



Titulo

Modelo logístico integral para recolección de envases y empaques vacíos de plaguicidas en el
departamento de Boyacá - Colombia

Julián David Silva Rodríguez

Doctorado en Ingeniería de Procesos
Facultad de Ingeniería, Universidad EAN

Director de Tesis

Pablo Cesar Ocampo Vélez

Junio de 2024

Dedicatoria

A mi esposa quien con su apoyo incondicional hizo que este proceso formativo fuera un éxito. A mis hijos María José y Samuel quien son mi vida y por quienes vale la pena cada uno de mis proyectos. A mis padres, hermana y demás familiares que siempre han creído en mi potencial profesional. A mi director de tesis quien sin su guía y colaboración no hubiera sido posible el desarrollo de esta tesis doctoral. Mil gracias a todas las personas que siempre me apoyan y creen en mí. Para todos ellos hago esta dedicatoria.

Contenido

	Pág.
1. Introducción.....	21
1.1. Justificación	26
1.2. Sector agrícola	28
1.2.1. Sector agrícola a nivel mundial.....	28
1.2.2. Sector agrícola a nivel nacional	32
1.3. Problemas y desafíos.....	37
1.4. Pregunta de investigación.....	43
2. Objetivos.....	44
2.1. Objetivo general	44
2.2. Objetivos específicos	44
3. Estructura de Tesis	45
4. Marco teórico y estado del arte	46
4.1. Marco teorico.....	46
4.1.1. Logística y supply chain management	46
4.1.2. Logística inversa	49
4.2. Estado del arte	54
4.2.1. Diseño de redes de LI.....	76
5. Metodología de investigación.....	78
5.1. Hipótesis... ..	78
5.2. Tipo y nivel de la investigación.....	78

Modelo logístico integral para recolección de envases y empaques vacíos de plaguicidas	4
5.3. Diseño de la investigación.....	81
5.3.1. Población y muestra	81
5.3.2. Realización del instrumento	84
5.3.3. Descripción del instrumento.....	85
5.4. Técnicas de procesamiento y análisis de datos	85
5.4.1. Validez del instrumento (contenido, criterio, constructo).....	86
5.4.2. Medición del instrumento “Encuesta”.....	86
6. Componentes modelo logística inversa	88
6.1. Factor transporte	89
6.1.1. Control de acceso	89
6.1.2. Sistemas de Información Logística Inversa	92
6.2. Factor almacenaje	95
6.2.1. Tiempos de ciclo de disposición	95
6.2.2. Centros de retorno centralizados	96
6.3. Factor disposición final.....	98
6.3.1. Retorno cero	99
6.3.2. Remanufactura y Reacondicionamiento	100
6.3.3. Recuperación de activos.....	102
6.4. Factor satisfacción del cliente.....	104
6.4.1. Negociación.....	105
6.4.2. Gestión Financiera	106
6.4.3. Subcontratación.....	107

6.4.4. Gestión de las relaciones de las partes interesadas	108
7. Análisis de resultados	113
7.1. Análisis modelo fabricantes y/o importadores.....	117
7.1.1. Factor 1 – Fabricantes y/o importadores	125
7.1.2. Factor 2 – Fabricantes y/o importadores	127
7.1.3. Factor 3 – Fabricantes y/o importadores	128
7.1.4. Factor 4 – Fabricantes y/o importadores	133
7.1.5. Índice total – Fabricantes y/o importadores	137
7.2. Análisis modelo comercializadores	145
7.2.1. Factor 1 – Comercializadores.....	153
7.2.2. Factor 2 – Comercializadores.....	154
7.2.3. Factor 3 – Comercializadores.....	155
7.2.4. Factor 4 – Comercializadores.....	158
7.2.5. Índice total – comercializadores.....	162
7.3. Análisis modelo agricultores.....	169
7.3.1. Factor 1 – agricultores.....	178
7.3.2. Factor 2 – Agricultores.....	179
7.3.3. Factor 3 – agricultores.....	180
7.3.4. Factor 4 – agricultores.....	183
7.3.5. Índice Total – agricultores	187
7.4. Análisis modelo proceso de LI.....	192
7.4.1. Factor 1 – modelo general.....	200
7.4.2. Factor 2 – modelo general.....	201

7.4.3. Factor 3 – modelo general.....	202
7.4.4. Factor 4 – modelo general.....	205
7.4.5. Índice total – modelo general.....	208
8. Validación y ajuste al modelo propuesto	219
8.1. Validación agricultores	219
8.2. Validación comercializadores	223
8.3. Validación fabricantes y/o importadores	226
8.4. Validación modelo general	230
9. Conclusiones, recomendaciones, aportes y líneas	233
9.1. Conclusiones.....	233
9.2. Futuras líneas de investigación	236
10. Referencias.....	237

Listado de figuras

	Pág.
Figura 1. Área cosechada y producción agrícola a nivel mundial	29
Figura 2. Rendimiento Agrícola a nivel mundial (Ton/Ha).....	30
Figura 3. Pirámide Poblacional de los productores agropecuarios	34
Figura 4. Participación UPA por departamento	36
Figura 5. Problema de investigación	42
Figura 6. Proceso de gestión logística.....	49
Figura 7. Red bibliométrica Palabras clave con línea de tiempo	55
Figura 8. Red bibliométrica Autores LI.....	56
Figura 9. Índice h e Índice i10 autores LI.....	60
Figura 10. Autores LI – Scopus	61
Figura 11. Índice h e Índice i10 autores LI.....	62
Figura 12. Autores LI con enfoque cuantitativo	63
Figura 13. Países de LI con enfoque cuantitativo	64
Figura 14. Fases metodológicas	79
Figura 15. Factores utilizados en el modelo logístico.....	111
Figura 16. Modelo propuesto de Logística Inversa para la gestión de residuos y/o productos fuera de uso	112
Figura 17. Modelo de correlación de variables por factor para proceso de LI	115
Figura 18. Ubicación geográfica fabricantes y/o importadores de plaguicidas	118
Figura 19. Distribución edades fabricantes y/o importadores	119
Figura 20. Nivel de educación – fabricantes y/o importadores	120

Figura 21. Gráficas correlaciones variables fabricantes y/o importadores	122
Figura 22. Circulo de correlaciones variables Factor 3 – Fabricantes y/o importadores.....	132
Figura 23. Circulo de correlaciones variables factor 4 – fabricantes y/o importadores	137
Figura 24. Gráficas correlaciones factores fabricantes y/o importadores.....	138
Figura 25. Circulo de correlaciones factores – fabricantes y/o importadores	143
Figura 26. Cluster – fabricantes y/o importadores.....	145
Figura 27. Ubicación geográfica comercializadores de plaguicidas.....	147
Figura 28. Distribución edades fabricantes y/o importadores	148
Figura 29. Nivel de educación – comercializadores	149
Figura 30. Gráficas correlaciones variables comercializadores	150
Figura 31. Circulo de correlaciones variables factor 3 – comercializadores	158
Figura 32. Circulo de correlaciones variables factor 4 – comercializadores	161
Figura 33. Gráficas correlaciones factores fabricantes y/o importadores.....	163
Figura 34. Circulo de correlaciones factores – comercializadores	167
Figura 35. Cluster – comercializadores	168
Figura 36. Área sembrada y cosechada Departamento de Boyacá 2019-2022.....	169
Figura 37. Área sembrada y cosechada Departamento de Boyacá 2019-2022.....	170
Figura 38. Distribución edades agricultores	172
Figura 39. Nivel de educación – agricultores	173
Figura 40. Gráficas correlaciones variables agricultores.....	175
Figura 41. Circulo de correlaciones variables factor 3 – agricultores	183
Figura 42. Circulo de correlaciones variables factor 4 – agricultores	186
Figura 43. Gráficas correlaciones factores Agricultores.....	188

Figura 44. Circulo de correlaciones factores – agricultores	192
Figura 45. Diagrama del proceso de recolección y disposición final de envases y empaques vacíos de plaguicidas	194
Figura 46. Gráficas correlaciones variables modelo general	197
Figura 47. Circulo de correlaciones variables factor 3 – modelo general	205
Figura 48. Circulo de correlaciones variables factor 4 – modelo general	208
Figura 49. Gráficas correlaciones factores modelo general.....	209
Figura 50. Circulo de correlaciones factores – modelo general.....	213

Listado de tablas

	Pág.
Tabla 1. Productos agrícolas con mayor producción a nivel mundial	31
Tabla 2. Productos Agrícolas con mayor producción en America del Sur.....	31
Tabla 3. Participación de la UPA según condición jurídica del productor.....	35
Tabla 4. Producción agrícola nacional.....	37
Tabla 5. Actividades de la logística inversa.....	51
Tabla 6. Autores con más publicaciones en LI.....	57
Tabla 7. Autores con más citaciones en LI.....	59
Tabla 8. Herramientas matemáticas en investigaciones de LI.....	68
Tabla 9. Muestreo estratificado comercializadores	82
Tabla 10. Factores y variables del modelo de LI.....	115
Tabla 11. Coeficientes de Pearson variables fabricantes y/o importadores.....	123
Tabla 12. P-values bilaterales variables fabricantes y/o importadores	124
Tabla 13. Variables factor 1	125
Tabla 14. Variables factor 2	127
Tabla 15. Variables factor 3	129
Tabla 16. Valores propios factor 3 – fabricantes y/o importadores.....	130
Tabla 17. Contribuciones variables factor 3 – fabricantes y/o importadores	130
Tabla 18. Variables factor 4.....	133
Tabla 19. Valores propios factor 4 – fabricantes y/o importadores	134
Tabla 20. Contribuciones variables factor 4 – fabricantes y/o importadores	135
Tabla 21. Coeficientes de Pearson factores fabricantes y/o importadores.....	139

Modelo logístico integral para recolección de envases y empaques vacíos de plaguicidas	11
Tabla 22. P-values bilaterales factores fabricantes y/o importadores.....	140
Tabla 23. Valores propios índice total – fabricantes y/o importadores	140
Tabla 24. Contribuciones factores – fabricantes y/o importadores.....	141
Tabla 25. Coeficientes de Pearson variables comercializadores	151
Tabla 26. P-values bilaterales variables comercializadores.....	152
Tabla 27. Valores propios factor 3 – comercializadores.....	155
Tabla 28. Contribuciones variables factor 3 – comercializadores	156
Tabla 29. Valores propios factor 4 – comercializadores	159
Tabla 30. Contribuciones variables factor 4 – comercializadores	159
Tabla 31. Coeficientes de Pearson factores comercializadores	163
Tabla 32. P-values bilaterales factores comercializadores	164
Tabla 33. Valores propios índice total – comercializadores	165
Tabla 34. Contribuciones factores – comercializadores	165
Tabla 35. Producción agrícola departamento de Boyacá - 2022	171
Tabla 36. Coeficientes de Pearson variables agricultores.....	176
Tabla 37. P-values bilaterales variables agricultores.....	177
Tabla 38. Valores propios factor 3 – agricultores.....	180
Tabla 39. Contribuciones variables factor 3 – agricultores	181
Tabla 40. Valores propios factor 4 – agricultores.....	184
Tabla 41. Contribuciones variables factor 4 – agricultores	184
Tabla 42. Coeficientes de Pearson factores agricultores	188
Tabla 43. P-values bilaterales factores agricultores.....	189
Tabla 44. Valores propios índice total – agricultores	190

Tabla 45. Contribuciones factores – agricultores	190
Tabla 46. Coeficientes de Pearson variables modelo general.....	198
Tabla 47. P-values bilaterales variables modelo general.....	199
Tabla 48. Valores propios factor 3 – modelo general.....	202
Tabla 49. Contribuciones variables factor 3 – agricultores	203
Tabla 50. Valores propios factor 4 – modelo general.....	206
Tabla 51. Contribuciones variables factor 4 – modelo general	206
Tabla 52. Coeficientes de Pearson factores agricultores	210
Tabla 53. P-values bilaterales factores modelo general.....	211
Tabla 54. Valores propios índice total – modelo general	211
Tabla 55. Contribuciones factores – modelo general.....	212
Tabla 56. Datos de validación agricultores.....	220
Tabla 57. Datos del modelo generado – agricultores.....	223
Tabla 58. Datos de validación comercializadores.....	224
Tabla 59. Datos del modelo generado – comercializadores	226
Tabla 60. Datos de validación fabricantes	227
Tabla 61. Datos del modelo generado – fabricantes	229
Tabla 62. Datos de validación modelo general.....	230
Tabla 63. Datos del modelo generado – modelo general.....	231

Listado de ecuaciones

	Pág.
Ecuación 1. Factor 1 – fabricantes y/o importadores.....	126
Ecuación 2. Factor 2 – fabricantes y/o importadores.....	128
Ecuación 3. Factor 3 – fabricantes y/o importadores.....	131
Ecuación 4. Factor 4 – fabricantes y/o importadores.....	135
Ecuación 5. Índice total – fabricantes y/o importadores.....	141
Ecuación 6. Factor 1 – comercializadores	153
Ecuación 7. Factor 2 – comercializadores	154
Ecuación 8. Factor 3 – comercializadores	156
Ecuación 9. Factor 4 – comercializadores	160
Ecuación 10. Índice total – comercializadores	166
Ecuación 11. Factor 1 – agricultores.....	178
Ecuación 12. Factor 2 – agricultores.....	179
Ecuación 13. Factor 3 – agricultores.....	181
Ecuación 14. Factor 4 – agricultores.....	185
Ecuación 15. Índice total – agricultores.....	191
Ecuación 16. Factor 1 – modelo general.....	200
Ecuación 17. Factor 2 – modelo general.....	201
Ecuación 18. Factor 3 – modelo general.....	203
Ecuación 19. Factor 4 – modelo general.....	207
Ecuación 20. Índice total – agricultores.....	212

Listado de anexos

	Pág.
Anexo 1. Encuesta actores de participación	253
Anexo 2. Resultados validación modelo.....	254

Resumen

En los últimos años Colombia ha presentado un aumento en la generación de residuos y desechos resultantes de la producción, preparación y utilización de plaguicidas. De acuerdo a datos del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en los últimos tres años se ha visto un aumento de al menos 20% entre cada año en la generación de residuos, esta cantidad no resultaría extraña si se considera que la producción de la actividad agrícola también refleja un crecimiento, sin embargo; al realizar un análisis de estos datos se identificó que no debería seguir esta misma tendencia, debido a que el número de intoxicaciones por plaguicida aumento un 16% con respecto al año anterior de haberse aplicado el Plan de acción. (Instituto Nacional de Salud, 2023).

En consecuencia, actualmente en el departamento de Boyacá se viene desarrollando un proceso de Logística Inversa (LI) para la recolección y disposición final de los envases y empaques vacíos de plaguicidas, el cual se realiza en su mayoría de forma empírica, presentando algunos problemas inicialmente en la forma incorrecta en la que los agricultores están realizando la entrega de los residuos de plaguicidas, ocasionando que dichos residuos no puedan ser reciclados y generar un beneficio social. Igualmente, se evidencia que la capacidad de los centros de acopio excede su límite frente a la cantidad de residuos que se generan en el departamento y así mismo no se dan las condiciones para el correcto almacenamiento de los mismo. Por otra parte, se evidencia la falta de apoyo y participación por parte de entidades gubernamentales y ambientales a fin de colaborar para que cada uno de los participantes cumplan con sus responsabilidades.

Teniendo en cuenta lo anterior, el proyecto de investigación tuvo como objetivo principal desarrollar un modelo logístico integral para la recolección de envases y empaques vacíos de

plaguicidas en el departamento de Boyacá. Se contó con la participación de 220 actores de participación entre Agricultores, Comercializadores y Fabricantes y/o Importadores, los cuales diligenciaron el instrumento de medida diseñado para esta investigación, durante el periodo de enero a abril de 2024. El proceso de investigación realizado fue cuantitativo descriptivo-correlacional, que utilizando la técnica estadística denominada análisis de componentes principales (ACP) apporto alcumplimiento del objetivo del proyecto.

Igualmente, la propuesta de investigación enfocada en el modelo integral de logística inversa, logró evidenciar la relevancia de incluir la teoría sobre LI para la gestión de residuos o productos al final de su vida útil expuesta por Rogers y Tibben-Lembke (1999) y siguiendo los conceptos básicos de Aryee & Adaku (2024), Fleischmann et al., (2004), Srivastava (2008) y Stock (1992), autores que exponen la teoría frente al diseño de procesos de LI, identificando las características que deben tener estos procesos dentro de las empresas y de qué forma se deben diseñar programas o estrategias orientadas a la correcta gestión de residuos o productos fuera de uso o al final de su vida útil.

Dentro de los resultados se pudo resaltar inicialmente que para los Fabricantes y/o Importadores son los que tienen una mayor valoración del proceso de LI, puesto que son ellos en parte quienes organizan dicho proceso por medio de la empresa intermediadora encargada de las jornadas de recolección. Por el contrario, para los Agricultores el proceso de LI tiene una menor valoración, debido a que ellos son los que perciben de forma directa el proceso de recolección y disposición final de los residuos de plaguicidas, considerando que dicho proceso posee algunas falencias o aspectos por mejorar sobre todo en el control de las condiciones de entrega de los residuos y la participación de los entes gubernamentales o ambientales para el apoyo al proceso.

En el modelo general de LI, el factor de Almacenaje es uno de los que mayor incidencia tiene, debido a que los actores consideran que la capacidad del centro de acopio y la forma como se almacenan los residuos es un aspecto importante para el éxito del proceso. De las variables analizadas e incluidas en el modelo general se observó que la mayor correlación se da entre la variable control de acceso y los sistemas de información en LI, lo que evidencia que para los actores las condiciones de entrega correcta de los residuos de plaguicidas dependerán significativamente de los sistemas de información y comunicación que se implementen en el proceso.

Palabras clave: modelo logístico, logística inversa, gestión de residuos, empaques y envases de plaguicidas, disposición final, rendimiento.

Abstract

In recent years, Colombia has seen an increase in the generation of residues and waste resulting from the production, preparation and use of pesticides. According to data from the Ministry of Environment and Sustainable Development, in the last three years there has been an increase of at least 20% between each year in the generation of waste. This amount would not be strange if one considers that the production of agricultural activity It also reflects growth, however; When analyzing this data, it was identified that this same trend should not continue, because the number of pesticide poisonings increased by 16% compared to the previous year after the Action Plan was applied (Instituto Nacional de Salud, 2023).

Currently, in the department of Boyacá, a Reverse Logistics (LI) process is being developed for the collection and final disposal of empty pesticide containers and packaging, which is mostly carried out empirically, initially presenting some problems in the form incorrect in which farmers are delivering pesticide waste, causing said waste to not be recycled and generate a social benefit. Likewise, it is evident that the capacity of the collection centers is not sufficient for the amount of waste generated in the department and likewise the conditions for its correct storage are not met. On the other hand, the lack of support and participation from government and environmental entities is evident in order to collaborate so that each of the participants fulfills their responsibilities.

The main objective of the research project was to develop a comprehensive logistics model for the collection of empty pesticide containers and packaging in the department of Boyacá. There was the participation of 220 participation actors among Farmers, Marketers and Manufacturers and/or Importers, who filled out the measurement instrument designed for this research, during the period from January to April 2024. The research process carried out was

quantitative. descriptive-correlational, which using the statistical technique called principal component analysis (PCA) contributes to the fulfillment of the project objective

The research proposal focused on the comprehensive reverse logistics model managed to demonstrate the relevance of including the theory on LI for the management of waste or products at the end of their useful life presented by Rogers y Tibben-Lembke (1999) and following the concepts basics of Fleischmann et al., (2004), Srivastava (2008) and Stock (1992), authors who present the theory regarding the design of LI processes, identifying the characteristics that these processes must have within of companies and how programs or strategies should be designed aimed at the correct management of waste or products out of use or at the end of their useful life.

Within the results, it can be initially highlighted that for the Manufacturers and/or Importers they are the ones who have a higher value of the LI process, since they are the ones who organize said process through the intermediary company in charge of the collection days. On the contrary, for Farmers the LI process has a lower value, because they are the ones who directly perceive the process of collection and final disposal of pesticide residues, considering that said process has some shortcomings or aspects due to improve, especially in the control of the conditions of waste delivery and the participation of government or environmental entities to support the process.

In the general LI model, the Storage factor is one of the factors that has the greatest impact, because the actors consider that the capacity of the collection center and the way the waste is stored is an important aspect for the success of the process. Of the variables analyzed and included in the general model, it was observed that the greatest correlation occurs between the access control variable and the information systems in LI, which shows that for the actors the

conditions of correct delivery of pesticide residues will depend significantly of the information and communication systems that are implemented in the process.

Keywords: logistics model, reverse logistics, waste management, pesticide packaging and containers, final disposal, performance.

1. Introducción

En la actualidad, existe un crecimiento en la importancia y atención que las empresas le han dado a la recuperación de productos o materiales de los clientes, ya sea para recuperar valor o como servicios postventa. Butt & Govindan (2024) afirman que la Logística Inversa (LI) forma parte y se convierte en parte fundamental de la cadena de suministro inversa, donde el papel que juegan los fabricantes o productores es importante, diseñando e implementando procesos para el reciclaje y/o reutilización de productos o materiales.

En consecuencia, los investigadores comenzaron a centrar sus esfuerzos en el diseño de sistemas de LI, para atacar los problemas relacionados con el mal manejo y tratamiento de los productos al final de su vida útil. Una de las primeras aplicaciones del diseño de sistemas LI estuvo relacionada con el control y la buena gestión de materiales peligrosos. Así, autores como Sumrit & Keeratibhubordee (2025), He, Li, Wu & Han (2024), Lin, Li, Zhao, Chen & Wang (2023), Eren & Tuzkaya (2021), Govindan, Nasr, Mostafazadeh & Mina (2021) y Wang, Cevik, Amin & Parsaee (2021), realizaron investigaciones para estudiar redes específicas de logística inversa para residuos nocivos como los residuos hospitalarios, las baterías de litio y los residuos domésticos peligrosos, desarrollando modelos de Programación Lineal Entera Mixta (MILP) para determinar las cantidades a transportar y las rutas óptimas a generar para la gestión de dichos residuos.

De igual forma, varios autores han enfocado sus esfuerzos en diseñar redes de logística inversa para productos al final de su vida útil, como por ejemplo He, Li, Lin, Fan, Wu & Han (2024) y Akbay, Kalayci & Blum (2023), quienes realizaron investigaciones con el objetivo de diseñar redes de LI para productos al final de su vida útil de la industria automotriz, desarrollando modelos matemáticos de MILP y haciendo uso de diversos algoritmos

complementarios como programación no lineal entera mixta difusa y heurísticas híbridas, para determinar la forma más eficiente para la recolección y disposición final de los residuos de esta industria.

Se ha identificado una oportunidad potencial en la aplicación de teorías de LI en la recolección y disposición final de residuos de plaguicidas. Autores como Mengistu, Geremew & Tessema (2024), Madaki, Lehberger, Bavorova, Igbasan & Kächele (2024) y Mohafrash & Mossa (2024) han realizado estudios en los que coinciden en que ha habido un aumento en la preocupación por las consecuencias y riesgos que los envases y embalajes vacíos de plaguicidas pueden presentar tanto en términos de salud como del medio ambiente.

En consecuencia, autores como Dewi *et al.* (2022), Sosan, Oladepo & Ajibade (2020) y Sooriyaarachchi (2019) adelantaron estudios con el fin de estudiar el conocimiento y el manejo práctico de los envases, identificando las prácticas más comunes de eliminación de residuos de plaguicidas por parte de los productores agrícolas. Los autores coinciden en que las prácticas habituales de eliminación de envases de plaguicidas vacíos incluyen el desecho en la finca donde se utilizaron, la quema en el aire libre, el desecho en los vertederos de la aldea y la reutilización para otro fin.

Por otra parte, Marnasidis, Stamatelatou, Verikouki & Kazantzis (2018) y Garbounis & Komilis (2021), desarrollan modelos matemáticos para describir la tasa de generación de envases plásticos de pesticidas desechados en función de información proporcionada por los ingenieros agrónomos de tiendas de insumos y cooperativas agrícolas (*stakeholders*) consultando a los agricultores. De igual forma, autores han centrado sus esfuerzos en analizar los programas y estrategias que se han implementado en diferentes países, es así como Sooriyaarachchi (2019) adelantó un estudio analizando el programa implementado por Crop-life Sri Lanka para gestionar

los envases vacíos de plaguicidas. Los objetivos eran determinar las prácticas actuales de eliminación de los agricultores, evaluar el progreso del programa de recogida de envases y examinar y hacer recomendaciones adecuadas.

Según el programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), para el año 2023 se calcula que el 80% de las ventas globales de los plaguicidas se consumen en los países desarrollados, mientras que en los países subdesarrollados se consume el 20% restante. Dentro de estos últimos se registra el 75% de las muertes por contaminación de agroquímicos, las cuales son causadas en primera instancia por la ingesta de alimentos contaminados por ellos. Asimismo, la intoxicación por plaguicidas se ha convertido en un problema significativo en estos países, debido principalmente a la aplicación de plaguicidas peligrosos y a las prácticas de manejo inadecuadas, además de esto la inseguridad se ve agravada por el analfabetismo y la pobreza en la mayoría de las comunidades agrícolas.

En consecuencia, tanto para Colombia y en especial en el departamento de Boyacá se identifican algunos problemas relacionados con la gestión de los residuos de plaguicidas, principalmente relacionados con impactos negativos al medio ambiente por las malas prácticas realizadas por parte de los agricultores y así misma generación de problemas de salud debido al mal uso de estos residuos e ingesta de alimentos o bebidas en los envases de plaguicidas. Por otra parte, se evidencia en el desarrollo del proceso de recolección y disposición final de envases y empaques vacíos de plaguicidas, que este es totalmente empírico y no utiliza herramientas ingenieriles, lo cual ocasiona en primera instancia que no exista una cobertura total de los puntos de generación de los residuos y que gran cantidad de envases y empaques vacíos de plaguicidas queden sin ser recolectados y darles la disposición final adecuada.

Por lo tanto, el objetivo de esta investigación consistió en desarrollar un modelo logístico integral para la recolección de envases y empaques vacíos de plaguicidas en el departamento de Boyacá, para apoyar el desempeño del proceso de LI, logrando identificar los puntos estratégicos de mejora. El proyecto de investigación utilizó una metodología de tipo cuantitativo descriptivo-correlacional, consistiendo en la elaboración del modelo logístico integral basado en cuatro donde se determinó que tanto se aplica la teoría de LI en el proceso de gestión de los residuos de plaguicidas que actualmente se lleva a cabo en el Departamento de Boyacá y mediante esta herramienta la empresa recolectora y en general los Fabricantes y/o Importadores puede medir y diagnosticar como se encuentra cada factor y sus respectivas variables y así proponer planes de acción que mitigue las disfunciones encontradas. En general, se crea una metodología que puede ser aplicable a cualquier proceso de LI teniendo en cuenta el comportamiento de los cuatro factores y 11 variables.

Así mismo, el proyecto de investigación se caracterizó por conocer, analizar, determinar y diagnosticar como la teoría referente en LI es aplicable a procesos como el de recolección y disposición final de envases y empaques vacíos de plaguicidas, donde se evaluaron los siguientes factores: Transporte, Almacenaje, Disposición Final y Satisfacción del Cliente.

Las fases de esta investigación fueron las siguientes: primera fase, definir factores clave y las variables de la LI, mediante de la revisión de literatura y el estado del arte en cuanto a proceso de LI; segunda fase, determinar los componentes de un modelo logístico integral para el proceso de LI; tercera fase, construir el modelo logístico integral, con el fin de medir los factores y variables identificados previamente y poder describir el comportamiento de cada uno de los actores a saber Agricultores, Comercializadores y Fabricantes y/o Importadores frente al

proceso de gestión de los residuos de plaguicidas, cuarta y última fase, validar y ajustar el modelo propuesto del proceso de LI.

La presente tesis doctoral hace un aporte inicialmente al estado del arte y a la teoría referente a la LI, con la definición de un modelo de medición del desempeño de procesos de LI aplicable para la gestión de cualquier tipo de residuo y/o producto fuera de uso, que como se evidencio anteriormente con las investigaciones citadas, posee un alcance tanto metodológico, teórico y práctico que es innovador y novedoso frente a la mejora de procesos de LI. Igualmente, por medio de la determinación del modelo basado en factores y variables se logra una base fundamental para las empresas y/o organizaciones que realicen procesos de LI a fin de determinar los aspectos importantes dentro de este proceso y los posibles escenarios de mejora que puedan implementar.

El documento está compuesto por un total de once apartados, la primera parte hace relación a la introducción que incluye justificación, información del sector analizado, problemas y desafíos con la pregunta de investigación; la segunda parte, corresponde a los objetivos tanto general como específicos; la tercera parte, hace mención a la estructura de la tesis; la cuarta parte pertenece al marco teórico y conceptual, donde se presenta la definición de términos clave, estado del arte, elementos de la logística inversa y análisis bibliométrico sobre dicho tema; la quinta parte, trata la metodología de investigación, hipótesis, tipo y nivel de investigación, diseño de la investigación además de presentar como fue realizado el proceso metodológico, población y muestra, técnicas de recolección y procesamiento de datos, descripción, medición y validez del instrumento. La sexta parte, hace relación a los componentes del modelo de LI donde se presentan los diferentes factores de análisis (cuatro); el primer factor, Transporte; segundo factor, Almacenaje; tercer factor, Disposición Final y cuarto factor, Satisfacción del Cliente. La

séptima parte, se realiza el análisis estadístico de los resultados de los diferentes factores; el octavo apartado, validación y ajustes al modelo y, el noveno apartado, se presentan las respectivas conclusiones del trabajo de investigación recomendaciones y aportes a la investigación finalizando con el ítem de futuras investigaciones, el capítulo diez, las referencias bibliográficas.

1.1. Justificación

En los envases vacíos de plaguicidas se presentan residuos que se adsorben a la superficie y generan contaminación por lo que representan un riesgo para la salud humana. Así se entiende que la inadecuada utilización puede causar problemas graves e incluso la muerte. Según la Organización Mundial de la Salud (2020), los envases de plaguicidas vacíos pueden ser tratados de acuerdo a las normas de eliminación y tratamiento de estos residuos, teniendo en cuenta que estos envases por más que se le realice una limpieza extrema quedan con residuos de plaguicidas que nunca se podrán eliminar de forma completa y por tal razón no pueden ser reutilizados por ningún motivo, ni para transportar o contener otro tipo de químico o combustible.

Según la Gobernación de Boyacá (2020) el departamento cuenta con 371.992 productores agropecuarios, correspondientes al 5.4% del total nacional. De igual manera, el departamento de Boyacá representa el 12.8% de Unidades de Producción Agropecuaria (UPA) del total nacional, las cuales en promedio cuentan con un área menor a 3 hectáreas/UPA. El departamento cuenta con un alto nivel de predios del tipo microfundio (80,3% de predios menores a tres ha) y minifundio (14% de predios entre tres y 10 ha) con 281.341 unidades de producción. Para predios entre 10 y 20 ha, en el departamento se tienen el 3,1% del territorio, predios de mediano

tamaño, es decir entre 20 y 200 ha, se encuentra el 2,5% y grandes o mayores a 200 ha, el 0,1% del departamento.

En consecuencia, por medio del diseño y planteamiento de metodologías de LI, se podría observar la forma de distribución y recolección de empaques y envases de los determinados plaguicidas, con el cual se garantizaría la recolección de la mayor cantidad de residuos de plaguicidas generados no solo en el departamento de Boyacá, sino como base fundamental para cualquier proceso de LI de envases y empaques vacíos de plaguicidas. De igual forma, se contribuye en primera instancia a la mitigación del impacto ambiental por el mal tratamiento de estos residuos y en segunda instancia garantizar la recolección de estos residuos, también se garantiza que dichos residuos no serán utilizados para otros fines como uso doméstico y por ende reducir los riesgos que estos residuos presentan en la salud humana.

Asimismo, al tener una mayor cantidad de residuos de plaguicidas con buen tratamiento según como lo exige la ley, se puede beneficiar a comunidades de estrato bajo o comunidades vulnerables de bajos recursos, con la elaboración de puentes o techos a partir de los residuos de plaguicidas. Además, no existe un estudio con el fin de crear metodologías propias de LI para envases y empaques vacíos de plaguicidas, tal como se evidencia en el desarrollo del estado del arte, realizando un aporte significativo en el campo de conocimiento de la Ingeniería.

Por otra parte, ya que LI es un tema importante para obtener mejoramiento de sus procesos industriales y logísticos, así como también de sus procesos de comercialización. Debido a lo anterior las empresas encargadas de la recolección y disposición final de los envases y empaques vacíos de plaguicidas, tendrá la opción de implementar esta metodología planteada en la presente investigación, logrando una mayor eficiencia y un buen desarrollo ecológico sostenible y monetario de este proceso.

De la misma forma es necesario entender que en cada organización se deben implementar nuevas estrategias para permanecer en el mercado. El desarrollo de la logística inversa es una buena alternativa para sobresalir en el mismo, además de esto contribuye con la permanencia del cliente en la empresa y con un buen sustento económico, ya que es claro que una empresa tiene como objetivo ganar dinero y traer beneficios sociales supliendo las necesidades de cada cliente.

Igualmente, con la realización de esta investigación se abren la oportunidad de abarcar más temas de la Ingeniería Industrial, fortaleciendo así la carrera profesional como una de las más importantes en cualquiera de los campos laborales. Además, este proyecto ayudará a que la Ingeniería Industrial y otros campos de acción como los agroquímicos formen nuevas alianzas para el desarrollo de nuevos proyectos e investigaciones, siempre buscando el beneficio de la comunidad.

