Protocol, the production of lettuce contributes 4,428.67 kg CO₂eq / week, of which 10% is attributed to waste composting. Likewise, a contribution of 2.36 kg CO₂eq/ kg of final product was estimated. Finally, the post-harvest plant is prioritized as the main source of waste and GHG emissions generation along the lettuce production chain.

Key words: Life cycle assessment, greenhouse gases, olericulture, postharvest, waste

CONTENIDO

Portadilla.....	i
Página de firmas.....	ii
Resumen	iii
Contenido	iv
Índice de Cuadros, Figuras y Anexos	v
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. METODOLOGÍA	3
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	13
4. CONCLUSIONES.....	27
5. RECOMENDACIONES	28
6. LITERATURA CITADA	29
7. ANEXOS.....	31

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Factores de emisión para determinar kg CO ₂ eq.....	10
2. Ecuaciones aplicadas a la estimación de kg CO ₂ eq por fuente generadora.....	11
3. Promedios diarios de pérdida de lechuga en cosecha (kg/m ²).....	15
4. Cosecha y merma semanal en la unidad de olericultura extensiva.....	16
5. Pérdida de lechuga en productos frescos de la planta de poscosecha.....	17
6. Pérdida de lechuga en productos de mínimo proceso, planta de poscosecha..	18
7. Factores asociados a la generación de residuos en la planta de poscosecha....	19
8. Promedio semanal de PDA del Puesto de ventas.....	20
9. PDA semanal del Comedor estudiantil.....	21
10. Resumen de entradas y salidas de lechuga, Zamorano.....	21
11. Estimación de emisiones mediante la calculadora FReSH® de FLW.....	22
12. Emisiones semanales asociadas a la producción de lechuga, Zamorano.....	22

Figuras	Página
1. Ubicación de la cadena de producción de lechuga, EAP Zamorano.....	3
2. Entradas y salidas evaluadas en las unidades productivas de lechuga.....	4
3. Diagrama de flujo de lechuga, EAP Zamorano.....	6
4. Fases del protocolo FLW para cuantificación de PDA.....	7
5. Venta mensual del producto terminado 2018-2019, planta de poscosecha.....	14
6. Variación semanal de cosecha en el año 2019.....	15
7. PDA y producto cosechado semanal en olericultura extensiva.....	17
8. Pérdida de lechuga y producto terminado semanal, planta de poscosecha.....	19
9. Promedio de PDA semanal del comedor estudiantil y puesto de ventas.....	20
10. Priorización de emisiones del Protocolo FLW, diagrama de Sankey.....	23
11. Priorización de emisiones del Protocolo GHG, diagrama de Sankey.....	24
12. Diagrama de Ishikawa sobre pérdida de lechuga en cosecha.....	25
13. Diagrama de Ishikawa sobre pérdida de lechuga en poscosecha.....	26

Anexos	Página
1. Etapa de lavado en la plata poscosecha.....	31
2. Etapa de cosecha en la unidad de olericultura extensiva.....	31
3. Pudrición de lechuga en el puesto de ventas.....	32
4. Formulario de cuantificación en la planta de poscosecha	33
5. Formulario de cuantificación en el puesto de ventas.....	34
6. Formulario de cuantificación en el comedor estudiantil	35

1. INTRODUCCIÓN

La pérdida y desperdicio de alimento (PDA) representa un problema social, económico y ambiental a nivel mundial y está asociado a los residuos generados durante la cadena de producción según el Grupo de alto nivel de expertos en seguridad alimentaria y nutrición (HLPE, 2014). El impacto derivado a esta problemática puede ser cuantificado en términos de $\text{kg CO}_{2\text{eq}}$, valor que indica el potencial de calentamiento global y se relaciona con el desempeño ambiental del ciclo de vida de un producto. Existe una diferencia entre pérdida y desperdicio de alimento; el primero se asocia a los residuos generados durante las etapas agrícolas, de transformación y distribución, mientras que el segundo se refiere al producto que fue descartado y/o rechazado en la etapa de consumo. La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2016) estimó que un tercio de la producción de alimentos de consumo humano a nivel mundial se pierde o desperdicia.

El deterioro de los alimentos es producido por factores físicos, químicos y biológicos, que intervienen en la reducción de la vida de anaquel y son ocasionados por diferentes motivos. Entre las principales causas de pérdida de alimentos se listan los estándares de calidad exigidos por consumidores, problemas técnicos y de logística, eficiencias productivas, prácticas agrícolas, error humano, regulaciones legales e influencias culturales (Göbel, Langen, Blumenthal, Teitscheid, y Ritter, 2015). En los países en desarrollo, uno de los factores más importantes para la pérdida de alimentos es la falta de cadena de frío (Hodges, Buzby, & Bennett, 2010). Las cifras de generación de PDA pueden variar de acuerdo a la fuente, producto alimenticio y región.

De acuerdo a lo expuesto por Eguillor (2017), las cantidades de PDA oscilan entre el 30 al 50%, siendo el mayor porcentaje asociado a frutas y hortalizas (55%). Según la FAO (2016), se pierde aproximadamente un 55% de frutas y hortalizas en América Latina y el Caribe, con mayor proporción de pérdidas durante el proceso de agricultura (36%). La cuantificación de PDA es un fundamento importante para los esfuerzos de reducción de los mismos, disminución de costos asociados con la compra excesiva y eliminación de desechos. Las emisiones de GEI y el uso de recursos hídricos y terrestres están asociados a los productos alimenticios en todas las etapas de la cadena de suministro, por lo que, según la organización Food Loss and Waste (FLW 2016) cuando se reduce la PDA se optimiza el uso de recursos incorporados.

Con el fin de definir, cuantificar y reportar la PDA, la organización Food Loss and Waste (FLW) ha desarrollado un protocolo estándar. Este protocolo proporciona requisitos y directrices para cuantificar e informar sobre el peso de los alimentos en toda la cadena de producción o etapas específicas, adecuándose a las metas de cada organización. El protocolo ha sido utilizado en varias ocasiones para enfocar estrategias de minimización,

determinar el impacto de la PDA sobre el medio ambiente y la pérdida de nutrientes en las diferentes etapas. Un ejemplo de la implementación del protocolo es la Compañía Kellog, la cuál cuantificó la pérdida de productos comestibles y no comestibles a nivel global durante operaciones de producción directa. Como resultado de medir su PDA determinaron como uno de sus puntos críticos la etapa de poscosecha, por lo cual se están desarrollando prácticas para eliminar la pérdida e incrementar el producto final (Agustín, Goodwin, Lipinski, Leous, & Robertson, 2017).

La lechuga (*Lactuca sativa*), en sus diferentes formas y colores, es una de las hortalizas más comunes y consumidas en todo el mundo (Saavedra, Corradini, Antúnez, Felmer, Estay y Sepúlveda, 2017). La producción a nivel mundial de lechuga incrementó en 11,126 ha cultivadas entre el año 2016 y 2017, pero con una reducción en el rendimiento por área (FAO, 2019). La lechuga es un producto altamente perecedero, que demanda un rápido manejo y distribución, condiciones controladas para su manipulación, empaques especializados, así como transporte refrigerado.

La Escuela Agrícola Panamericana El Zamorano produce actualmente cuatro variedades de lechuga: Tropicana, Romana, Kristine y Versai, reportando para el año 2018 un total de 229,665.31 kg como producto terminado. El 98% de este, es distribuido a diferentes puestos de venta como Walmart, La Colonia y PriceSmart. Con el restante se suple la demanda del comedor estudiantil y el puesto de ventas. La producción de lechuga en Zamorano es de carácter permanente; las parcelas están en constante rotación para suplir la demanda del mercado en un área semanal de aproximadamente 0.13 ha.

Durante la cadena de producción de la lechuga se generan residuos que podrían ser reducidos o eliminados. De acuerdo a un estudio realizado por Landaverde (2018), la merma total en la planta de poscosecha fue de 1,066.7 kg/semana, del total de lechuga recibida como materia prima, valor que representa una pérdida de 53.44%. Actualmente, este producto representa el 97% del total de frutas y hortalizas procesadas en esta unidad productiva, por lo que, el volumen de residuos generados implican una pérdida económica, y su reducción representa una oportunidad de mejora para la optimización de recursos.

Conforme a la problemática descrita anteriormente se plantean los siguientes objetivos para cuantificar los kg de CO_{2eq} como indicador de desempeño ambiental asociado a los residuos de lechuga generados durante la cadena de producción:

- Calcular la cantidad de pérdida de lechuga semanal en las unidades de producción de olericultura extensiva, planta de poscosecha, puesto de ventas y comedor estudiantil mediante el protocolo FLW.
- Comparar el protocolo Food Loss and Waste y Grenhouse gases para evaluar la estimación de kg CO_{2eq} como indicador de potencial de calentamiento global en la cadena de valor de lechuga.
- Identificar los factores que derivan en pérdida de lechuga durante la cadena de producción para el planteamiento de oportunidades de mejora.

2. METODOLOGÍA

Sitio de estudio.

El estudio se realizó en la Escuela Agrícola Panamericana seleccionando la cadena de producción de lechuga, en las etapas de cosecha, poscosecha, comedor estudiantil y puesto de ventas como se muestra en la Figura 1.

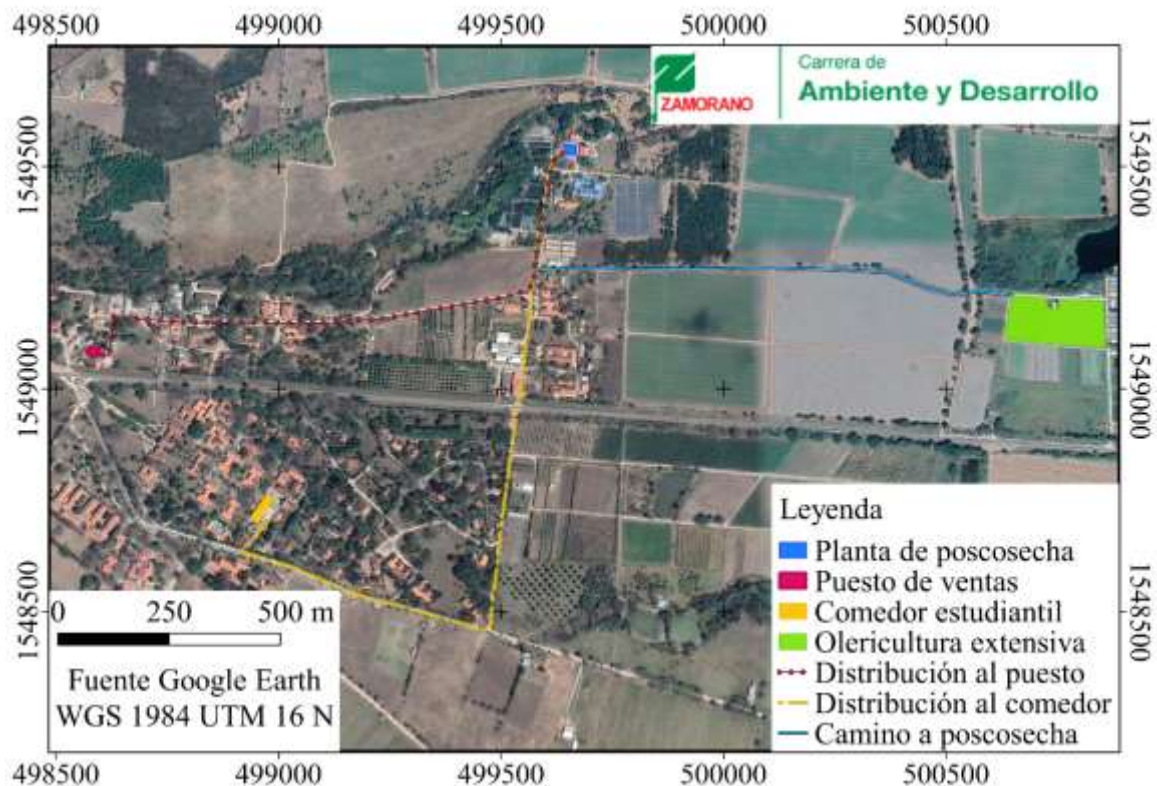


Figura 1. Ubicación de la cadena de producción de lechuga, EAP Zamorano.