En consecuencia, con el actual proyecto se aportará significativamente al campo de investigación “Ciencia, Tecnología e Innovación” dentro de los cuatros campos definidos por la Universidad EAN y así mismo al grupo de investigación Gestión Ambiental con la línea de investigación Metodologías e Instrumentos para la Gestión Ambiental, ya que con la metodología a plantear en la presente propuesta, se pretende también realizar un aporte para la disminución del impacto ambiental generado por los envases y empaques vacíos de plaguicidas

1.2. Sector agrícola

1.2.1. Sector agrícola a nivel mundial

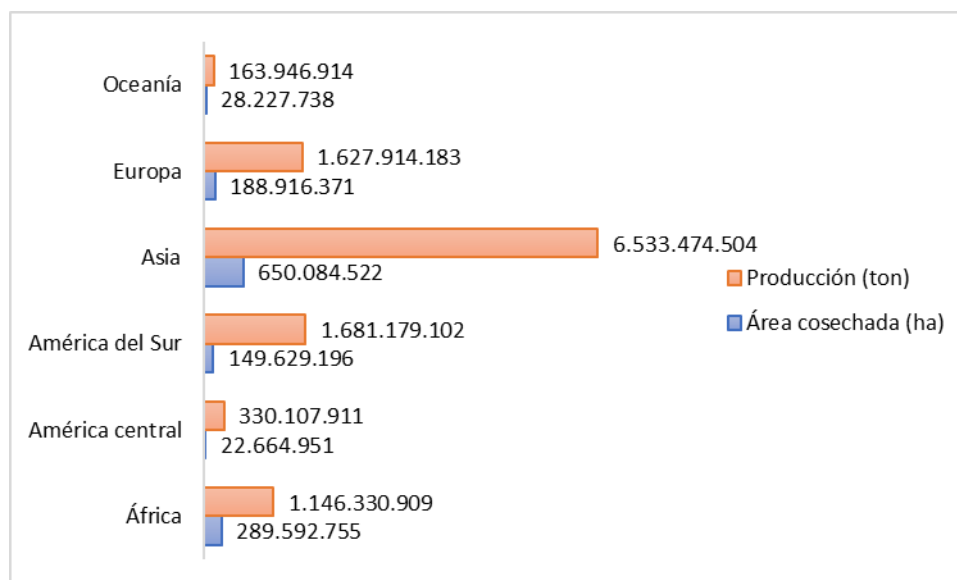
El sector agrícola a nivel mundial ha tenido un gran crecimiento y ha cobrado importancia en los últimos años. Según la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL, 2022) el sector agrícola es de suma importancia para el planeta, ya que este encargado de proveer de alimentos a la población de un país a un precio asequible, así como de materias

primas para otros sectores económicos que son producidas a bajo coste por el propio país, sin necesidad de adquirirlos en el mercado internacional. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) para el año 2021 último año de consolidación de estadísticas, el área cosechada total a nivel mundial fue de 1.465,028 billones de hectáreas con una producción 12.643,5 billones de toneladas de productos agrícolas.

En la figura 1 se puede observar los datos de áreas cosechadas y producción por continente o área en el mundo, donde se evidencia que Asia posee la mayor participación tanto de área cosechada como de producción con 650,084 billones de hectáreas y 6.533,47 billones de toneladas. América del Sur se ubica en el segundo lugar de participación en el sector agrícola en términos de producción con 1.681,18 billones de toneladas, a pesar de que el área cosechada es menor que Europa y África, esto debido a que América del Sur posee un mayor rendimiento.

Figura 1

Área cosechada y producción agrícola a nivel mundial

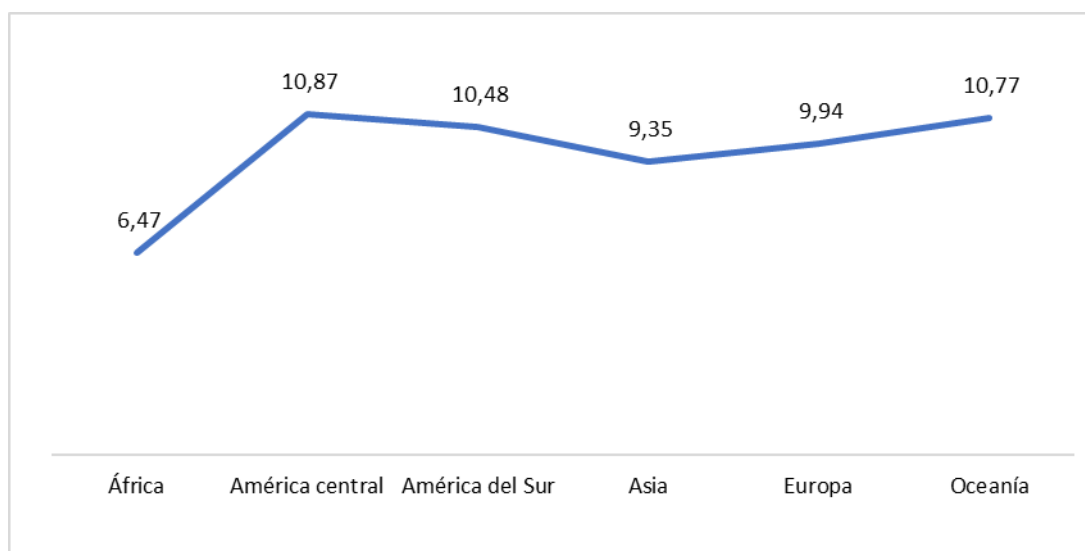


Nota. FAO

El rendimiento Mundial promedio en términos de toneladas producidas por hectáreas es de 8,23. En la figura 2 se observa que el mayor rendimiento lo posee América Central con 10,87 ton/ha seguido de Oceanía con 10,77 ton/ha y América del Sur con 10,48 ton/ha, lo cual justifica que algunos continentes poseen una menor cantidad de hectáreas cosechadas pero una mayor producción en toneladas. Esta variación puede estar ocasionada también por la diversidad de productos que se cosechan, condiciones del terreno, características geográficas, temperaturas de las regiones, entre otras.

Figura 2

Rendimiento Agrícola a nivel mundial (Ton/Ha)



Nota. FAO

En la tabla 1 se evidencian los 10 productos con mayor producción en toneladas a nivel mundial, ubicando en primer lugar al Azúcar de Caña con una producción de 3.699,97 billones de toneladas para el 2021 seguido de Maíz y Arroz con 2.022,04 y 1.564,5 billones de toneladas respectivamente.

Tabla 1*Productos Agrícolas con mayor producción a nivel mundial*

No.	PRODUCTO	PRODUCCIÓN (ton)
1	Azúcar, caña	3.669.975.846
2	Maíz	2.022.040.712
3	Arroz	1.564.500.317
4	Trigo	1.474.667.686
5	Aceite, nuez de palma	832.488.010
6	Papas, patatas	727.045.588
7	Yuca, fresca	628.112.128
8	Grano se soja	616.407.120
9	Otras hortalizas frescas	582.373.623
10	Azúcar, remolacha	505.569.867

Nota. FAO (2021)

En la tabla 2 se puede observar el top 10 de los productos con mayor producción a nivel de América del Sur, donde se evidencia que la mayor producción se da de Azúcar de caña se evidencian los 10 productos con mayor producción en toneladas a nivel mundial, ubicando en primer lugar al Azúcar de Caña con una producción de 3.699,97 billones de toneladas para el 2021 seguido de Maíz y Arroz con 2.022,04 y 1.564,5 billones de toneladas respectivamente.

Tabla 2*Productos Agrícolas con mayor producción en América del Sur*

No.	PRODUCTO	PRODUCCIÓN (ton)
1	Azúcar, caña	801.868.692

2	Grano se soja	196.866.713
3	Maíz	162.282.562
4	Trigo	29.293.948
5	Arroz	26.215.991
6	Yuca, fresca	24.746.231
7	Bananos	19.421.824
8	Naranjas	19.316.854
9	Papas, patatas	18.174.487
10	Aceite, nuez de palma	15.141.462

Nota. FAO (2021)

Según la FAO, el sector agrícola a nivel mundial enfrentará diferentes impactos medioambientales, donde se espera que en los próximos 30 años los problemas que actualmente se presentan hayan aumentado su gravedad. Dentro de los problemas que se resaltan es la contaminación de agua a causa de la utilización de fertilizantes y plaguicidas, ocasionando impactos negativos en aguas subterráneas por los excesos de nitrógeno y fósforo, esto ocasionado no solo en la aplicación del agroquímico sino también en el manejo de los residuos como los envases y empaques vacíos. Los plaguicidas son aplicados en grandes cantidades tanto en países desarrollados como en vía de desarrollo, afectando significativamente la salud humana a partir de la generación de compuestos cancerígenos y venenosos.

1.2.2. Sector agrícola a nivel nacional

El sector de agricultura en Colombia es uno de los sectores económicos más importantes, generando no solo empleos directos e indirectos, sino también el abastecimiento de alimentos para el país. Según el Ministerio de Agricultura (2023), el sector agropecuario en el país posee

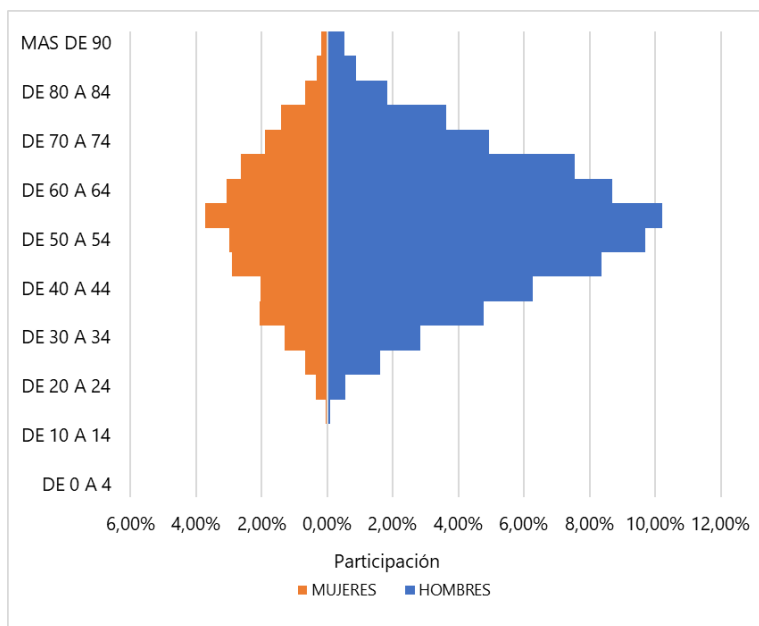
un porcentaje de participación frente al PIB entre 6% al 8%. Igualmente se estima que este sector económico genera aproximadamente un 15% de empleos formales en el país y logrando en el primer semestre de 2022 una exportación de productos agropecuarios de 6.116 millones de dólares.

En este sentido, Colombia se caracteriza por tener gran variedad geográfica y así mismo gran variedad de climas, lo cual permite tener una diversidad de productos agrícolas tanto en frutas, como verduras, café o flores. El crecimiento notable que ha tenido el sector agropecuario se ha debido también a la implementación de diversas tecnologías por parte de los agricultores tanto en el momento de la siembra como en el manejo de información, como lo puede ser el uso de drones o tecnologías eficientes para los sistemas de riego.

Para el año 2019, último año reportado por el DANE (2020) para la Encuesta Nacional Agropecuaria se contaban en Colombia con 1.945.657 personas naturales dedicadas a la agricultura. En la figura 3 se evidencia la participación de las personas por grupo etario y por género.

Figura 3

Pirámide Poblacional de los productores agropecuarios



Nota. DANE (2020)

Se puede observar que el 73.6% de los productores agrícolas de Colombia son Hombres y el 26.4%. La participación mayor del género masculino se debe a que muchas de las actividades realizadas en la agricultura requieren del uso de fuerza muscular. De la totalidad de hombres agricultores, la mayor participación se da en el grupo de adultez entre 50 a 59 años con 27.06%. En cuanto a las mujeres se puede observar igualmente que dentro del mismo rango de edad se da la mayor participación con un 25.33%.

Por otra parte, para el año 2019 se cuenta con un total de 2.045.379 UPA (Unidad Productora Agropecuaria). En la tabla 3 se evidencia la participación de las UPA de acuerdo con la condición jurídica del agricultor o productor, donde se puede observar que el 93.67% de las UPA son de personas naturales solas con una participación del 77.52% de la totalidad de hectáreas de las unidades, esto referido a personas tienen su producción agrícola de manera

independiente sin tener una dependencia de alguna empresa o asociación, realizando la comercialización de sus productos ellos mismos

Tabla 3

Participación de la UPA según condición jurídica del productor

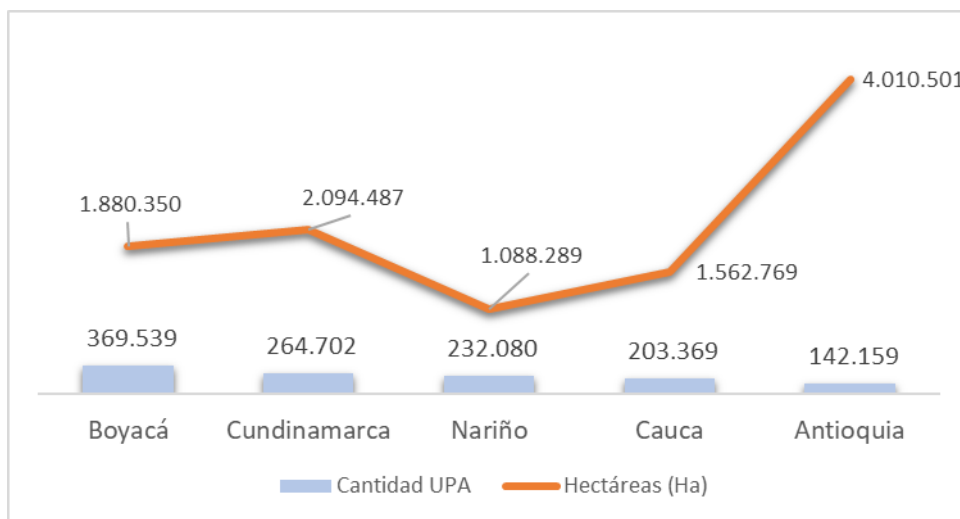
Condición Jurídica	Cantidad (UPA)	Hectáreas (Ha)
Total	2.045.379	50.102.335
Persona natural sola	1.915.997	38.840.625
Persona natural asociada	11.761	418.106
Persona jurídica	23.725	4.359.142
No informa	93.897	6.484.463

Nota. DANE (2020)

En la figura 4 se puede observar la participación de los cinco departamentos con mayor número de UPA en Colombia y sus respectivas hectáreas destinadas a la actividad agropecuaria, donde se evidencia que Boyacá posee el mayor número de UPA con 369.539 seguido de Cundinamarca con 264.702, departamentos reconocidos en el país por su alta actividad económica en el sector agrícola. Son embargo se evidencia que, en términos de hectáreas destinadas a la agricultura, estos dos departamentos no poseen el primer lugar, lo cual lo ocupa el departamento de Antioquia con 4.010.501 ha a pesar de tener solo 142.159 UPA. Lo anterior es consecuencia que, en el departamento de Antioquia a tener menos unidades productivas, poseen una mayor extensión en tierra destinada a la agricultura.

Figura 4

Participación UPA por departamento



Nota. DANE (2020)

En Colombia la mayor producción se presenta en el grupo de cultivo de Agroindustriales donde se encuentran productos como Café, palma de aceite, caña para azúcar, caña para panela, cacao, soya, algodón y otros agroindustriales, esto se da tanto en áreas sembradas, cosechadas y producción en toneladas. Igualmente, otro grupo de cultivo que se destaca son los cereales como Arroz, cebada, maíz amarillo, maíz blanco, trigo y otros cereales.

Por otra parte, el grupo de tubérculos y plátano donde se puede encontrar Plátano, yuca, papa y otros tubérculos, en cuanto al área sembrada uno posee una mayor extensión, pero si se destaca por su producción esto a causa de que posee un mayor rendimiento que otros grupos como los cereales, las plantaciones forestales, los frutales y las hortalizas (ver tabla 4).

Tabla 4*Producción agrícola nacional*

GRUPO DE CULTIVO	Área sembrada (Ha)	Área cosechada (Ha)	Producción (Ton)
Total, general	4.329.016	2.859.861	31.144.905
Agroindustriales	2.108.128	1.690.861	21.946.605
Cereales	580.986	349.844	1.652.859
Plantaciones forestales	529.400		
Tubérculos y plátano	486.295	389.658	3.261.501
Frutales	441.267	319.672	2.911.827
Hortalizas, verduras y legumbres	146.318	109.825	1.372.113
Otras áreas cultivadas	36.622		

Nota. DANE (2020)

1.3. Problemas y desafíos

Definición y delimitación: actualmente el mundo se está enfrentando a una serie de fenómenos naturales y ambientales, que han hecho que se vea perjudicados tanto los recursos naturales como en general las condiciones climáticas de nuestro entorno. En consecuencia, la Organización Internacional de Estandarización (ISO) por medio de la norma ISO 14090 detalla y aclara aquellos requisitos y pasos a seguir para que una organización, ya sea pública o privada, pueda adaptarse a los efectos del cambio climático, identificando y gestionando sus riesgos, así como aprovechando cualquier oportunidad de beneficio que pueda provocar el cambio climático (Organización Internacional de Normalización [ISO], 2019).

Inicialmente, se puede identificar que uno de los factores que ha causado grandes impactos al medio ambiente, es el uso de fertilizantes o plaguicidas, donde actualmente el uso de este producto por el sector agropecuario se ha visto afectado por la guerra entre Rusia y Ucrania, debido a que gran parte de los fertilizantes del mundo se encuentran atascados en Rusia y Bielorrusia, generando así un alza en los precios de los alimentos y los fertilizantes en el mundo. Desde que comenzó la invasión el mes pasado, los precios del trigo han aumentado en 21 por ciento, los de la cebada un 33 por ciento y los de algunos fertilizantes en 40 por ciento (Ministerio de Agricultura, 2022).

Por otra parte, según el programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), para el año 2019 se calcula que el 80% de las ventas globales de los plaguicidas se consumen en los países desarrollados, mientras que en los países subdesarrollados se consume el 20% restante. Dentro de estos últimos se registra el 75% de las muertes por contaminación de agroquímicos, las cuales son causadas en primera instancia por la ingesta de alimentos contaminados por ellos. Asimismo, la intoxicación por plaguicidas se ha convertido en un problema significativo en estos países, debido principalmente a la aplicación de plaguicidas peligrosos y a las prácticas de manejo inadecuadas, además de esto la inseguridad se ve agravada por el analfabetismo y la pobreza en la mayoría de las comunidades agrícolas (Díaz-Vallejo et al., 2021).

En los países subdesarrollados según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2020) (citado de Castillo et al., 2020) , las existencias de plaguicidas obsoletos, inutilizados y desechados siguen causando serios problemas para el medio ambiente y para la salud humana. En las zonas rurales, donde se realizan actividades agrícolas en forma extensiva e intensiva, los habitantes de dichas zonas son afectados por los desechos de

plaguicidas, ya que frecuentemente dejan abandonados estos residuos en los alrededores de zonas rurales y urbanas, en los vertederos municipales, en granjas y en las fincas de los productores agropecuarios. La utilización de envases contaminados para fines domésticos representa otro riesgo para la salud. En cuanto a existencia de plaguicidas por países, según la FAO (2020), Colombia para el año 2019 representa la mayor parte con un valor de 5'436.000 kg equivalente al 48,17% de las existencias totales en América Latina.

Algunos países han implementado con éxito programas de recolección y disposición final de envases y empaques de plaguicidas, los cuales se han convertido en referentes a nivel mundial para el tema de gestión de residuos. Brasil es uno de los países pioneros donde según CropLife Latin America (2024), en la última década se ha logrado reciclar más de 202 mil toneladas de residuos de plaguicidas. En este país existe el Instituto Nacional de Procesamiento de Envases Vacíos (inpEV), el cual es el encargado de la disposición final de los envases de plaguicidas, donde se logra recolectar el 94% del total de envases colocados en el mercado. En este país desde el año 2002 la recolección de estos envases es obligatoria, creando responsabilidades a cada uno de los actores de la cadena inversa. Brasil logra el reciclaje del 95% de los residuos implementando estrategias como de campañas de concientización, lo cual genera cambios en la cultura de los agricultores.

En Europa, especialmente en Australia existe un programa de manejo de envases de plaguicidas denominado “*drumMUSTER*”, el cual es un programa basado en responsabilidades extendidas de los productores y reducción de residuos en la fuente. Este programa es financiado principalmente por los mismos agricultores donde aportan una tarifa de \$ 0.04 australianos, bajo el lema que “el que contamina paga”. Sin embargo el programa implementado solo logra la recolección del 35% del total de los envases, donde de estos la mayor parte es reutilizado para

fabricar nuevos productos, con una pequeña parte reacondicionada para ser reutilizada para envases de agroquímicos y químicos veterinarios.

Otro de los países que implementa programas en gestión de residuos de plaguicidas es EE. UU., donde establecieron una asociación llamada “*Ag Container Recycling Council*”, la cual es fundada por empresas de *CropLife America*, el cual implemento un programa donde los usuarios finales traen los envases plásticos enjuagados a los sitios receptores, en donde son inspeccionados y aceptados libres de costo. El programa logra la recolección del 28% de los envases plásticos de plaguicidas utilizados por los productores de Estados Unidos cada año, esto debido a diferentes practicas que realizan los agricultores como quema a cielo abierto o acumulación de residuos en finca.

Se evidencia que Brasil tiene la tasa de eficiencia de recolección más elevada. Este plan fue uno de los primeros que fueron implementados y está apoyado por un medio fuertemente regulado y por la implicación de todas las partes interesadas. El plan ha desarrollado extensos programas de comunicación con publicidad en la televisión y la prensa, junto con programas educativos para los usuarios de plaguicidas.

En consecuencia, en Colombia, el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia, a través del decreto 4741 (2005) ha reglamentado la prevención y el manejo de los residuos peligrosos, donde clasifica los residuos de plaguicidas como peligrosos y estipula que dichos residuos están sujetos a un plan de gestión de devolución de productos posconsumo. Asimismo teniendo en cuenta la vigencia de la Resolución 693 (2007) la cual reglamenta los criterios para dichos planes, a la fecha no se establece una relación entre la cantidad de plaguicidas vendida y la devuelta, ni el proceso de logística inversa aplicado por parte de los generadores, para dar cumplimiento a dicha Norma; por lo tanto, los informes de

Gestión del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial del año 2019, indican que a diciembre de 2020 se recolectó un total de 170 toneladas de desechos pero no discriminan por departamento o por tipo de desecho.

Silva (2017), adelantó una investigación sobre el proceso de logística inversa de residuos de plaguicidas, donde se evidencia que la recolección y devolución de dichos empaques y envases se realizan de forma totalmente empírica, ya que no utiliza ninguna herramienta tecnológica o de ingeniería que aporte tanto en la planificación como en la ejecución de las jornadas de recolección. Además, las empresas no consideran actividades de la logística inversa como devolución al proveedor, reventa, reacondicionamiento, reciclaje, entre otras.

Así mismo afirman, que de la totalidad de los agricultores del departamento de Boyacá solo el 23.08% de los agricultores entregan sus residuos de plaguicidas al mecanismo de devolución establecido y el 76.92% no entregan los envases y empaques vacíos de plaguicidas a ningún mecanismo, lo que hace que estos residuos que permanecen en las fincas sin ser recogidos y sin su adecuado tratamiento generen contaminación al medio ambiente y riesgo a la salud de los seres humanos.

Asimismo, de los agricultores que realizan la entrega de los residuos de plaguicidas dos de cada 11 entregan sus envases clasificados y con el tratamiento adecuado, lo que corresponde a que el 15.38% de las fincas que entregan sus residuos lo hacen de forma correcta según la normatividad establecida, quedando un 84.62% de los generadores que no entregan sus residuos con el debido tratamiento, lo que genera en primera instancia dificultad en el proceso de clasificación y procesamiento de los envases, ya que los envases que no se le da un buen tratamiento no sirven para ser reciclados y no podrían beneficiar a la comunidad. En segunda instancia causan contaminación al medio ambiente ya que en mucho de los casos entregan con

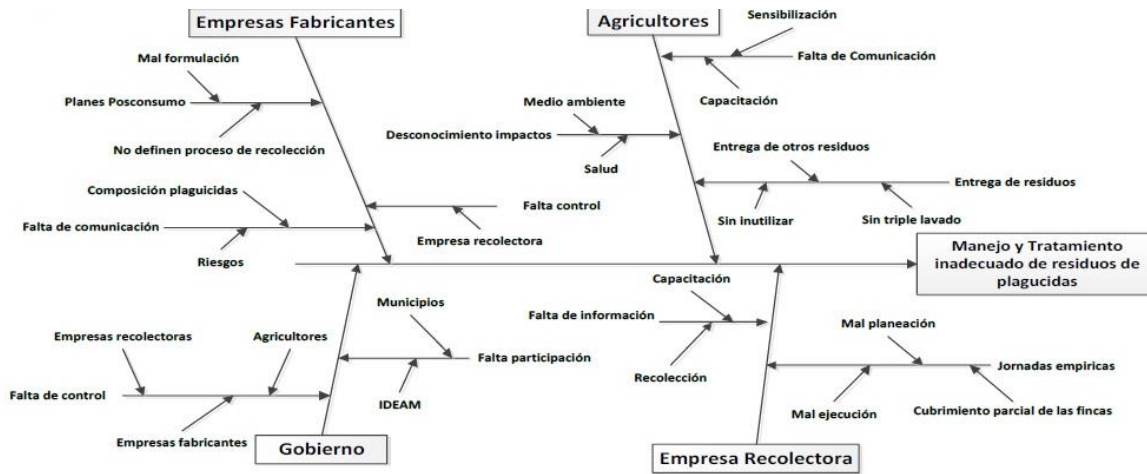
los residuos de plaguicidas otros residuos como desechos orgánicos y domésticos y les dan un tratamiento inadecuado como arrojarlos a los ríos o caños, enterrarlos o quemarlos a cielo abierto.

Además, se afirma que el 53.85% de los agricultores conocen el procedimiento de triple lavado que se le realizan a los envases vacíos de plaguicidas, pero no lo están aplicando para los residuos que generan, lo cual refleja una falta de conciencia ciudadana sobre los riesgos que esto produce tanto para la salud humana como para el medio ambiente.

En la figura 5 se observa el diagrama causa – efecto donde se describe la problemática planteada y donde se pueden observar las posibles causas principales del problema del mal manejo de los residuos de plaguicidas.

Figura 5

Problema de investigación



Nota. Elaboración Propia

1.4. Pregunta de investigación

Este proyecto de investigación fue pertinente realizar la pregunta siguiente ¿Cómo diseñar un modelo logístico que garantice la adecuada recolección y disposición de envases y empaques vacíos de plaguicidas en el departamento de Boyacá?

Por otro lado, fue pertinente también tener en cuenta las siguientes preguntas relacionadas con el objeto de investigación.

¿Qué buenas prácticas se están llevando a cabo a nivel mundial para la gestión de envases y empaques vacíos de plaguicidas?

¿Cuál es el proceso actual que se lleva a cabo en el departamento de Boyacá para la recolección y disposición de envases y empaques vacíos de plaguicidas?

¿Cuáles son las variables a tener en cuenta para el diseño de un modelo de logística inversa aplicable a la recolección y disposición de envases y empaques vacíos de plaguicidas?

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Desarrollar un modelo logístico integral por medio del uso de la teoría de la logística inversa y análisis multivariado, con el fin de mejorar el desempeño del proceso de recolección y disposición final de envases y empaques vacíos de plaguicidas en el departamento de Boyacá.

2.2. Objetivos específicos

- Determinar los factores y variables de la logística inversa por medio de la revisión de literatura y análisis bibliométricos en los referentes teóricos.
- Identificar los componentes necesarios para el modelo logístico integral que tenga en cuenta los factores y variables que influyen en el proceso de logística inversa.
- Construir el modelo logístico integral, con el fin de medir los factores y variables que intervienen en el proceso de logística inversa y evaluar el impacto que tienen los actores dentro del proceso.
- Determinar la validez del modelo propuesto con el fin de evaluar la aplicación en la medición del desempeño del proceso de logística inversa.

3. Estructura de Tesis

El documento está compuesto por un total de diez apartados, la primera parte hace relación a la introducción que incluye justificación, información del sector analizado, problemas y desafíos con la pregunta de investigación; la segunda parte, corresponde a los objetivos tanto general como específicos; la tercera parte, hace mención a la estructura de la tesis; la cuarta parte pertenece al marco teórico y conceptual, donde se presenta la definición de términos clave, estado del arte, elementos de la logística inversa su gestión de residuos y/o productos fuera de uso o al final de su vida útil; la quinta parte, trata la metodología de investigación, hipótesis, tipo y nivel de investigación, diseño de la investigación además de presentar como fue realizado el proceso metodológico, población y muestra, técnicas de recolección y procesamiento de datos, descripción, medición y validez del instrumento. La sexta parte, hace relación a los componentes del modelo logístico integral de LI donde se presentan los diferentes factores de análisis que son cuatro; el primer factor, Transporte; segundo factor, Almacenaje; tercer factor, Disposición Final y cuarto factor Satisfacción del cliente. La séptima parte se realiza el análisis de componentes principales para los diferentes factores; el octavo apartado, validación y ajustes al modelo y, el noveno apartado, se presentan las respectivas conclusiones del trabajo de investigación recomendaciones y aportes a la investigación finalizando con el ítem de futuras investigación y el capítulo diez, las referencias bibliográficas.

4. Marco teórico y estado del arte

En esta primera parte se muestra el marco teórico y el estado del arte, donde se contextualizó acerca de la teoría de la orientación a la logística inversa y su relación con procesos de recolección de envases y empaques vacíos de plaguicidas. El marco teórico aborda conceptos desde la logística tradicional, cadena de suministro y logística inversa que es la teoría más importante para aplicar al proyecto de investigación.

4.1. Marco teórico

4.1.1. *Logística y supply chain management*

Para entender el concepto de logística inversa (LI), el cual será la base teórica sobre la que se desarrollará la presente investigación, se deberá iniciar estudiando las bases fundamentales de la logística y la relación que tiene esta con la LI. Según Mora (2016), el concepto de logística remota desde más de 20 años y su evolución inicialmente está relacionada directamente con actividades de mercadeo de las empresas, debido a uno de los objetivos relacionado con la satisfacción del cliente. Durante los últimos años, los escenarios de la logística han cambiado con suma rapidez, donde se ha dado origen a nuevas técnicas y conceptos, los cuales han sido aceptados con éxito por parte de las grandes empresas del mundo.

Por otra parte, el concepto de logística está ligado estrechamente con un concepto que ha cambiado la visión sobre cómo enfrentar los negocios y satisfacer las necesidades de los clientes. El interés por el concepto de *Supply Chain Management* (SCM), ha venido creciendo con el pasar del tiempo, ya que dicho concepto ha traído grandes beneficios a las organizaciones, tanto en términos estratégicos como en términos competitivos (Bhusiri et al., 2021). Sin embargo, según Huo et al. (2021), para realizar una efectiva gestión de la cadena de suministro en las empresas se deben sumar grandes esfuerzos, ya que no solo interviene el área logística, sino

todos los departamentos o áreas de la organización, creando la necesidad de integrar todos estos departamentos para que la cadena de suministro funcione de forma eficiente.

Huo et al. (2021), aseguran que la gestión de la cadena de suministro ha sido un concepto que ha logrado una mayor atención dentro del campo de las organizaciones. Por ejemplo, según Kain y Verma (2018) el área de la logística militar ha aumentado su inversión y gastos en aproximadamente \$ 670 millones de dólares; lo cual representa un poco más del 11% del PIB. En consecuencia, las organizaciones han visto la importancia de optimizar sus procesos con el fin de aumentar la satisfacción de los clientes.

De igual forma, la logística también conocida en varios ámbitos logística de los negocios, por su importancia y aporte en lograr la satisfacción de los clientes, gestión de la distribución, procesos de importación y exportación, gestión de la cadena de suministros y actualmente cadena de valor (Bowersox et al., 2005). Varios autores y organizaciones han centrado sus esfuerzos con el fin de consolidar una definición de logística, donde se evidencie la esencia y objetivo con el cual es utilizada dentro del mundo empresarial. Cuando se aborda este concepto, varios investigadores o profesionales no poseen una claridad sobre este término, refiriéndolo como las actividades de despacho y envío de pedidos (Mora, 2016). Debido a lo anterior han surgido en el mundo diversas organizaciones que controlan y garantizan las buenas prácticas logísticas y asimismo lograr consolidar una definición de logística que sirva como referente mundial para el entendimiento de las actividades y el alcance que esta conlleva.

Según Christopher (2016):

la logística es un concepto orientado al flujo de materiales e información, con el objetivo de integrar recursos a través de un conducto que se extiende desde los proveedores a los

clientes últimos, permitiéndoles disponer de un medio por el que se pueden evaluar tanto el costo como el rendimiento del flujo (p. 10).

El anterior concepto coincide con lo expuesto con el *Council Logistics Management Professionals* (CSCMP), antes denominado Council Logistics Management (CLM), incluyendo además el objetivo de satisfacer las necesidades del cliente y aclarando que el concepto de logística comprende tanto los flujos internos como externos de materiales y mercancías.

Para Gattorna (1996):

la cadena logística es algo integral y dinámico que tiene que ver con todas las actividades que realiza una empresa. En consecuencia, toda organización debe entender y segmentar adecuadamente a sus clientes, para luego, realizar un proceso de ingeniería interna que le permita alinearse con sus clientes de una manera específica para cada caso concreto (p. 74).

Según Lamb et al. (2018), la logística es "el proceso de administrar estratégicamente el flujo y almacenamiento eficiente de las materias primas, de las existencias en proceso y de los bienes terminados del punto de origen al de consumo" (p. 379)

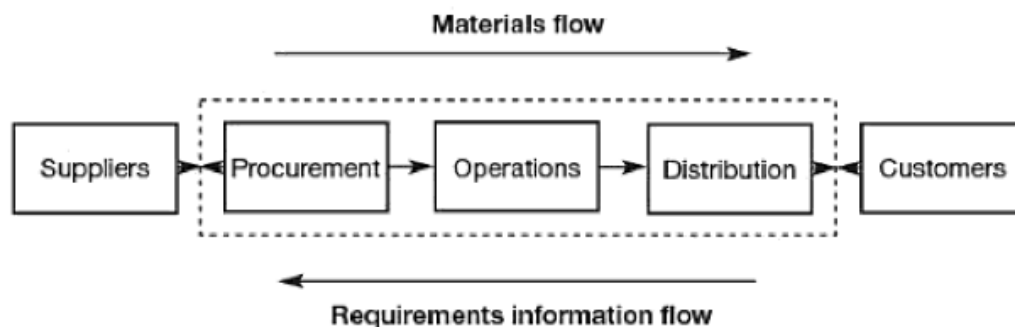
Igualmente, Lambert et al., (1998) integra el término logística en otro más general y la define como la:

parte de la gestión de la cadena de suministro (Supply Chain Management (SCM)) que planifica, implementa y controla el flujo eficiente y efectivo de materiales y el almacenamiento de productos, así como la información asociada desde el punto de origen hasta el de consumo con el objeto de satisfacer las necesidades de los consumidores (p. 68)

Langley et al. (2020) afirma que la logística trata de conseguir el producto correcto, para el cliente correcto, en la cantidad correcta, en la condición correcta, en el lugar correcto, en el tiempo correcto y al coste correcto. Christopher (2016) afirma que la gestión logística hace referencia al plan de coordinar todas las actividades que se necesitan para lograr altos niveles de servicio y calidad en la entrega de productos con el menor costo posible. En la figura 6 se evidencia que la gestión logística se ubica entre el suministro base y los lugares de comercio o cliente, donde la logística será la encargada de la gestión de las materias primas hasta la entrega del producto final al cliente.

Figura 6

Proceso de gestión logística



Nota. Adaptado de *Logistics & supply chain management* (p. 10), por M. Christopher, 2016, Pearson Uk.

4.1.2. Logística inversa

Dadas las consideraciones anteriores se puede evidenciar que la logística directa tiene gran relación con la LI, ya que ambas tienen como finalidad el movimiento de bienes en general. Sin embargo, existen diferencias significativas pero que se complementan entre estos dos conceptos, como bien se ha descrito anteriormente.

Según Vázquez (2008) y desde el punto de vista epistemológico, el concepto de logística como tal proviene desde los años 489 a.C, desarrollado inicialmente en la Antigua Grecia y entendido como “hacer algo lógico”, definición que se limitaba solo a la palabra en sí. El concepto de logística ha venido evolucionado por más de 50 años, suceso que no ha ocurrido con el concepto de LI, ya que es un término que se ha venido estudiando de forma más reciente.

Igualmente, según Giraldo (2008), la historia de la LI se remota hacia los años 80, año en el cual se comenzó a evidenciar una serie de protestas realizada por grupo de ecologistas, manifestando los daños al medio ambiente que estaban causando las industrias de los países y creando una alarma frente a los procesos que están llevando a cabo estas empresas para la distribución y comercialización de sus productos. En consecuencia, dichas empresas comenzaron a crear estrategias para mejorar sus procesos de distribución de productos amigables al medio ambiente, mejorando desde su diseño hasta su envase o empaque.

Seguidamente hacia los años 90, se comienza a evidenciar una serie de investigaciones y estudios, relacionados con la gestión de productos fuera de uso, enfocándose en la escasez de recursos y materiales, identificando posibles alternativas de disposición como puede ser reciclaje, reutilización, eliminación segura, entre otros. Uno de los primeros autores que empezó con el estudio de la LI es Stock (1992), quien empezó a realizar investigaciones sobre procesos de gestión y retorno de productos desde el usuario final hasta el productor o fabricante, aplicando actividades como reciclaje, reutilización de materiales y componentes, eliminación de residuos y las operaciones de restauración, Re-fabricación y reparación, haciendo así que el concepto de LI se comenzara a visualizar e implementar en las empresas.

En consecuencia, se evidencia un crecimiento sobre la importancia y la atención que las empresas le han brindado a la recuperación de productos o materiales de los clientes, ya sea con

el objetivo de recuperar valor o como servicios de postventa. Este proceso inverso se denominó ya hace años como Logística Inversa (Blewett, 1991). Guide y Van Wassenhove (2002) afirma, que la LI hace parte y se convierte en pieza fundamental de la cadena del suministro inversa, donde el papel que juegan los fabricantes o productores es importante, diseñando e implementando procesos para el reciclaje y/o reusó de los productos o materiales.

Diferentes autores han realizado estudios e investigación, con el objetivo de definir el concepto de LI, también llamada distribución inversa, retrologística o logística de la recuperación y el reciclaje. Autores como Rogers y Tibben-Lembke (2001), Brito et al. (2005), Dekker et al. (2004) y Stock (1992), coinciden en afirmar que LI se puede considerar como el proceso de planificación, ejecución y control de la eficiencia y eficacia del flujo de las materias primas, inventario en proceso, productos terminados e información relacionada, desde el punto de consumo hasta el punto de origen, con el fin de recuperar valor o la correcta eliminación.

En consecuencia, se pueden identificar actividades de la logística inversa como lo son la retirada y clasificación de mercadería, el reacondicionamiento de productos la devolución a orígenes, los procesos administrativos, la recuperación, reciclaje de envases y embalajes y residuos peligrosos. Rogers y Tibben-Lembke (2001), listaron las actividades de LI las cuales se muestran en la tabla 5.

Tabla 5

Actividades de la logística inversa

Material	Actividades de la logística inversa
Productos	Devolución al proveedor
	Reventa
	Reacondicionamiento

	Restauración
	Reprocesamiento
	Reciclaje
	Vertedero
	Reutilización
	Restauración
	Reciclaje

Nota: Rogers y Tibben-Lembke (2001)

Asimismo, al momento de implementar una estrategia de LI es muy importante tener en cuenta las razones que llevan a necesitarla, la cuales según Rogers et al. (2012) pueden ser las siguientes:

- **Razones competitivas.** Se piensa que un cliente satisfecho es un recurso indispensable y para que exista una satisfacción se necesita incluir la devolución de productos no deseados o productos que los clientes consideran que no satisfacen sus necesidades.
- **Eliminar el inventario de los clientes.** Se eliminan inventarios de los clientes, de esta forma pueden comprar productos nuevos.
- **Proteger el margen de ganancia.** Se trata de eliminar el inventario de los clientes con el fin de ofrecer siempre en venta productos frescos con los que se obtendrían mejores precios.
- **Problemas legales y medioambientales de vertedero.** Los nuevos requerimientos legales sobre impacto ambiental limitan la abertura de residuos peligrosos sin un correcto tratamiento, lo cual pueden suponer demandas legales millonarias a las empresas.

- **Recuperar el valor del producto y/o los recursos.** Stock (1992) y Guide y Van Wassenhove (2002) hacen énfasis en que se debe tener bien definidos aspectos como servicio al cliente y razones económicas, ya que, a partir de ellas, ya que determina el tipo de estrategia genérica de LI, ya puede ser estrategia de mercado, medio ambiental o de recuperación.

Algunos objetivos que se pueden encontrar a la hora de implementar una estrategia de LI son:

1. Maximizar el valor agregado a los productos y materiales que han retornado a la empresa, aprovechando al máximo los recursos reciclados.
2. Minimizar el costo del retorno de los productos y materiales, es decir hacer que la red funcione eficientemente.
3. Minimizar el impacto negativo de estos productos y materiales al medio ambiente.
4. Aumentar el servicio al cliente.
5. Disminuir el costo de producción.

Según Diabat et al. (2013), LI es una revolución en el mundo empresarial el cual tiende a convertirse en uno de los negocios con mayor crecimiento en el próximo siglo. Para poder implementar LI deben existir por lo menos tres elementos que se son:

- **Considerar el costo – beneficio.** Productos menores con un costo de producción más bajo, recuperación del valor de envases, empaques, embalajes, entre otras.
- **Requerimientos legales.** Son derivados de la protección a la salud y del ambiente.
- **Responsabilidad social.** Impulsado por organizaciones no gubernamentales y por asociaciones de consumidores que buscan productos más seguros y ambientalistas

4.2. Estado del arte

El método utilizado para la revisión bibliográfica se denomina “Análisis de Contenido”, que según Bernete (2013) consiste en un método de investigación observacional utilizado para evaluar sistemáticamente el contenido teórico de todas las formas de comunicación grabada, así mismo, permite identificar, seleccionar y clasificar la literatura en diversas categorías. Específicamente, se utiliza el método de análisis de designación, que corresponde a una división del análisis de contenido y que, según el mismo autor, equivale al análisis temático que se realiza para las referencias a un tema específico.

Acorde a lo anterior, la revisión bibliográfica se realiza con el fin de determinar los factores y variables más importantes de la LI, se realiza una búsqueda y análisis de artículos, cuyo objetivo se centró en el análisis bibliométrico de investigaciones y estudios realizados en el área de LI. La búsqueda se centró en bases de datos como *Science Direct*, *Scopus* y *Web Science*, utilizando palabras clave como “*bibliometric analysis*”, “*reverse logistics*”, “*pesticides*”, “*waste pesticides*”, “*Closed-Loop Supply Chain*”. Dentro de las ecuaciones de búsqueda utilizadas podemos encontrar “*reverse logistics AND pesticides*”, “*reverse logistics AND waste pesticides*”, “*reverse logistics AND bibliometric análisis*”, “*waste pesticides OR containers pesticides*”, “*pesticides AND NOT chemistry*”, “*reverse logistics AND hazardous materials*”.

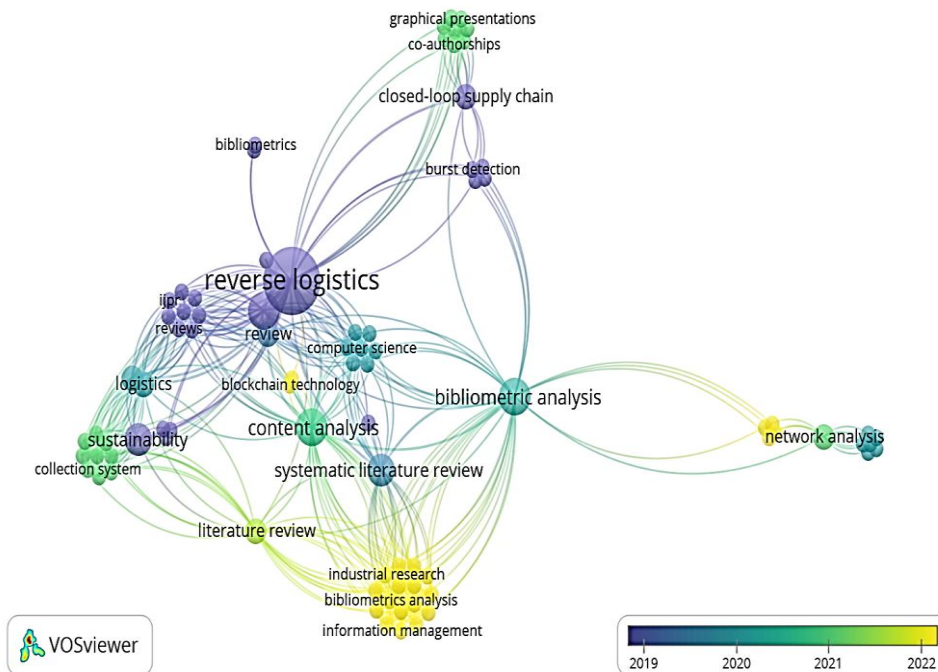
Inicialmente se realiza una búsqueda conjunta de documentos o artículos de análisis bibliométricos ubicados en revistas Q1 y Q2 que incluyan estudios de LI específicamente en residuos de plaguicidas, para lo cual no se encuentran documentos publicados en este tema particular. Con el fin de realizar análisis bibliométricos se realizó la búsqueda de los artículos desde el año 2000 al 2024, centrándose en artículos de revisión y de investigación específicamente en revistas del área de ingeniería y excluyendo revistas relacionadas con el

aspecto ambiental o químico de los residuos. Posteriormente excluyendo lo relacionado con plaguicidas se encontraron 35 documentos referentes a análisis bibliométricos en lo relacionado con LI.

En primera instancia se realizaron redes bibliométricas mediante el software *Vos Viewer*. Para la construcción de estas redes bibliométricas se parte de una base de datos de los artículos previamente seleccionados, la cual se descargó en formato csv de *Scopus*. Posteriormente se carga la base de datos al software, el cual crea redes bibliométricas por autores o palabra claves, evidenciando las relaciones que tienen entre sí y diferenciando una mayor participación o importancia en el tema. En la figura 7 se puede evidenciar inicialmente la red bibliométrica realizada para la comparación de las palabras clave encontradas en los artículos y como se relacionan entre sí, esto evidenciando en que años se han utilizado más estas palabras clave

Figura 7

Red bibliométrica Palabras clave con línea de tiempo



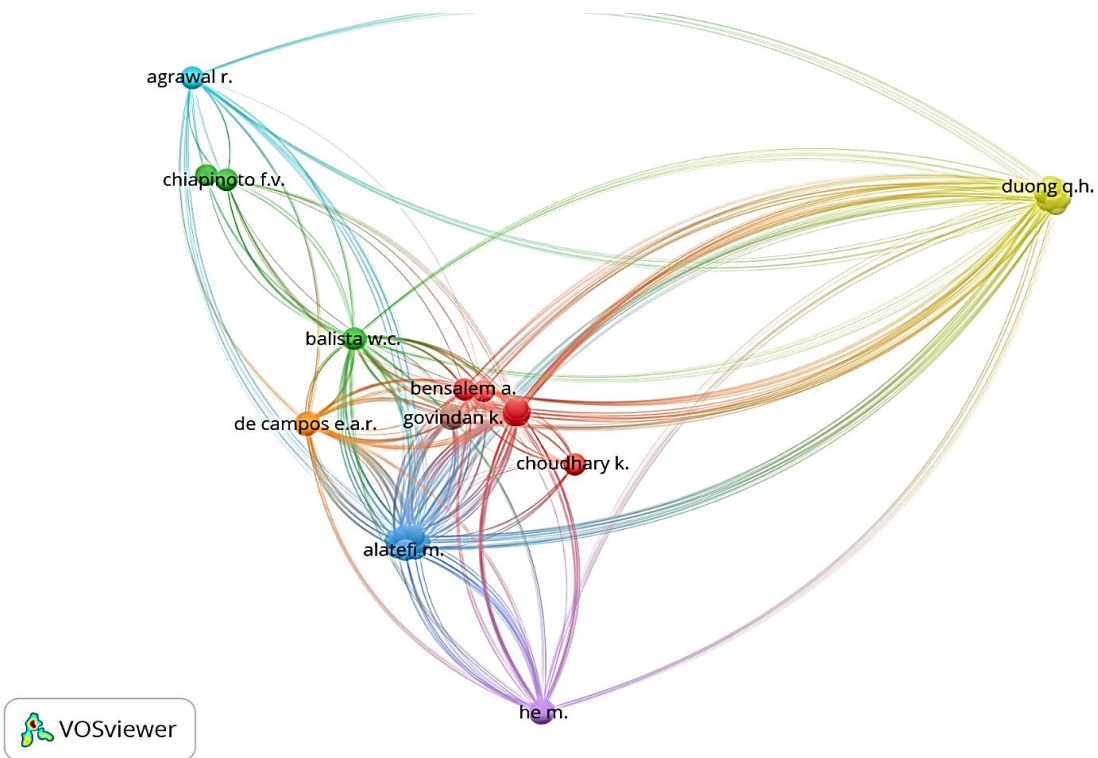
Nota. Elaboración propia.

En la red se evidencia que la palabra “*Reverse logistics*” es la más de mayor presencia en los artículos analizados, evidenciándose una mayor publicación en el año 2019 y la cual se observa en la red que tiene una relación estrecha con diferentes términos como *sustainability*, *blockchain technology*, *closed-loop supply chain*, palabras claves que están relacionadas directamente con el concepto de LI y que son utilizados por los autores para tener diferentes alternativas de metabuscadores o utilizados en algunos casos como sinónimos o conceptos similares.

Por otra parte, se realizó una red bibliométrica con el fin de analizar los autores que más han publicado en el área de LI y cuál de ellos posee una mayor colaboración con otros autores en los artículos (ver figura 8)

Figura 8

Red bibliométrica Autores LI



Nota. Elaboración propia.

De acuerdo con la anterior figura se puede evidenciar que el autor Govindan es uno de los autores más relevantes en la publicación de artículos y que tiene una mayor colaboración con más autores. Sin embargo, se evidencia que ninguno de los autores tiene una mayor relevancia en número de artículos publicados en el tema de LI. Por otra parte, de acuerdo con la revisión de bibliografía realizada, no se evidencia en la red, la presencia de algunos autores referentes en LI y que han sido pioneros en el tema, en consecuencia, se por medio de una búsqueda más detallada se identifican cuáles son los autores más referentes en el tema de LI y que han publicado un mayor número de artículos.

Por otra parte, Wang et al., (2017), realizaron un análisis bibliométrico de las investigaciones realizadas en LI durante los años de 1992 al 2015, donde por medio de la metodología de Análisis de Detección de Ráfagas (BDA), analizaron las tendencias de las investigaciones, estudiando variables como autores, años de publicación, variables incluidas en las investigación y temas de relevancia.

En primera instancia se evidencia un aumento de las publicaciones a través de los años, logrando su máximo en el año 2013 con 123 artículos de 912 analizados. Por otra parte, se analizó los autores inicialmente de acuerdo con la cantidad de artículos publicados sobre el tema de LI donde se identificaron los 10 autores con mayores publicaciones y se realiza una comparación con el total de artículos que se encontraron el buscador de Google Scholar sin restricción de periodo como se muestra a continuación en la tabla 6:

Tabla 6

Autores con más publicaciones en LI

Autor	Publicaciones Artículo	Google Scholar
1) Guide VDR	34	88

2) Fleischmann M	22	58
3) Thierry MC	21	
4) Ferrer G	20	36
5) Inderfurth K	18	78
6) Rogers DS	18	20
7) Jayaraman V	16	
8) van der Laan E	15	
9) Krikke HR	13	33
10) Teunter RH	13	19

Nota. Autor basado en (Wang et al., 2017)

En la tabla anterior se evidencia que el autor Guide VDR posee el mayor número de publicaciones en el área de LI, tanto evidenciados en el artículo como en el análisis de Google Scholar, lo cual evidencia la constancia y alta frecuencia de investigaciones y publicaciones realizadas por este autor en el tema. Por otro lado, se evidencia que durante el periodo de 1992 al 2015 los autores Fleischmann M y Thierry MC se ubican en los primeros puestos de número de publicaciones, sin embargo, se evidencia que en general durante todos los años, el autor Inderfurth K posee un mayor número de publicaciones esto debido a que tuvo un aumento significativo de publicaciones después del 2015, con un potencial en los años 2020 y 2021.

Así mismo, en la tabla 7 se observa los 10 autores con mayor número de citas en el área de LI, lo cual demuestra el impacto y visualización que han tenido sus publicaciones en otros artículos y para otros autores interesados en la LI. Se evidencia que Rommert Dekker y Surendra M. Gupta a pesar de que anteriormente no se resaltaban como autores con más publicaciones, por el contrario, si se destacan como autores con mayor número de citas en

el área de LI, lo cual evidencia que sus publicaciones han tenido un mayor impacto en otras investigaciones y lo han utilizado otros autores con mayor frecuencia en sus artículos.

Tabla 7

Autores con más citaciones en LI

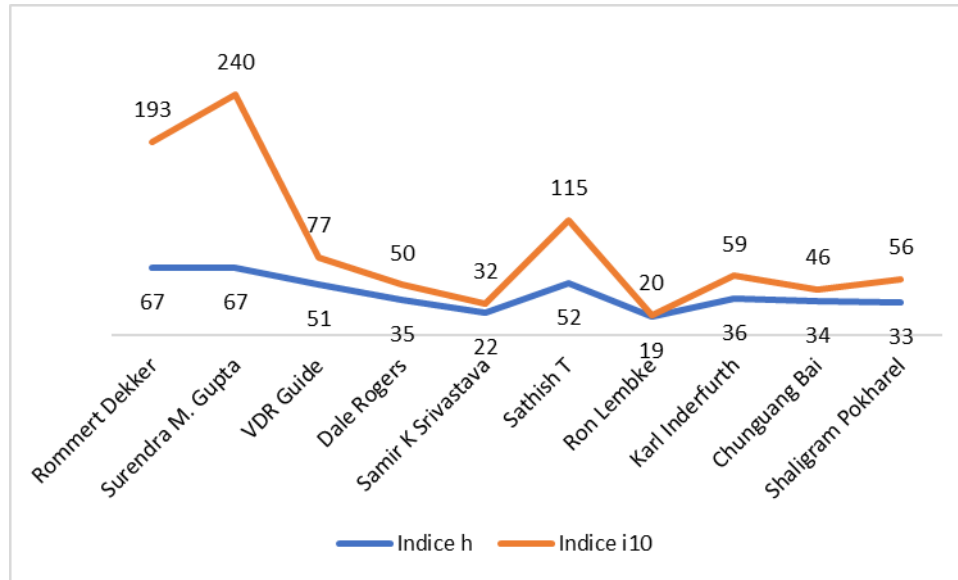
Autor	# Citaciones
Rommert Dekker	24496
Surendra M. Gupta	17405
VDR Guide	16803
Dale Rogers	15203
Samir K Srivastava	12451
Sathish T	6589
Ron Lembke	6488
Karl Inderfurth	5701
Chunguang Bai	5577
Shaligram Pokharel	5521

Nota. Google Scholar

En la figura 9 se analizó el índice h y el índice i10 de cada uno de los autores. El indicador h significa que h publicaciones se han citado al menos h veces y el indicador i10 indica las publicaciones que se han citado al menos 10 veces.

Figura 9

Indice h e Indice i10 autores LI



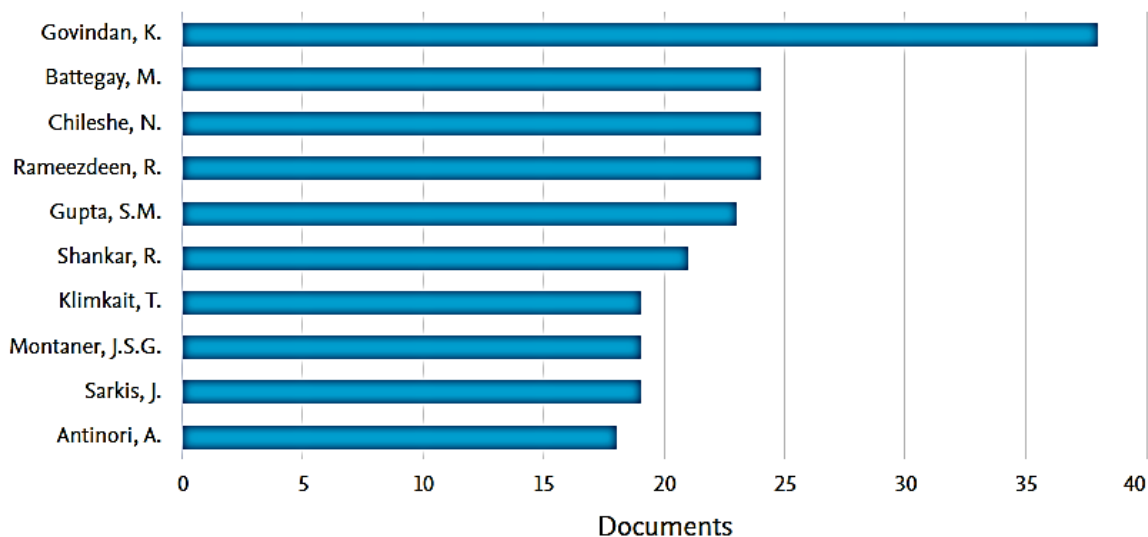
Nota. Google Scholar

Se evidencia que tanto el autor Rommert Dekker y Surendra M. Gupta poseen el índice h más alto entre los autores de LI con un valor de 67, lo cual significa que 67 publicaciones que han realizado los autores han tenido 67 o más citas dentro de otros artículos, evidenciándose un mayor impacto de estos autores en el área académica e investigativa de LI. Lo anterior se ratifica con el índice i10 donde cada uno posee 193 y 240 respectivamente, lo cual significa que dicho número de artículos poseen 10 o más citas en otros artículos.

Por otra parte, se realizó un análisis de las publicaciones en la base de datos Scopus bajo el metabuscaor “*reverse logistics*”, identificando en primera instancia los autores con mayor número de publicaciones. Se evidencia que el autor Govindan, K, posee el mayor número de documentos con aproximadamente 37 documentos y logrando una ventaja significativa con los autores siguientes como Battegay, M., Chileshe, N. y Rameezdeen con 24 documentos cada uno (ver figura 10).

Figura 10

Autores LI – Scopus

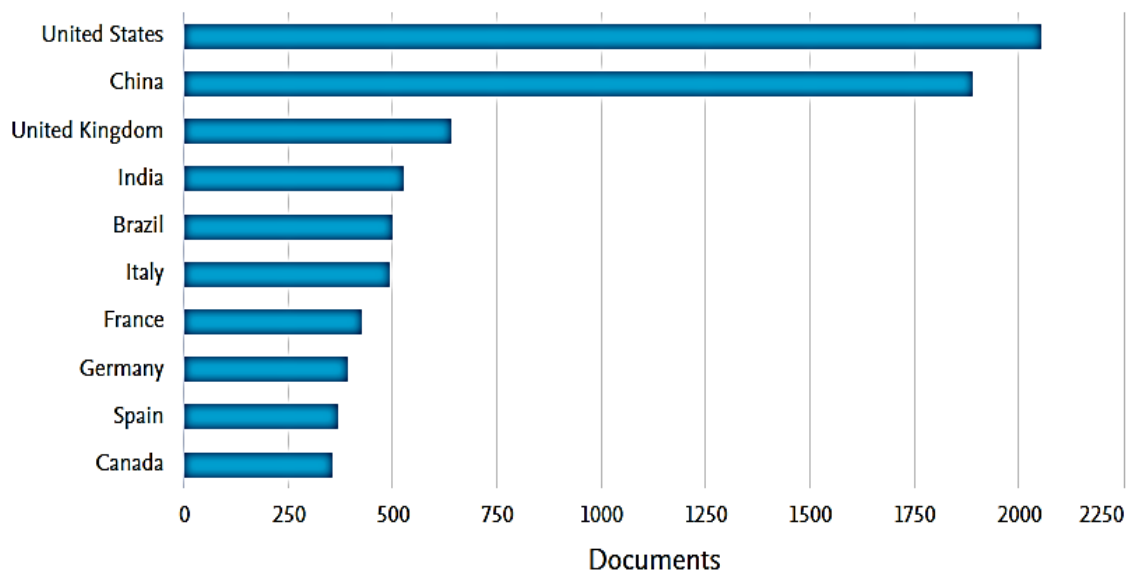


Nota. Scopus

Además, se realizó el análisis de las publicaciones encontradas de acuerdo con el país de procedencia de los autores o de las instituciones donde se encuentran afiliados los investigadores. En la figura 11 se puede observar que Estados Unidos lidera con 2051 publicaciones, seguido de China con 1889 publicaciones. Es importante resaltar que Brasil se ubica como país latinoamericano con mayor número de publicaciones en el tema de LI, con un total de 498 documentos.

Figura 11

Indice h e Indice i10 autores LI

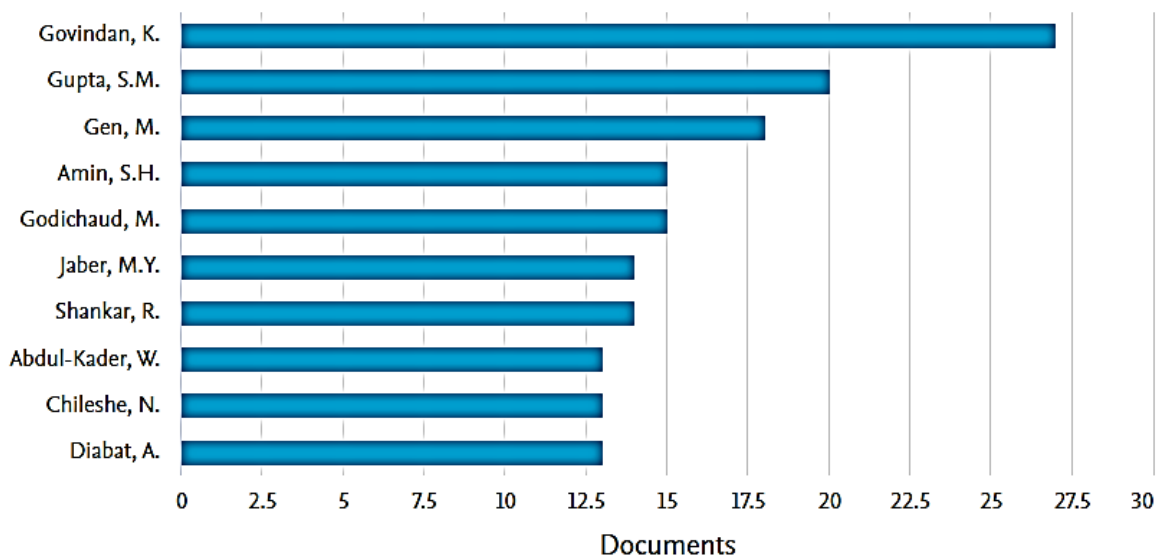


Nota. Scopus

Igualmente se realizó una búsqueda de las publicaciones realizadas en el tema LI pero con enfoque netamente cuantitativo, centrándose en aquellos artículos que hayan utilizado técnicas matemáticas o estadísticas como programación lineal, heurísticas, simulación, ecuaciones diferenciales, método AHP, procesos estocásticos, entre otros. En primera instancia se puede evidenciar que el autor Govindan, K. sigue siendo el autor con mayor número de publicaciones con 27 publicaciones, lo cual nos puede dar un indicio para comenzar a deducir que en general en el tema de LI, prevalece las investigaciones con un enfoque cuantitativo. En segundo lugar, encontramos al autor Gupta, S.M., con 20 publicaciones en el tema de LI y haciendo uso de herramientas matemáticas para el desarrollo de sus investigaciones (ver figura 12).

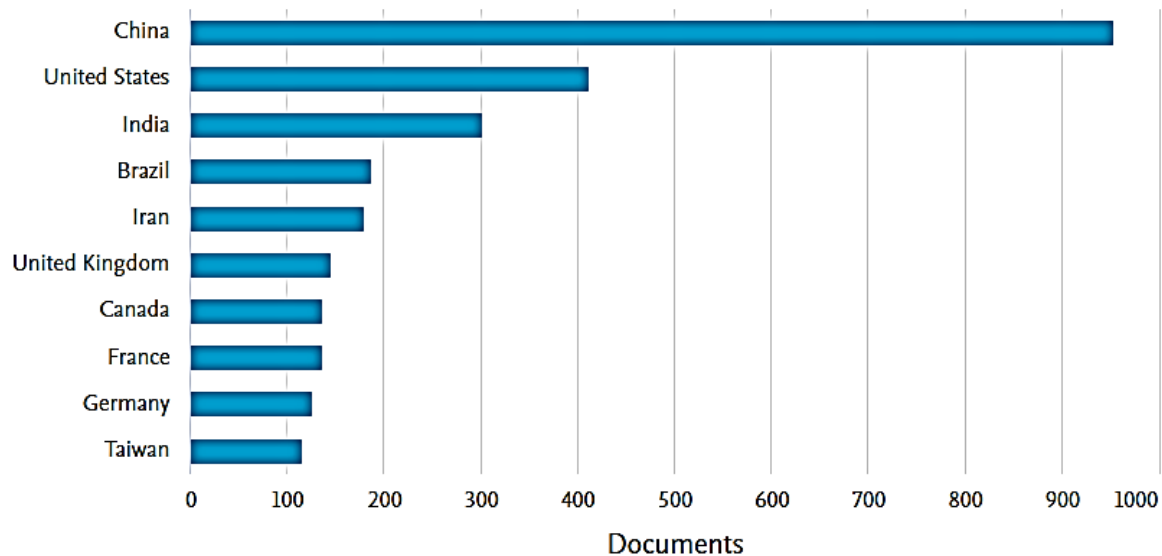
Figura 12

Autores LI con enfoque cuantitativo



Nota. Scopus

Así mismo realizando el análisis por países de procedencia de las publicaciones, en la figura 6 encontramos que China se ubica en primer lugar con 952 publicaciones, seguido de Estados Unidos con 411 publicaciones. Se observa que Brasil se ubica en cuarto lugar, pero se sigue destacando como el país latinoamericano con mayor número de publicaciones con un total de 186 artículos de LI con enfoque cuantitativo.