Límite de estudio.

El estudio no incluyó la cuantificación de PDA o estimación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) durante los procesos de siembra, trasplante, almacenamiento y distribución de producto terminado fuera del campus. No se tomó en cuenta las emisiones generadas por la comercialización externa a la institución ni por emisiones indirectas. Para la unidad de olericultura extensiva se consideró las emisiones por fertilizantes nitrogenados en una orden de producción, residuos, combustibles, transporte y electricidad semanal. En

cuanto a la planta de poscosecha se consideró las emisiones semanales biogénicas, fugitivas, combustibles, transporte, residuos y electricidad. En el comedor estudiantil y el puesto de ventas se consideró únicamente las emisiones a la semana por los combustibles, transporte residuos y electricidad.

Para realizar la cuantificación de PDA y estimación de emisiones, se realizó una división según las unidades productivas evaluadas. En la Figura 2 se observa la separación utilizada mediante la asignación de cada letra, también se detalla las entradas y salidas consideradas en el estudio. Además, en la Figura 2 se observan el tipo de emisiones consideradas en la estimación.

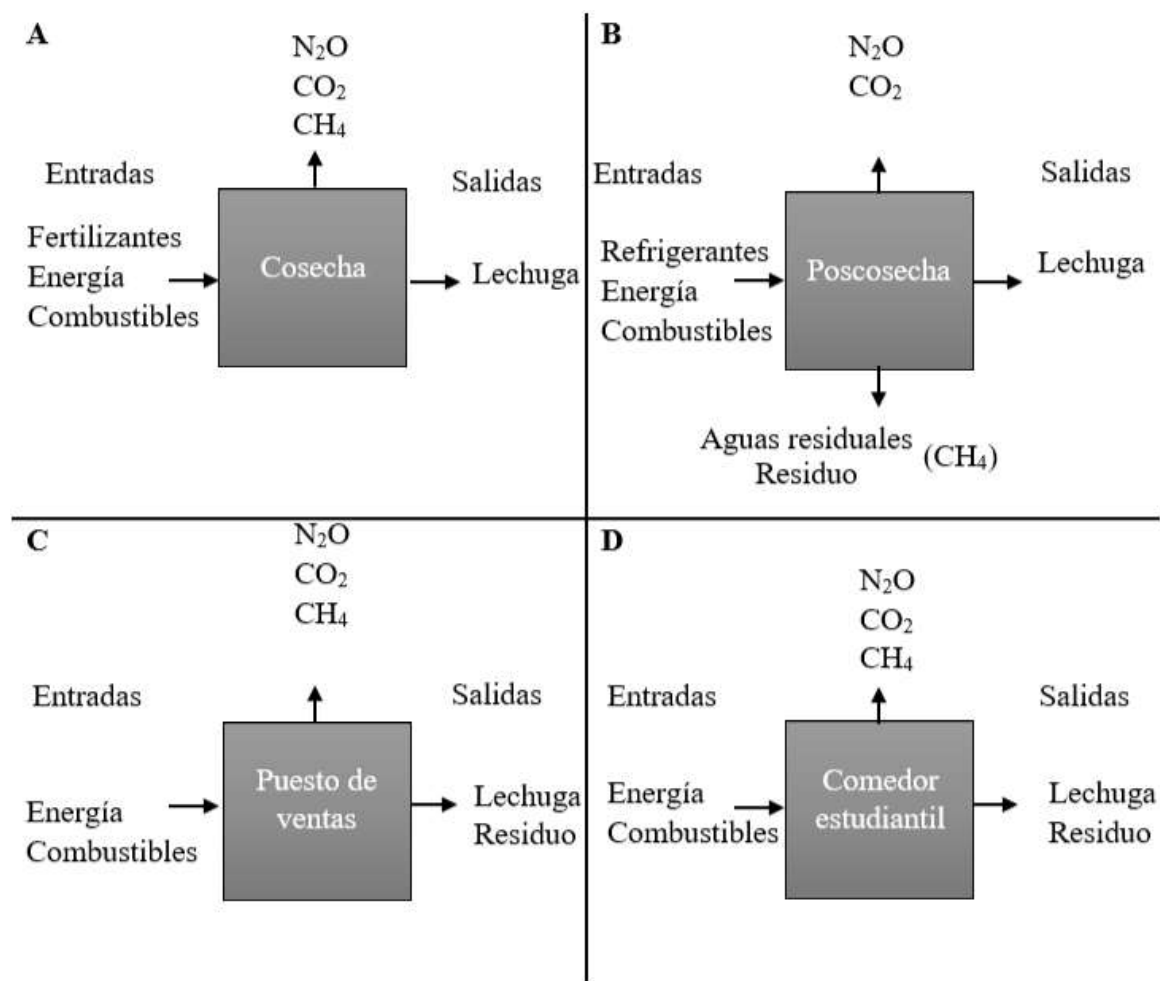


Figura 2. Entradas y salidas evaluadas en las unidades productivas de lechuga.

Proceso de producción. Las variedades de lechuga producidas actualmente en Zamorano son Tropicana, Romana, Kristine y Versai. El ciclo comienza desde la siembra de lechuga en semilleros y posteriormente su trasplante en parcelas de la unidad de extensiva a los quince días. Las lechugas se desarrollan aproximadamente en cinco semanas, durante las cuales reciben riego y fertilizantes. La producción y la cosecha se planifican conforme a los

pedidos realizados por la planta de poscosecha con la finalidad de suplir la demanda del mercado y contar con suficiente producto para atender variaciones en los pedidos de producto terminado. Los pedidos realizados por poscosecha provienen de solicitudes de clientes externos e internos.

Luego de la cosecha, el producto es pesado en campo para verificar que se cumple con la cantidad solicitada y se transporta a la planta de poscosecha en un camión para su recepción. Sin ser pesada, la lechuga es sometida directamente a un proceso de selección previo a lavado y continúa en diferentes líneas de proceso conforme al tipo de producto terminado. Existen dos líneas de proceso: los productos frescos y de mínimo proceso. Los productos comercializados como frescos no sufren alteración en su estructura, estos son desinfectados y empacados para su posterior almacenamiento y distribución. El mínimo proceso inicia con el pesado de la lechuga, posteriormente se realiza una segunda selección que consiste en la remoción y descarte del tallo y otras partes de la lechuga. El proceso continúa con un tratamiento térmico, desinfección, escurrido para retirar el exceso de humedad, se empaca y sella. Ambos productos se almacenan hasta ser distribuidos en un cuarto frío a temperaturas menores a 5 °C y poseen una vida útil de diez días máximo.

La distribución dentro de Zamorano se realiza utilizando el camión de poscosecha al puesto de ventas y al comedor estudiantil. En el puesto de ventas el producto es recibido, pesado, almacenado y puesto en anaquel hasta su compra, disposición o descarte. El almacenamiento del producto se realiza en un cuarto frío a temperaturas menores a 5 °C y la exhibición del producto se hace en mostradores con temperaturas menores a 10 °C. En el caso del comedor estudiantil, la lechuga es recibida, pesada, almacenada, seleccionada, puesta en exposición para el consumo estudiantil y finalmente consumida o descartada en conjunto con otros residuos de bandeja. La Figura 3 representa el diagrama de flujo de la lechuga, en el cual los límites encierran los procesos considerados en esta investigación para la cuantificación de PDA.

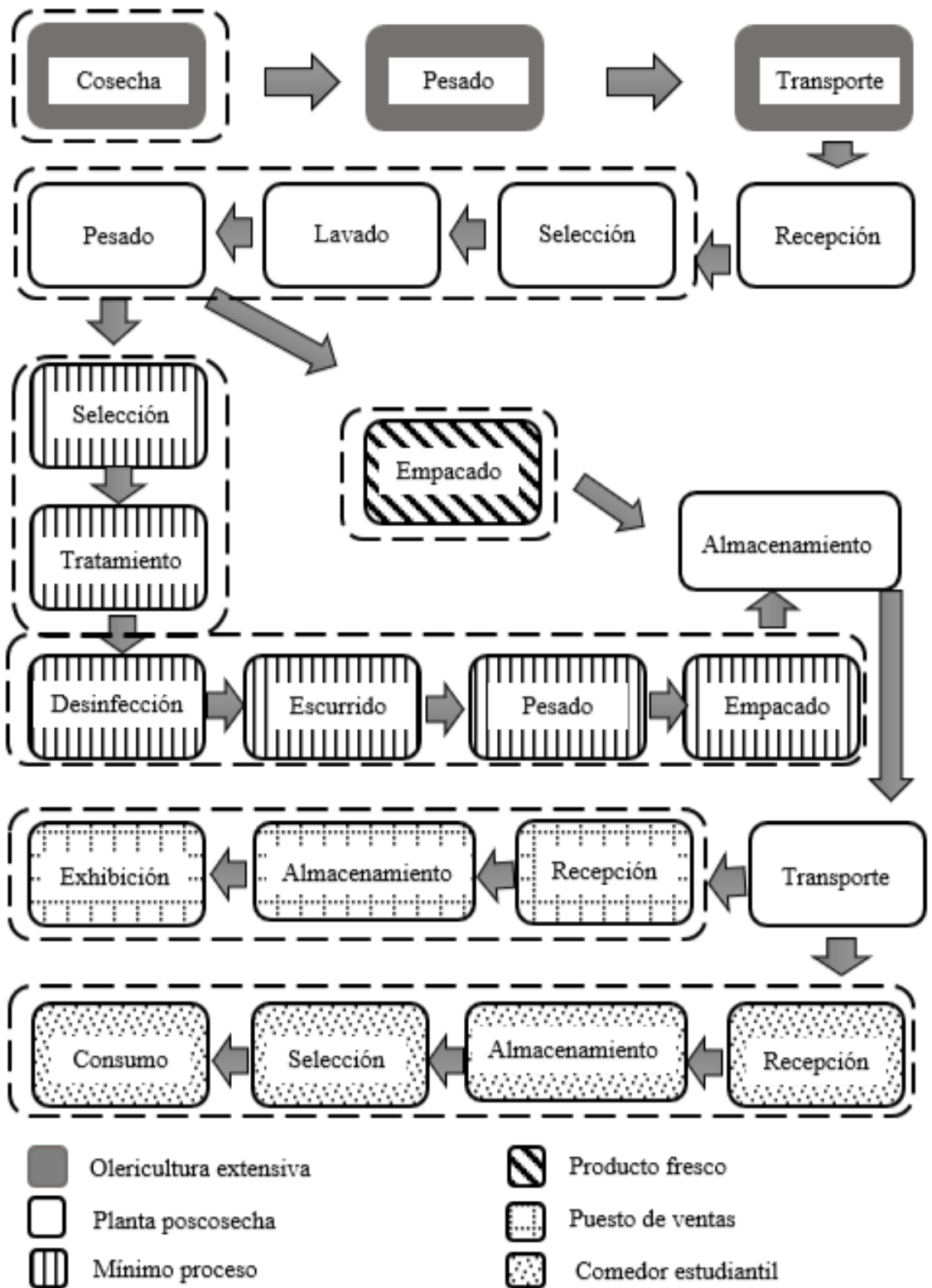


Figura 3. Diagrama de flujo de lechuga, EAP Zamorano.