Figura 13*Países de LI con enfoque cuantitativo**Nota. Scopus*

En Colombia diversos autores han adelantado investigaciones sobre LI con el fin de realizar gestiones eficientes en diferentes residuos generados por sectores económicos. Una de las primeras aplicaciones que se evidencia es en el sector del plástico, donde inicialmente autores como Martínez, Mathiyazhagan, Solanilla & Morales (2021) realizaron una investigación con el objetivo de caracterizar el consumo de Tetra Pak y determinar los actores de la red logística para el municipio de Armenia, donde por medio de la revisión bibliográfica de 61 artículos, se detectaron las barreras que enfrentan los actores propuestos: demora y variabilidad en las devoluciones, pérdidas en la calidad, falta de planeación estratégica, etc. Igualmente, Peña-Montoya, Bouzon, Torres-Lozada & Vidal-Holguin (2020) proponen un modelo de madurez adaptado para medir los niveles de madurez de los aspectos de logística inversa en las pequeñas y medianas empresas en las regiones de Colombia con el fin de contribuir a la gestión sostenible de los residuos sólidos del sector plástico.

Así mismo en el sector del plástico, diversos autores han hecho uso de herramientas cuantitativas para proponer modelos de LI. De La Hoz, Vélez & López (2017), presentan un modelo de programación lineal multiobjetivo para el sector de logística inversa de polipropileno plástico. De la misma forma Thalía, Gustavo & Gonzalo (2023) proponen un modelo genérico de simulación de logística directa e inversa, que evalúa el desempeño de una estrategia de recolección de envases PET posconsumo en la ciudad de Barranquilla – Colombia e igualmente Jimenez-Delgado *et al.* (2021) utilizan técnicas como Proceso de Jerarquía Analítica Difusa (FAHP), Laboratorio de Ensayo y Evaluación de Toma de Decisiones (DEMATEL), Técnica de Orden de Preferencia por Similitud con la Solución Ideal (TOPSIS) para evaluar el desempeño en la gestión ambiental y la logística inversa en empresas del sector plástico.

Otro de los sectores de interés de los investigadores colombianos concierne a la gestión de residuos eléctricos y electrónicos. En consecuencia, Llerena-Riascos, Jaén, Montoya-Torres & Villegas (2021) presentan un enfoque de simulación basada en optimización que integra un modelo de dinámica de sistemas y un modelo de programación no lineal entera mixta para mejorar la representación y el rendimiento de los procesos de Residuos de Aparato Eléctricos y Electrónicos. Así mismo, Lara, Sánchez, Herrera, Valdivieso & Villalobos (2019) proponen un metamodelo que sirve como base para un lenguaje de modelado específico del dominio (DSML) para comprender los procesos de LI que se puede utilizar para analizar aplicaciones específicas, como la gestión de desechos electrónicos.

Por otra parte, otro de los residuos en los cuales se centran los estudios son los residuos peligrosos, los cuales requieren de un manejo y disposición especial por las condiciones y consecuencias que estos pueden tener. Sarria-Cruz, Álvarez-López, Lima-Rivera & Osorio-Gómez (2021), desarrollan una identificación y priorización de riesgos operacionales en la LI de

baterías de plomo-ácido en Colombia utilizando los cuestionarios y los enfoques FQFD (Fuzzy Quality Function Deployment). De la misma forma, Muñoz-Valencia, Franco-Cano, Triviño-Arbeláez & Álvarez-León (2017), revisan la normatividad de residuos peligrosos en Colombia, su aplicabilidad y reglamentación, con el fin de identificar vacíos y la aplicabilidad de la política ambiental nacional, así como un análisis DAFO en la aplicabilidad de la normatividad de residuos peligrosos en el departamento del Quindío, verificando la gestión integral y sus implicaciones.

Entre otros sectores se puede observar que Garzón-Agudelo, Palacios-Alvarado & Medina-Delgado (2021) estructuraron un modelo de Gestión de LI aplicado al sector mueblero en la ciudad de San José de Cúcuta, Colombia, a partir de la identificación y análisis de las prácticas empresariales actuales adoptadas por las empresas que hacen parte de este sector. Costa-Salas, Sarache & Überwimmer (2017) diseñan una red de cadena de suministro inversa, que está diseñado de acuerdo con tres escalones fundamentales (recolección de residuos, procesamiento y zonas de clientes). Para ello se hace uso de la simulación discreta y optimización para gestionar el tamaño de la flota en la gestión de neumáticos.

Por otra parte, Caliman Comper et al., (2016), también llevaron a cabo un análisis bibliométrico revisando publicaciones de LI durante el periodo de 2005 a 2015. Los resultados muestran que se presentan algunas oscilaciones en el número de artículos publicados, pero en general se presenta una tendencia de aumento durante el pasar de los años. Brasil y Estados Unidos son los países con más publicaciones, destacando que pocos estudios han abordado el rol de las Empresas Especializadas en LI, los Recicladores y el Gobierno como actores, evidenciando la necesidad de intensificar el estudio dirigido a estos actores, que también tienen su relevancia en el proceso de LI.

Igualmente, en el artículo se identifican las principales actividades de LI que se tienen en cuenta para los procesos y tipos de residuos bajo estudio en las investigaciones analizadas y los cuales coinciden con las expuestos por Wang et al. (2017):

- Remanufactura
- Reciclaje
- Recuperación
- Reparación
- Descarte
- Reducción de fuente
- Devolución de productos
- Reutilización
- Eliminación segura
- Reventa

Igualmente, en el análisis bibliométrico realizado por Wang et al. (2017), se identifican los temas más relevantes o con mayor atención entre los autores de publicaciones en el ámbito de LI, donde se observa que los temas más importantes son Logística verde, sostenibilidad, Ciclo de vida del producto, devolución de productos, remanufactura y diseño de red de LI.

Adicionalmente, se realizó un análisis de las técnicas cuantitativas y/o herramientas matemáticas más utilizadas dentro de las investigaciones de LI, donde inicialmente Wang et al. (2017) afirman que dentro del análisis bibliométrico que realizaron encontraron que dentro de las técnicas cuantitativas más utilizadas están Programación Lineal Entera Mixta (MILP), Simulación y Encuesta empírica. Caliman Comper et al. (2016) hallaron las técnicas cuantitativas adicionando otras con alto uso como Programación No Lineal Entera Mixta

(MINLP), Programación Difusa Entera Mixta, Cadenas de Markov y Programación Difusa Completa.

Complementario a ello, se realizó un análisis de las técnicas cuantitativas utilizadas por diversos investigadores en los últimos años, haciendo una búsqueda exhaustiva de artículos cuyo objetivo fue el diseñar redes de LI para diferentes tipos de residuos, haciendo uso de herramientas matemáticas. En la tabla 8 se puede evidenciar que existe una tendencia al uso de MILP como herramienta principal para el diseño de las redes, ya que esta herramienta ofrece a los investigadores la oportunidad de encontrar soluciones optimas a los modelos. Igualmente se evidencia un importante uso de la Programación por Metas (PM) para establecer los modelos de LI, ofreciendo una alternativa adicional en el cumplimiento de diferentes objetivos dentro de un mismo modelo. Se resaltan algunas investigaciones que utilizan la Programación Estocástica (SP) para el modelamiento de variables aleatorias inclusive realizando la combinación de técnicas matemáticas para el desarrollo total del modelo.

Tabla 8

Herramientas matemáticas en investigaciones de LI

Autores	MILP	MINLP	PM	AEC	SP	AG	GP	FP	VRP
Banguera, Sepúlveda, Ternero, Vargas & Vásquez (2018)	X								
Trochu, Chaabane & Ouhimmou (2018)	X								
Kuşakcı, Ayvaz, Cin & Aydın (2019)	X							X	
Xiao, Sun, Shu & Wang (2019)	X								
Shuang, Diabat & Liao (2019)	X				X				
Yu, Sun, Solvang, Laporte & Lee (2020)			X		X				
Aydın (2020)					X				
Yang & Chen (2020)	X				X				
Lu, Zhu, Wang, Xie & Su (2020)								X	
Safdar, Khalid, Ahmed & Imran (2020)			X						
Dutta, Mishra, Khandelwal & Katthawala (2020)			X				X		
Wang, Cevik, Amin & Parsaee (2021)								X	
Govindan, Nasr, Mostafazadeh & Mina (2021)			X						
Yükseltürk, Wewer, Bilge & Dietrich (2021)	X								
Chaabane, Montecinos, Ouhimmou & Khabou (2021)	X								X
Govindan & Gholizadeh (2021)			X						
Jauhar, Amin & Zolfagharinia (2021)			X						
Hashemi (2021)			X			X			
Gholizadeh, Goh, Fazlollahabbar & Mamashli (2022)		X				X			
Hu, Dong, & Xu. (2022)	X								

Nota. Elaboración propia

Por otra parte, de Souza Neto (2019) realizó un análisis bibliométrico, el cual se enfoca en el análisis de artículos de LI en residuos sólidos. Los resultados muestran una tendencia creciente en las publicaciones solo haciendo la búsqueda de artículos con el termino LI. Las mayores publicaciones de LI son de Estados Unidos, China, Reino Unido y Brasil. Adicionalmente, relacionando los términos de LI y residuos sólidos se evidencia una tendencia lineal creciente en el número de publicaciones donde se evidencia a Brasil como el país con mayor número de publicaciones. Este análisis bibliométrico muestra un resultado importante para la presente investigación, debido a que analiza un tipo de residuo muy similar a los envases y empaques vacíos de plaguicidas, logrando tomar como referente y comparativo los resultados aquí mostrados.

De la misma forma, Duong et al. (2022) llevan a cabo un análisis bibliométrico de las investigaciones publicadas alrededor del tema de retorno de productos, donde se evidencia un aumento creciente del número de publicaciones con un pico alto de 134 en el año 2020. Así mismo se resalta una categoría importante denominada gestión de operaciones que incluye el diseño de la red de (re)fabricación, la recuperación del producto, la distribución inversa y la calidad de los núcleos, donde se incluye la mayoría de las publicaciones (478).

4.2.1. Logística Inversa en residuos de plaguicidas

Debido a las investigaciones anteriormente descritas, la recolección y disposición de los envases y empaques vacíos de plaguicidas, se puede considerar como un proceso de LI, con el fin de evitar el contacto directo de estos desechos con los seres vivos. Por esta razón, varios autores han adelantado investigaciones respecto al tratamiento y disposición de estos residuos de plaguicidas. Varias investigaciones se han centrado en evaluar y analizar el comportamiento y las prácticas comunes de los agricultores para la disposición final de los envases y empaques vacíos

de plaguicidas, es por esto que Sharafi et al. (2018) investigaron la actitud y el comportamiento de los agricultores sobre el uso y los desechos de plaguicidas ubicado en la provincia de Kermanshah, en el oeste de Irán, donde los resultados demuestran que los agricultores no habían sido capacitados para el uso y disposición final de pesticidas.

En este mismo sentido autores como Sooriyaarachchi (2019) y Dewi et al. (2022) llevaron a cabo investigaciones objetivo investigar la brecha entre el conocimiento de los agricultores sobre las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) para el uso seguro de plaguicidas y su aplicación de las mismas, evaluando los programas implementados y determinar las prácticas actuales de eliminación de los agricultores, evaluar el progreso del programa de recogida de envases y examinar y hacer recomendaciones adecuadas. Igualmente, Sosan, Oladepo & Ajibade (2020) realizaron un estudio donde aplicaron una encuesta sobre las prácticas de eliminación de desechos de pesticidas por parte de los productores de cacao utilizando un cuestionario estructurado, donde se evidencia que las prácticas habituales de eliminación de envases de plaguicidas vacíos incluyen el desecho en la finca donde se utilizaron (30,4%), la quema en el aire (23,2%), el desecho en los vertederos de la aldea (11,6%) y la reutilización para otro fin (7,1%).

De la misma forma, existen diversos autores que realizan investigaciones con un alcance descriptivo haciendo uso de instrumentos de recolección como encuestas o cuestionarios con el fin de realizar caracterizaciones o diagnósticos frente a procesos de LI. En consecuencia, autores como Huici, Skovgaard, Condarco, Jørs & Jensen (2017), Rodrigues, Lopes & Silva (2021), Marsola, Oliveira & Neto (2022), Yawson (2022) y de Lima Junior (2023) realizan investigaciones aplicando encuestas o cuestionarios, con el fin de definir y evaluar el desempeño de la implementación de la LI para envases plásticos vacíos de pesticidas en diferentes

programas desarrollados en Brasil, Indonesia y Barbados. Adicionalmente, las investigaciones analizan el papel de los actores en la cadena de LI, identificando las prácticas comunes que tienen esto en la gestión de los envases y empaques vacíos de plaguicidas.

Igualmente, Bondori, Bagheri, Allahyari & Damalas (2019), adelantaron un estudio con el fin de investigar cómo los agricultores eliminan los desechos de pesticidas en el área de Moghan en Irán y los factores que influyen en su comportamiento, donde evidenciaron que la mayoría de los agricultores no utilizaba los envases vacíos de plaguicidas para uso doméstico (78,5%), ni enviaban los envases a centros de reciclaje o suministro de plaguicidas (84,1%). Casi la mitad de los agricultores (49. 2%) tenían poca conciencia de los riesgos de los pesticidas. Sosan, Oladepo & Ajibade (2020), llevaron a cabo una encuesta sobre las prácticas de eliminación de desechos de plaguicidas por parte de los productores de cacao. Las prácticas comunes de eliminación de envases de plaguicidas vacíos incluyen tirarlos en la finca donde se usaron (30,4 %), quemarlos en el aire (23,2 %), tirarlos en los basureros de las aldeas (11,6 %) y reutilizarlos para otro propósito (7,1%).

Morello *et al.* (2019), verifican cómo ocurre la disposición de residuos de plaguicidas en huertos de manzano en el sur de Brasil y verificar su conformidad con la legislación vigente. Los resultados mostraron que la mayoría de los agricultores realizan la gestión de los envases de plaguicidas vacíos y devolverlos a las estaciones o centros de acopio (85,5%), el otro 8,5% desecha de forma inadecuada los envases vacíos, manteniéndolos al aire libre o quemándolos. Debería ser señalado que el 20,7% de los agricultores almacenan estos envases al aire libre hasta que los entregan al acopio estaciones sin ningún tipo de protección y expuestas a personas y animales.

Otras investigaciones se enfocan en estudiar cómo se adelantan los programas de recolección. Por ejemplo, Jin, Bluemling & Mol (2018) presentan y analizan un programa exitoso de recolección de paquetes de pesticidas en una de las regiones más pobres de China (Guangxi), donde los autores afirman que si una compañía de pesticidas tomara la iniciativa para establecer un esquema de recolección de paquetes de pesticidas en otros contextos, el gobierno puede involucrar, en una etapa determinada, a otras empresas de plaguicidas en el establecimiento de tal esquema.

Así mismo, Xu *et al.* (2021) realizaron una investigación, donde por medio del uso de datos representativos a nivel nacional, exploran si el sistema institucional actual, impulsó efectivamente a los agricultores a adoptar métodos de trato amigable para envases vacíos de pesticidas desde tres aspectos: gobierno regulación ambiental, instrumento de mercado y característica personal, y además comparó sus efectos relativos y analizó la efectos moderadores de ellos, a fin de proporcionar ideas útiles para el reciclaje y tratamiento inocuo de botellas de pesticidas de desecho en zonas rurales de China.

Finalmente, se evidencia el desarrollo de investigaciones en residuos de plaguicidas con enfoque cuantitativo, las cuales hacen uso de herramientas matemáticas o estadísticas para el cumplimiento de los objetivos. En este sentido autores como Marnasidis, Stamatelatou, Verikouki & Kazantzis (2018) y Garbounis & Komilis (2021), desarrollan modelos matemáticos para describir la tasa de generación de envases plásticos de pesticidas desechados en función de información proporcionada por los ingenieros agrónomos de tiendas de insumos y cooperativas agrícolas (stakeholders) consultando a los agricultores.

Por último, diferentes autores incursionaron la posibilidad y análisis de actividades de economía circular para envases y empaques vacíos de plaguicidas. En consecuencia, Raza *et al.*

(2022) llevaron a cabo un estudio donde analizaron las prácticas de economía circular en el tratamiento de residuos de envases de plaguicidas en Pakistán, por medio de la aplicación de una encuesta agrícola de 210 agricultores. En el estudio se aplica la técnica de modelado de ecuaciones estructurales de mínimos cuadrados parciales para evaluar el impacto de diferentes elementos, como las normas subjetivas, la actitud, el control conductual percibido, la intención y las preocupaciones ambientales, en la adopción por parte de los usuarios finales con respecto al reciclaje de residuos de envases vacíos de pesticidas.

Igualmente, Martínez-Guido, Bernabé-Martínez, Gutiérrez-Antonio & Hernández (2023), proponen la planificación óptima de una cadena de suministro para la revalorización de los envases plásticos vacíos de pesticidas y fertilizantes (botellas), por medio del desarrollo de un modelo de programación lineal entera mixta para un caso de estudio de tres estados de México. Los principales resultados muestran que es posible obtener 715 toneladas de pellets y hojuelas como productos a partir de envases de pesticidas y fertilizantes, generando un posible beneficio económico de USD\$164,480 por año y una reducción anual de 1,136 toneladas de CO₂, en comparación con la situación actual.

Por último, Picuno, Godosi, Kuchta & Picuno (2019), adelantaron una investigación con el fin de implementar una estación piloto que se realizó en Italia con el objetivo de implementar y probar un sistema codificado para la descontaminación de estos envases de plástico para agroquímicos.

4.2.2. Logística Inversa en la Agricultura

Por otra parte, a diferencia de las investigaciones que se han realizado para el tema concerniente a los residuos de plaguicidas que se enfocan a evaluar los procesos de recolección, diferentes autores han adelantado investigaciones en el tema de LI aplicados al sector agrícola.

Inicialmente se puede evidenciar que las investigaciones realizadas en este sector, tienen un enfoque cuantitativo, haciendo uso de modelos matemáticos o estadístico. Es así que autores como Rajabi-Kafshgar, Gholian-Jouybari, Seyedi & Hajiaghaei-Keshteli (2023) desarrollan un modelo matemático de programación lineal entera mixta para una red de cadena de suministro agrícola con el fin de minimizar los costos fijos y variables totales de la cadena de suministro de circuito cerrado, el cual es comprado con técnicas como el algoritmo genético, algoritmo Keshtel, algoritmo competitivo imperialista y el optimizador de ingeniería social.

Igualmente, Salehi-Amiri, Zahedi, Akbapour & Hajiaghaei-Keshteli (2021) diseñan una nueva red de una cadena de suministro de circuito cerrado para la industria de la nuez como parte del cultivo agrícola mediante un modelo de Programación Lineal Entera Mixta, resolviendo el modelo por medio de metaheurísticas exactas e híbridas. Martinazzo *et al.* (2023) diseñan una alternativa para los residuos de cuero curtido al cromo por medio de la técnica de Análisis de Varianza, con el objetivo de brindar apoyo técnico y científico a una iniciativa de implementación de LI para la industria brasileña de Equipos de Protección Individual.

Finalmente, Lagarda-Leyva, Morales-Mendoza, Ríos-Vázquez, Ayala-Espinoza & Nieblas-Armenta (2019), propone un modelo de logística inversa en la cadena de suministro de tomate para evaluar económica y ambientalmente el proceso de recolección y disposición final de los envases vacíos de agroquímicos mediante hipótesis dinámicas y evaluación de escenarios. Para el estudio se desarrolló las siguientes etapas: (1) análisis de la cadena de suministro de productos; (2) caracterización del proceso de producción; (3) elaboración del diagrama causal e hipótesis dinámicas; (4) construcción del diagrama de Forrester y ecuaciones; (5) simulación y análisis de sensibilidad; y (6) diseño de la interfaz de usuario.

De acuerdo con el análisis realizado a las diferentes investigaciones, se evidencia que los estudios realizados en LI aplican técnicas matemáticas enfocadas a modelos determinísticos con el uso de herramientas de Investigación de Operaciones como Programación Lineal, Programación Lineal Entera Mixta, Simulación y uso de heurísticas y metaheurísticas. También se hace uso de algunas herramientas estadísticas como Análisis de varianza y técnicas de regresión.

Por otra parte, en cuanto a las investigaciones enfocadas a los envases y empaques vacíos de plaguicidas se observa que la mayoría son estudios con enfoques cualitativos con alcance descriptivo para evaluar los programas de recolección y disposición final o evaluar las prácticas que realizan los agricultores en la disposición de los envases de plaguicidas. Existe una cantidad menor de investigaciones en el tema de residuos de plaguicidas con enfoque cuantitativo, donde se evidencia el uso de herramientas matemáticas como Programación Lineal Entera Mixta y modelos estadísticos como Ecuaciones estructurales y técnicas de regresión.

En cuanto a las investigaciones de LI en el sector agrícola, se observa que la tendencia es el uso de modelos o técnicas matemáticas y estadísticas como Programación Lineal Entera Mixta, Análisis de Varianza y Dinámica de Sistemas.

Todas las investigaciones estudiadas e incluidas en la revisión de literatura tienen aplicaciones muy concretas en cuanto al tipo de residuo estudiado o el sector en específico en el que se aplica. En consecuencia, es allí donde se evidencia el aporte innovador que tiene la presente tesis doctoral, creando un modelo logístico integral para un proceso de LI, el cual permite medir el desempeño de cualquier tipo de sistema de gestión de residuos, determinando un modelo teórico compuesto por factores y variables, el cual se puede adaptar a todo proceso de LI.

4.2.3. *Diseño de redes de LI*

Varios autores han centrado sus esfuerzos en definir una serie de variables y aspectos que se deben incluir al momento de diseñar redes de LI para cualquier tipo de residuo o producto, convirtiéndose en base fundamental para las investigaciones cuyo objetivo es diseñar modelos de LI.

Krikke, Kooi, y Schuur (1999), Fleischmann, Bloemhof-Ruwaard, Beullens y Dekker (2004), Srivastava (2008), Yongsheng y Shouyang (2008), Alshamsi y Diabat (2015), coinciden en estipular como características de las redes de LI las siguientes:

1. Las mercancías de un cliente van al único centro de colección abierta
2. Las mercancías procedentes de un cliente van a un solo centro de acopio,
3. Un centro de recogida se mantiene abierta,
4. La distancia entre un cliente y un centro de recogida está dentro de un límite determinado para cumplir los requisitos mínimos de nivel de servicio al cliente, y
5. Las tres decisiones de disposición son mutuamente excluyentes y exhaustivas,
6. Las mercancías se envían a centros de reelaborar según las normas de disposición,
7. Los productos de los centros de recogida van sólo a los centros de trabajo de repaso abiertas,
8. El balance de la capacidad en los centros de trabajo de repaso,
9. Las mercancías procesadas dentro de los límites de capacidad en los centros de trabajo de repaso abiertas,
10. El balance de inventario en los centros de trabajo de repaso, y
11. Todos los parámetros y variables son no negativas.
12. Todos los parámetros y variables son no negativas.

Igualmente exponen que se deberán tener en cuenta los siguientes supuestos y variables al momento de diseñar redes de LI:

- Para cada punto de suministro: la cantidad (kg) de productos desechados debe estar especificada por opción de Recuperación y Disposición
- Para cada punto de demanda del cliente: la cantidad (kg) de productos secundarios, se especifica por opción de Recuperación y Disposición
- Para cada opción de Recuperación y Disposición: especificar la secuencia de tipos de instalaciones necesarias para realizar esta opción
- Para cada tipo de instalación: determinar un conjunto de ubicaciones factibles más inversión y (constante y variable) costo de procesamiento en estos lugares
- Distancias entre todos los lugares posibles más costo de transporte.

Luego del análisis cuantitativo, se puede concluir inicialmente que la mayoría de los autores afirman que los procesos de LI que realizan las empresas a fin de realizar una correcta gestión de los residuos o productos fuera de uso se incentivan por cumplimiento legal o ambiental y con el objetivo de evitar sanciones económicas. Por otra parte, se evidenció que las alternativas de disposición final más comunes resaltadas por los autores son la remanufactura, reciclaje, reparación y eliminación segura, lo anterior teniendo en cuenta que dentro de las investigaciones analizadas los temas que más abordan los autores son la logística verde, sostenibilidad, Ciclo de vida del producto y devolución de productos.

5. Metodología de investigación

El contenido de este apartado está constituido por la explicación de las hipótesis, el tipo, nivel y diseño de la investigación, población y muestra, técnicas e instrumentos de recolección de datos, medición de la encuesta y la validación de mismo.

5.1. Hipótesis

Las hipótesis planteadas se han formulado de acuerdo con la revisión de literatura anteriormente expuesta y teniendo en cuenta el contexto propio de la investigación.

H1: Los agricultores del departamento de Boyacá no realizan la correcta disposición y tratamiento final de los envases y empaques vacíos de plaguicidas

H2: Las empresas recolectoras de envases y empaques vacíos de plaguicidas no poseen una red de logística inversa definida de forma eficiente.

H3: La cantidad recolectada de envases y empaques vacíos de plaguicidas en el departamento de Boyacá, depende de la publicidad y promoción del proceso.

H4: El número de agricultores del departamento de Boyacá que realizan el tratamiento adecuado para los envases y empaques vacíos depende del conocimiento teórico y práctico sobre el procedimiento adecuado.

El modelo logístico propuesto permite incluir las variables claves a considerar para una eficiente recolección de envases y empaques de plaguicidas agropecuarios.

5.2. Tipo y nivel de la investigación

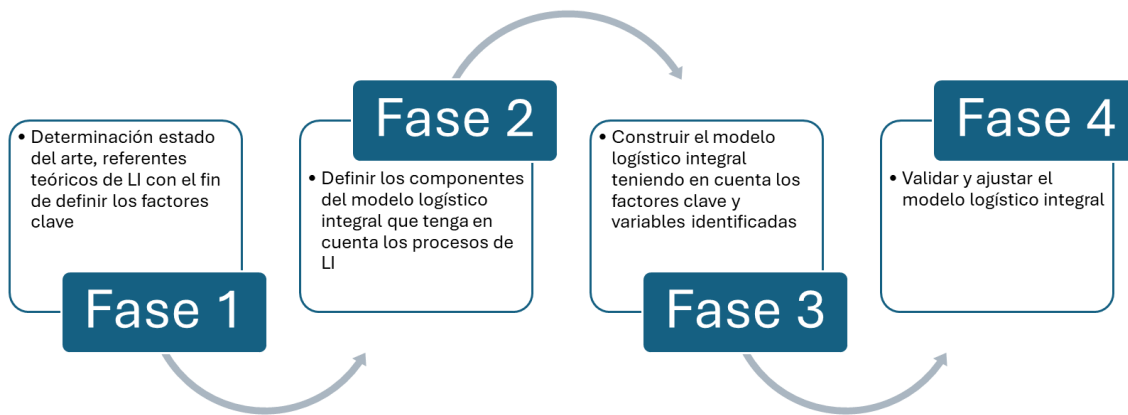
La investigación desarrollada es de tipo aplicada y específicamente tomará los lineamientos de Yin (2003) para desarrollar un estudio de caso con un enfoque netamente cuantitativo, el cual manejará tres niveles de alcances: descriptivo, exploratorio y correlacional-causal, los cuales tiene en cuenta los lineamientos expuestos por Hernández-Sampieri y Mendoza

Torres (2018) y Edmonds y Kennedy (2016), describiéndola como un tipo de investigación cuyo objetivo es describir relaciones entre dos o más variables en un momento determinado.

Igualmente se hace uso de diversas técnicas estadísticas de análisis descriptivos, análisis de componentes principales y el modelamiento de ecuaciones. La metodología está compuesta por cuatro fases que se ilustran en la Figura 14

Figura 14

Fases metodológicas



Nota. Elaboración Propia

Fase 1. Inicialmente y siguiendo los lineamientos de Paul y Criado (2020) se realizó una revisión sistemática de literatura e investigaciones que se han llevado a cabo a nivel mundial, con el fin de identificar el estado actual de la recolección y devolución de envases y empaques vacíos de plaguicidas, esto se hará por medio de bases de datos como Science Direct, Scopus, Redalyc, entre otros. Igualmente, se llevó a cabo la conceptualización de la teoría referente a LI, construyendo el estado del arte por medio de la revisión de literatura e identificando los autores que mayores publicaciones tienen en el tema. Posteriormente, se realizó la revisión de análisis bibliométricos por medio del software *Vos viewer*, logrando identificar en primera instancia los autores que más han publicado en el tema de LI e igualmente cuales son las temáticas o líneas de

investigación en tendencia y hacia dónde irán encaminadas las futuras investigación. Finalmente, en esta etapa se describe por medio de los autores principales, las características a tener en cuenta al momento de diseñar procesos de LI, las cuales servirán como base para el modelo integral de logística a desarrollar.

Fase 2. En esta etapa por medio de la revisión bibliográfica desarrollada en la etapa anterior y de acuerdo con lo expuesto por Srivastava (2008), Rogers, Melamed & Lembke (2012) y Bag & Gupta (2020), se determinaron los factores y variables que se debían incluir en el modelo integral de logística. En consecuencia, los cuatro factores analizados fueron en su orden; primero, transporte; segundo, almacenaje; tercero, disposición final y, cuarto y último, satisfacción del cliente.

Fase 3. En esta tercera etapa y teniendo en cuenta lo expuesto por Aparicio Morales y Hernández Estrada (2021) se realizó la construcción del modelo logístico integral haciendo uso de la técnica estadística de Análisis de Componentes Principales, donde inicialmente se realiza la construcción de un instrumento de recolección de información de acuerdo a los factores y variables identificados en la etapa anterior, el cual es validado por medio del coeficiente del Alfa de Cronbach.

Posteriormente se aplicó el instrumento a 220 actores que participan en el proceso actual de recolección y disposición de envases y empaques vacíos de plaguicidas en el departamento de Boyacá dividido en tres categorías: Fabricantes y/o Importadores, Comercializadores y Agricultores. Finalmente se logra obtener el modelo integral de logística que describe el proceso de LI actual para envases y empaques vacíos de plaguicidas en el departamento de Boyacá.

Fase 4. A partir de la etapa anterior, posteriormente se pretende validar el modelo logístico integral, donde por medio de la técnica de comparación directa (Aparicio Morales &

Hernández Estrada, 2021) se realizaron entrevistas estructuradas por medio de muestreo por conveniencia a los diferentes actores incluidos en el modelo donde se contrastará que el modelo planteado arroje los resultados que se esperaban y sean acordes y confiables con el sistema actual.

5.3. Diseño de la investigación

5.3.1. Población y muestra

Para el estudio actual se tuvo en cuenta el sector agrícola del departamento de Boyacá, donde se identificaron tres poblaciones diferentes de acuerdo al nivel de participación de individuos o empresas en el proceso de LI de envases y empaques vacíos de plaguicidas.

- **Fabricantes y/o importadores** Inicialmente se tiene en la primera población a aquellas empresas Fabricantes y/o Importadoras de insumos agrícolas especialmente plaguicidas o agroquímicos, los cuales no necesariamente deberán estar ubicados en el departamento de Boyacá, pero si se incluye solo aquellos que dentro de sus zonas de influencia o de ventas se encuentre Boyacá. Según la base de datos de empresas Fabricantes y/o Importadoras de Plaguicidas registrada por el ICA (Instituto Colombiano Agropecuario), para el año 2023 (última actualización), se tienen registradas un total de 108 empresas que tiene operación y ventas de plaguicidas en el departamento de Boyacá.

En la ecuación 1 se realiza el cálculo de la muestra para esta población, por medio de un muestreo aleatorio simple con un nivel de significancia del 5% y un error admisible del 10%.

$$n = \frac{Z_{\alpha}^2 * N * p * q}{e^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * N * p * q} = \frac{1.96^2 * 108 * 0.5 * 0.5}{0.1^2 * (108 - 1) + 1.96^2 * 0.5 * 0.5} = 51.1 \cong 51 \quad (1)$$

- **Comercializadores.** En la segunda población se encuentran las tiendas o establecimientos que comercializan o venden insumos agrícolas específicamente

plaguicidas y que para incluirlas dentro del estudio necesariamente deben tener su sede o local en algún municipio o sector del departamento de Boyacá. Para el cálculo de la muestra de la población se tiene en cuenta la base de datos suministrada por el ICA (2023), donde se registran para Boyacá 457 establecimientos dedicados a la venta de plaguicidas. Para esta población, se realiza un muestreo estratificado discriminado por las provincias del departamento de Boyacá. En la ecuación 2 se evidencia el cálculo de la muestra general de la población de comercializadores con un nivel de significancia del 5% y un error admisible del 10% y en la tabla 9 se observa el muestreo final estratificado por provincias

$$n = \frac{Z_{\alpha}^2 * N * p * q}{e^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * N * p * q} = \frac{1.96^2 * 457 * 0.5 * 0.5}{0.1^2 * (457 - 1) + 1.96^2 * 0.5 * 0.5}$$

$$= 79.5 \cong 80 (2)$$

Tabla 9

Muestreo estratificado comercializadores

PROVINCIA	POBLACIÓN	MUESTRA
Centro	123	22
Gutiérrez	5	1
La libertad	2	0
Lengupá	18	3
Marquez	43	8
Neira	12	2
Norte	15	3
Occidente	46	8

Oriente	17	3
Ricaurte	52	9
Sugamuxi	61	11
Tundama	59	10
Valderrama	4	1

Nota. Elaboración propia

- Agricultores.** Finalmente, se tiene en cuenta como actor de participación para el estudio todas aquellas personas dedicadas a la actividad agrícola de siembra y cosecha de productos provenientes el sector agropecuario. Para el cálculo de la muestra se toma como fuente la Encuesta Nacional Agropecuaria Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE, 2020), donde para el departamento de Boyacá para el año 2020 se tiene un censo del sector agropecuario de 1.242.731 personas, realizando una proyección de población de este sector para el año 2023 de 1.267.378 personas, dato que se tiene en cuenta para el cálculo final de la muestra. En la ecuación 3 se evidencia el cálculo de la muestra general de la población de agricultores con un nivel de significancia del 5% y un error admisible del 10%.