Protocolo para la contabilización y reporte sobre pérdida y desperdicio de alimentos (FLW).

El propósito del protocolo estándar es fomentar la coherencia y transparencia de los datos reportados en diferentes procesos y/o cadenas de valor, producción y suministro. De esta manera la herramienta permite la comparación de resultados y facilita el planteamiento de metas de reducción conforme a indicadores de desempeño (FLW, 2016). Este cuenta con una serie de pasos y diferentes metodologías de cuantificación de PDA (Figura 4). Para fines del estudio se seleccionó la metodología de pesado directo y balance de materia de lechuga en las diferentes etapas de la cadena de producción.

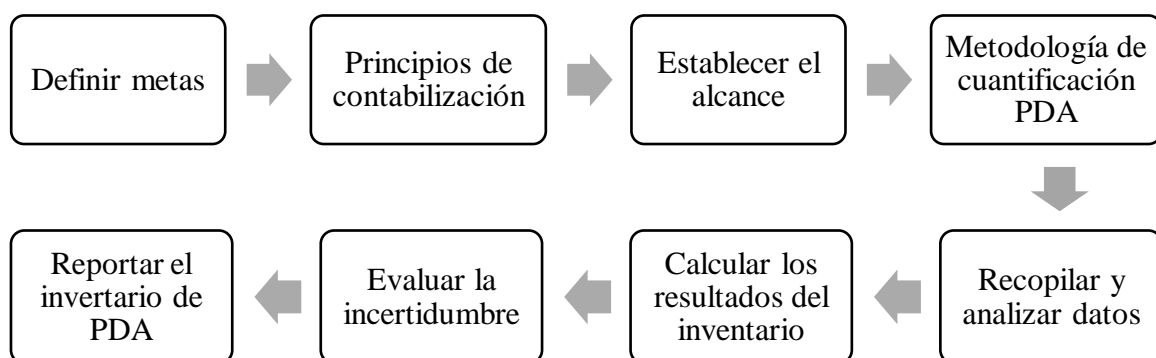


Figura 4. Fases del protocolo FLW para cuantificación de PDA.

La lechuga representa actualmente el 97% de producto generado en poscosecha, el 3% restante corresponde a productos como tomate y chile, del cual existe un porcentaje alto PDA a lo largo de su cadena de valor. Los valores de pérdida reportados en estudios previos son variables, pero indican importantes cantidades de producto descartado. Para cuantificar el impacto de esta problemática, se seleccionó la cadena de producción de lechuga en donde se estimó la PDA y estimó la generación emisiones de GEI reportadas en términos de kg CO_{2eq} desde cosecha hasta comercialización y consumo interno. La PDA es responsable de dos fuentes principales de emisiones de GEI, emisiones biogénicas asociadas al metano por su descomposición y quema de combustibles para energía (FLW, 2016).

En el protocolo FLW, las emisiones generadas durante la cadena de producción son considerados indicadores de impacto ambiental. Estas pueden ser estimadas por la Calculadora FReSH® del protocolo FLW, la cual es una herramienta del protocolo que a partir del peso de residuos estima las emisiones de GEI, índice de calidad de suelo, huella hídrica y eutrofización. La metodología de cálculo del protocolo se respalda por organizaciones como la FAO y la Unión Europea. Además, el protocolo brinda otras opciones de estimación de emisiones, como el séptimo informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC).

La cuantificación de PDA de lechuga se realizó desde abril hasta junio del 2019 en la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano. Los residuos se cuantificaron en cosecha,

poscosecha y su distribución interna, puesto de ventas y comedor estudiantil. En cuanto al destino final, se consideró los residuos de campo como incorporación al suelo, mientras que la PDA en las demás unidades se destina a la compostera de Zamorano.

Cuantificación de PDA. Para cuantificar los residuos de lechuga en la cadena de producción se utilizó el método de balance de materia, para el cual se realizó el pesado directo de entradas y salidas durante diferentes operaciones unitarias. Se evaluó cualitativamente la incertidumbre según instrucciones del protocolo, determinando las fuentes potenciales que contribuyan a la interpretación de los resultados obtenidos. Mediante los datos obtenidos se estimaron promedios y pérdidas semanales de producto. El método se adaptó a cada unidad, ya que el contexto y la dinámica varió en cada unidad productiva. En todas las etapas se entrevistó a los instructores y se recolectaron datos *in-situ*. Además, se obtuvieron factores de generación de residuos asociados al producto terminado para posteriormente ser utilizados en los cálculos de emisiones.

Para cuantificar productividad y desperdicio por m² en la etapa de cosecha, se utilizó un alambre maleable para cada muestreo, el cual se usó para limitar el área seleccionada en las parcelas cosechadas. Se realizó un muestreo por conveniencia en las parcelas de las cuatro variedades, cosechadas conforme a los pedidos realizados por la planta de poscosecha. Se pesó la cantidad de producto fresco (kg/m²), y la cantidad de lechuga remanente en campo después de la cosecha (kg/m²) utilizando una balanza de gancho (Ecuación 1). Esta actividad se realizó en 4 días, verificando los ciclos de cultivo y pedidos del producto. Se determinó el área cosechada por semana mediante el registro de ingreso de lechuga de poscosecha correspondiente a la semana de muestreo como se observa en la Ecuación 2

$$\text{Rendimiento} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right) = \frac{\text{kg lechuga pérdida}}{\text{m}^2} + \frac{\text{kg lechuga cosechada}}{\text{m}^2} \quad [1]$$

$$\text{Área} \left(\frac{\text{Ha}}{\text{sem}} \right) = \frac{\text{kg lechuga cosechada}}{\text{sem}} \times \frac{\text{Ha}}{\text{kg lechuga cosechada}} \quad [2]$$

La cuantificación de residuos en la planta de poscosecha se realizó durante una semana, para identificar variaciones asociadas al cambio de rutina. La dinámica de operación excluye los domingos, siendo el jueves el día de mayor procesamiento. Se pesó la lechuga que ingresó, los residuos generados del proceso de selección y lavado de lechuga, de mínimo proceso, y la lechuga como producto final. Según datos de la unidad, sólo el 2% del producto final es destinado a consumo interno. La lechuga pesada después de lavado fue ajustada de acuerdo con datos de la unidad debido al incremento de peso por la humedad adquirida. El factor de corrección de humedad es de 0.8 para las variedades Kristine y Versai, y de 0.85 para Romana y Tropicana. Los datos fueron tomados para cada variedad mediante una plantilla de elaboración propia (Ecuación 3).

$$\text{kg lechuga} = \text{kg lechuga lavada} \times \text{factor de corrección} \quad [3]$$

La entrada de producto terminado en el puesto de ventas se realiza dos veces a la semana, el peso de las entradas semanales fue provisto por la unidad, los cuales son obtenidos del

pesaje del producto en su recepción. Se pesó la pérdida de lechuga con una balanza de gancho mediante muestreos diarios de lechuga Zamorano gancho con una plantilla de elaboración propia durante un mes. El principal criterio de descarte es la fecha de vencimiento, además algunas veces la lechuga presenta un estado de deterioro que conduce a un descarte prematuro. Tanto la entrada como la salida son datos semanales de los cuales se calculó el promedio mensual (Ecuación 4).

$$\text{kg lechuga vendida} = \text{kg lechuga recibida} - \text{kg lechuga pérdida} \quad [4]$$

La recepción de producto terminado en el comedor estudiantil se realiza una vez a la semana y opera todos los días de la semana. Los pedidos de lechuga a la planta de poscosecha disminuyen en periodos de vacaciones y feriados. El peso de los residuos en diferentes etapas del comedor estudiantil se cuantificó sin considerar el almacenamiento. La lechuga es seleccionada y lavada antes de su consumo, para eliminar la presencia de plagas. Se pesó la pérdida de lechuga después de su selección por espacio de cuatro días y el desperdicio de los estudiantes en tres días (Ecuación 5).

$$\text{kg lechuga consumida} = \text{kg lechuga recibida} - \sum \text{kg de PDA} \quad [5]$$

Análisis de inventario y su cálculo de kg CO₂ equivalente.

Se utilizó la Calculadora FReSH® de FLW para medir el impacto ambiental que tiene el desperdicio de lechuga expresado como huella de carbono. La herramienta utiliza la cantidad de desperdicio generado en cada etapa de la producción para estimar diferentes parámetros. Para fines del estudio únicamente se tomó en cuenta como impacto ambiental el potencial de calentamiento global expresado en kg CO₂eq.

Para verificar los resultados obtenidos en la variable de impacto al cambio climático, se aplicó el Protocolo GHG con un enfoque parcial del Análisis de Ciclo de Vida (ACV). Esta herramienta se aplicó para calcular de forma separada las emisiones asociadas a la pérdida de alimento y las emisiones asociadas a la cadena de valor utilizando 1 kg de producto terminado de lechuga como unidad funcional. Los factores utilizados para el cálculo de emisiones y sus referencias respectivas se incluyen en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Factores de emisión para determinar kg CO_{2eq}.

Indicador	Factor	Referencia
Metano CH ₄ (Potencial de calentamiento global)	28 kg CO _{2eq} /kg CH ₄	IPCC, (2013)
Óxido Nitroso N ₂ O (Potencial de calentamiento global)	265 kg CO _{2eq} / kg N ₂ O	IPCC, (2013)
Fertilizantes nitrogenados	0.01 kg N ₂ O-N/kg de N	IPCC, (2006)
Factor de electricidad para Honduras	0.6114 kg CO _{2eq} /kWh	Naciones Unidas, (2019)
Compostaje base húmeda	0.3 g N ₂ O / kg residuo 4 g CH ₄ / kg residuo	IPCC, (2006)
Gas refrigerante R 404	3,942 kg CO _{2eq} / kg refrigerante	IPCC, (2013)
Demanda química de oxígeno (DQO)	0.25 kg CH ₄ / kg DQO	IPCC, (2006)
Transporte	0.47 kg CO ₂ /Tkm	
Gasolina	69,300 kg CO ₂ / TJ Gasolina 10 kg CH ₄ / TJ Gasolina 0.6 kg N ₂ O/ TJ Gasolina	IPCC, (2006)
Diesel	74,100 kg CO ₂ / TJ Diesel 10 kg CH ₄ / TJ Diesel 0.6 Kg N ₂ O/ TJ Diesel	IPCC, (2006)

Tkm = Toneladas cargadas por kilómetros recorridos

Para la unidad de olivericultura extensiva se consideró el inventario de emisiones por fertilizantes nitrogenados, residuos, combustibles, transporte y electricidad. En cuanto a la planta de poscosecha se consideró el aporte por las emisiones biogénicas, fugitivas, combustibles, transporte, residuos y electricidad. Asimismo, para la estimación de emisiones del comedor estudiantil y el puesto de ventas se consideró únicamente el uso de combustibles, transporte residuos y electricidad.