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{Z_{\alpha}^2 * N * p * q}{e^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * N * p * q} = \frac{1.96^2 * 1267378 * 0.5 * 0.5}{0.1^2 * (1267378 - 1) + 1.96^2 * 0.5 * 0.5} \\
 &= 96.03 \cong 96 \text{ (3)}
 \end{aligned}$$

Para el proceso de recolección de información y aplicación del instrumento a los actores anteriormente descritos, se aplicó el instrumento de forma física y digital entre los meses de febrero a abril de 2024, esto mediante el uso de correos suministrados en las bases de datos del ICA y quienes colaboraron en forma individual y autónoma

El instrumento consta de seis preguntas iniciales midiendo variables sociodemográficas como género, edad, municipio, provincia, nivel de educación entre otras. Posteriormente, el instrumento tiene 11 preguntas concernientes a las variables y factores determinados propios para el modelo de LI, las cuales se miden en una escala Likert de 1 a 10 siendo 1 la calificación más baja y 10 la calificación más alta frente a la precepción de cada uno de los actores de participación de cada una de las variables medidas. El instrumento se aplicó en forma personalizada, auto aplicada y sin control de tiempo. El instrumento de forma digital fue construido y aplicado por medio de la aplicación *Microsoft Forms* desde el correo institucional de la universidad se diligenció el instrumento donde se almacenaron automáticamente las respuestas en una base de datos que luego fue tabulada y analizada la información.

5.3.2. Realización del instrumento

Para la construcción del instrumento de recolección de información, inicialmente se realizó la revisión de diferentes modelos y teorías expuestas sobre LI, tomando como autores base del tema a Fleischmann, et al. (2024), Rogers, Melamed y Lembke, (2012), Srivastava, (2008), Guide y Van Wassenhove, (2002), Rogers y Tibben-Lembke, (1999) y Stock, (1992), donde se analizó e identificó los elementos claves para una eficiente gestión del proceso de LI, combinados con teorías referentes en procesos de recolección y disposición final de residuos, se llega a la definición de cuatro Factores clave a saber: Transporte, Almacenaje, Disposición Final y Satisfacción del cliente.

De los factores anteriormente determinados, se identificaron una serie de variables que influyen en cada uno de ellos, las cuales se pretenden medir con el fin de determinar un modelo para determinar la incidencia que tiene cada uno de los factores dentro de un proceso eficiente de

LI y en específico en el proceso de LI para la recolección y disposición de envases y empaques vacíos de plaguicidas en el departamento de Boyacá

5.3.3. Descripción del instrumento

El instrumento de recolección de información consta de dos partes, la primera parte correspondió a la descripción de variables sociodemográficas entre las cuales se incluyeron el municipio, edad, genero, nivel de educación, provincia, entre otras, las cuales aportan a la caracterización inicial de cada uno de los actores de participación y la posible relación que pueden tener con la percepción del proceso de LI. La segunda parte del instrumento correspondió a los cinco factores de identificados para el proceso de LI: Transporte, Almacenaje, Disposición Final y Satisfacción del cliente, dividido en 11 variables: Control de acceso (Mollenkopf, 2010), Sistemas de Información de Logística Inversa (Huscroft et al., 2013), Tiempo del ciclo de disposición (Alshamsi & Diabat, 2015), Centros de devolución centralizados (Alkahtani et al., 2021), Devolución cero (Gaur et al., 2022), Remanufactura y Reacondicionamiento (Ferreira & Gonçalves, 2021), Recuperación de Activos (Wilson & Goffnett, 2022), Negociación (Rogers & Tibben-Lembke, 1999), Gestión Financiera (Panjeh Fouladgaran & Lim, 2020), Outsourcing (Wang et al., 2021) y *Stakeholder relationship management*. (Baah et al., 2020) El instrumento de recolección de información se muestra el Anexo 1.

5.4. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

El análisis y el procesamiento de la información se realizó mediante la utilización del software estadístico R, que por medio de análisis de componentes principales y la aplicación de la regresión basada en mínimos cuadrados ayudaron al establecimiento de las correlaciones entre variables, para aprobar o rechazar las hipótesis planteadas.

5.4.1. Validez del instrumento (contenido, criterio, constructo)

Inicialmente para validar el instrumento de recolección de información mediante la técnica de focus group donde participaron académicos expertos en el tema, empresa encargada de la recolección de los residuos de plaguicidas, comercializadores, agricultores y entidades gubernamentales que tienen relación con el proceso. En consecuencia, los participantes coinciden que a nivel general los factores y variables incluidos en el instrumento son las adecuadas y pertinentes para medir el proceso de LI, ya que abarca en su mayoría todos los aspectos que se deben tener en cuenta para dicho proceso.

En cuanto a las preguntas formuladas inicialmente se modificó la pregunta número 11 debido a que consideraban que era muy general y debía ser más detallada para que los que respondieran tuvieran claridad frente a qué tipo de entidades gubernamentales o ambientales se estaban refiriendo. Así mismo, la pregunta número 8 fue modificada aclarando a que tipo de actores dentro del proceso se hacía alusión a los posibles incentivos que podrían tener por sus participaciones.

5.4.2. Medición del instrumento “Encuesta”

La validez, se refiere al grado en que un instrumento realmente mide la variable que pretende medir, contiene tres tipos de validez como son de contenido, de criterio, de constructo y que se presenta a continuación:

- **Validez de criterio.** La validez del instrumento de medición, como se explicó en apartados anteriores, se realizó estableciendo cuatro factores que fueron construidos basados en la teoría estudiada y analizada sobre los procesos de LI para diversos productos fuera de uso y/o residuos como electrodomésticos, materiales peligrosos, automóviles, residuos electrónicos, entre otros. El instrumento que se desarrolló se basó

tanto en los análisis bibliométricos del tema planteado con autores reconocidos aunado a los aportes de los expertos de la actividad del focus group para evaluar los factores y las variables complementado con los aportes del investigador.

- **Validez de constructo.** La validación de un constructo estuvo correlacionada con la teoría que para este caso correspondió a la logística inversa aplicada a la gestión de residuos y/o productos fuera de uso en este caso en particular para envases y empaques vacíos de plaguicidas. Por otro lado, no hay mucho desarrollo de la teoría, pero si hay investigaciones que demostraron conceptos asociados y esta fue una motivación para la realización del tema de investigación.
- **Criterio de confiabilidad o fiabilidad.** El cálculo de este criterio se realizó mediante la prueba de Alpha de Cronbach, donde tuvo un valor de 0.8399, correspondiente al 83,99%, lo cual se considera que el instrumento tiene una consistencia buena por estar dentro del rango 0.8 y 0.9. Este instrumento cuenta con los cuatro factores de análisis y las respectivas variables ya mencionadas anteriormente.

6. Componentes modelo logística inversa

En este capítulo se describirán los factores y variables que se determinaron para el modelo de LI, el cual tiene en cuenta los componentes teóricos que debe tener cualquier sistema o red de LI y que se estipulan a partir de la recopilación de los postulados de diferentes autores relevantes en este tema.

Inicialmente se determinaron cuatro factores generales que describen los componentes de los procesos de LI para cualquier tipo de producto fuera de uso o residuo. Según Stock (1992), Srivastava (2008), Rogers y Tibben-Lembke (2001) y Ilgin & Gupta (2013), para el diseño o la implementación de procesos o redes de LI se debe tener en cuenta 4 factores claves a saber: Transporte, Almacenaje, Disposición Final y Satisfacción del Cliente. Estos factores reúnen todos los elementos a tener en cuenta al momento de realizar procesos para la gestión y devolución eficiente de productos fuera de uso o residuos generados durante la cadena de suministro directa.

Igualmente, de cada uno de los cuatro factores definidos se determinaron las variables que componen cada uno de ellos, teniendo en cuenta lo expuesto por Rogers y Tibben-Lembke (1999) en su libro *“Going Backwards. Reverse Logistics Trends and Practice”*, donde afirman que existen diferentes tipos de actividades de LI que direccionan el correcto flujo de retorno del producto desde un minorista a través de la cadena de suministro hasta su fuente original, o hasta alguna otra disposición. La gestión de este flujo de materiales cobra gran importancia, ya que las diversas modalidades para manejar las devoluciones pueden impactar positiva o negativamente en los resultados de una empresa. En consecuencia, las variables definidas para cada uno de los factores aseguran la correcta gestión de los procesos de LI.

6.1. Factor transporte

El transporte en la LI se convierte en un factor clave, entendiéndolo como el movimiento de productos fuera de uso o residuos desde un punto de origen hasta un punto de disposición o a un centro de acopio. Según Bogataj y Grubbström (2013) el transporte en la LI cobra mayor importancia en el sentido que es un proceso que garantiza las condiciones de los productos devueltos o fuera de uso, así como los residuos. Sin embargo, en procesos de LI el transporte de los productos devueltos puede ser más difícil que los que se presentan en una cadena de suministro directa, esto debido a que los productos devueltos, fuera de uso o residuos pueden ser transportados por diversas compañías que en la mayoría de los casos son por medio de *outsourcing*, lo cual hace que la coordinación entre actores sea más compleja y los tiempos de recolección y entrega de productos puede variar en gran medida.

Para el factor transporte se han identificado dos variables que inciden, las cuales se describen a continuación:

6.1.1. Control de acceso

Según Rogers y Tibben-Lembke (1999) comúnmente los minoristas y productores han centrado sus esfuerzos en aumentar la rentabilidad dentro y fuera del proceso de gestión de inventario, pero solo teniendo en cuenta la distribución normal o directa que se realiza de la mercancía. Es importante prestar igual atención a los procesos de LI que poseen las organizaciones comenzando por el punto de entrada al proceso de logística inversa o “*gatekeeping*”, el cual se puede entender como el control de acceso de la mercancía donde se realiza una inspección de los productos devueltos o recolectados. Este primer paso es una actividad crítica, porque es allí donde se verifican que se cumplan las condiciones de los

productos devueltos o los residuos a fin de que estos puedan gestionarse de manera eficiente y poderles dar un segundo uso en la mayoría de los casos.

Lo anterior coincide con lo expuesto por Mollenkopf (2010) quien afirma que se debe realizar un control de acceso efectivo, logra identificar aquellos productos o residuos que no podrían ingresar al flujo de retorno, puesto no cumplen con las condiciones de devolución. Lo anterior puede ocasionar que en el proceso se pueda presentar que el costo del transporte y de disposición final del producto sea más alto que en sí el mismo producto, lo cual no es beneficioso para las empresas que el cliente realice una devolución.

En consecuencia, pueden existir graves fallas en el control de las devoluciones que realizan los clientes o usuarios finales, lo cual puede ocasionar en primera instancia una ruptura de la relación entre las empresas proveedoras y los clientes y así mismo generar una disminución en los ingresos.

Ahora bien, en el proceso de recolección y disposición de envases y empaques vacíos de plaguicidas el control de acceso se evidencia en las condiciones en que los agricultores deben entregar los residuos. Los residuos que se pueden generar en el sector agrícola por el uso de agroquímicos pueden ser plaguicidas en desuso, envases o empaques y los embalajes que se hayan contaminado con plaguicidas.

Los agricultores deberán entregar cada uno de estos residuos de la siguiente forma:

- **Envases plásticos.** Según la FAO (2008), los envases plásticos son recipientes rígidos destinados para contener, conservar, proteger y manipular un producto; en el caso de los envases de plaguicidas se deben inutilizar para evitar contaminación y mal uso.

Igualmente determinan que el tratamiento que deben recibir estos envases después de utilizado el producto es el denominado Triple Lavado, el cual consiste inicialmente en

vaciar los contenidos restantes del envase donde luego se le aplica un cuarto de agua limpia se cierra la tapa, verter el envase vaciarlo y aplicar *rinsante*. Luego este procedimiento se debe repetir mínimo dos veces más.

- **Cajas de cartón.** El Cartón es utilizado para el embalaje tanto de plaguicidas en presentación líquida como sólida y son consideradas el mecanismo más común y eficiente para realizar el proceso de embalaje con el fin de proteger el producto y facilitar el almacenamiento. Según el decreto 4741 de 2005, estos embalajes al tener contacto con el envase o empaque de plaguicidas se consideran también como residuos peligrosos y deben entrar en un plan posconsumo. Según la resolución 1675 de 2013 este tipo de embalaje y en particular las cajas de cartón deberán ser entregadas desarmadas y amarradas en pacas. Este cartón se lleva a proceso de valorización energética.
- **Bolsas de aluminio flexibles.** Son bolsas planas coextruida en PET metalizado flexible, que ofrece la posibilidad de hasta cuatro sellos de seguridad y posee propiedades de barrera al oxígeno y a los gases. Igualmente, dentro de las propiedades que posee las bolsas de aluminizadas para los plaguicidas se encuentra la resistencia a la erosión, resistencia a la tracción de hasta 15 psi y alta barrera a la humedad. Estas bolsas son especialmente para los plaguicidas que tiene como característica química ser de polvo, ya que estas bolsas resisten más que las bolsas de plástico comunes. Este tipo de residuos normalmente entran en un proceso de eco procesamiento especialmente en hornos cementeros o de acerías y se acogen a lo establecido en el decreto 4741 de 2005.
- **Lonas de fertilizantes o insumos del sector.** Los envases plásticos de fertilizantes, coadyuvantes, insumos biológicos deben venir en lonas separadas de los plaguicidas.

Según la Corporación Campo Limpio, empresa encargada de la recolección y disposición final de los residuos de plaguicidas, solo el 40% de los residuos recolectados son entregados con las condiciones deseadas para darles un segundo uso como el reciclaje. El problema latente existe inicialmente en que a pesar de que la Resolución 1675 de 2013 en el artículo décimo cuarto obliga a los agricultores y/o consumidores de plaguicidas a entregar los residuos de plaguicidas a las jornadas de recolección debidamente clasificados y separados y aplicando la técnica del triple lavado, no los están devolviendo con estas condiciones, ocasionando inicialmente un reproceso al momento de la clasificación de dichos residuos y así mismo un desaprovechamiento de la oportunidad de poder reciclar los envases que tengan la técnica de triple lavado para transformarlos en madera plástica.

En consecuencia, a pesar de la existencia de una normatividad vigente, los agricultores no la están cumpliendo no solo evidenciado en la no entrega de los residuos sino en la no entrega en las condiciones adecuadas, esto porque no existe un control inicial por parte de autoridades municipales o ambientales para hacer cumplir dicha normatividad y los agricultores no sienten ninguna obligación por hacer el proceso correctamente.

Igualmente, la empresa recolectora quien tiene el contacto directo con el agricultor al momento de recibir los residuos de plaguicidas, a pesar de evidenciar que los residuos entregados no están las condiciones correctas, no poseen herramientas normativas, jurídicas o técnicas para obligar a los agricultores a entregarlos de manera adecuada y deberán recibir los residuos en las condiciones que los agricultores los entreguen.

6.1.2. Sistemas de Información Logística Inversa

Rogers y Tibben-Lembke (1999) afirman que los problemas más graves y los fracasos que se pueden presentar tanto en la implementación como en la ejecución de procesos de LI son

debidos a la falta de buenos sistemas de información, debido a que las empresas no logran digitalizar de forma correcta toda la información relacionada con la devolución de sus productos. Esto también puede darse en la medida en que las empresas no encuentran en el mercado softwares o sistemas de información comerciales que se ajusten a las necesidades de los procesos.

En consecuencia, los procesos de LI y en general las organizaciones debe contar con sistemas de información flexibles, que permitan adaptarse a los cambios repentinos que se puedan dar en los procesos y a las dificultades que se pueden presentar debido a la complejidad que se presentan en el momento que los procesos de LI no dependen solo de la empresa, sino por el contrario posee una gran influencia de actores externos como clientes o proveedores.

Igualmente, Huscroft et al., (2013) afirma que el uso de sistemas de información y en general el uso de tecnología dentro de los procesos de LI cobran cada vez más importancia sobre todo en el momento de agilizar el proceso de gestión de devoluciones y mejorar la experiencia del cliente. Algunos beneficios de utilizar la tecnología para las devoluciones son:

- **Mayor eficiencia:** automatizar el proceso de devoluciones y procesamiento de información, logra una reducción del tiempo y esfuerzos necesarios para gestionar las devoluciones.
- **Precisión mejorada:** el conocimiento en tiempo real del estado de los productos devueltos o el estado del proceso en general hace que las empresas puedan tener un mejor control sobre los residuos o productos devueltos y de esta forma reducir la posibilidad de pérdida de los residuos y asegurar el aprovechamiento o disposición final de estos.

- **Experiencia de la cliente mejorada:** brindar a los clientes una experiencia de devolución fluida les permite iniciar devoluciones en línea, imprimir etiquetas de envío y realizar un seguimiento de sus devoluciones.
- **Información basada en datos:** es importante que las empresas posean sistemas de información robustos frente a las operaciones de cada una de las etapas del proceso de LI. Esto hará que se puedan identificar posibles cuellos de botella y realizar mejoras dentro del proceso.
- **Costos reducidos:** la tecnología puede ayudar a las empresas a reducir los costos asociados con los procesos de LI, como el envío, la reposición y la renovación.

En el proceso de LI de envases y empaques vacíos de plaguicidas que se desarrolla actualmente en el departamento de Boyacá, no se cuenta con un sistema de información propio para el proceso de recolección y disposición de los residuos y que refleje la operación de todo el proceso. Lo anterior se debe inicialmente a que no se tiene identificado de forma detallada los puntos de generación de los residuos y no hay una coordinación y conexión de los datos entre la empresa recolectora y el resto de los actores que participan en el proceso como agricultores, comercializadores y fabricantes.

Actualmente, la empresa recolectora maneja su proceso de forma independiente, donde es la encargada de llevar información relevante del proceso, como cantidades recolectadas, frecuencias de recolección, cifras de disposición final, comunidad beneficiada, cantidad de residuos con triple lavado, entre otros datos. Sin embargo, este tipo de información que maneja la empresa es de uso exclusivo de ella, con el objetivo de llevar un registro y estadística del proceso, más no para ser analizada en tiempo real y tomar decisiones para la mejora del proceso.

6.2. Factor almacenaje

Es importante contar con un proceso de almacenaje y un sitio destinado para el inventario en proceso o tránsito de los productos devueltos por los clientes o los residuos que se recojan una vez el cliente haya hecho uso del producto. Según Rogers, Melamed & Lembke (2012) los productos devueltos o residuos recolectados deberán comenzar con un proceso de inspección y clasificación, con el fin de identificar su opción de disposición final. En consecuencia, se debe contar con una infraestructura que garantice el correcto almacenamiento y además conserve las características de los productos y residuos devueltos y así mismo logre una eficiencia de espacio y acomodación.

Para el factor almacenaje se han identificado dos variables que inciden, las cuales se describen a continuación:

6.2.1. Tiempos de ciclo de disposición

Según lo expuesto por Alshamsi y Diabat (2015) es clave para los procesos de LI tener tiempos de ciclo de disposición cortos con el fin de mejorar las decisiones, el movimiento y el procesamiento de productos devueltos. Es importante tener en cuenta que todos los productos devueltos o los residuos recolectados no tiene el mismo tiempo de ciclo de vida, esto quiere decir que todos los productos no tienen el mismo deterioro y su disposición dependerá significativamente de las características propias del producto devuelto y de las opciones de recuperación o eliminación.

Otra dificultad que se presenta en el momento de la estipulación de los tiempos de disposición, se debe a la posición y responsabilidad que asumen los clientes o usuarios finales de realizar la entrega de los productos o residuos en los tiempos estipulados y en las condiciones deseadas para su mejor aprovechamiento, ya que de esto depende significativamente en que los

tiempos de ciclo de disposición se cumpla pero que además se logre un aprovechamiento en mayor porcentaje de los residuos o productos devueltos.

De igual forma, Lechner y Reimann (2020) concuerdan también que al igual como el control de acceso, un ciclo de disposición más corto es un factor importante en la gestión de las devoluciones. A menudo resulta difícil para las empresas determinar en qué canal de LI se debe colocar el producto devuelto. Cuanto antes se determine esto, más rápidamente se podrán tomar medidas. Las empresas siempre están pensando en acortar los tiempos de su ciclo de producción, pero para ellas es igualmente importante para reducir el tiempo del ciclo inverso y ganar dinero con el producto devuelto.

En referencia al proceso de recolección de envases y empaques vacíos de plaguicidas en el departamento de Boyacá, los ciclos de disposición se realizan teniendo en cuenta los tiempos de ciclo de las jornadas de recolección planeadas y de acuerdo con la cantidad de residuos de plaguicidas que los agricultores entreguen. La disposición de los residuos se realiza cada vez que se cope la capacidad del centro de acopio a fin de darle el destino final teniendo en cuenta tanto el tipo de residuo como el estado en que lo entregaron. Igualmente, los ciclos de disposición para los residuos de plaguicidas dependerán significativamente de las empresas que realizan dicha disposición, especialmente de la capacidad de recepción y procesamiento de los residuos.

6.2.2. Centros de retorno centralizados

Alkahtani et al. (2021), afirma que los centros de devolución centralizados son instalaciones cuyo objetivo o actividad principal se basa en la consolidación productos fuera de uso o residuos devueltos y darle una ruta de disposición final de forma eficiente. Lo anterior se realiza teniendo en cuenta el tipo de residuo, las opciones de disposición y el tiempo de retorno.

Los centros de retorno centralizados han sido de gran utilidad debido a que ofrecen diferentes ventajas como:

- Se incrementan los beneficios obtenidos de acuerdo con una mejor consolidación de residuos
- El proceso de devolución o disposición final de los residuos tendrá una respuesta más rápida y eficiente
- La gestión de los inventarios se realiza de manera correcta, haciendo que no exista acumulación de residuos
- Logra un aumento en la satisfacción de los clientes

Igualmente, Rogers y Tibben-Lembke (1999) exponen que un centro de devolución centralizado cumple la función precisamente de consolidar o centralizar residuos o productos fuera de uso, donde existirá una sola instalación central y de allí decidir sobre sus destinos finales. Normalmente para cualquier empresa o proceso de LI, en primera instancia los minoristas son quien envían los productos a los centros de devolución que por lo general solo existirá uno, pero si la empresa es muy grande puede tener más. Una vez los productos o residuos se encuentren en los centros de devolución, se tomará la decisión para su disposición final.

En consecuencia, para la correcta decisión sobre la disposición final, es importante realizar una clasificación, donde de acuerdo con las condiciones del producto o residuos se decidirá si este puede entrar en un proceso de reciclaje, reutilización, remanufactura, canibalización, incineración, eliminación segura, entre otros. La anterior decisión, repercutirá significativamente en los rendimientos y ganancias de las empresas, donde se pretende tener el mejor proceso de devoluciones que beneficie también a los clientes.

Kaynak et al., (2014) describen algunas características que poseen los centros de devolución centralizados:

- **Consistencia.** En los centros de devolución centralizados se poseen procesos de clasificación y devolución centralizados que hace que sean más consistentes y que se presenten menor cantidad de errores, esto se logra teniendo centralizados los procesos.
- **Utilización del espacio.** Las empresas se dedican a su actividad económica principal referente a la producción y comercialización de productos, es por esto por lo que no tienen mayor interés en destinar grandes espacios para devoluciones de productos o almacenamiento de residuos de sus productos, es por esto que se crean los centros de devolución.
- **Ahorro de mano de obra.** Al tener centralizados los centros de devolución se optimiza el proceso en cuanto a la clasificación e identificación de los residuos y/o productos fuera de uso, lo cual hace que se requiera una menor cantidad de mano de obra.

Para el proceso de recolección y disposición de los envases y empaques vacíos de plaguicidas en el departamento de Boyacá se tiene un único centro de devolución centralizado el cual está ubicado en el municipio de Santa Rosa de Viterbo, donde se consolida los residuos que se recolectan durante las jornadas adelantadas y se le realiza la clasificación y toma de decisión frente a la disposición final que debe tener para ser enviado posteriormente.

6.3. Factor disposición final

La disposición final de los residuos y/o productos fuera de uso, se convierte en una de las etapas más importantes, puesto que es allí donde se toma la decisión de la alternativa de uso que tendrán los residuos o productos y se propende a que estos tengan un segundo uso y beneficio en la posibilidad de los casos o en otros casos eliminarlos de forma segura. Wilson & Goffnett

(2022), afirman que la disposición final de los residuos o productos dependerá en gran medida de las características propias de cada uno de estos. En este sentido también dos productos que tengan características similares podrán tener diferentes rutas de disposición final de acuerdo con su estado final en el momento de la disposición lo cual podría ser reciclaje, reutilización, devolución al proveedor o producto, eliminación segura, entre otras alternativas.

Para el factor de disposición final se identifican tres variables que inciden, las cuales se describen a continuación:

6.3.1. Retorno cero

Gaur et al., (2022) afirman que el retorno cero se da un proceso de LI, en el momento en que existe una devolución de residuos o productos fuera de uso por parte del cliente o usuario final pero no se da directamente al fabricante o distribuidor, sino por el contrario la devolución se le realiza a un tercero o un intermediario para que sea el encargado de tomar la decisión de la disposición final que tenga dicho residuo.

Así mismo, según Rogers y Tibben-Lembke (1999) al ejecutar programas de retorno cero, las empresas obtendrán beneficios importantes en términos de disminución de costos ya que inicialmente se tiene un encargado externo en la mayoría de las ocasiones para dicha devolución y de igual manera se tiene una mejor planificación de los flujos y su disposición final. Un programa de retorno cero comienza a funcionar en el momento en que el fabricante o proveedor les manifiesta a los clientes que no se aceptan devoluciones de los productos adquiridos, esto se puede dar por diversas condiciones como características propias de los productos que así no lo permita o por alguna política establecida por la empresa.

De acuerdo con lo anterior, en el proceso de recolección y disposición de envases y empaques vacíos de plaguicidas en el Departamento de Boyacá, se implementa un programa de

retorno cero donde el agricultor quien es el generador final del residuo no lo devuelve al fabricante y/o importador de plaguicidas, sino que realiza la entrega a una empresa recolectora. La empresa recolectora quien es patrocinada y contratada por los fabricantes y/o importadores tiene la función inicialmente de recolectar los residuos, llevarlos a los centros de devolución o centro de acopio, donde finalmente deben garantizar su alternativa de disposición final para cada tipo de residuo generado.

Lo anterior, genera inicialmente una mejor planificación y ejecución del proceso, debido a que la empresa intermediaria encargada del proceso centra sus esfuerzos para la devolución y gestión de los residuos de plaguicidas y así lograr una mejor recuperación de estos y en general una disminución de los costos al momento de la devolución.

6.3.2. Remanufactura y Reacondicionamiento

Según Ferreira y Gonçalves (2021), la remanufactura es considerado como el proceso donde un producto o bien es reprocesado para realiza la reconstrucción de este y haga que se cumplan las características físicas y de calidad que debe tener el producto, bien sea con materia prima nueva, reparada o reutilizada. Un proceso de remanufactura debe garantizar el cambio de todos los componentes del producto y así poder recuperar en totalidad el producto y lograr los estándares de calidad que debe tener un producto nuevo.

Por el contrario, el reacondicionamiento se da en el momento en que productos son devueltos al proveedor o fabricante para que estos puedan entrar en un proceso de limpieza, realización de pruebas de funcionamiento o en algunos casos reconstruir el producto. Una gran diferencia de los productos reacondicionados a productos de segunda se da en que los primeros poseen la garantía y seguridad por parte del fabricante que han sido probados y funcionan correctamente, caso tal que pueda que no se de en productos de segunda. En general se puede

mencionar que la diferencia marcada entre remanufactura y reacondicionamiento es que en la remanufactura se restaura el producto de forma completa cambio todos los componentes y en el reacondicionamiento no necesariamente se deben cambiar todos los componentes sino solo aquellos que sean defectuosos o representen un riesgo de pérdida de calidad del producto.

Según Thierry et al., (1995) la remanufactura y el reacondicionamiento se pueden dividir en 5 categorías:

- Reparación
- Reacondicionamiento
- Remanufactura
- Canibalización
- Reciclaje

En lo concerniente a las actividades de reparación, reacondicionamiento y remanufactura están orientadas hacia la recuperación de productos para darle un segundo uso. Anteriormente se mencionaba la diferencia entre reacondicionamiento y remanufactura, donde la reparación difiere de estas dos opciones como un proceso donde solo se requiere hacer pequeños cambios en el producto para que cumpla con las especificaciones. Las otras dos opciones hacen referencia en la recuperación parcial del producto pero que no genera la misma funcionalidad que el producto origen. En la canibalización se realiza un proceso de recuperación de piezas o materias primas que puedan ser utilizadas en otro producto o para otro fin y el reciclaje se da cuando el producto devuelto se utiliza de forma parcial o total, pero para un fin totalmente diferente al que fue diseñado en primera instancia.

Por otra parte, además de las alternativas de remanufactura y reacondicionamiento anteriormente descritas, se tienen otras alternativas de disposición final como lo son eliminación

segura y eco procesamiento. La eliminación segura trata de procesar los residuos y/o productos fuera de uso para destruirlos de manera adecuada y mitigar el impacto social y ambiental que su eliminación pueda ocasionar. Esta opción se convierte en la mejor alternativa en aquellos residuos que por sus características no es posible reutilizarlos, reciclarlos o remanufacturarlos.

El eco procesamiento es el aprovechamiento de residuos que poseen gran poder calórico, donde por medio de su uso se puede dar energía calórica a procesos industriales que requieren este tipo de energía en grandes cantidades como lo puede ser la Industrial del Acero o del Cemento para la combustión de sus altos hornos. Para el caso de los envases y empaques vacíos de plaguicidas se utiliza actualmente en su mayoría la técnica de eco procesamiento llevados a una Acería para utilizarlos como combustión. Algunos envases que les han practicado el proceso de triple lavado son reciclados para la fabricación de postes plásticos, parques, ladrillos, puentes, entre otros productos.

6.3.3. *Recuperación de activos*

La recuperación de activos hace referencia que una vez los productos son devueltos por parte de los usuarios o clientes, ya se convierten en responsabilidad del proveedor o fabricante de realizar la disposición final, donde se propende por parte de estos en hacer la recuperación al máximo de los producto u obtener los máximos beneficios al momento de realizar la disposición final, ya sea en términos de disminución de costos o mayor recuperación del producto y generar un mayor valor agregado (Wilson & Goffnett, 2022). Hazen (2011), afirma que las opciones de recuperación de activos o valor del producto o residuos dependerá de los siguientes factores:

- **Costos.** La alternativa de recuperación dependerá básicamente de dos tipos de costos. En primera instancia se encuentra del costo logístico de implementar la alternativa, dentro del cual se puede incluir el costo de transporte, almacenamiento y distribución y el

segundo costo en si de la recuperación del valor del producto que conlleva la utilización de mano de obra, maquinaria e insumos para lograr dicha recuperación

- **Ganancias esperadas.** Se espera que con la recuperación de activos o valor del producto se logren ganancias económicas en torno al mejor aprovechamiento de estos residuos y/o productos fuera de uso. Así mismo las ganancias esperadas se podrán ver en términos de otros aspectos como el cumplimiento legal, el cual puede traer beneficios económicos por disminución de impuestos y multas. Finalmente se podrá obtener un beneficio en términos sociales, en el hecho de utilizar los residuos o productos para reciclarlos y brindar algunas alternativas de solución a problemas de comunidades vulnerables.
- **Condiciones del mercado.** Hace referencia a las características del posible mercado que pueda existir para residuos o productos fuera de uso reciclados, reutilizados, renovados o remanufacturados, donde si existe un nicho de mercado previamente identificado, la alternativa de recuperación de activos del producto se convierte en una opción llamativa para las empresas desde el punto de vista económico.
- **Conciencia ambiental.** Parte de la cultura y conciencia que tengan los consumidores y clientes no solo en el tema de la misma devolución de los residuos o productos fuera de uso, sino también en el sentido de adquirir productos reprocesados, remanufacturados o reacondicionados. Lo anterior, se puede dar en gran medida siempre y cuando los generadores o consumidores realicen la práctica de las 3R (Reciclar, Reusar y Reciclar) con el fin de lograr la mayor recuperación de valor del producto.
- **Capacidad de respuesta de la cadena de suministro.** La cadena de suministro sobre la cual se ejecute o maneje los procesos de devolución y disposición final deberá tener una capacidad suficiente en cuanto a recursos como mano de obra, infraestructura, tecnología,

entre otros. En consecuencia, si se posee una mayor capacidad de dichos recursos, se podrá tener una mayor posibilidad de recuperar los activos o valor del producto.

- **Normatividad ambiental.** En cierto tipo de residuos y/o productos fuera de uso, la recuperación de valor esta determinada por regulaciones ambientales y la disposición final se da en términos de lo que rige la normatividad. En algunos países la devolución y disposición final de ciertos tipos de residuos está definida por leyes y decretos emitidos por autoridades ambientales.