Cuadro 2. Ecuaciones aplicadas a la estimación de kg CO_{2eq} por fuente generadora.

Fuente Generadora	Descripción	Ecuación aplicada
Fertilizantes nitrogenados	Aplicación de fertilizantes aplicados por orden de producción.	$kg\ CO_{2eq} = kg\ N_2O \times PCG$ $kg\ N_2O = kg\ N \times FE \times 44/28$
Biogénicas	Emisión de metano (CH ₄) por procesos de tratamiento anaerobio, medido según la DQO, (Departamento IAD, 2019).	$kg\ CO_{2eq} = kg\ CH_4 \times PCG$ $kg\ CH_4 = kg\ DQO \times FE$
Fugitivas	Dato del uso del refrigerante Freón 404 en la planta de poscosecha	$kg\ CO_{2eq} = kg\ refrigerante \times FE$
Combustibles	Se determinó el consumo de diésel y la gasolina utilizados durante toda la cadena de producción mediante datos históricos del 2017 y 2018 obtenidos la unidad de suministros. Se utilizó la proporción representante a lechuga en cada unidad productiva para determinar la cantidad perteneciente de emisiones.	$kg\ CO_{2eq} = (kg\ N_2O \times PCG) + kg\ (CH_4 \times PCG) + kg\ CO_2$ $kg\ N_2O = (L\ combustible \times FD) \times (FC/1000000) \times FE$ $kg\ CH_4 = (L\ combustible \times FD) \times (FC/1000000) \times FE$ $kg\ CO_2 = (L\ combustible \times FD) \times (FC/1000000) \times FE$
Residuos	El desperdicio de lechuga en cosecha es aplicado al suelo y se dispone en la compostera para el resto de las etapas, por lo que se consideró el residuo como compostaje húmedo anaerobio para la estimación de CO _{2eq} .	$kg\ CO_{2eq} = (kg\ CH_4 \times PCG) + (kg\ N_2O \times PCG)$ $kg\ CH_4 = g\ residuo \times FE / 1000$ $kg\ N_2O = g\ residuo \times FE / 1000$
Transporte	Se recopiló información sobre el número de viajes para cada destino, el peso transportado y la distancia recorrida. El número de viajes y el peso transportado fueron datos obtenidos de la planta de poscosecha, mientras que la distancia recorrida fue obtenida de Google Earth®.	$kg\ CO_{2eq} = Tkm \times FE$

Fuente Generadora	Descripción	Ecuación aplicada
Electricidad	Se determinó la cantidad de electricidad utilizada en un año en kW/h para las diferentes actividades que involucran su uso. Para la parte de cosecha, puesto de ventas y comedor se utilizó datos históricos del año 2017 y 2018. En cuanto a la planta de poscosecha no hay un medidor que determine el consumo total, por lo que se requirió de una estimación detalladas por cada equipo utilizado. La estimación requirió la búsqueda de fichas técnicas, así como la revisión de equipo.	$\text{kg CO}_2\text{eq} = \text{kWh} \times \text{FE}$

FE = factor de emisión; FD = factor de densidad; FC = factor calorífico; PCG = potencial de calentamiento global

Priorización y análisis de datos. Para analizar la PDA de lechuga y las emisiones generadas en cada etapa evaluada se utilizó estadística descriptiva. Se construyeron gráficos de barra para comparar la PDA de las cuatro variedades de lechuga en la unidad de olericultura extensiva y planta de poscosecha. Además, se construyó un gráfico de barras para las PDA de lechuga del comedor estudiantil y el puesto de ventas que no hace comparación por variedades. Además, se utilizó un gráfico de barras de doble eje para comparar la PDA, el producto terminado de lechuga y las emisiones de GEI asociados a los residuos de lechuga.

El diagrama Sankey es una forma práctica de representar el aporte de diferentes impactos asociados a procesos de producción. Con el propósito de visualizar las etapas con mayor impacto se realizó un diagrama de Sankey mediante el programa Sankey Flow Show. Se utilizó los datos de emisiones obtenidos por la Calculadora FReSH® y por la estimación de emisiones del Protocolo GHG separadas por las unidades productivas.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El protocolo FLW cuenta con un formato para el reporte de resultados el cual se diseña según la audiencia potencial. El informe debe describir claramente los objetivos de cuantificación de PDA, la justificación de la contabilización, resumir las conclusiones generales que pueden extraerse del inventario y describir las limitaciones de los resultados. La presentación de los resultados se adaptó para fines de esta investigación, seleccionando una semana como periodo de cuantificación debido a la dinámica de generación de residuos en diferentes etapas de la cadena de valor.

Los resultados obtenidos de cuantificación de PDA e impacto ambiental mediante el protocolo FLW pueden ser comparados únicamente con resultados obtenidos con la misma metodología. La comparabilidad y exactitud de los resultados del inventario se ven afectados por el alcance propuesto y los métodos de cuantificación, así como algunas fuentes de incertidumbre durante el proceso de recolección de datos.

Existe una variación temporal en los datos obtenidos durante el muestreo, debido a que no son representativos para el transcurso de un año. Los datos de cosecha fueron obtenidos en cuatro días entre el 8 y 13 de mayo, durante los cuales comenzó a llover. En poscosecha, los datos fueron obtenidos en época de lluvia, por lo cual existe incertidumbre sobre la representatividad de los datos. La lechuga cosechada varía según la temporada, en épocas de lluvia la producción de lechuga puede ser de 1,814 kg/sem, en contraste con una producción de 5,433 kg semanales de lechuga durante el resto de la temporada. Otra fuente potencial de incertidumbre es el uso de datos de las unidades productivas los cuales según el protocolo tienen una confianza incierta.

Cuantificación de PDA.

Durante todo el año hay producción de lechuga, la demanda de lechuga del cliente externo no cesa. En invierno hay una menor disponibilidad de lechuga por los bajos rendimientos de biomasa por m², por lo que el producto terminado también es menor. De acuerdo con registros proporcionados por la planta de poscosecha, puede haber una variación en producción de 3,629 kg/sem. A continuación, se presenta la Figura 5, la cual señala la variación en venta del producto terminado entre el periodo 2018 y 2019 según datos proporcionados por la unidad de poscosecha. Según datos de la unidad de producción, existe una diferencia de la cantidad de producto final durante el año, desde 1,813kg de lechuga procesada semanalmente en mal tiempo hasta 5,444 kg de lechuga semanalmente al máximo de producción.

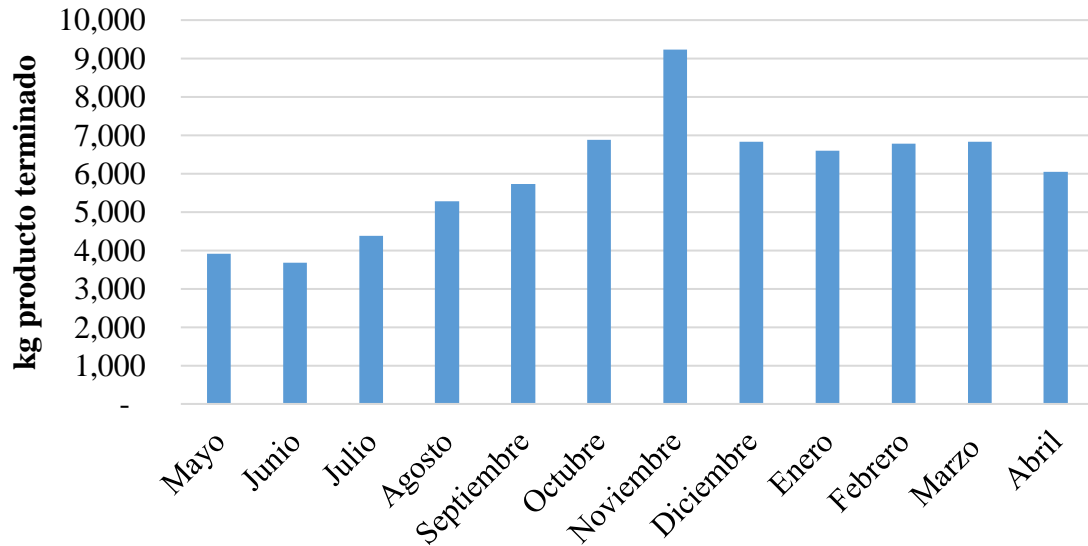


Figura 5. Venta mensual del producto terminado 2018 -2019, planta de poscosecha.

Cosecha. La actividad de cosecha se realiza en el transcurso de la mañana, coincidiendo con las horas de mayor radiación solar y altas temperaturas. El área cosechada se planifica conforme a pedidos realizados con anterioridad por la planta de poscosecha, sin embargo, durante las actividades de muestreo se observó el cambio en la planificación de cosecha como resultado de variaciones en los pedidos.

El total de lechuga cosechada se reporta en el registro de “compra interna de lechuga” en la hoja denominada “lechuga ingresada a planta”. Los valores registrados para el 2019 muestran una alta variabilidad en los pedidos, reportando ingresos que varían de 483.30 kg/sem hasta 4,447.67 kg/sem. Estos valores, en adición a consultas realizados con personal de cosecha confirman que no hay un patrón que permita proyectar el comportamiento de los pedidos a lo largo de un año. La Figura 6 muestra el registro de ingreso de lechuga en la planta de poscosecha que corresponde a la cantidad cosechada en campo.

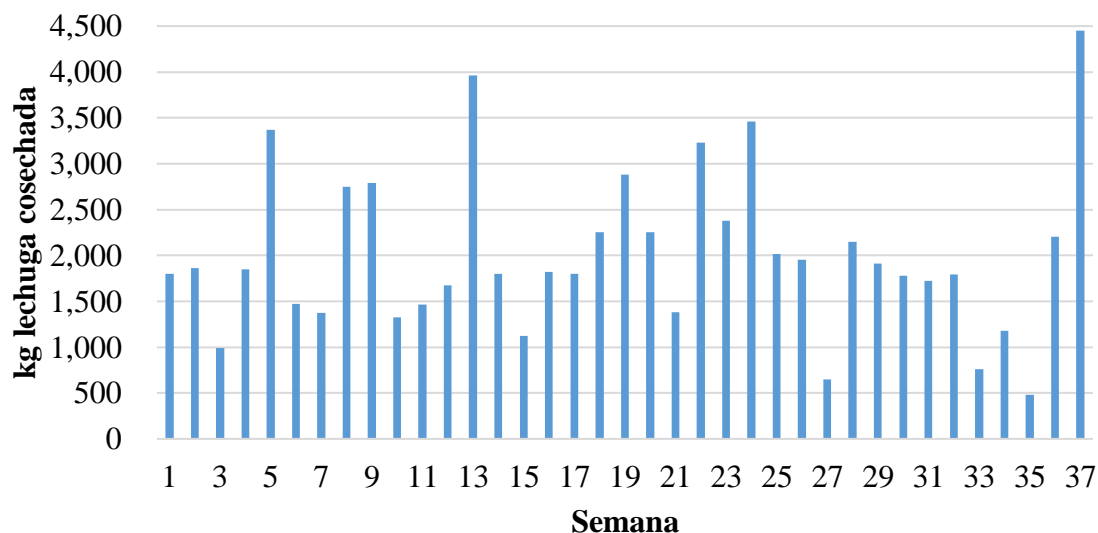


Figura 6. Variación semanal de cosecha en el año 2019.