En lo concerniente a los envases y empaques vacíos de plaguicidas la recuperación de valor del producto dependerá del tipo de residuos. Los empaques que son lo que se conoce como bolsas aluminizadas, por su composición fisicoquímica no podrán ser reutilizados ni reciclados y por el contrario deberán entrar a un proceso de eliminación segura o eco procesamiento, lo cual ocasiona que para este tipo de residuo no se tenga una gran recuperación de activos.

Por otra parte, los empaques vacíos que se les haya practicado el proceso de triple lavado e inutilización podrán entrar en una alternativa de reciclaje y realizar una mayor recuperación del valor del producto, convirtiéndose en insumo para otros productos que se puedan generar. Pero por el contrario si los envases no tienen este proceso de triple lavado, directamente deben ir a eliminación segura o eco procesamiento.

6.4. Factor satisfacción del cliente

En la LI, la satisfacción del cliente se convierte es un factor importante, ya que es de quien depende el éxito de todo el programa, debido a que simplemente si el cliente decide no hacer la devolución de los residuos o de los productos, simplemente dejara de existir un proceso de LI, porque, en caso de una cadena de suministro inversa, el cliente con su devolución es quien

estipula una demanda para que se dé el flujo. Adebayo (2022), afirma que para lograr una mayor satisfacción del cliente se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

1. La devolución o recolección se debe hacer en el menor tiempo posible, a fin de lograr que el cliente o generador dure lo menos posible con los residuos y/o productos fuera de uso.
2. Se deberá realizar procesos donde el cliente se sienta lo más cómodo posible, facilitando la devolución de los productos y que para el cliente sea el menor esfuerzo.
3. Para el cliente no deberá tener ningún costo la devolución y menos la disposición final, esto debe asumirse por el fabricante y/o importador.
4. Ofrecer al cliente distintas alternativas de devolución.

Para el factor disposición final se han identificado cuatro variables que inciden, las cuales se describen a continuación:

6.4.1. Negociación

Rogers y Tibben-Lembke (1999) afirman que la etapa de negociación es clave para el desarrollo del proceso de LI ya que inicialmente en la mayoría de los casos en la devolución de residuos y/o productos fuera de uso se estipulan o se fijan precios para dicho retorno, pero esta fijación no se da por condiciones de un mercado o por reglas establecidas anteriormente. Por el contrario, esta negociación se da de una forma más flexible dependiendo el tipo de residuo o producto devuelto y esto dependerá significativamente en el conocimiento del sector de las personas que intervengan en dicha negociación.

Como se ha mencionado anteriormente, muchas de las devoluciones realizadas no se dan directamente al fabricante o proveedor, sino son manejadas por terceros o intermediarios encargados de dicho proceso, quienes serán ellos los encargados de realizar la negociación con el cliente. Por otra parte, las empresas fabricantes, podrán tener asesoría externa respecto al tema,

debido a que no son conocedores en el tema, puesto que sus procesos centrales son la distribución y comercialización directa y no la devolución de productos.

En consecuencia, una práctica común es que el tercero o intermediario se encargue tanto de la negociación como el proceso de disposición final, ya que la empresa no tiene interés en asumir esa responsabilidad y por ello contrata directamente al intermediario para que acude en nombre de él. En cierto tipo de residuos en si no existe una negociación en términos de beneficios económicos, ya que diferentes tipos de residuos como envases y empaques de plaguicidas, medicamentos, baterías de litio, neumáticos, entre otros, poseen una normatividad que obliga a los fabricantes o importadores a realizar la recolección y disposición final de estos residuos, ocasionando que el cliente o generador no obtenga ningún beneficio por la devolución dado que se convierte en una obligación. Lo anterior ocasiona la baja participación por parte de los clientes o generadores dentro del proceso de LI.

Específicamente para los envases y empaques vacíos de plaguicidas, como ya se mencionó anteriormente, la devolución y disposición final de los residuos se realiza por temas legales y ambientales y no existe una negociación directa entre el generador o cliente que en este caso es el agricultor y el fabricante o en este caso la empresa recolectora quien es quien lo representa. La negociación en cierto punto es la persuasión que se puede generar para el agricultor en el tema de un cumplimiento legal, ayuda al medio ambiente y poder lograr un beneficio social.

6.4.2. Gestión Financiera

Panjeh Fouladgaran y Lim (2020), afirman que mientras se aumenten las devoluciones, los costos y gastos para las empresas van a aumentar significativamente, tanto en termino de mano de obra encargada de las devoluciones y disposiciones, como los costos de transportes

asociadas a la devolución. Una eficiente gestión financiera incidirá positivamente en un proceso de LI, inicialmente por qué se puede contar con los recursos necesarios para poner en marcha el proceso de devolución y disposición final de los residuos y/o productos y además generar un respaldo contable para realizar negociaciones con el cliente.

Por otra parte, se evidencia que los procesos de devolución para muchas empresas no son de mayor interés pues que no los consideran como un beneficio económico, por ende, el sistema contable destinado a estos procesos es ineficiente o nulo y los sistemas de devolución se empiezan a debilitar, realizando procesos ineficientes o incorrectos. La decisión frente a cuanto se le paga al proveedor o a los intermediarios por las devoluciones realizadas, no es tarea sencilla, puesto que para alguno de ellos no genera un beneficio mayor dichas devoluciones.

Acorde con lo anterior, en el proceso de recolección y disposición final de los residuos de plaguicidas, la gestión financiera se realiza por parte de la empresa recolectora, quien por medio del apoyo económico de los fabricantes y/o importadores de plaguicidas, consiguen los recursos financieros necesarios para llevar a cabo las jornadas de recolección y tratar de recuperar la mayor cantidad posible de envases y empaques vacíos de plaguicidas. Sin embargo, se puede evidenciar que en algunos casos este respaldo financiero no es suficiente, en el sentido que no se logra la cobertura de todas las zonas del departamento de Boyacá y gran cantidad de residuos no son recolectados, quedando expuestos en las fincas de los agricultores, ocasionando problemas de salud y ambiental.

6.4.3. Subcontratación

Según Wang et al., (2021), el *outsourcing* en la LI se presenta en especial cuando las grandes compañías contratan a un tercero, para que a nombre de ella realice los procesos de devolución de los productos, que por diversas situaciones o características deben ser retornados

al productos o proveedor. Igualmente, Rogers y Tibben-Lembke (1999) afirman que, al subcontratar proveedores externos para las actividades de flujo inverso, se tendrán mejores resultados en las devoluciones de los productos, ya que estas empresas se especializan en dichos procesos, disminuyendo la preocupación por parte de las compañías por no tener que hacer los procesos de LI ellos mismo.

La subcontratación se da en el proceso de recolección y disposición final de envases y empaques vacíos de plaguicidas cuando las empresas fabricantes y/o importadores de plaguicidas son obligadas por el decreto 4741 de 2005 y la Resolución 1675 de 2013 a realizar procesos de LI para la disposición de los residuos de sus productos. De acuerdo con lo que se ha expuesto, las compañías prefieren tercerizar los procesos de devolución o recolección de residuos pues no es la actividad principal a la cual quieren centrar, es así como dichos fabricantes de plaguicidas contratan a una empresa para que a su nombre haga la recolección y disposición final de los envases y empaques de plaguicidas.

De la misma forma, esta subcontratación se realiza también debido a que por lo general la ubicación geográfica de la empresa fabricante es diferente a los mercados donde venden sus productos o donde está ubicados sus clientes. En consecuencia, estas distancias hacen que los fabricantes decidan contratar un tercero que no solo conoce o es experto en el manejo de residuos, sino además posee un mayor conocimiento frente a la ubicación y comportamiento de los clientes.

6.4.4. Gestión de las relaciones de las partes interesadas

El concepto de *Stakeholder relationship management* o la gestión de las relaciones con las partes interesadas hace referencia a la comunicación y conexión que existe dentro de los procesos de LI con las entidades o personas que participan directa o indirectamente en los

procesos de devolución y disposición final de los residuos y/o productos fuera de uso. Estas relaciones con las partes interesadas además de fortalecer los lazos existentes, logra buscar apoyos para que el tema de las devoluciones con el fin que se realicen de forma eficiente y poder lograr que la mayor cantidad de residuos y/o productos finales sean devueltos inicialmente, pero así mismo se lograr un mayor aprovechamiento de ellos (Baah, Jin & Tang, 2020).

El proceso clave de la gestión de la relación con las partes interesadas, se centra en el establecimiento de la conexión y comunicación constante con todos los actores o eslabones de la cadena de suministro, en especial con referencia a los clientes o los proveedores. Según Srivastava (2008), uno de los procesos claves para llevar a cabo de forma eficiente los procesos de LI es mantener el contacto con los clientes quien en el caso asumen un papel importante en las devoluciones, pues son ellos quien se convierten en los generadores de los residuos. Para tener una relación exitosa con el cliente, las organizaciones deberán propender por implementar una cultura de colocar en primer lugar al cliente y sus necesidades.

En este mismo sentido una estrategia que se puede implementar es la aplicación de un software para la gestión de las relaciones con los clientes, llevando el historial de todos los datos que se generen en cada una de las interacciones que se tenga. Esto funciona en gran medida al momento de realizar las devoluciones, ya que al tener sistematizada la información por parte del productor o proveedor, los procesos de LI se podrán realizar de forma más sencilla, conociendo el tipo de residuo o producto fuera de uso que se pueda generar, la ubicación de dicho residuo y las posibles condiciones de entrega que puede hacer el cliente.

Por otra parte, se podrán realizar segmentación de los clientes distinguiendo entre ellos características específicas que puedan causar variaciones en el momento de la devolución. El objetivo de realizar segmentación con los clientes se podrá dar inicialmente en el sentido de crear

estrategias diferentes para lograr devoluciones eficientes según el segmento. Igualmente, conocer las necesidades de cada segmento de cliente en cuanto a las devoluciones a fin de poder suplirlas de la manera correcta.

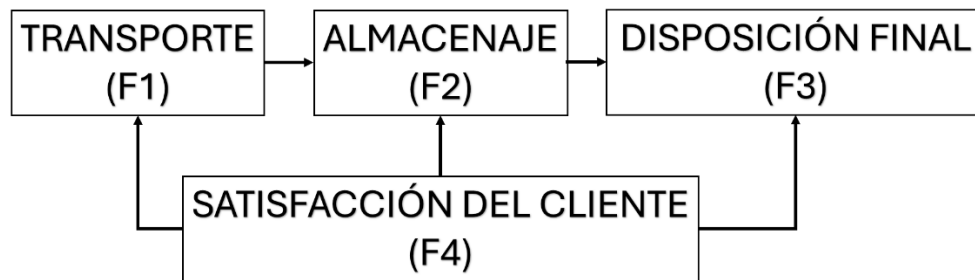
En el caso del proceso de recolección y disposición final de los residuos de plaguicidas, quien realiza la gestión con las partes interesadas es la empresa CAMPO LIMPIO, quien es la encargada de llevar a cabo dicho proceso. Inicialmente, una de las partes interesadas son los almacenes comercializadores de plaguicidas quienes en cierta medida tiene responsabilidad en el proceso, de acuerdo con lo estipulado en la Resolución 1675 de 2013 y por el contacto directo que tienen con los agricultores, cumplen la función principal de comunicar sobre las jornadas de recolección y puntos de acopio. Otra de las partes interesadas en el proceso, son directamente los agricultores quienes asumen el papel más importante en el proceso de LI para residuos de plaguicidas, quienes son los generadores directos de los residuos y de quienes depende la decisión si hacer o no la devolución y en las condiciones correctas.

Por otra parte, se encuentran entidades gubernamentales y publicas que intervienen de manera indirecta en el proceso en algunos casos prestando apoyo o en otras ocasiones como entes de control. Dentro de las entidades que participan en el proceso, está la secretaria de Salud de Boyacá realizando procesos de control en salud publica frente a intoxicaciones o enfermedades que se puedan causar por el mal uso de los residuos de plaguicidas. Así mismo, participa la entidad CORPOBOYACA y CORPOCHIVOR con entidades como Corporaciones Autónomas Regionales, realizando la labor de apoyar los procesos de recolección y disposición final de los residuos de plaguicidas, inicialmente para la mitigación de posibles impactos ambientales y así mismo ejerce la función de control y seguimiento en el cumplimiento de los Planes de Productos Posconsumo.

En general, se evidencia con lo expuesto anteriormente, que los procesos de LI dependen de distintos factores y variables que en gran medida realizan y poseen control las empresas encargadas de las devoluciones, pero otras de estas variables dependerán significativamente de los participantes en toda la cadena de suministro inversa. Los factores utilizados en el modelo teórico propuesto fueron los siguientes. (Ver figura 15).

Figura 15

Factores utilizados en el modelo logístico

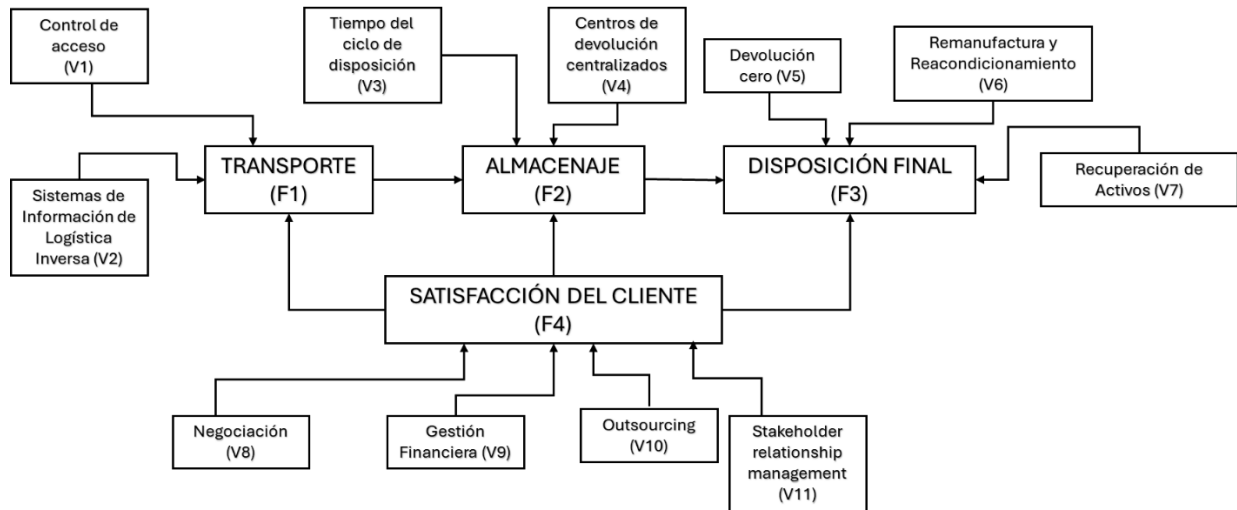


Nota. Elaboración Propia.

En la figura 16 se observa el modelo de LI propuesto de acuerdo con lo expuesto anteriormente. El modelo propuesto es aplicable en términos generales para cualquier tipo de residuo y/o productos fuera de uso que posean características para entrar dentro de un proceso de devolución y disposición final.

Figura 16

Modelo propuesto de Logística Inversa para la gestión de residuos y/o productos fuera de uso



Nota. Elaboración propia

En términos generales con la determinación conceptual del modelo logístico integral se puede concluir que autores como Stock (1992), Srivastava (2008), Rogers y Tibben-Lembke (2001), Ilgin & Gupta (2013) y Rogers, Melamed & Lembke (2012) coinciden que los procesos de LI se ven influenciados por cuatro factores a saber Transporte, Almacenaje, Disposición Final y Satisfacción del Cliente, los cuales coinciden con las etapas que se deben llevar a cabo para cualquier proceso de recolección y disposición final de residuos o productos fuera de uso y que además son aplicables para cualquier empresa que desarrolle o desee implementar procesos de LI. Igualmente, con la revisión bibliográfica de los estudios realizados por los autores exponentes en la teoría de la LI, se logró identificar 11 variables que intervienen en la gestión de los residuos o productos fuera de uso, las cuales en conjunto logran una armonía para la eficiencia en el desarrollo de procesos de LI.

7. Análisis de resultados

Con el desarrollo del presente proyecto de investigación se evaluaron cuatro factores para el modelo de LI:

1. F1: Transporte
2. F2: Almacenaje
3. F3: Disposición Final
4. F4: Satisfacción del cliente

Para el análisis estadístico de los datos y creación del modelo se utilizó la metodología de análisis de componentes principales (ACP), que según Morales y Estrada (2021), esta técnica tiene como finalidad la disminución de la cantidad de variables que intervienen en un determinado caso de estudio o escenario. La técnica se desarrolló por medio del software R, donde se realizó un análisis de forma individual para cada uno de los actores incluidos en la investigación y que participan en el proceso como lo son Fabricantes y/o Importadores, Comercializadores y Agricultores. Seguidamente, se realizó un modelo general relacionando e incluyendo todos los actores para lograr el modelo de LI para el proceso de recolección y disposición final de envases y empaques vacíos de plaguicidas. Los modelos se realizaron mediante el análisis de la relación de las variables inmersas dentro de cada uno de los factores, medidos en una escala de 1 a 10.

Inicialmente, de acuerdo con la técnica de ACP, se realizó el cálculo de cada uno de los factores, donde por medio del modelo matemático se logra determinar el valor estimado para cada una de las variables y así obtener la fórmula de cada uno de los factores evaluados, donde se evidencia por cada uno de los actores, el diagnóstico de cómo se encuentran frente al cumplimiento del factor, generando una evaluación lineal entre variables y logrando con el modelo desarrollado

la captación de la mayor cantidad de información importante para la predicción confiables de cada uno de los factores.

Lo anterior se desarrolla con el fin de lograr establecer una fórmula para calcular, como cada uno de los actores desarrollan o cumplen con cada uno de los factores estipulados para el modelo de LI y así mismo lograr analizar el cumplimiento total para los cuatro factores descritos anteriormente.

En consecuencia, el modelo desarrollado tiene gran aplicabilidad, ya que en un futuro cuando se desee medir uno de estos actores para el proceso de LI, se aplica nuevamente el instrumento de recolección de información previamente validado y teniendo en cuenta los cinco factores, se utilizan las fórmulas del modelo para cada uno de los factores y para el modelo en general y se reemplaza la fórmula desarrollada para el factor analizado, dando un resultado objetivo.

En conclusión, con en el proyecto de investigación se logró generar un modelo matemático basado en cuatro factores definidos para los procesos de LI, en el cual se crearon las fórmulas para cada uno de los factores, como también se obtuvo la fórmula para el factor total para cada uno de los actores de participación y teniendo en cuenta un modelo general que incluya todos los actores.

Como se ha mencionado anteriormente el modelo está compuesto por cuatro factores y 11 variables. En la tabla 10 se pueden observar los factores incluido en el modelo y las variables que se incluyen en cada uno de estos factores con la respectiva codificación que va a ser utilizada para describir los resultados obtenidos con el modelo estadístico.

Tabla 10

Factores y variables del modelo de LI

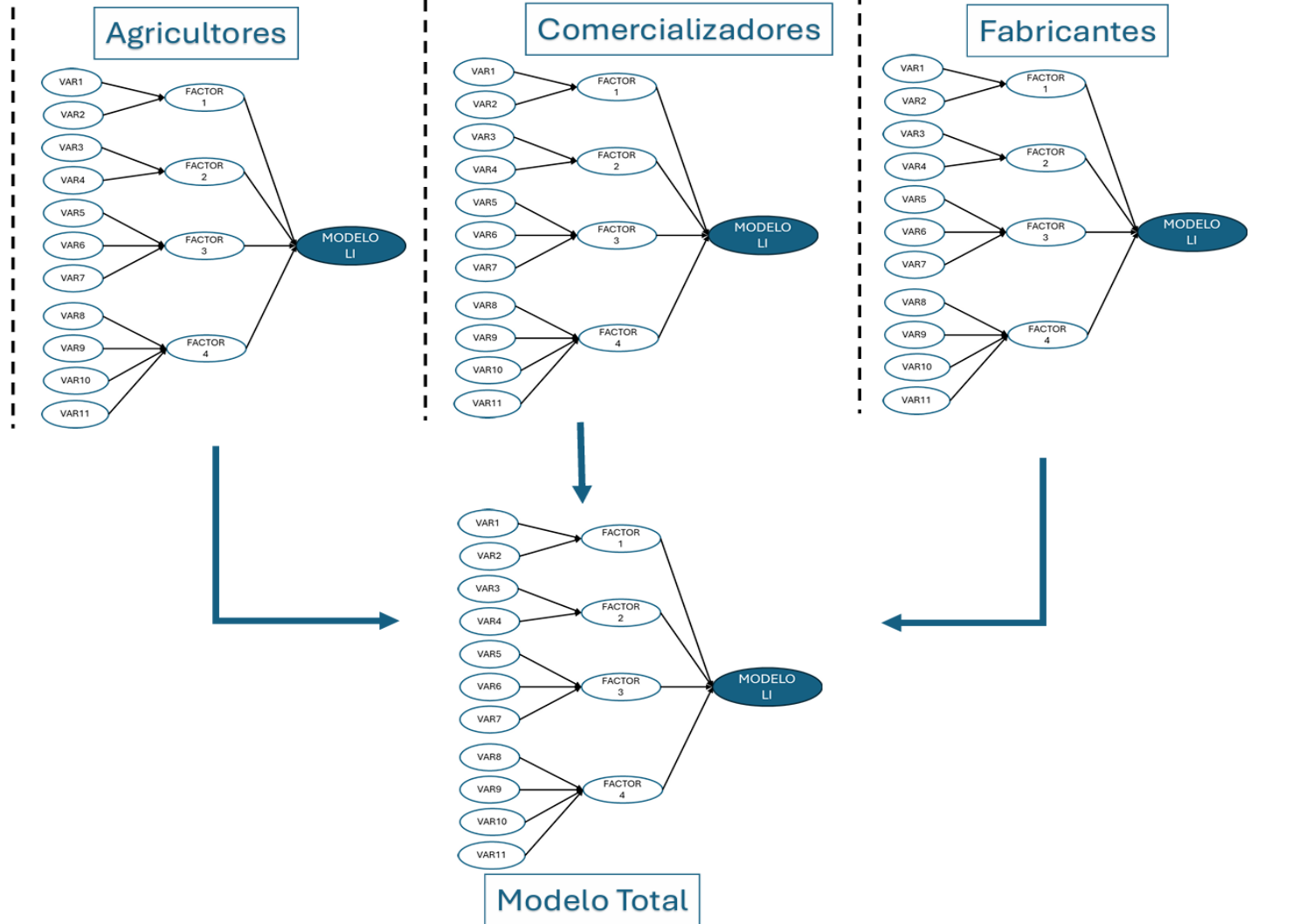
FACTORES	VARIABLES
	Control de acceso (V1)
TRANSPORTE (F1)	Sistemas de Información de Logística Inversa (V2)
ALMACENAJE (F2)	Tiempo del ciclo de disposición (V3) Centros de devolución centralizados (V4)
DISPOSICIÓN FINAL (F3)	Devolución cero (V5) Remanufactura y Reacondicionamiento (V6) Recuperación de Activos (V7)
SATISFACCIÓN DEL CLIENTE (F4)	Negociación (V8) Gestión Financiera (V9) Outsourcing (V10) Stakeholder relationship management (V11)

Nota. Elaboración propia

En la figura 17 se observa el modelo propuesto para la correlación de variables de cada uno de los factores. El modelo se basa inicialmente en la correlación de las variables de cada factor y el análisis de como influyen cada una de estas para el cumplimiento del factor y así con cada factor de forma independiente. Seguidamente se realiza la correlación de los factores para la obtención del modelo general del proceso de LI. Esto se realiza por cada uno de los actores de participación para en conjunto con los tres modelos, crear un modelo general para todo el proceso de LI .

Figura 17

Modelo de correlación de variables por factor para proceso de LI



Nota. Elaboración propia

7.1. Análisis modelo fabricantes y/o importadores

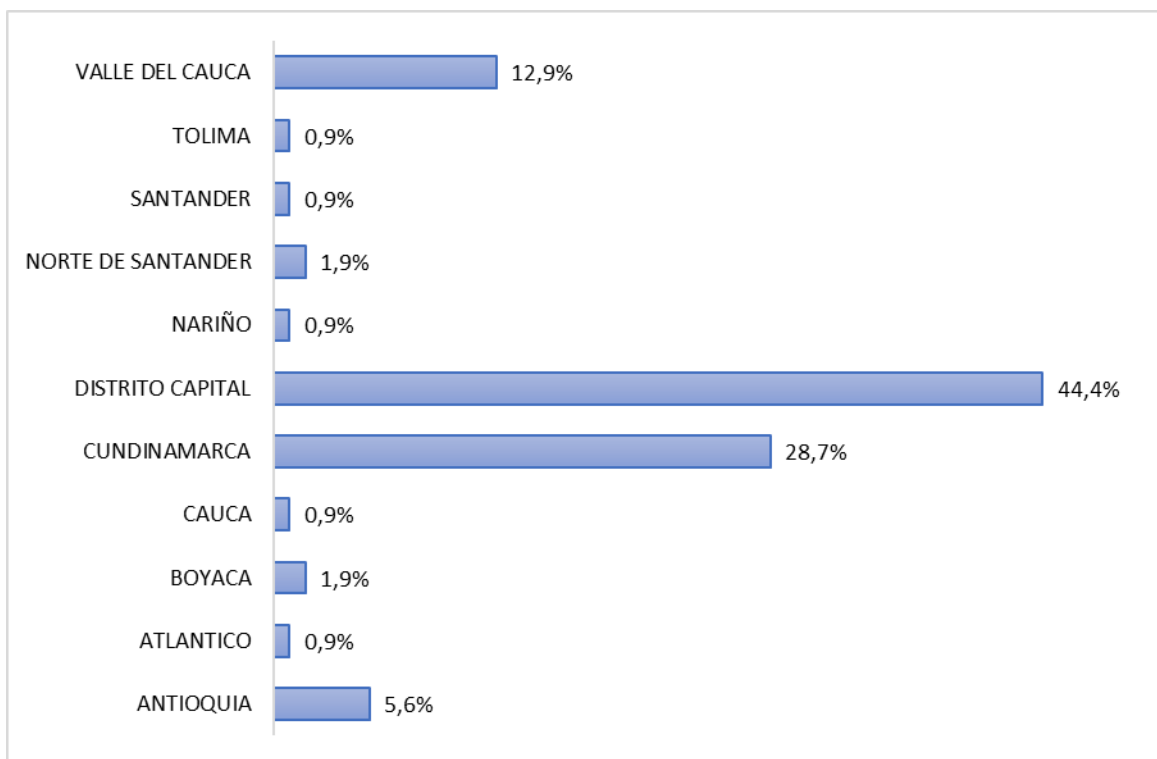
Los fabricantes y/o importadores de plaguicidas, es el actor con mayor responsabilidad dentro del proceso de recolección y disposición final de los envases y empaques vacíos de plaguicidas. Según la resolución 1675 de 2013 los fabricantes y/o importadores tendrán la obligación inicialmente de formular los planes de devolución de productos posconsumo de plaguicidas y establecer los mecanismos necesarios para la correcta gestión de los residuos a través de jornadas de recolección, centros de acopio y el desarrollo de campañas publicitarias.

Igualmente, los fabricantes y/o importadores que comercializan sus productos en el departamento de Boyacá no se encuentran ubicados en dicho departamento y su centro de operación se encuentra ubicado en otros departamentos del país. En la figura 18 se puede evidenciar que el 44,4% de los fabricantes o importadores de plaguicidas que colocan o comercializan sus productos en el departamento de Boyacá, están ubicados en la ciudad de Bogotá y el 28,7% en municipios del departamento de Cundinamarca. En general se puede evidenciar que el 73,1% de las empresas se encuentran en el departamento de Cundinamarca, lo cual se debe a la cercanía geográfica que se tiene con el departamento de Boyacá. Adicionalmente, se evidencia una participación del 12,9% del departamento del Valle del Cauca con empresas ubicadas en municipios como Cali y Yumbo.

Por otra parte, se observa una participación alrededor del 1% de departamentos como Tolima, Santander, Nariño, Atlántico, lo cual se debe inicialmente a una mayor distancia de estos departamentos con el departamento de Boyacá e igualmente que al estar más lejos el control del proceso de gestión de los residuos de plaguicidas es más complejo.

Figura 18

Ubicación geográfica fabricantes y/o importadores de plaguicidas

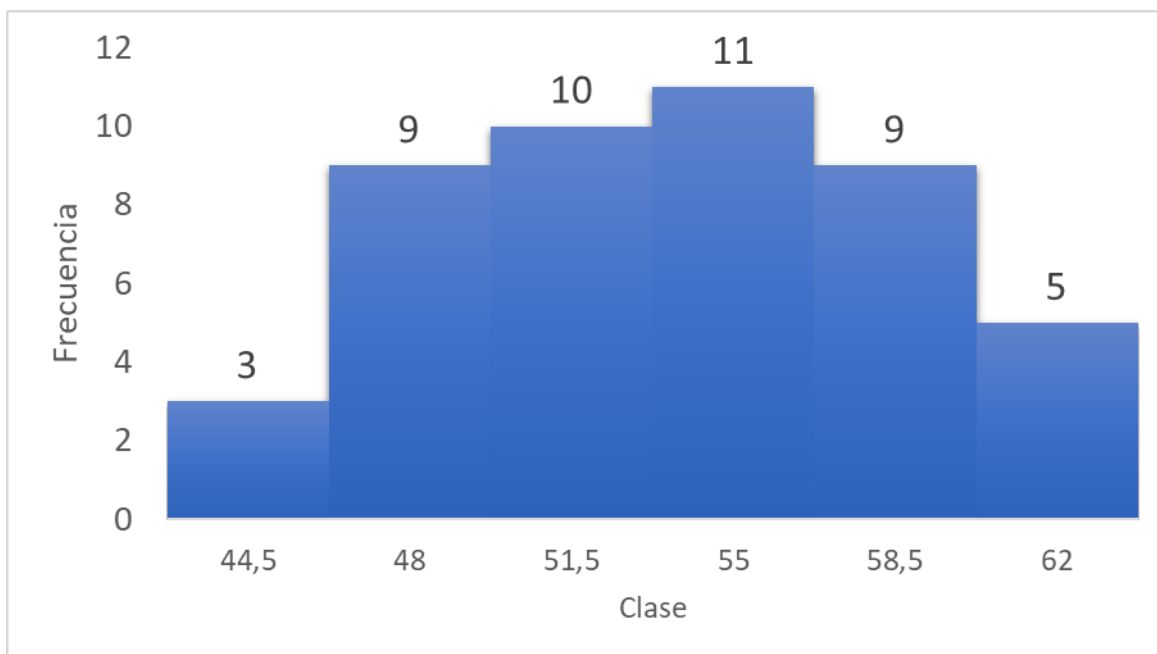


Nota. Elaboración propia

Se realiza el análisis de las edades de los representantes de las empresas fabricantes y/o importadoras que respondieron el instrumento de recolección de información. En la Figura 19 se observa que 11 de las 47 empresas que respondieron la encuestas tienen una edad entre 51 a 55 años lo cual representa el 23,4% de los fabricantes y/o importadores. Igualmente, el 21,3% del total de fabricantes y/o importadores tienen una edad entre 48 y 51 años. Como se puede evidenciar el 44,7% de las empresas y de las personas que respondieron la encuesta tiene una edad entre 48 y 55 años, lo cual se debe a que son personas que poseen un alto cargo dentro de las empresas fabricantes y/o importadores y poseen una gran experiencia tanto en la producción y comercialización de plaguicidas como en la ejecución de planes de productos posconsumo.

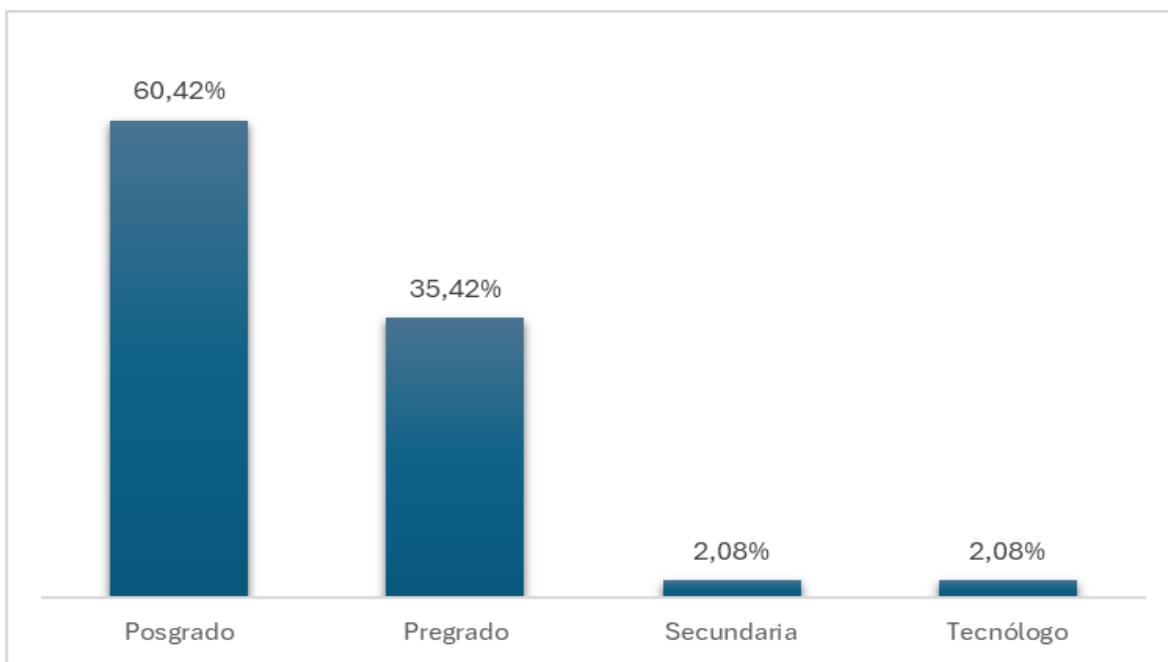
Figura 19

Distribución edades fabricantes y/o importadores



Nota. Elaboración propia

Por otra parte, en la figura 20 se observó la participación porcentual de los niveles de educación de los Fabricantes y/o Importadores, donde se evidencia que el 60,42% de los representantes de las empresas poseen un nivel de educación de Posgrado y el 35,42% un nivel de pregrado, lo cual se debe a que estas personas ocupan cargos directivos importantes dentro de las empresas fabricantes y posee una gran experiencia y conocimiento en el sector de comercialización de plaguicidas, convirtiéndose en un aspecto positivo o beneficioso para el proceso de recolección y disposición final de los envases y empaques vacíos de plaguicidas, debido a que un mayor conocimiento del producto repercutirá en una mejor ejecución y planeación de las jornadas de recolección y en general de todo del proceso de LI.