La metodología de cosecha en campo depende del tipo de lechuga, por ejemplo, las variedades Kristine y Versai son cosechadas por peso, por lo que, todas las unidades son aprovechadas sin importar el tamaño. Por otro lado, las variedades Tropicana y Romana son cosechadas por unidad, lo que implica que las unidades que no cumplen con especificaciones de tamaño se desechan en campo. Los resultados obtenidos en campo muestran que la variedad con mayor pérdida por área es la Romana (0.61 kg merma/ m²), seguida por la variedad Kristine (0.59 kg merma/ m²). Por otro lado, la variedad Versai tiene la mayor pérdida de lechuga por kilogramo cosechado (Cuadro 3).

Cuadro 3. Promedios diarios de pérdida de lechuga en cosecha (kg/m²).

Variedad	Balance	Día				Promedio kg/m ²	kg merma/ kg cosecha
		1	2	3	4		
Kristine	Merma	0.57	0.48	0.73	-	0.59	0.21
	Cosecha	3.5	2.33	2.45	-	2.76	
	Total	4.07	2.82	3.18	-	3.35	
Versai	Merma	-	0.41	-	0.56	0.48	0.37
	Cosecha	-	1.32	-	1.29	1.31	
	Total	-	1.73	-	1.85	1.79	
Tropicana	Merma	0.38	-	0.75	0.51	0.55	0.32
	Cosecha	2.27	-	1.45	1.40	1.71	
	Total	2.66	-	2.19	1.91	2.25	
Romana	Merma	0.57	-	0.75	0.51	0.61	0.16
	Cosecha	4.4	-	2.08	4.88	3.78	
	Total	4.96	-	2.82	5.39	4.39	

La extrapolación de estos datos se encuentra asociada a la cantidad de lechuga cosechada, que a su vez depende de los pedidos realizados por la planta de poscosecha. En adición a la metodología de cosecha, la rotación de personal identifica como un factor que contribuye a la pérdida de lechuga en campo, por variabilidad en los criterios de cosecha. Por otra parte, existe una incongruencia entre la planificación de siembra que es constante durante los ciclos y la variabilidad en los pedidos, lo que da como resultado que en ciertas temporadas del año exista una mayor oferta frente a la demanda del producto y derivan en mayor pérdida en campo.

Inicialmente se planteó utilizar la planificación de siembra y cosecha de la unidad de olericultura extensiva para proyectar la merma en campo, sin embargo, se identificaron diferencias entre la planificación de siembra y el ingreso a poscosecha, que se deben a cambios en los pedidos. Por lo tanto, para calcular la merma se utilizó el registro de lechuga ingresada a planta correspondiente a la semana en la que se realizó el muestreo, el cual reporta un valor de 2,700.00 kg/sem de lechuga. De acuerdo con este dato se proyectó una pérdida en campo de 712.33 kg de lechuga para un área cosechada de 0.13 ha (Cuadro 4). Según esta estimación, por cada kilogramo de lechuga cosechado se pierde 0.26 kilogramos en campo.

Cuadro 4. Cosecha y merma semanal en la unidad de olericultura extensiva.

Variedad	Cosecha (kg/semana)	Cosecha (kg/ha)	Merma (kg/semana)	Merma (kg/ha)	Área (ha/semana)
Kristine	567.00	27,623.33	121.62	5,925.33	0.02
Versai	567.00	13,070.00	209.97	4,840.00	0.04
Romana	810.00	17,068.89	259.20	5,462.00	0.05
Tropicana	756.00	37,827.78	121.54	6,081.67	0.02
Total	2,700.00	95,590.00	712.33	22,309.00	0.13

Tanto la pérdida como la cosecha de lechuga difiere según la variedad, debido al área cultivada y características propias de la misma. Se puede observar que la lechuga más cosechada y con mayor pérdida en campo es la variedad Romana (Figura 7). Sin embargo, la variedad Versai tiene una mayor pérdida por kg cosechado, tal como se refleja en el Cuadro 3.

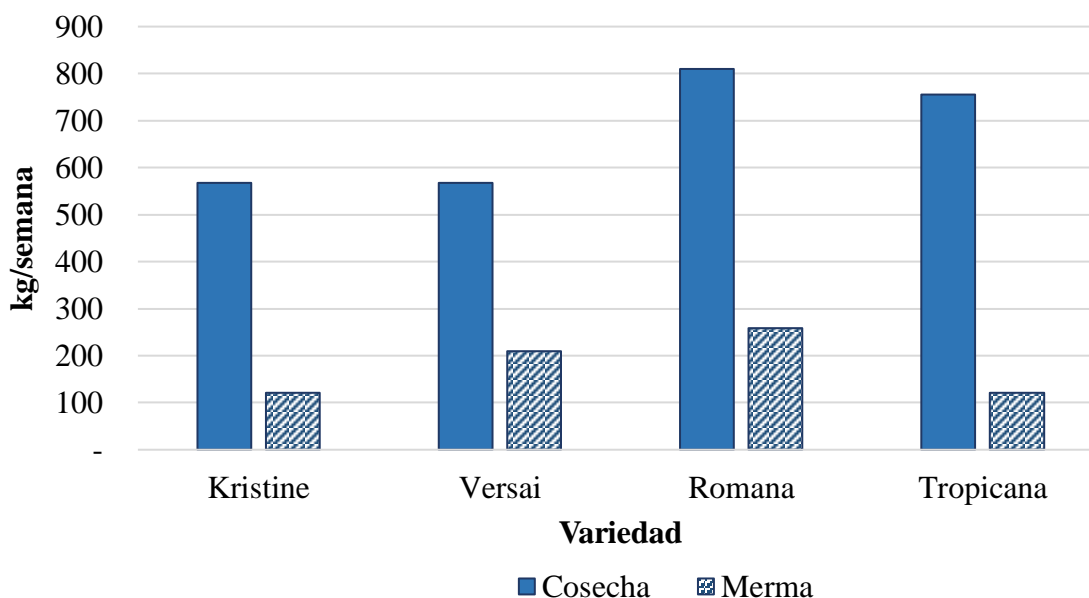


Figura 7. PDA y producto cosechado semanal en olericultura extensiva.

Poscosecha. Durante el muestreo se pesó el ingreso de producto, la pérdida de lechuga posterior al proceso de selección y la salida resultante de la etapa de lavado. En adición a los datos recopilados durante la fase experimental, se cuenta con la información obtenida en registros proporcionados por la planta de poscosecha. Los resultados se presentan por separado en los Cuadros 5 y 6 de acuerdo con la línea de producción, diferenciando los pesos por variedad a lo largo de una semana de operación para entradas, mermas y producto terminado.

Cuadro 5. Pérdida de lechuga en productos frescos de la planta de poscosecha.

Variedad	Balance	Días						kg/ semana
		1	2	3	4	5	6	
Tropicana	E	12.91	71.79	-	526.70	70.94	570.34	250.54
	MSL	6.72	32.74	-	232.40	39.35	264.20	115.08
	PT	6.19	39.05	-	294.30	31.60	306.14	135.46
Romana	E	-	140.53	112.70	305.32	249.73	-	202.07
	MSL	-	52.04	69.13	113.46	112.06	-	86.67
	PT	-	88.49	43.57	191.86	137.67	-	115.39

E = Entrada; MSL = Merma de selección y lavado; PT = Producto terminado

Cuadro 6. Pérdida de lechuga en productos de mínimo proceso, planta de poscosecha.

Variedad	Balance	Día						kg/ semana
		1	2	3	4	5	6	
Versai	E	-	85.03	36.63	137.17	118.37	-	377.20
	MSL	-	51.38	4.48	30.15	28.85	-	114.85
	MD	-	11.98	5.44	24.39	33.59	-	75.41
	PT	-	21.67	26.71	82.63	55.94	-	186.95
Kristine	E	52.73	172.16	63.03	302.87	291.20	-	881.98
	MSL	12.37	31.09	6.18	117.74	55.94	-	223.31
	MD	8.32	41.40	14.73	64.57	58.55	-	187.56
	PT	32.03	99.68	42.13	120.56	176.72	-	471.11
Tropicana	E	97.37	-	-	-	-	-	97.37
	MSL	23.43	-	-	-	-	-	23.43
	MD	31.48	-	-	-	-	-	31.48
	PT	42.46	-	-	-	-	-	42.46
Romana	E	35.55	-	-	-	-	42.82	78.37
	MSL	5.22	-	-	-	-	11.79	17.01
	MD	9.80	-	-	-	-	14.13	23.93
	PT	20.53	-	-	-	-	16.90	37.42

E = Entrada; MSL = Merma de selección y lavado; MD = Merma de deshoje; PT = Producto terminado

La mayor proporción de producto terminado registrado en poscosecha corresponde al producto fresco, que a la vez aporta en mayor proporción a la generación de residuos, estimando el 57% del total. Por otra parte, la mayor pérdida por kilogramo de producto terminado se atribuye a los productos de mínimo proceso, principalmente por el descarte de los tallos (Cuadro 7). En esta línea de proceso, las variedades de Kristine y Versai tuvieron mayores pérdidas después de la selección y lavado, mientras que las variedades Tropicana y Versai presentaron mayores pérdidas en la etapa de deshojado. Sin considerar las líneas de producción, la variedad Tropicana es la lechuga de mayor producto terminado y PDA (Figura 8). Durante el proceso de cuantificación, se determinó que la operación que contribuye a la mayor cantidad de pérdida es la selección, la cual consiste en deshojar las partes que no se consideran apropiadas. En esta actividad se eliminan las hojas quemadas, con cambio de coloración o deterioro visible. Este proceso no se encuentra estandarizado y el criterio puede cambiar conforme la rotación de personal.

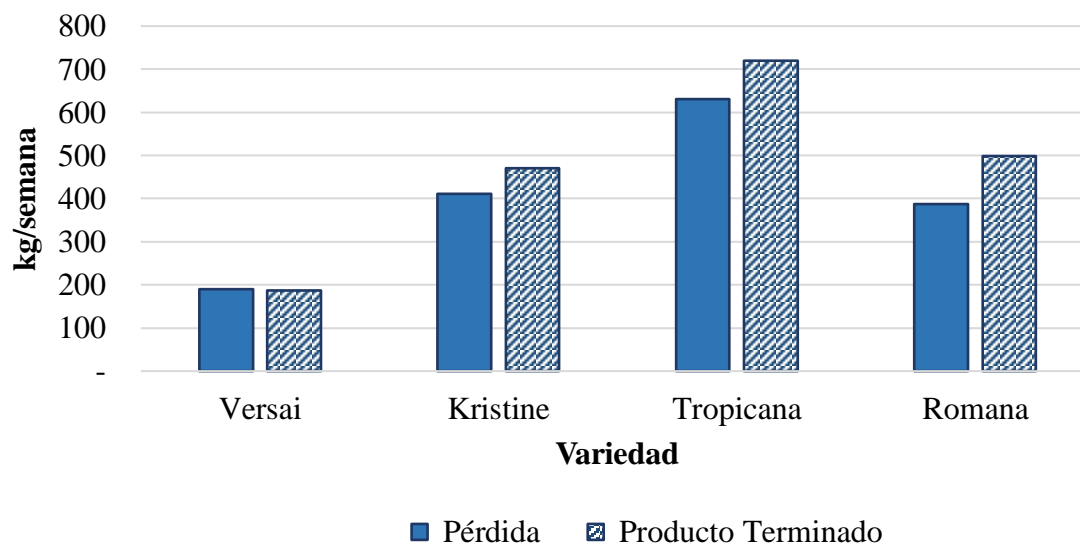


Figura 8. Pérdida de lechuga y producto terminado semanal, planta de poscosecha.