Figura 20*Nivel de educación – fabricantes y/o importadores*

Nota. Elaboración propia

El análisis anterior, hace parte de un preámbulo del estudio descriptivo de variables sociodemográficas incluidas dentro del instrumento de recolección de información, las cuales se analizan de forma individual para observar un primer comportamiento de los Fabricantes y/o Importadores. Posterior a este análisis, se procede a realizar el proceso para la generación del modelo estadístico, donde en primera instancia se determina la correlación posible que puedan existir entre las 11 variables que componen el modelo de forma general.

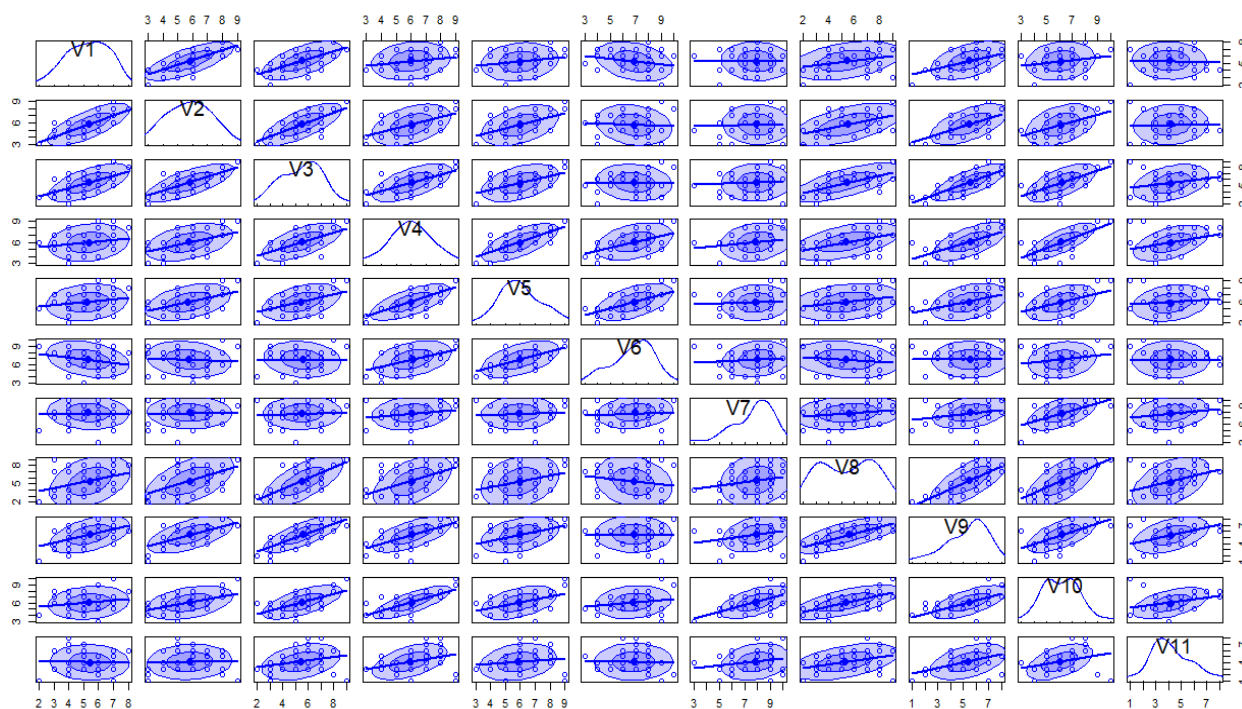
Acorde a lo anterior, en la figura 21 se observan las gráficas de correlaciones de las variables donde se puede observar inicialmente las curvas de comportamiento de las 11 variables donde a nivel general se puede evidenciar que tienen un comportamiento normal con su curva centralizada, solo se evidencia que la variable siete tiene la curva sesgada hacia la derecha, lo cual puede inducir que la mayoría de los datos pueden estar ubicados hacia los valores mayores

de la escala de 1 a 10, puesto que esta variable que es denominada “Recuperación de activos” describe la percepción de los actores frente a si consideran que la entrega correcta de envases y empaques vacíos de plaguicidas ayuda a reciclarlos y generar un beneficio social. Caso contrario se evidencia en la variable 11 donde se observa un comportamiento con una curva sesgada hacia la derecha, tendiente a valores más bajos en la escala, donde dicha variable denominada “*Stakeholder relationship management*”, evidencia que los Fabricantes inicialmente consideran que las entidades como Corpoboyacá, gobierno o autoridades ambientales no apoyan en gran medida en el éxito del proceso de recolección y disposición.

Por consiguiente, observando las gráficas de correlación de las variables, se pueden destacar inicialmente la relación que se tiene entre las variables Tiempo del ciclo de Disposición (V3) y Gestión Financiera (V9), donde se evidencia una relación positiva entre las variables, lo cual puede significar inicialmente que el respaldo financiero que tenga el proceso de LI incide positivamente en que los tiempos entre cada jornada de recolección aportan a la gestión correcta de los residuos. Por otra parte, otra relación que se destaca visualmente se da entre las variables Negociación (V8) y Gestión Financiera (V9).

Figura 21

Gráficas correlaciones variables fabricantes y/o importadores



Nota. Elaboración propia

Sin embargo, realizar un análisis visual no es contundente frente a las posibles correlaciones que puedan existir entre las variables, por ende, inicialmente se calcula el Coeficiente de Pearson para determinar el grado de correlación que puede existir entre dos variables (ver tabla 11). Inicialmente se puede corroborar las correlaciones de las variables anteriormente identificadas, cuyos valores más altos de Pearson cercanos a uno significan una mejor correlación entre dichas variables y valores de Pearson cercanos a cero significan que no existe una correlación. Se observa que entre las variables Tiempo del ciclo de Disposición (V3) y Gestión Financiera (V9) se tiene un coeficiente de Pearson de 0.7559 lo cual se puede considerar que existe una relación directa positiva. Así mismo las variables de Negociación (V8) y Gestión Financiera (V9) presentan un valor de Pearson de 0.7304 lo cual significa una correlación

positiva y lo induce a que las empresas Fabricantes y/o Importadores que consideran que no existen beneficios o aspectos de negociación para los actores del proceso de LI, consideran también que no existe un respaldo financiero para el proceso.

Tabla 11

Coefficientes de Pearson variables fabricantes y/o importadores

	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11
V1	1,0000	0,7265	0,6178	0,2023	0,1889	-0,2468	-0,0230	0,3371	0,4907	0,1827	-0,0429
V2	0,7265	1,0000	0,7236	0,4881	0,4784	-0,0658	0,0547	0,5342	0,6235	0,4696	0,0457
V3	0,6178	0,7236	1,0000	0,6251	0,4902	0,0224	0,0719	0,6610	0,7559	0,6266	0,2714
V4	0,2023	0,4881	0,6251	1,0000	0,6965	0,4808	0,1927	0,4877	0,6084	0,7138	0,3438
V5	0,1889	0,4784	0,4902	0,6965	1,0000	0,5599	0,0720	0,3118	0,4257	0,4648	0,1536
V6	-0,2468	-0,0658	0,0224	0,4808	0,5599	1,0000	0,0903	-0,1722	0,0055	0,2041	-0,0339
V7	-0,023	0,0547	0,0719	0,1927	0,072	0,0903	1,0000	0,2021	0,2606	0,5826	0,2204
V8	0,3371	0,5342	0,661	0,4877	0,3118	-0,1722	0,2021	1,0000	0,7304	0,6368	0,3873
V9	0,4907	0,6235	0,7559	0,6084	0,4257	0,0055	0,2606	0,7304	1,0000	0,6147	0,4388
V10	0,1827	0,4696	0,6266	0,7138	0,4648	0,2041	0,5826	0,6368	0,6147	1,0000	0,3277
V11	-0,0429	0,0457	0,2714	0,3438	0,1536	-0,0339	0,2204	0,3873	0,4388	0,3277	1,0000

Nota. Elaboración propia

Posteriormente, para comprobar la existencia verdadera de una correlación se aplicó el Método de Holm con el fin de realizar pruebas de hipótesis múltiples, cuyo método posee un poder estadístico mayor y una mayor precisión referente a otros métodos (Holm, 1979). Para las pruebas de hipótesis realizadas se evalúa por medio del valor dado del Coeficiente de Pearson (r), donde se establecieron las siguientes hipótesis:

$$H_0: r = 0$$

$$H_1: r \neq 0$$

En la tabla 12 se observan los p-value de las pruebas de hipótesis múltiples realizadas para las 11 variables con un nivel de significancia de 0.05. Según la regla estadística, los p-value menores a 0.05 significa que se rechaza la hipótesis nula, lo cual quiere decir que aquellos valores menores a 0.05 acepta la hipótesis alternativa que el valor del coeficiente de Pearson (r) es diferente de cero y confirma que existe una correlación significativa entre dos variables.

En consecuencia, se puede evidenciar que los valores más pequeños < ,0001 significan que existe una correlación significativa, pero a su vez que esta relación es más fuerte. Por ejemplo, las variables Control de acceso (V1) y Sistemas de Información de Logística Inversa (V2) tienen una correlación significativa lo cual quiere decir que la verificación y control del triple lavado e inutilización de los envases vacíos de plaguicidas depende del uso de sistemas de información para el proceso de recolección y disposición y a tener un coeficiente de Pearson de 0.7265 en estas variables, se podría intuir que esta correlación existentes, funciona aproximadamente en el 72,65% de los casos. Por el contrario, se evidencia que existe una correlación significativa entre el Outsourcing (V10) y Stakeholder relationship management (V11) pero con p-value de 0,0215, lo cual refleja que esta correlación no es tan fuerte, evidenciada con el coeficiente de Pearson entre estas variables de 0,3277.

Tabla 12

P-values bilaterales variables fabricantes y/o importadores

	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11
V1		< ,0001	< ,0001	0,1632	0,1935	0,0873	0,8755	0,0179	0,0003	0,2089	0,7697
V2	< ,0001		< ,0001	0,0004	0,0005	0,6533	0,7088	< ,0001	< ,0001	0,0007	0,7551

V3	<,0001	<,0001	<,0001	0,0003	0,8784	0,6237	<,0001	<,0001	<,0001	0,0592
V4	0,1632	0,0004	<,0001	<,0001	0,0005	0,1848	0,0004	<,0001	<,0001	0,0156
V5	0,1935	0,0005	0,0003	<,0001	<,0001	0,6232	0,0292	0,0023	0,0008	0,2921
V6	0,0873	0,6533	0,8784	0,0005	<,0001	0,5370	0,2368	0,9699	0,1596	0,8169
V7	0,8755	0,7088	0,6237	0,1848	0,6232	0,5370	0,1637	0,0705	<,0001	0,1280
V8	0,0179	<,0001	<,0001	0,0004	0,0292	0,2368	0,1637	<,0001	<,0001	0,0060
V9	0,0003	<,0001	<,0001	<,0001	0,0023	0,9699	0,0705	<,0001	<,0001	0,0016
V10	0,2089	0,007	<,0001	<,0001	0,0008	0,1596	<,0001	<,0001	<,0001	0,0215
V11	0,7697	0,7551	0,0592	0,0156	0,2921	0,8169	0,1280	0,0060	0,0016	0,0215

Nota. Elaboración propia

Una vez realizado el análisis de las correlaciones de todas las variables para los fabricantes y/o importadores, se procede a determinar las ecuaciones y modelo estadístico por cada uno de los factores y sus respectivas variables que se componen.

7.1.1. Factor 1 – Fabricantes y/o importadores

El factor uno denominado Transporte, incluye las actividades concernientes al flujo de residuos desde las fincas generadoras hasta el centro de acopio y así mismo desde el centro de acopio hasta los puntos de disposición final. Las variables que componen este factor se detallan en la tabla 13

Tabla 13

Variables factor 1

VARIABLES	CODIFICACIÓN	PREGUNTAS
Control de acceso	V1	¿En qué grado considera que el proceso actual realiza verificación y control del triple lavado e

inutilización de los envases vacíos de
plaguicidas?

Sistemas de		¿En qué grado considera que los sistemas de
Información de	V2	información actual ayudan para el proceso de
Logística Inversa		recolección y disposición?

Nota. Elaboración propia

Según Aldás Manzano & Uriel Jiménez (2017), en la técnica de ACP al existir un factor de análisis cuya composición es de solo dos variables, la incidencia de cada una de las variables es la misma, puesto que se considera que la variabilidad de cada una de ellas es la misma. Teniendo en cuenta lo anterior la ecuación que describe el comportamiento de este factor es la siguiente:

Ecuación 1

Factor 1 – fabricantes y/o importadores

$$F1 = 0.5V1 + 0.5V2 \quad (1)$$

Nota. Elaboración propia.

De acuerdo a la ecuación definida para el factor uno, se tiene en cuenta que tanto la variable Control de Acceso (V1) como los Sistemas de Información de Logística Inversa (V2), tienen la misma incidencia, lo cual induce que para los Fabricantes y/o Importadores la verificación y control del triple lavado e inutilización de los envases vacíos de plaguicidas inciden de igual manera que los sistemas de información actuales para el proceso de recolección y disposición de los envases y empaques vacíos de plaguicidas. Sin embargo, como se había evidenciado anteriormente, la correlación entre V1 y V2 es significativa con un valor de Coeficiente de Pearson 0,7265.

En general, se evidencia que según lo estipulado para los Fabricantes y/o Importadores, el factor transporte dentro del proceso de LI para los envases y empaques vacíos estará determinado por la dependencia positiva entre el Control de Acceso y los Sistemas de Información.

7.1.2. Factor 2 – Fabricantes y/o importadores

El factor dos denominado Almacenaje, incluye todas las actividades referentes a los tiempos o ciclos de disposición final o en particular el tiempo entre las jornadas de recolección de los residuos de plaguicidas y también incluye el análisis de los centros de acopio con los que se cuentan actualmente. Las variables que componen este factor se detallan en la tabla 14:

Tabla 14

Variables factor 2

VARIABLES	CODIFICACIÓN	PREGUNTAS
Tiempo del ciclo de disposición	V3	¿En qué grado considera que los tiempos entre cada jornada de recolección aportan a la gestión correcta de los residuos?
Centros de devolución centralizados	V4	¿En qué grado considera que los centros de disposición actuales son adecuados para la correcta recolección de los envases y empaques vacíos de plaguicidas?

Nota. Elaboración propia

Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente, el factor 2 también está compuesto por solo dos variables por ende la ecuación queda de la siguiente manera:

Ecuación 2

Factor 2 – fabricantes y/o importadores

$$F2 = 0.5V3 + 0.5V4 \quad (2)$$

Nota. Elaboración propia.

Los Tiempos de ciclo de disposición (V3) están relacionados inicialmente, con la programación de las jornadas de recolección de envases y empaques vacíos de plaguicidas, a fin de analizar si los tiempos entre cada una de las jornadas o para el desarrollo del proceso de LI, son adecuados y pertinentes. También esta variable incluye los tiempos destinados para realizar la disposición final de cada tipo de residuos. En consecuencia, según lo que se estipula para el factor dos en los Fabricantes y/o Importadores, esta variable de tiempo de ciclo tendrá la misma incidencia que las variables Centros de Devolución Centralizados (V4), referente al análisis si los centros de acopio que se poseen actualmente son adecuados y con la capacidad suficiente para el almacenaje de los residuos de plaguicidas. Por otra parte, se evidencia que existe una correlación significativa entre estas dos variables con un coeficiente de Pearson de 0,62.

7.1.3. Factor 3 – Fabricantes y/o importadores

El factor tres denominado Disposición Final está relacionado o describe las actividades que se llevan a cabo para la decisión de la alternativa que se le aplicará al residuo de acuerdo con sus condiciones de entrega las cuales pueden ser: reciclaje, eliminación segura o eco procesamiento. Igualmente se tiene en cuenta en este factor las opciones de recuperación y generación de un segundo uso o alternativa de beneficio a partir de los residuos de plaguicidas.

Las variables que componen este factor se detallan en la tabla 15:

Tabla 15

Variables factor 3

VARIABLES	CODIFICACIÓN	PREGUNTAS
Devolución cero	V5	¿En qué grado considera que las condiciones actuales del proceso de recolección incentivan a los participantes a la devolución correcta de los envases y empaques vacíos de plaguicidas?
Remanufactura y Reacondicionamiento	V6	¿En qué grado considera que la disposición final actual es la correcta para los envases y empaques vacíos de plaguicidas?
Recuperación de Activos	V7	¿En qué grado considera que la entrega correcta de envases y empaques vacíos de plaguicidas ayuda a reciclarlos y generar un beneficio social?

Nota. Elaboración propia

En consecuencia, este factor al tener más de dos variables, se aplica el método ACP para determinar la ecuación que represente el comportamiento de dichas variables dentro del Factor de Disposición Final. Al generar el modelo, inicialmente en la tabla 16 se evidencian los valores propios generados para el Factor tres, donde se observa el valor de la varianza para tres dimensiones estipuladas por el modelo y que según Lozares y López-Roldán (1991), aquellas dimensiones que posean una varianza mayor a 1 son las que se deben incluir en el modelo y son las necesarias para describir el factor estudiado.

De acuerdo con lo anterior, se evidencia que para el factor tres de Fabricantes y/o Importadores con solo la dimensión uno se logra captar las comunalidades necesarias para

explicar el comportamiento conjunto de las variables, logrando la captación o representación del mayor porcentaje de datos correspondiente al 52,749 y teniendo en cuenta que para la técnica de ACP, la primera dimensión tendrá siempre una mayor relevancia y captación de la mayor información que las otras dimensiones.

Tabla 16

Valores propios factor 3 – fabricantes y/o importadores

	Dimensión 1	Dimensión 2	Dimensión 3
Varianza	1,582	0,978	0,44
% de Varianza	52,749	32,59	14,661
% Acumulado de Varianza	52,749	85,339	100

Nota: Elaboración propia

Teniendo en cuenta lo anterior, se determinan las contribuciones de cada una de las variables para cada una de las dimensiones identificadas (ver tabla 17).

Tabla 17

Contribuciones variables factor 3 – fabricantes y/o importadores

	Dim. 1	Dim. 2	Dim. 3
V5	47,914768	2,356154	49,7290778
V6	48,346677	1,438597	50,2147269
V7	3,738555	96,205249	0,05619537

Nota. Elaboración propia

Tal como se mencionó anteriormente y de acuerdo con el ACP realizado, para la determinación de la fórmula de este factor, se tomaron en cuenta las contribuciones solo de la dimensión 1, quedando la ecuación de la siguiente manera:

Ecuación 3*Factor 3 – fabricantes y/o importadores*

$$F3 = 0.47914768V5 + 0.48346677V6 + 0.03738555V7 \quad (3)$$

Nota. Elaboración propia.

La ecuación anterior, describe el comportamiento conjunto de las variables Devolución cero (V5), Remanufactura y Reacondicionamiento (V6) y Recuperación de Activos (V7), donde por medio de la aplicación de esta fórmula se podrá predecir el comportamiento del Factor tres disposiciones finales para los Fabricantes y/o Importadores, creando una sola variable latente. Se evidencia que la mayor incidencia es de la variable V6, la cual está relacionada con la disposición final correcta para los envases y empaques vacíos de plaguicidas con un 48,34% y similarmente la variable V5 con un valor de 47,91%, concerniente a la evaluación de las condiciones actuales del proceso de recolección para incentivar a los participantes a la devolución correcta de los envases y empaques vacíos de plaguicidas. Por el contrario, la variable V7 relacionada con la entrega correcta de envases y empaques vacíos de plaguicidas para reciclarlos y generar un beneficio social solo tiene el 3,73% de participación en la fórmula.

Por otra parte, en la figura 22 se observan las correlaciones de las variables del factor tres, donde dicha correlación se mide por medio del coseno del ángulo que forman un par de variables a analizar, teniendo en cuenta que si el ángulo es pequeño o tendiente a 0° se puede decir que existe una alta correlación positiva con un coeficiente de 1. Si el ángulo formado tiende a ser 90° se concluye que no existe correlación y las variables son independientes y si el ángulo formado tiende a ser 180° existe correlación, pero negativa.

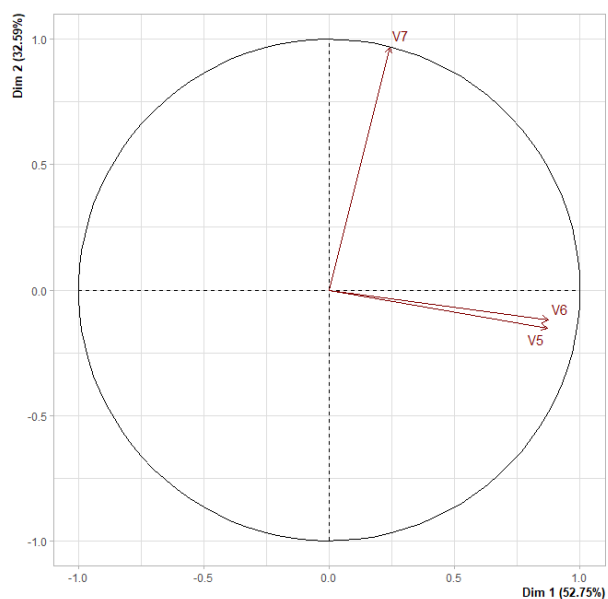
Teniendo en cuenta lo anterior, inicialmente se puede evidenciar que existe una alta correlación positiva de las variables V5 y V6, esto se debe a que la primera variable denominada

Devolución Cero evalúa si las condiciones actuales del proceso de recolección incentivan a los participantes a la devolución correcta de los envases y empaques vacíos de plaguicidas y la siguiente variable concerniente a la disposición final correcta de los envases y empaques vacíos de plaguicidas, lo cual concluye que si existen las condiciones correctas del proceso de LI se lograrán incentivos para los participantes sobre todo para los generadores y esto repercutirá en la correcta disposición final de los residuos de plaguicidas.

Por otra parte, se evidencia que la variable V7 la cual mide si la entrega correcta de envases y empaques vacíos de plaguicidas ayuda a reciclarlos y generar un beneficio social es independiente o su comportamiento no depende de la variable relacionada con los incentivos que se pueden generar para la correcta devolución de acuerdo a las condiciones actuales del proceso de LI ni de las variables que evalúan si la disposición final es la correcta para los residuos de plaguicidas.

Figura 22

Circulo de correlaciones variables Factor 3 – Fabricantes y/o importadores



Nota: Elaboración propia

7.1.4. Factor 4 – Fabricantes y/o importadores

El factor cuatro denominado Satisfacción del Cliente tiene en cuenta en primera instancia la Negociación que se puede dar con los participantes del proceso, en particular en este caso con los generadores a fin de lograr que realicen la devolución de los residuos de plaguicidas. Igualmente tiene en cuenta la gestión financiera que se realiza para la planeación y ejecución del proceso de LI. Finalmente incluye tanto el proceso de outsourcing de subcontratación para la ejecución de las jornadas de recolección con la gestión de las relaciones con las partes interesadas o demás entidades externas que participan de manera directa o indirecta en el proceso. Las variables que componen este factor se detallan en la tabla 18:

Tabla 18

Variables factor 4

VARIABLES	CODIFICACIÓN	PREGUNTAS
Negociación	V8	¿En qué grado considera que existen beneficios para todos los participantes en los procesos de recolección y disposición final de los residuos de plaguicidas?
Gestión Financiera	V9	¿En qué grado considera que el proceso actual cuenta con un respaldo financiero para su correcta aplicación?
Outsourcing	V10	¿En qué grado considera que la gestión y proceso que realiza la empresa de recolección actual es eficiente?

Stakeholder relationship management	V11	¿En qué grado considera que entidades como Corpoboyacá, gobierno o autoridades ambientales apoyan en el éxito del proceso de recolección y disposición?
---	-----	---

Nota. Elaboración propia

Igual que el factor anterior, se aplica el método ACP para determinar la ecuación que represente el comportamiento de dichas variables dentro del Factor de Satisfacción del Cliente. En la tabla 19 se evidencian los valores propios generados para el Factor cuatro, donde se observa el valor de la varianza para cuatro dimensiones estipuladas por el modelo, donde por medio del mismo criterio de varianza mayor a uno, solo se necesitaría una dimensión para representar el comportamiento conjunto de las cuatro variables y así lograr el comportamiento del factor tres de Fabricantes y/o Importadores, logrando la captación o representación del mayor porcentaje de datos correspondiente al 65,031.

Tabla 19

Valores propios factor 4 – fabricantes y/o importadores

	Dimensión 1	Dimensión 2	Dimensión 3	Dimensión 4
Varianza	2,601	0,732	0,401	0,266
% de Varianza	65,031	18,300	10,018	6,651
% Acumulado de Varianza	65,031	83,331	93,349	100

Nota. Elaboración propia

Teniendo en cuenta lo anterior, se determinan las contribuciones de cada una de las variables para cada una de las dimensiones identificadas (ver tabla 20).

Tabla 20*Contribuciones variables factor 4 – fabricantes y/o importadores*

	Dim. 1	Dim. 2	Dim. 3	Dim. 4
V8	29,60137	4,987305	14,454692	50,9566297
V9	30,00717	1,126408	20,775518	48,0909016
V10	25,55394	11,350129	62,616616	0,4793150
V11	14,83751	82,536157	2,153174	0,4731537

Nota. Elaboración propia

Tal como se mencionó anteriormente y de acuerdo con el ACP realizado, para la determinación de la fórmula de este factor, se tomaron en cuenta las contribuciones solo de la dimensión uno, quedando la ecuación de la siguiente manera:

Ecuación 4*Factor 4 – fabricantes y/o importadores*

$$F4 = 0.2960137V8 + 0.3000717V9 + 0.2555394V10 + 0.1483751V11 \quad (4)$$

Nota. Elaboración propia.

La fórmula anterior, refleja el comportamiento conjunto de las variables Negociación (V8), Gestión Financiera (V9), Outsourcing (V10) y Stakeholder relationship management (V11), donde por medio de la aplicación de esta fórmula se podrá predecir el comportamiento del Factor 4 Satisfacción del Cliente para los Fabricantes y/o Importadores, creando una sola variable latente. Se observa que las variables V9 y V8 son las que mayor tienen incidencia con un valor de 30% y 29,6% respectivamente donde estas variables inicialmente determinan el respaldo financiero que se tiene para el desarrollo del proceso de recolección y disposición final

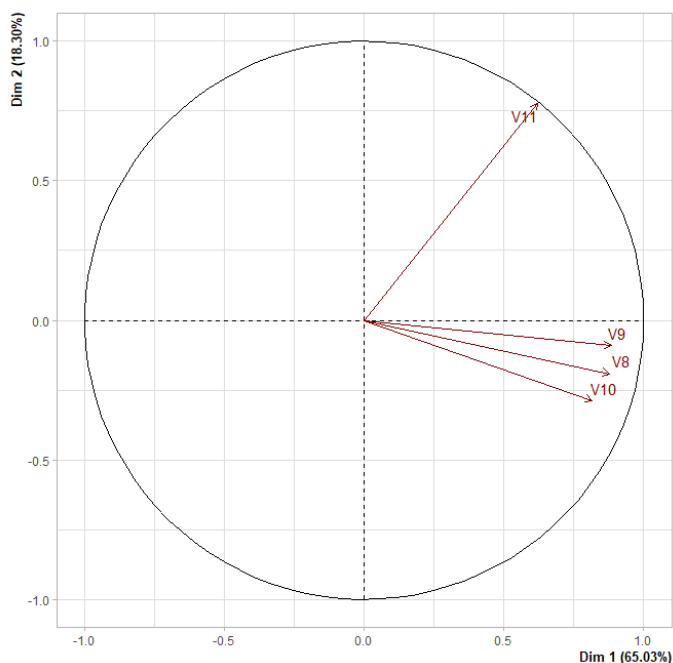
de los envases y empaques vacíos de plaguicidas y los incentivos que o beneficios que se les otorga a los comercializadores y agricultores para la participación en el proceso de LI. Por otra parte, se evidencia que la variable V11 tiene la menor incidencia con el 14,83%, la cual está asociado con la gestión de la relación con las partes interesadas de entidades públicas o privadas que participan directa o indirectamente en el proceso de LI, bien sea con actividades de apoyo en la ejecución del proceso o como entes de control para cumplimiento de condiciones y responsabilidades de acuerdo con la normativa vigente.

Así mismo, en la figura 23 se observan las correlaciones de las variables del factor cuatro, teniendo en cuenta los mismos criterios de análisis del factor anterior. En consecuencia, inicialmente se puede evidenciar que existe una alta correlación positiva de las variables V8 y V9, lo cual se refleja en el proceso donde los beneficios que se pueden brindar o dar a los comercializadores y agricultores para la correcta participación dentro del proceso dependerá en un alto grado en el respaldo financiero que se tenga para la ejecución. Igualmente, se evidencia una alta correlación positiva entre las variables V8 y V10, demostrando que para que se lleve a cabo el proceso de recolección y disposición final de envases y empaques vacíos de plaguicidas eficientemente, dependerá significativamente de los beneficios o forma de incentivar a los comercializadores y agricultores para que participen de manera correcta en el proceso.

Por el contrario, se evidencia que la variable V11 referente a la forma en que entidades como Corpoboyacá, gobierno o autoridades ambientales apoyan en el éxito del proceso de recolección y disposición es totalmente independiente tanto de los beneficios que tienen participantes del proceso (V8), el respaldo financiero con que se cuenta (V9) y la gestión y forma como realiza el proceso la empresa encargada (V10).

Figura 23

Circulo de correlaciones variables factor 4 – fabricantes y/o importadores



Nota. Elaboración propia

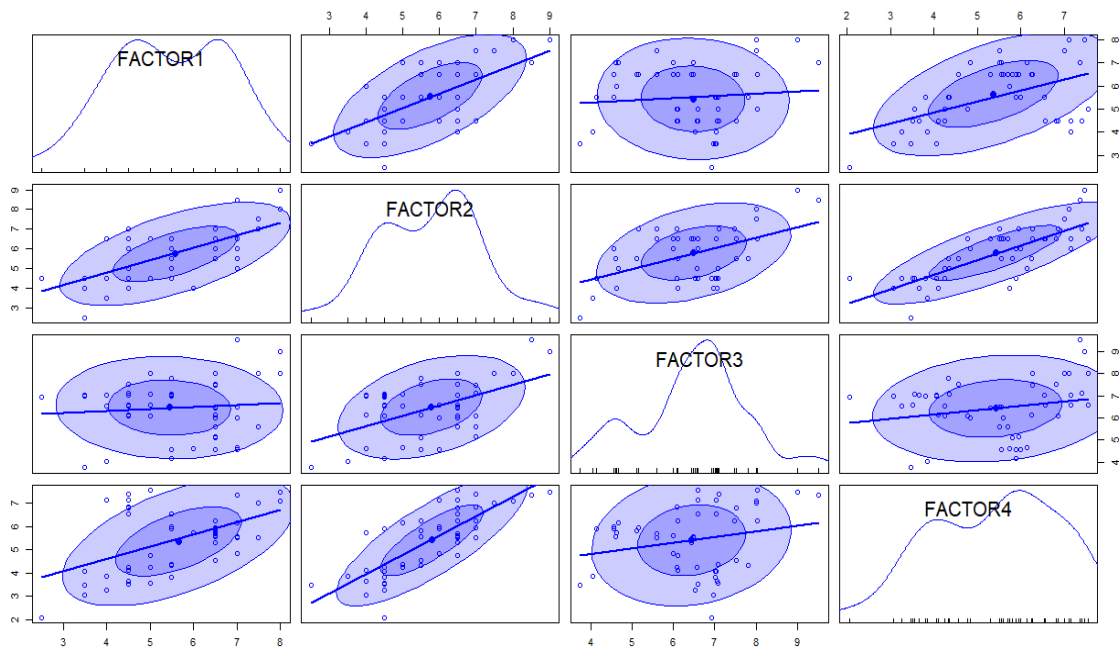
7.1.5. Índice total – Fabricantes y/o importadores

Una vez determinado el modelo y las fórmulas que describen el comportamiento de las variables para cada uno de los factores se procede a generar un modelo general para todo el proceso de LI, teniendo en cuenta en conjunto los cuatro factores analizados anteriormente para los Fabricantes y/o Importadores. En la figura 24 se puede observar inicialmente la gráfica de correlaciones de todos los factores para los Fabricantes y/o Importadores, donde se evidencia de forma visual, que una de las correlaciones fuertes que se pueden dar es entre el Factor dos (Almacenaje) y el Factor cuatro (Satisfacción del Cliente), lo cual se refleja en el proceso debido a que el Almacenaje donde intervienen los tiempos entre jornadas y los centros de acopio dependen primero de cómo la empresa recolectora está ejecutando los procesos y así mismo del respaldo financiero que se tenga, variables que pertenecen al Factor Satisfacción del Cliente.