Cuadro 7. Factores asociados a la generación de residuos en la planta de poscosecha

Variedad	Proceso	kg merma/ kg producto terminado	kg merma/ kg entrada
Tropicana	Producto fresco	0.85	0.46
Romana	Producto fresco	0.75	0.43
Kristine	Mínimo proceso	1.02	0.50
Versai	Mínimo proceso	0.87	0.47
Tropicana	Mínimo proceso	1.29	0.56
Romana	Mínimo proceso	1.09	0.52
Total		0.86	0.46

Puesto de ventas y comedor estudiantil. A diferencia de las etapas de cosecha y poscosecha, para el comedor y puesto de ventas no se diferenció por variedades de lechuga. Los productos provenientes de poscosecha son generalmente una mezcla de las variedades, en presentaciones como bolsa de hojas y ensalada mix. Sólo el 2% de la producción de lechuga en poscosecha es distribuida para comercialización y consumo interno. Mediante la cuantificación se determinó una pérdida de 5% para el puesto de venta y 28% para el comedor estudiantil (Figura 9).

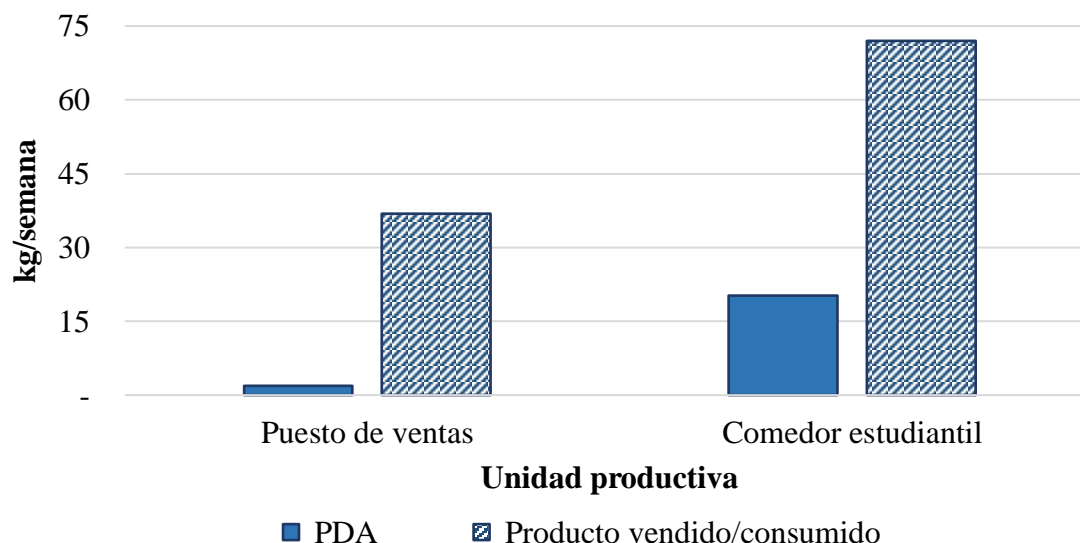


Figura 9. Promedio de PDA semanal del comedor estudiantil y puesto de ventas.

El puesto de ventas recibe los productos de poscosecha por lo general dos veces a la semana y los almacena hasta su exhibición y posterior venta. Durante los muestreos no se reportó pérdida de lechuga en el almacenamiento, sólo durante la exhibición. Los productos se desechan al presentar deterioro visual o alcanzar la fecha de expiración y su peso es registrado por esta unidad. Durante la cuantificación se determinó una pérdida de 1.87 kg lechuga/semana, lo que indica una pérdida de 0.05 kg de lechuga por cada kg que ingresa (Cuadro 8).

Cuadro 8. Promedio semanal de PDA del Puesto de ventas.

Balance	Semana				Promedio Kg/semana	kg merma/ kg entrada
	1	2	3	4		
Merma	-	0.91	1.27	3.45	1.87	0.05
Entrada	34.28	29.24	-	52.79	38.77	
Producto vendido	34.28	27.06		49.34	36.90	

Por otra parte, el comedor estudiantil recibe el producto una vez a la semana y lo almacena para su uso en ocho tiempos de comida. Las pérdidas se registran en el proceso de lavado y selección que se realiza durante la preparación en cocina, y posteriormente el desperdicio correspondiente al rechazo del producto por parte de los estudiantes al momento de su consumo (Cuadro 9). La mayor pérdida se registra en la etapa de lavado y selección del producto.

Cuadro 9. PDA semanal del Comedor estudiantil.

Balance	Tiempo de comida				Promedio kg/ tiempo de comida	Promedio kg/semana	kg merma/ kg entrada
	1	2	3	4			
MS	1.22	1.04	1.41	1.22	1.22	12.25	0.28
MC	-	0.82	0.68	0.91	0.80	8.01	
E	6.75	6.75	8.10	6.75	7.20	72.00	

MS = merma en selección; MC = merma en consumo; E= entrada

El análisis global de la cadena de producción indica que se generan 1.35 kg merma/kg de producto terminado entre las etapas de cosecha y poscosecha. En la distribución del comedor y puesto de ventas, se estima un valor de 0.012 kg merma/kg de producto terminado. La cuantificación obtenida para una semana se presenta en el Cuadro 10.

Cuadro 10. Resumen de entradas y salidas de lechuga, Zamorano.

Unidad productiva	Balance	kg/semana
Olericultura extensiva	Merma	712.30
	Cosecha	2,700.00
	Total	3,412.33
Planta de poscosecha	Merma	1,619.08
	Producto terminado	1,876.80
	Entrada	3,495.88
Puesto de ventas	Merma	1.87
	Producto vendido	36.90
	Entrada	38.77
Comedor estudiantil	Merma	20.26
	Producto consumido	51.74
	Entrada	72.00

Análisis de inventario y su cálculo de kg CO₂ equivalente.

La herramienta FLW estima las emisiones asociadas a la pérdida de lechuga semanal en las diferentes etapas. Este valor fue verificado con el protocolo GHG con un enfoque de ACV parcial asociado a la cadena de valor de la lechuga en Zamorano y los límites descritos.

Calculadora FLW. La herramienta no proporciona información sobre los factores utilizados en la estimación de emisiones. Los datos ingresados fueron: el tipo de producto (lechuga), la región (Latinoamérica) y el peso semanal de PDA en las diferentes etapas evaluadas. Los resultados que proporciona se presentan como impactos por producción agrícola, ciclo de vida y destino de residuos, interpretados como emisiones asociadas por PDA promedio de una semana. El 70% de las emisiones son aportadas por los residuos de poscosecha, seguido por la pérdida en campo con un 29%. La suma de las emisiones en puesto de ventas y el comedor estudiantil representan el 1% (Cuadro 11).

Cuadro 11. Estimación de emisiones mediante la calculadora FReSH® de FLW.

Unidad Productiva	Cantidad (kg/semana)	Impacto (kg CO ₂ eq/semana)			
		Producción agrícola	Ciclo de vida	Destino	Total
Cosecha	712.33	114.20	-	14.94	129.14
Poscosecha	1,619.08	259.57	21.25	33.96	314.78
Puesto de ventas	1.87	0.30	0.47	0.04	0.81
Comedor	20.26	3.25	0.06	0.42	3.73
Total	2,353.54	377.32	21.78	49.36	448.46

Estimación de emisiones de acuerdo con el Protocolo GHG. Para el cálculo de las emisiones asociadas a un producto se aplica el Protocolo GHG que aplica al Análisis de Ciclo de Vida (Protocol G.H.G, 2011). Conforme a lo descrito en la metodología se considera un ACV parcial de acuerdo con los límites descritos en secciones previas. El Cuadro 12 muestra los resultados obtenidos en cada unidad productiva y fuentes generadoras de emisión evaluadas.

Cuadro 12. Emisiones semanales asociadas a la producción de lechuga, Zamorano.

Unidad productiva	Actividad	Unidad	Cantidad	kg CO ₂ eq/sem	Total kg CO ₂ eq/sem
Olericultura extensiva	Residuo	kg/sem	712.33	136.41	368.07
	Fertilizante	kg N/sem	1.25	3.30	
	Combustible	L/sem	46.56	124.38	
	Electricidad	kWh/sem	165.04	103.98	
Planta de poscosecha	Residuos	kg/sem	1,619.07	310.05	4,047.18
	Fugitivos	kg/sem	0.71	2,799.39	
	Biogénicos	kg DQO/sem	40.99	10.25	
	Transporte	Tkm/sem	53.84	25.30	
	Combustible	L/sem	278.43	743.89	
	Electricidad	kWh/sem	251.26	158.30	
	Puesto de ventas	Residuos	kg/sem	1.87	
Transporte		Tkm/sem	0.11	0	
Combustible		L/sem	0.24	0.65	
Electricidad		kWh/sem	2.55	1.6	
Comedor estudiantil	Residuos	kg/sem	20.26	3.88	10.82
	Transporte	Tkm/sem	0.14	0.06	
	Combustible	L/sem	0.66	1.68	
	Electricidad	kWh/sem	8.25	5.2	
Total					4,428.68

La unidad productiva que genera la mayor cantidad de emisiones es la planta de poscosecha, representando el 91% de estas, seguida de olericultura extensiva con el 8% (Cuadro 12). La suma de emisiones generadas por el puesto de ventas y el comedor estudiantil representan el 1% del total. Se hace notar que las emisiones fugitivas provenientes del uso de refrigerantes representan el 69% de las emisiones provenientes de la planta de poscosecha. Con el cálculo de emisiones se determinó que por cada kilogramo de producto terminado se emiten 2.36 kg CO₂eq. Al comparar las emisiones totales obtenidas con el Protocolo FLW, se observa que los valores difieren posiblemente por no considerar aspectos propios de la cadena de valor de Zamorano. Sin embargo, al sumar las emisiones provenientes del proceso de compostaje de todas las mermas se obtiene un valor de 450.70 kg CO₂eq/sem, el cual es similar el resultado obtenido por la calculadora (Cuadro 12).

Otros estudios realizados en Ecuador reportan una emisión de 0.10 kg CO₂eq/kg producto en producción agroecológica y 0.44 kg CO₂eq/kg de producto en producción convencional durante las actividades agrícolas (Loachamín, 2019). Las diferencias entre los resultados pueden deberse a los métodos de producción, cantidad de insumos utilizados y la no consideración de la cadena de frío entre las fuentes emisión.

Priorización de factores.

Se utilizó el diagrama de Sankey para priorizar las unidades productivas que generan mayor cantidad de emisiones. Se utilizó las emisiones semanales asociadas a la PDA provistas por la calculadora FLW para priorizar las unidades de mayor generación. En la Figura 10 se observa que la unidad productiva de mayor aporte de emisiones es la planta de poscosecha, dato relacionado a la PDA.

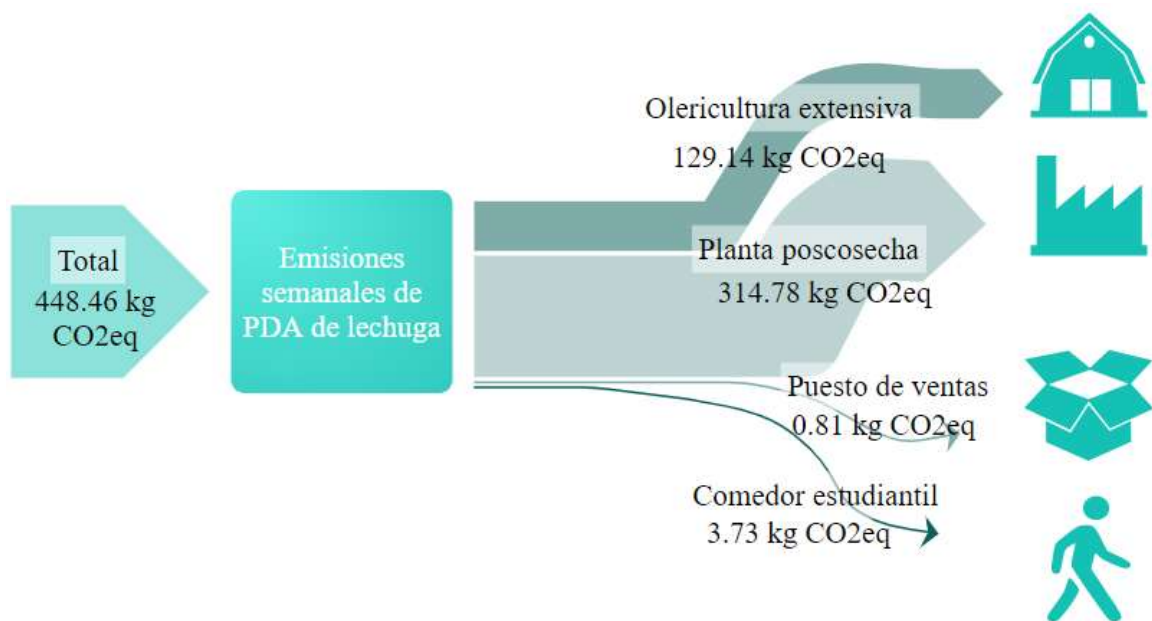


Figura 10. Priorización de emisiones del Protocolo FLW, diagrama de Sankey.

De acuerdo a los resultados obtenidos mediante el protocolo GHG, el mayor aporte de emisiones está asociada al uso de refrigerantes. La segunda fuente de emisión con mayores impactos es el uso de combustibles en las unidades de producción, la cual representa el 19% de las emisiones totales. Por otra parte, la tercera fuente es el compostaje húmedo de los residuos, representado el 13% del total, en donde 85% se de las emisiones asociadas a la PDA se atribuye a la planta de poscosecha y el 49% a olericultura extensiva. Como se demuestral en la Figura 11, las mayores emisiones se asocian a la planta de poscosecha.

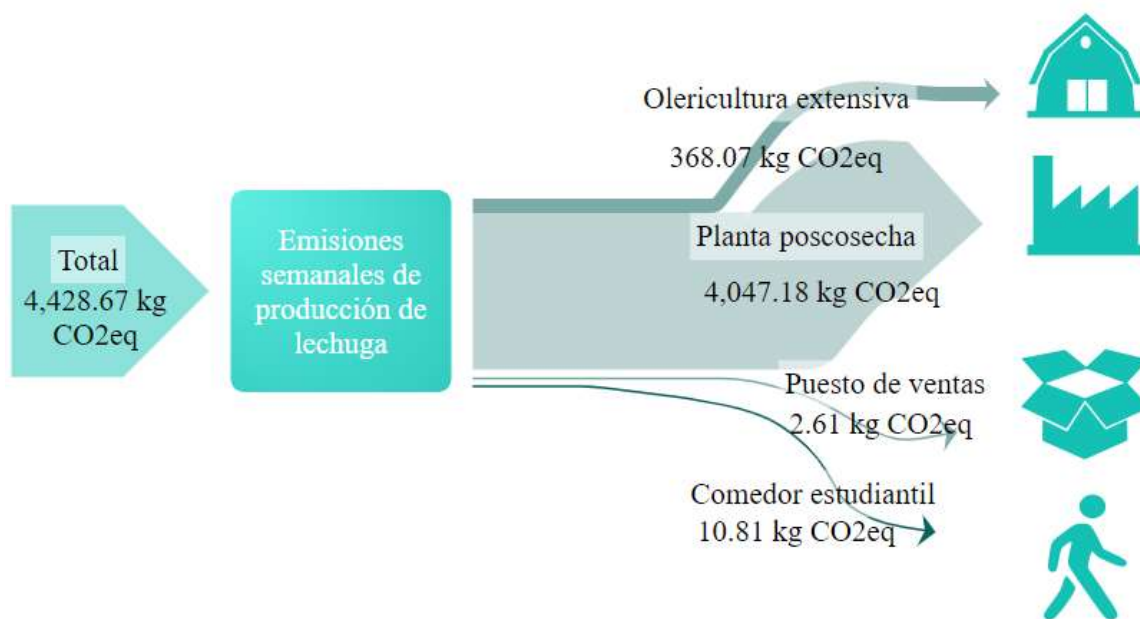


Figura 11. Priorización de emisiones del Protocolo GHG, diagrama de Sankey.

A partir de los resultados obtenidos, se realizó un análisis de Causa – Efecto para las unidades de olericultura extensiva y poscosecha, utilizando el diagrama de Ishikawa como herramienta de análisis (Figuras 12 y 13). El puesto de ventas y comedor estudiantil no se consideraron por su bajo aporte en comparación a las otras unidades productivas.

En los países desarrollados las pérdidas de alimento se producen principalmente durante la comercialización y consumo, a diferencia de los países en vías de desarrollo que reportan las mayores PDA durante la producción, cosecha, poscosecha y fases de procesamiento. Según Prusky (2011) lo anterior se debe a la infraestructura pobre, tecnología limitada y baja inversión en sistemas de producción. Otro factor que promueve la generación de residuos son el manejo inapropiado de prácticas agrícolas, como el riego y la fertilización.

Los factores ambientales como el tipo de suelo, la temperatura, la temporada y el clima lluvioso en la cosecha pueden tener efectos adversos en la vida útil y la calidad del almacenamiento (Prusky, 2011). Durante cosecha, el cultivo es susceptible a generar residuos debido al clima cálido en el que se produce por ser una hortaliza de clima frío. En

los trópicos, el desarrollo óptimo se da con temperaturas moderadas con variedades que soportan altas temperaturas, la lechuga es susceptible a pérdidas en climas cálidos.

Durante los muestreos realizados en olericultura extensiva, se observó que el cultivo después de ser cosechado queda a la intemperie bajo el sol, además de que el camión que traslada la lechuga cosechada carece de refrigeración. Lo ideal es poner a la sombra el producto cosechado o tapar las cestas, realizar la cosecha durante el día en las horas más frescas y transporte frío, ya que los rayos solares y la alta temperatura reducen la vida útil (Gómez, Vásquez, Rodríguez, & Posas, 2011). Además, los cultivos cosechados durante periodos de lluvia sufren una mayor pérdida de producto, principalmente en vegetales de hoja quebradiza aumenta la tendencia a descomposición (Prusky, 2011).

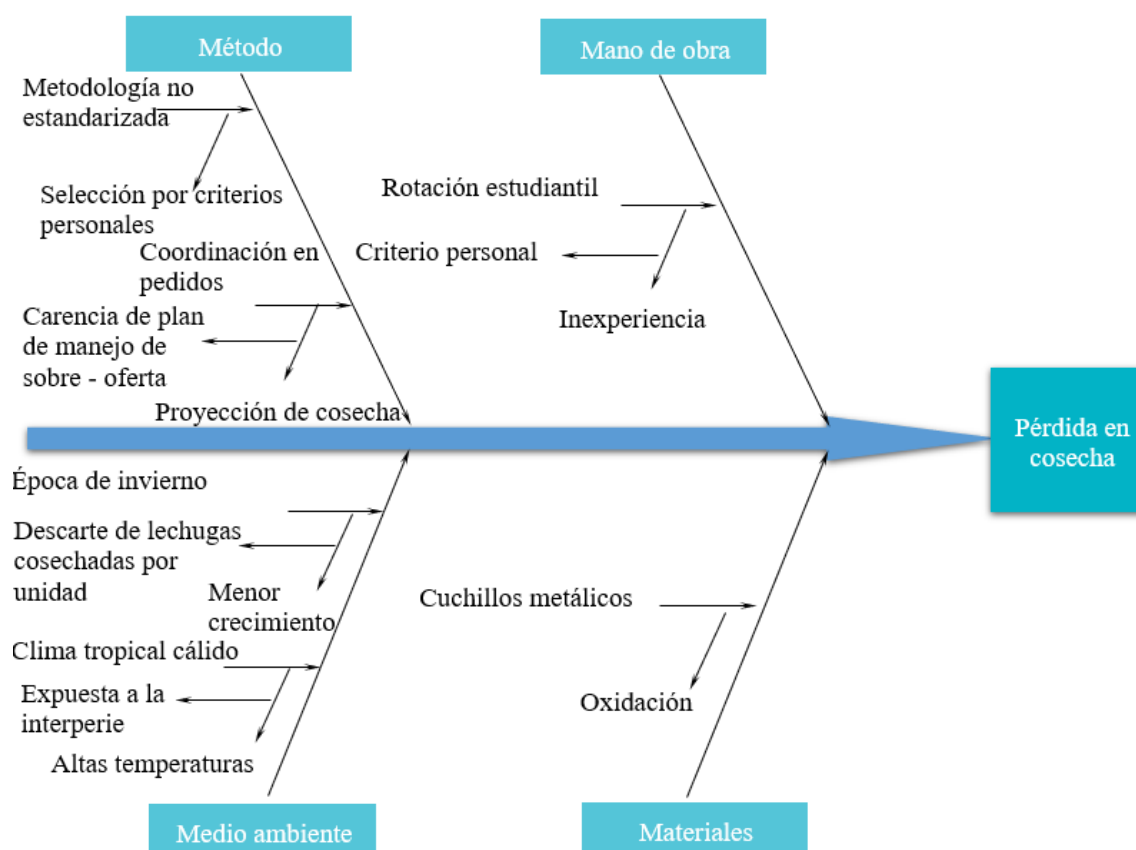


Figura 12. Diagrama de Ishikawa sobre pérdida de lechuga en cosecha.

La planificación de siembra y cosecha se realiza de acuerdo los pedidos realizados por la planta de poscosecha. Con el propósito de tener siempre producto disponible, la planificación es ajustada a factores, lo que genera una mayor oferta que demanda en temporadas. Se identificó en campo que la petición de productos puede cambiar al momento de cosecha, lo cual afecta la validez de la proyección utilizada. Se observaron áreas del cultivo que nunca fueron cosechadas, por lo que se pierden en campo y no existe un plan de manejo para la sobre-oferta.

El principal problema observado en la planta de poscosecha fue con respecto a la mano de obra y la metodología de selección (Figura 13). La rotación estudiantil y de personal en este proceso, así como la metodología sugieren diferentes criterios de selección. La línea de productos de mínimo proceso tienen dos etapas de selección, lo cual implica mayores pérdidas de lechuga, además de que se descarta el tallo.

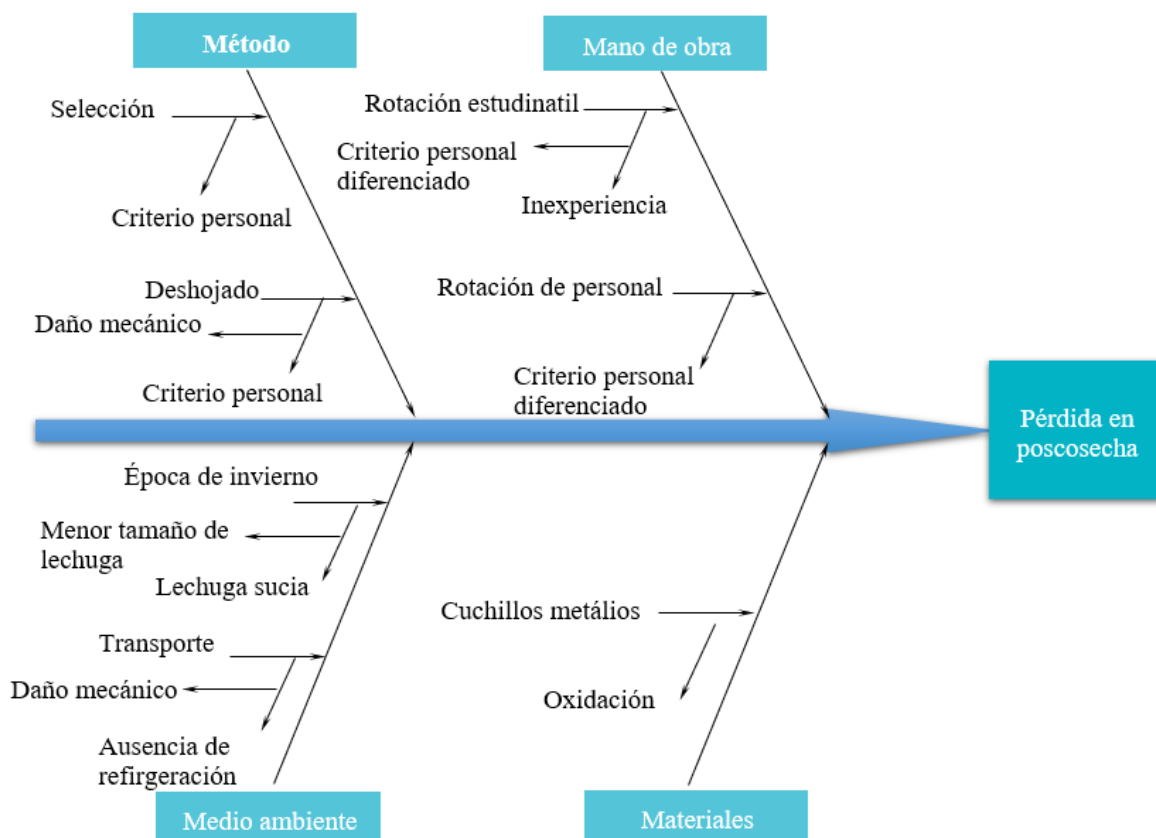


Figura 13. Diagrama de Ishikawa sobre pérdida de lechuga en poscosecha.

Un cambio de metodología de selección podría reducir la PDA por la diferencia de criterios utilizada. La creación de un producto enfocado a consumidores con exigencias de menores estándares de calidad puede ser una estrategia para la minimización de residuos. Por otra parte, los materiales utilizados para el procesamiento, como cuchillos metálicos, pueden contribuir en el deterioro del producto. Utilizar cuchillos plásticos afilados evitan el oscurecimiento por oxidación, facilitando su desinfección constante (Gómez, et.al, 2011).

La reducción de la PDA en la cadena de producción sugiere un descenso en la emisión de GEI a la atmósfera. El manejo de residuos puede evitar emisiones derivadas de su descomposición, tal como las emisiones generadas por el compostaje anaerobio de la PDA de lechuga (Frohmann & Olmos, 2013). Cuando los residuos de lechuga no pueden reducirse más, una estrategia para disminuir las emisiones es cambiar el destino de la PDA, el uso de residuos para alimentación animal tiene un impacto menor que el compostaje aerobio y la codigestión (FLW, 2016).

4. CONCLUSIONES

- La Planta de Poscosecha es la unidad productiva que genera la mayor cantidad de residuos durante la cadena de producción interna de lechuga, seguida por la Unidad de Olericultura Extensiva. Esta pérdida de producto está asociado a criterios en la selección y deshojado aplicados para la cosecha y poscosecha. La variabilidad en los pedidos de producto dificulta la coordinación entre los procesos de planificación de siembra y cosecha, derivando en una oferta superior a la demanda de producto en temporadas específicas y mayores pérdidas de producto en campo
- De acuerdo con la estimación de emisiones de GEI la planta de poscosecha es el punto crítico identificado en la cadena de valor, seguido de la unidad de olericultura extensiva. La fuente de mayor aporte de emisiones de GEI a lo largo de la cadena de producción es el refrigerante utilizado para el mantenimiento de cuartos fríos, seguido del uso de combustibles y la PDA.
- Los resultados de emisiones obtenidos con la calculadora FLW son comparables a los obtenidos para las emisiones por compostaje asociadas a la PDA estimadas mediante el protocolo GHG, indicando la limitada aplicabilidad de la herramienta para procesos o la estimación del aporte de emisiones asociado al producto durante su cadena de producción

5. RECOMENDACIONES

- Analizar la PDA anual de lechuga durante toda la cadena de producción, verificando las variaciones en los pedidos y pérdidas en campo, incluyendo la siembra en ornamentales, el trasplante en campo e incluso la distribución externa de producto final para completar las etapas de la cadena de valor.
- Analizar el impacto ambiental que tiene la PDA de lechuga mediante el indicador de consumo de agua, evaluando la demanda de este recurso en las diferentes etapas de la cadena de producción.
- Implementar una planificación de siembra que reduzca las pérdidas durante la cosecha, en adición a la inclusión de alternativas para aprovechar el recurso o excedente por sobre oferta en la etapa de cosecha.
- Realizar un análisis costo beneficio de la implementación de recomendaciones realizadas para la reducción de PDA, tales como infraestructura adecuada, implementación de buenas prácticas agrícolas y alternativas al uso de residuos.
- Implementar buenas prácticas agrícolas para reducir la cantidad de PDA generadas durante la cadena de producción. Métodos alternativos para el tratamiento de los residuos pueden reducir las emisiones generadas por el compostaje
- Evaluar el cambio del refrigerante debido a su alto potencial de calentamiento global por una alternativa de menor impacto y aporten en emisiones de GEI, como el gas refrigerante HCFC 123 con un potencial de calentamiento global de 79 kg CO_{2eq}.

6. LITERATURA CITADA

- Agustín, E., Goodwin, L., Lipinski, B., Leous, J. P., & Robertson, K. (2017). *Compañía Kellog: desperdicio de alimentos en las operaciones globales de fabricación*. Food Loos and Waste.
- Departamento IAD. (2019). Plan Manejo de Aguas Zamorano. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana Zamorano.
- Eguillor, P. R. (2017). *Pérdida y desperdicios de alimentos*. Chile: Oficina de estudios y políticas agrarias.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2016). *Pérdida y desperdicio de alimentos en América Latina y el Caribe*.
- Food Loss and Waste. (2016). *Estándar de Contabilización y Reporte Sobre Pérdida y Desperdicio de Alimentos*. Recuperado de: <https://www.flwprotocol.org/about-flw-protocol/>
- Frohmann, A., & Olmos, X. (2013). *Huella de carbono, exportaciones y estrategias empresariales frente al cambio climático*. Santiago de Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe - Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo. Naciones Unidas.
- Göbel, C., Langen, N., Blumenthal, A., Teitscheid, P., & Ritter, G. (2015). Cutting Food Waste through Cooperation along the Food Supply Chain. *Sustainability*.
- Gómez, D., Vásquez, M., Rodríguez, I., y Posas, F. (2011). *Producción orgánica de hortalizas en climas templados: Postcosecha*. Gobierno de Honduras. Tegucigalpa, Honduras: PYMERURAL, PRONAGRO y Cooperación Suiza en América Central. Recuperado de: <http://colprocah.com/wp-content/uploads/2011/07/postcosecha.pdf>
- Grupo de alto nivel de expertos en seguridad alimentaria y nutrición. (2014). *Las pérdidas y el desperdicio de alimentos en el contexto de sistemas alimentarios sostenibles*. Roma: Comité de Seguridad Alimentaria Mundial.
- Hodges, R. J., Buzby, J. C., & Bennett, B. (2010). *Postharvest losses and waste in developed and less developed countries: opportunities to improve resource use*. United Kingdom: University of Greenwich. United States Department of Agriculture. Journal of Agricultural Science - Cambridge University Press.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2006). *Biological treatment of solid waste*. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 5(4), 6.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2013). *Emissions of fluorinated substitutes for ozone depleting substances*. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 3(7), 44.

- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2013). *Mobile combustion*. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 2(3), 16-43.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2006). *N2O emissions from managed soils, and CO2 emissions from lime and urea application*. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 4(11), 11.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2006). *Stationary combustion* IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 2(2), 17 - 23.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2006). *Wastewater treatment and discharge*. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 5(6), 12.
- Landaverde, A. (2018). *Potencial energético de la biomasa residual de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano (Tesis de pregrado)*. Zamorano, Honduras: Escuela Agrícola Panamericana.
- Loachamín, E. (2019). *Estimación del impacto ambiental basado en el análisis de ciclo de vida de la fase agrícola de la cadena agroalimentaria convencional y agroecológica de la elchuga (Lactusa sativa) en el cantón Cayambe*. Quito, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito.
- Naciones Unidas. (2019). *Factor de emisión energético en Honduras*. Honduras: Empresa Nacional de Energía Eléctrica
- Protocol G.H.G. (2011). *Product life cycle accounting and reporting standard*. World Business Council for Sustainable Development and World Resource Institute.
- Prusky, D. (2011). *Reduction of the incidence of postharvest quality losses, and future prospects*. Springer Science+Business Media B.V. e International Society for Plant Pathology.
- Saavedra, G., Corradini, F., Antúnes, A., Felmer, S., Estay, P., & Sepúlveda, P. (2017). *Manual de producción de lechuga*. Santiago de Chile, Chile: Instituto de Desarrollo Agropecuario - Instituto de Investigaciones Agropecuarias.
- Viteri, M., Ghezán, G., & Iglesias, D. (2013). *Tomate y lechuga: producción, comercialización y consumo*. Buenos Aires, Argentina: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.

7. ANEXOS

Anexo 1. Etapa de lavado en la planta de poscosecha



Anexo 2. Etapa de cosecha en la unidad de olericultura extensiva



Anexo 3. Pudrición de lechuga en el puesto de ventas