Igualmente, se observa una correlación positiva entre el Factor uno (Transporte) y el Factor dos (Almacenaje), lo cual se refleja en el proceso en el sentido que el transporte que considera la recolección de los residuos y la verificación de las condiciones en que las entrega, dependerá significativamente en términos de las cantidades que se van a almacenar y la forma como se va a hacer dicho almacenamiento dependiendo de las condiciones que fueron entregados.

Figura 24

Gráficas correlaciones factores fabricantes y/o importadores



Nota: Elaboración propia

Igualmente, se determinan los coeficientes de Pearson para medir la correlación de las variables, donde se evidencia igualmente que la correlación más alta se da entre el Factor dos y el Factor cuatro con un coeficiente de 0,7855. Así mismo, se da una correlación positiva entre el Factor uno y el Factor dos. Lo anterior refleja que el Almacenaje de los envases y empaques

vacíos de plaguicidas tienen una dependencia tanto con el Transporte como con la Satisfacción del Cliente (ver tabla 21).

Tabla 21

Coefficientes de Pearson factores fabricantes y/o importadores

	FACTOR 1	FACTOR 2	FACTOR 3	FACTOR 4
FACTOR 1	1,0000	0,6216	0,0874	0,5017
FACTOR 2	0,6216	1,0000	0,5025	0,7855
FACTOR 3	0,0874	0,5025	1,0000	0,2191
FACTOR 4	0,5017	0,7855	0,2191	1,0000

Nota. Elaboración propia

En la tabla 22 se observan los p-value de las pruebas de hipótesis múltiples realizadas para los cuatro factores de los Fabricantes y/o Importadores con un nivel de significancia de 0.05. Se puede evidenciar que los valores más pequeños $< ,0001$ significan que existe una correlación significativa, pero a su vez que esta relación es más fuerte e igualmente los valores menores a 0,05 también comprueban que existe una correlación significativa. Como se mencionó anteriormente, se evidencia que las correlaciones más significativas se dan entre el Factor Transporte (F1) y el Factor Almacenaje (F2) y a su vez este factor con el Factor Satisfacción del Cliente (F4).

Sin embargo, también se evidencia que existe una correlación significativa entre el Factor Almacenaje (F2) y el Factor Disposición Final (F3) pero con menor nivel de ajuste o porcentaje de representación con el 50,25%. De la misma forma se evidencia la correlación significativa del Factor Transporte (F1) y el Factor Satisfacción del Cliente (F4) con un nivel de ajuste del 50,17.

Tabla 22

P-values bilaterales factores fabricantes y/o importadores

	FACTOR 1	FACTOR 2	FACTOR 3	FACTOR 4
FACTOR 1		<,0001	0,5505	0,0002
FACTOR 2	<,0001		0,0002	<,0001
FACTOR 3	0,5505	0,0002		0,1305
FACTOR 4	0,0002	<,0001	0,1305	

Nota. Elaboración propia

Seguidamente, se procede a aplicar la técnica de ACP con el fin de obtener el índice total del proceso de LI desde el punto de vista de los Fabricantes y/o Importadores, teniendo en cuenta la incidencia que tiene cada uno de los factores en el modelo general.

Por consiguiente, en la tabla 23 se evidencian los valores propios generados para el Índice Total, donde se observa el valor de la varianza para cuatro dimensiones estipuladas por el modelo, donde por medio del mismo criterio de varianza mayor a uno, solo se necesitaría una dimensión para representar el comportamiento conjunto de los cuatro factores y así lograr representar el comportamiento del índice total referente a todo el modelo para el proceso de LI, logrando la captación o representación del mayor porcentaje de datos correspondiente al 61,139%.

Tabla 23

Valores propios índice total – fabricantes y/o importadores

	Dimensión 1	Dimensión 2	Dimensión 3	Dimensión 4
Varianza	2,446	0,946	0,485	0,123
% de Varianza	61,139	23,653	12,128	3,080

% Acumulado de Varianza	61,139	84,792	96,920	100
-------------------------	--------	--------	--------	-----

Nota: Elaboración propia

Posteriormente, se calculan las diferentes contribuciones de cada uno de los factores para cada una de las dimensiones identificadas (ver tabla 24).

Tabla 24

Contribuciones factores – fabricantes y/o importadores

	Dim. 1	Dim. 2	Dim. 3	Dim. 4
FACTOR 1	22,28796	21,73578	49,82594	6,15031
FACTOR 2	37,45921	0,493864	0,77281	61,27411
FACTOR 3	10,49365	74,26889	6,05565	9,18180
FACTOR 4	29,75918	3,50146	43,34558	23,39377

Nota. Elaboración propia

Tal como se mencionó anteriormente y de acuerdo con el ACP realizado, para la determinación de la fórmula de este factor, se tomaron en cuenta las contribuciones solo de la dimensión 1, quedando la ecuación de la siguiente manera:

Ecuación 5

Índice Total – fabricantes y/o importadores

$$TOTAL = 0.2228796F1 + 0.3745921F2 + 0.1049365F3 + 0.2975918F4 \quad (5)$$

Nota. Elaboración propia.

Con la ecuación 5, se determina el comportamiento conjunto de los cuatros factores a saber: Transporte (F1), Almacenaje (F2), Disposición Final (F3) y Satisfacción del Cliente (F4), donde por medio de la aplicación de esta fórmula se podrá predecir el comportamiento del

proceso de recolección y disposición final de los envases y empaques vacíos de plaguicidas para los Fabricantes y/o Importadores, creando una sola variable latente denominada “Total”.

De acuerdo a lo anterior, se evidencia que el Factor dos Almacenaje, es el que posee la mayor incidencia en el modelo con un valor de 37.45%, lo cual significa que el Almacenaje se convierte en el factor más importante dentro del proceso de LI, desde el punto de vista de los Fabricantes y/o Importadores y considerando que los tiempos entre las jornadas de recolección y la forma y capacidad de almacenamiento de los centros de acopio actual tiene una mayor incidencia en todo el proceso.

Seguidamente se evidencia que el Factor cuatro satisfacción del cliente tiene una incidencia en el modelo del 29,75%, cuyo factor contiene inicialmente la negociación que se puede lograr al tener incentivos o beneficios a los comercializadores y agricultores, el respaldo financiero que se tiene para el proceso, la gestión realizada por la empresa encargada de la ejecución de las jornadas de recolección y la gestión de la relación con las partes interesadas, variables que afectan en esta medida a todo el proceso de LI.

En la figura 25 se observan las correlaciones de los factores para el modelo general. En consecuencia, inicialmente se puede evidenciar que existe una alta correlación positiva de los factores dos y cuatro, lo cual determina que el Almacenaje (F2) tiene una correlación con la Satisfacción del Cliente (F4), aclarando que esto se presenta solamente para los Fabricantes y/o Importadores.

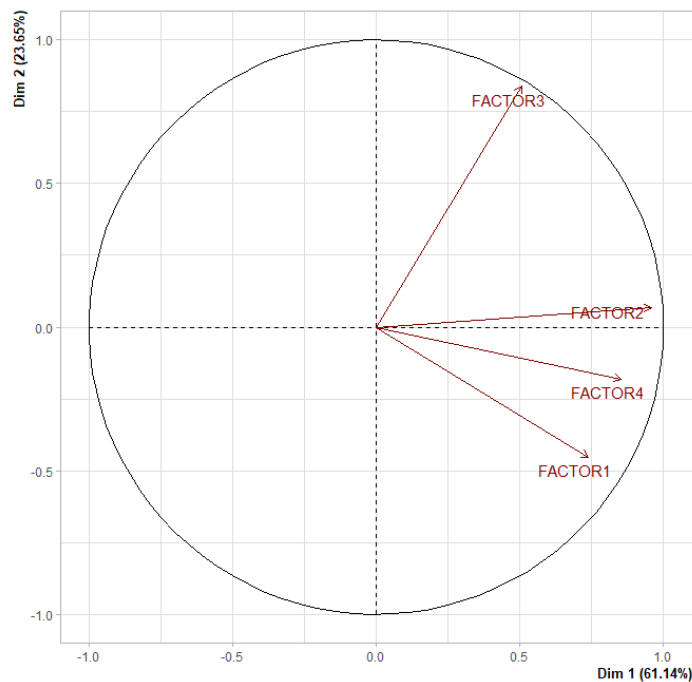
Lo anterior se puede presentar debido a que los Fabricantes y/o Importadores son los encargados y tienen la responsabilidad de que el proceso de recolección y disposición final de los envases y empaques vacíos de plaguicidas se lleve a cabo, para lo cual deberán contratar a una empresa intermediadora para que en su nombre realice las jornadas de recolección y además son

ellos los que deben disponer de los recursos financieros para que el proceso se lleve a cabo exitosamente, lo cual repercute directamente en los tiempos en que se realice cada jornada y la forma de almacenar los residuos de plaguicidas.

Igualmente, se puede observar que existe una correlación positiva entre el factor uno y cuatro, lo que evidencia que el Transporte (F1) depende positivamente de la Satisfacción del Cliente (F4) y viceversa. El transporte es el factor que en primera instancia tiene contacto con los clientes o para el caso los agricultores y es allí donde por medio de actividades como verificación de condiciones de entrega y los diversos sistemas de información que se utilizan para el proceso, se logra que la satisfacción del cliente. Finalmente se puede observar que la Disposición Final (F3) y Transporte (F1) son totalmente independiente y uno no depende del otro.

Figura 25

Circulo de correlaciones factores – fabricantes y/o importadores



Nota. Elaboración propia

Finalmente, para los Fabricantes y/o Importadores se determinan los posibles clúster en cuanto a la dispersión que se tienen en cuando los datos recolectados. En la figura 26 se representan las valoraciones de los Fabricantes y/o Importadores, donde el número de grupos formados son cuatros, identificados por medio de la técnica de análisis de conglomerados o clusterización.

Acorde a lo anterior, la segmentación realizada inicialmente se representa con color negro al Clúster uno, empresas consideradas como aquellas empresas con una valoración baja frente al proceso y donde se observa una ligera homogeneidad y una pequeña dispersión, excepto de las empresas 70 y 64. Seguidamente con color Rojo se encuentran los de valoración media, pero por el contrario presentan una mayor variabilidad en cuanto a sus valoraciones. El clúster tres representado con color verde son aquellas empresas con valoración media alta y como se evidencia presentan una menor dispersión en sus datos y mayor homogeneidad. Por último, se encuentra el Clúster cuatro representado con el color azul y son aquellas empresas que tienen una valoración alta en el proceso, sin embargo, este grupo es el que presenta una mayor dispersión o variabilidad entre ellas.

importadores para la divulgación de información sobre el proceso de recolección y disposición final de los residuos de plaguicidas que se halla dispuesto.

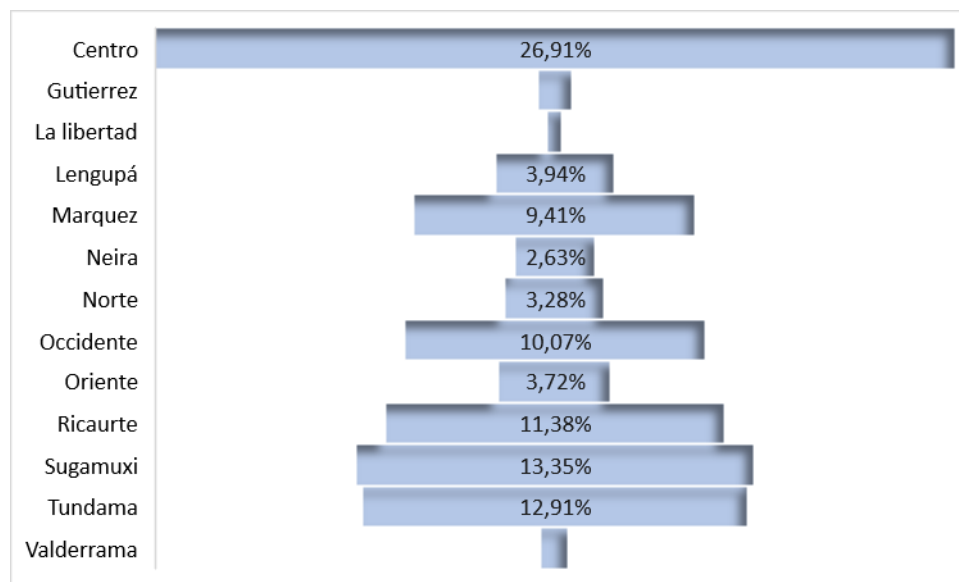
Por otra parte, para efectos de un mejor análisis de los comercializadores se han agrupado por provincias. El departamento de Boyacá está dividido por provincias, que son consideradas divisiones administrativas de segundo grado en las cuales se agrupan los 123 municipios con los que cuenta el departamento. Las provincias del departamento de Boyacá son 15: Centro, Gutiérrez, La Libertad, Lengupá, Márquez, Neira, Norte, Occidente, Oriente, Ricaurte, Sugamuxi, Tundama y Valderrama. Existen dos provincias que no son tenidas en cuenta pues son consideradas de carácter especial como lo es la del municipio de Puerto Boyacá por ser zona de manejo especial por temas de seguridad y el municipio de Cubará como distrito fronterizo.

En consecuencia, en la figura 27 se puede evidenciar que el 26,91% de los comercializadores de plaguicidas del departamento de Boyacá se encuentran ubicados en la provincia de Centro en municipios como Tunja, Combita, Samacá, Siachoque, Toca, Soracá y Ventaquemada, municipios donde se presenta mayor actividad agrícola en el departamento. Seguidamente se observa que el 13,35% de los comercializadores se encuentran ubicados en la provincia de Sugamuxi en municipios como Aquitania, Nobsa, Sogamoso, Tibasosa y Tota, los cuales también representan una parte importante dentro de la actividad agrícola del departamento.

Por el contrario, solo el 0,44% de los comercializadores están ubicados en la provincia de La Libertad en los municipios de Labranzagrande y Pajarito, los cuales dentro de la actividad económica de agricultura no son fuerte o no tienen una cantidad de agricultores o zonas de cultivos significativos, esto debido a la lejanía de estos municipios referente a la capital del departamento y a su difícil acceso.

Figura 27

Ubicación geográfica comercializadores de plaguicidas



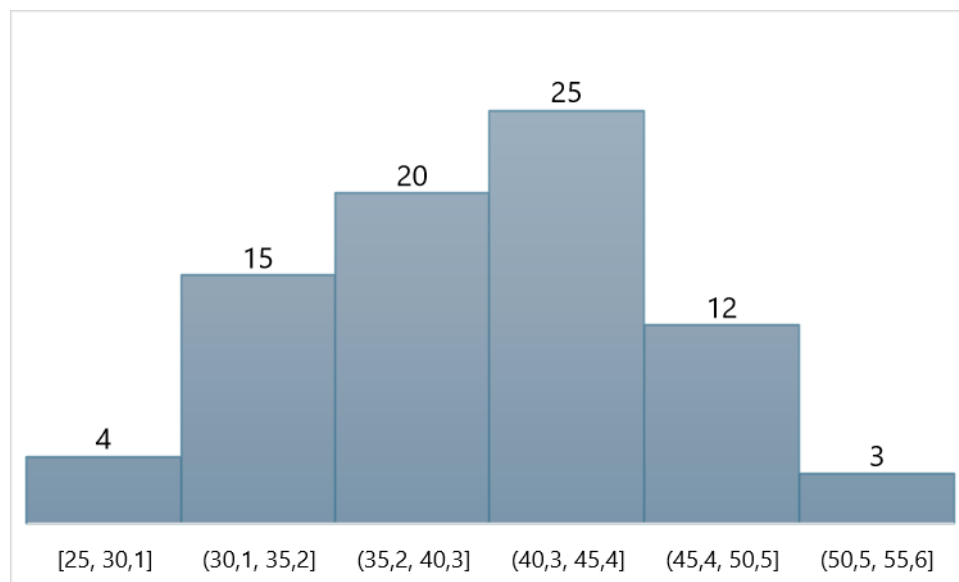
Nota. Elaboración propia

Por otra parte, realizando un análisis en cuanto a las edades de los representantes de los comercializadores, en la figura 28 se evidencia inicialmente que el 31,64% de ellos tienen una edad entre 40 y 45 años e igualmente el 25,31% de los comercializadores tienen una edad entre 35 y 40 años. Por otra parte, se evidenciar que solo el 3,8% de los comercializadores tienen una edad entre 50 y 55 años.

En general se evidencia que la mayor parte de los comercializadores poseen una edad entre 35 y 45 años, lo cual se debe a que estos comercializadores son personas jóvenes que poseen sus empresas de ventas de plaguicidas y desde jóvenes han creado sus negocios y hoy en día posean la experiencia suficiente en el sector agrícola.

Figura 28

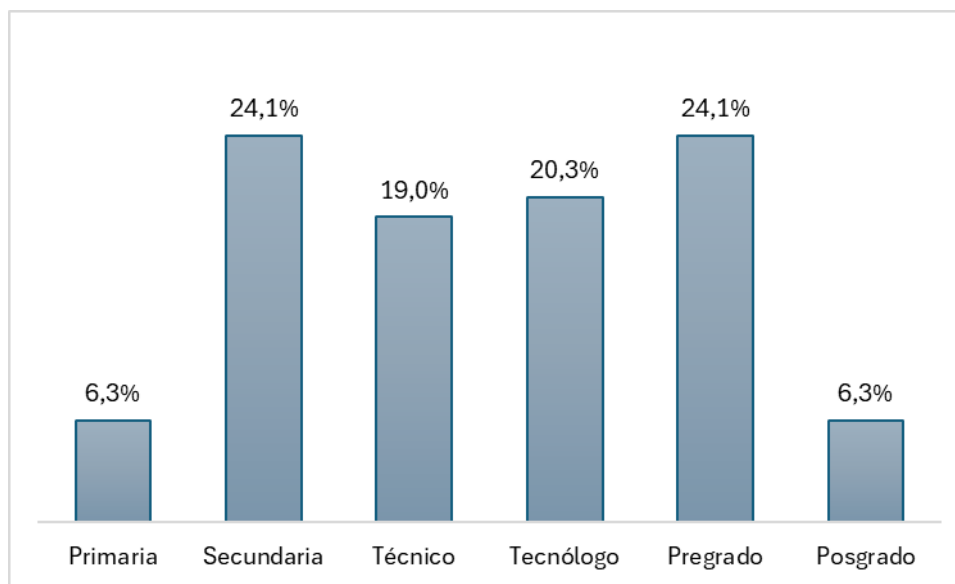
Distribución edades fabricantes y/o importadores



Nota. Elaboración propia

Por otra parte, en la figura 29 se observa la participación porcentual de los niveles de educación de los Comercializadores, donde se evidencia que el nivel de educación Secundaria y Pregrado tienen la misma participación con el 24,1% del total de los comercializadores. Similarmente se evidencia que el 19% de los comercializadores tienen un nivel educativo Técnico y el 20,3% de Tecnólogo.

En general se evidencia que las participaciones porcentuales de cada uno de los niveles educativos de los comercializadores tienen valores similares, lo cual intuye que el nivel de educación podría no incidir en la valoración o percepción que tienen los comercializadores frente al proceso de recolección y disposición final de envases y empaques vacíos de plaguicidas, debido a que el conocimiento de este proceso se da más por la experiencia y años que lleven en este sector.

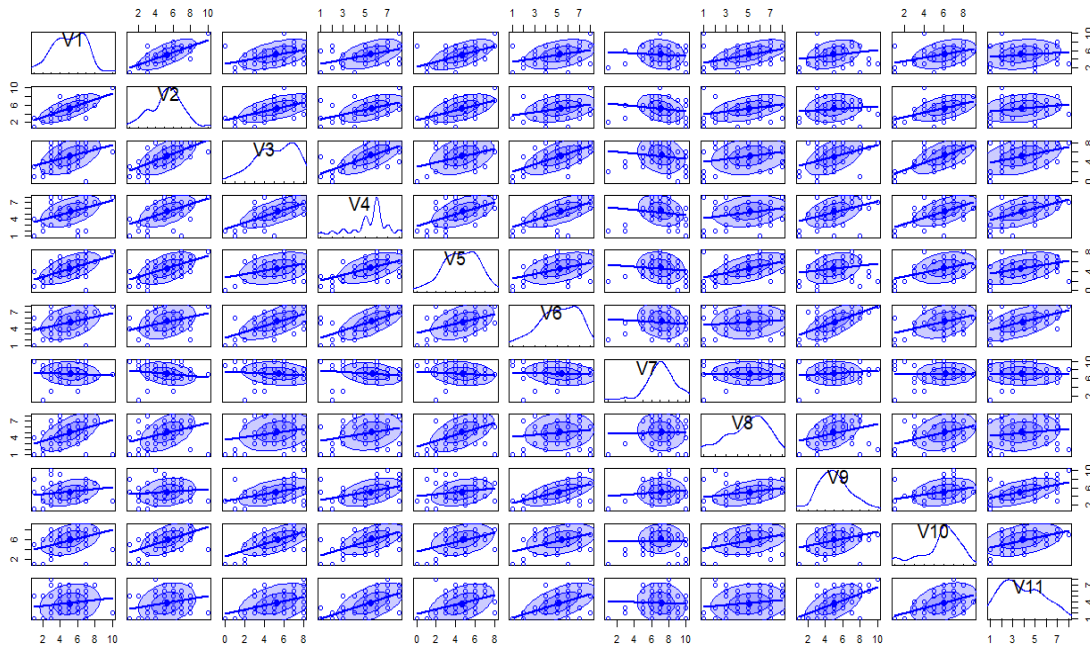
Figura 29*Nivel de educación – comercializadores**Nota.* Elaboración propia

Por otra parte, ya para generar el modelo general para los Comercializadores inicialmente se determina de forma gráfica las posibles correlaciones que puedan existir entre las 11 variables incluidas en el estudio. En la figura 30 se observan las gráficas de correlaciones de las variables donde se puede evidenciar inicialmente una correlación entre las variables Control de Acceso (V1) y Sistemas de Información de LI (V2), la cual puede significar inicialmente que para que los residuos de plaguicidas se entreguen en las condiciones correctas depende significativamente de los sistemas de comunicación que se implementen para dar a conocer dichas condiciones.

Igualmente, se evidencia una posible correlación entre las variables Centros de devolución centralizados (V4) y Outsourcing (V10), esto se debe a que, por medio de la contratación de terceros para llevar a cabo el proceso de recolección y disposición, son ellos quienes estipulan y operan los centros de acopio actuales y determinan la capacidad que se requiere para los residuos de plaguicidas que se recolecte.

Figura 30

Gráficas correlaciones variables comercializadores



Nota. Elaboración propia

Adicional al análisis visual de las gráficas de correlación, se calcula el Coeficiente de Pearson para determinar el grado de correlación que puede existir entre dos variables (ver tabla 25). Inicialmente se puede corroborar las correlaciones de las variables anteriormente identificadas, donde se observa que existe una correlación alta positiva entre las variables Control de Acceso (V1) y Sistemas de Información de LI (V2) se tiene un coeficiente de Pearson de 0.7028. Así mismo las variables de Tiempos de Ciclo de Disposición (V3) y Outsourcing (V10) presentan un valor de Pearson de 0.6826 lo cual significa una correlación positiva y lo induce a que los Comercializadores consideran que los tiempos entre las jornadas de recolección dependen estrictamente de la gestión y proceso que realiza la empresa encargada del proceso de LI.

Tabla 25

Coefficientes de Pearson variables comercializadores

	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11
V1	1,0000	0,7028	0,4389	0,4653	0,5806	0,3618	-0,0878	0,4536	0,2089	0,4188	0,1705
V2	0,7028	1,0000	0,6012	0,5422	0,5640	0,3686	-0,1946	0,3682	0,1312	0,5448	0,2460
V3	0,4389	0,6012	1,0000	0,6781	0,3972	0,6317	-0,1394	0,2523	0,4390	0,6826	0,4208
V4	0,4653	0,5422	0,6781	1,0000	0,5581	0,6522	-0,1528	0,2803	0,4390	0,6275	0,4208
V5	0,5806	0,5640	0,3972	0,5581	1,0000	0,4490	-0,1255	0,5032	0,2223	0,4453	0,4060
V6	0,3618	0,3686	0,6317	0,6522	0,4490	1,0000	-0,0961	0,1564	0,5972	0,4505	0,5602
V7	-0,0878	-0,1946	-0,1394	-0,1528	-0,1255	-0,0961	1,0000	0,0325	0,1403	0,0281	-0,0442
V8	0,4536	0,3682	0,2523	0,2803	0,5032	0,1564	0,0325	1,0000	0,3225	0,4159	0,1873
V9	0,2089	0,1312	0,4390	0,4338	0,2223	0,5972	0,1403	0,3225	1,0000	0,3514	0,5689
V10	0,4188	0,5448	0,6826	0,6275	0,4453	0,4505	0,0281	0,4159	0,3514	1,0000	0,4769
V11	0,1705	0,2460	0,4208	0,5837	0,4060	0,5632	-0,0442	0,1873	0,5689	0,4769	1,0000

Nota: Elaboración propia

Posteriormente e igual que en el modelo anterior se aplicó el Método de Holm con el fin de realizar pruebas de hipótesis múltiples, cuya hipótesis a corroborar es que el coeficiente de correlación entre dos variables sea diferente de cero.

Por consiguiente, en la tabla 26 se observan los p-value de las pruebas de hipótesis múltiples realizadas para las 11 variables con un nivel de significancia de 0.05. Inicialmente se puede evidenciar que los valores más pequeños $< ,0001$ significan que existe una correlación significativa, pero a su vez que esta relación es más fuerte. Por ejemplo, las variables Control de acceso (V1) y Sistemas de Información de Logística Inversa (V2) tienen una correlación

significativa lo cual quiere decir que la verificación y control del triple lavado e inutilización de los envases vacíos de plaguicidas depende del uso de sistemas de información para el proceso de recolección y disposición y a tener un coeficiente de Pearson de 0.7028 en estas variables, se podría intuir que esta correlación existentes, funciona aproximadamente en el 72,65% de los casos. Por el contrario, se evidencia que existe una correlación significativa entre los Sistemas de Información de LI (V2) y Stakeholder relationship management (V11) pero con p-value de 0,0289, lo cual refleja que esta correlación no es tan fuerte, evidenciada con el coeficiente de Pearson entre estas variables de 0,2460.

Tabla 26

P-values bilaterales variables comercializadores

	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11
V1		<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	0,0011	0,4416	<,0001	0,0647	0,0001	0,1331
V2	<,0001		<,0001	<,0001	<,0001	0,0008	0,0856	0,0008	0,2489	<,0001	0,0289
V3	<,0001	<,0001		<,0001	0,0003	<,0001	0,2205	0,0249	<,0001	<,0001	0,0001
V4	<,0001	<,0001	<,0001		<,0001	<,0001	0,1790	0,0123	<,0001	<,0001	<,0001
V5	<,0001	<,0001	0,0003	<,0001		<,0001	0,2705	<,0001	0,0490	<,0001	0,0002
V6	0,0011	0,0008	<,0001	<,0001	<,0001		0,3995	0,1686	<,0001	<,0001	<,0001
V7	0,4416	0,0856	0,2205	0,1790	0,2705	0,3995		0,7764	0,2176	0,8060	0,6988
V8	<,0001	0,0008	0,0249	0,0123	<,0001	0,1686	0,7764		0,0037	0,0001	0,0984
V9	0,0647	0,2489	<,0001	<,0001	0,0490	<,0001	0,2176	0,0037		0,0015	<,0001
V10	0,0001	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	0,8060	0,0001	0,0015		<,0001
V11	0,1331	0,0289	0,0001	<,0001	0,0002	<,0001	0,6988	0,0984	<,0001	<,0001	

Nota: Elaboración propia

Una vez realizado el análisis de las correlaciones de todas las variables para los comercializadores, se procede a determinar las ecuaciones y modelo estadístico por cada uno de los factores y sus respectivas variables que se componen.

7.2.1. Factor 1 – Comercializadores

Como se mencionó anteriormente, el factor uno es lo concerniente al Transporte dentro del proceso de LI, donde las variables que componen dicho factor no varían respecto a los actores y por ende serán las mismas descritas para los Fabricantes y/o Importadores. Recordando que según la técnica de ACP al existir un factor de análisis cuya composición es de solo dos variables, la incidencia de cada una de las variables es la misma, puesto que se considera que la variabilidad de cada una de ellas es la misma. Teniendo en cuenta lo anterior la ecuación que describe el comportamiento de este factor es la siguiente:

Ecuación 6

Factor 1 – Comercializadores

$$F1 = 0.5V1 + 0.5V2 \quad (6)$$

Nota. Elaboración propia.

De acuerdo a la ecuación definida para el factor 1, se tiene en cuenta que tanto la variable Control de Acceso (V1) como los Sistemas de Información de Logística Inversa (V2), tienen la misma incidencia, lo cual induce que para los Comercializadores la verificación y control del triple lavado e inutilización de los envases vacíos de plaguicidas inciden de igual manera que los sistemas de información actuales para el proceso de recolección y disposición de los envases y empaques vacíos de plaguicidas. Sin embargo, como se había evidenciado anteriormente, la correlación entre V1 y V2 es significativa con un valor de Coeficiente de Pearson 0,7028.

En general, se evidencia que, según lo estipulado para los Comercializadores, el factor transporte dentro del proceso de LI para los envases y empaques vacíos estará determinado por la dependencia positiva entre el Control de Acceso y los Sistemas de Información.

7.2.2. Factor 2 – Comercializadores

Igualmente, el factor dos denominado Almacenaje, posee el mismo comportamiento descrito anteriormente para el actor Fabricante y/o Importador y tendrá incluida las mismas variables de tiempo de ciclo de disposición y centros de devolución centralizados.

Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente, el factor dos también está compuesto por solo dos variables por ende la ecuación queda de la siguiente manera:

Ecuación 7

Factor 2 – comercializadores

$$F2 = 0.5V3 + 0.5V4 \quad (7)$$

Nota. Elaboración propia.

Los Tiempos de ciclo de disposición (V3) están relacionados inicialmente, con la programación de las jornadas de recolección de envases y empaques vacíos de plaguicidas, a fin de analizar si los tiempos entre cada una de las jornadas o para el desarrollo del proceso de LI, son adecuados y pertinentes. También esta variable incluye los tiempos destinados para realizar la disposición final de cada tipo de residuos. En consecuencia, según lo que se estipula para el factor dos en los Comercializadores, esta variable de tiempo de ciclo tendrá la misma incidencia que las variables Centros de Devolución Centralizados (V4), referente al análisis si los centros de acopio que se poseen actualmente son adecuados y con la capacidad suficiente para el almacenaje de los residuos de plaguicidas. Por otra parte, se evidencia que existe una correlación significativa entre estas dos variables con un coeficiente de Pearson de 0,6781.

7.2.3. Factor 3 – Comercializadores

Teniendo en cuenta que el factor dos denominado Disposición Final, donde esta etapa está relacionada también con las responsabilidades que tienen los Comercializadores, pues ellos deben garantizar un contenedor para recibir los envases y empaques vacíos de plaguicidas y revisar las condiciones en que los agricultores las entregan. Las variables que se incluyen en este factor son las mismas descritas en el apartado de Fabricantes y/o Importadores concernientes a devolución cero, remanufactura y reacondicionamiento y recuperación de activos.

Igualmente, como este factor posee más de dos variables se puede aplicar el método ACP para determinar la ecuación que represente el comportamiento de dichas variables dentro del Factor de Disposición Final. Al generar el modelo, inicialmente en la tabla 27 se evidencian los valores propios generados para el Factor tres, donde se observa el valor de la varianza para tres dimensiones estipuladas por el modelo.

De acuerdo con lo anterior, se evidencia que para el factor tres de Comercializadores solo es necesario la inclusión de la Dimensión uno puesto es quien tiene una varianza mayor a uno, logrando la captación o representación del mayor porcentaje de datos correspondiente al 49,943 y teniendo en cuenta como ya se había mencionado anteriormente, la primera dimensión tendrá siempre una mayor relevancia y captación de la mayor información que las otras dimensiones.

Tabla 27

Valores propios factor 3 – comercializadores

	Dimensión 1	Dimensión 2	Dimensión 3
Varianza	1,498	0,952	0,550
% de Varianza	49,943	31,723	18,334
% Acumulado de Varianza	49,943	81,666	100

Nota: Elaboración propia

Teniendo en cuenta lo anterior, se determinan las contribuciones de cada una de las variables para cada una de las dimensiones identificadas (ver tabla 28).

Tabla 28

Contribuciones variables factor 3 – comercializadores

	Dim. 1	Dim. 2	Dim. 3
V5	46,121398	3,144580	50,734022
V6	44,865446	6,109502	49,025051
V7	9,013156	90,745917	0,240927

Nota: Elaboración propia

Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente, solo se tomará la primera dimensión para describir el comportamiento del Factor tres para los Comercializadores logrando así determinar la ecuación que representa este factor de la siguiente manera:

Ecuación 8

Factor 3 – comercializadores

$$F3 = 0.46121398V5 + 0.44865446V6 + 0.09013156V7 \quad (8)$$

Nota. Elaboración propia.

La ecuación anterior, describe el comportamiento conjunto de las variables Devolución cero (V5), Remanufactura y Reacondicionamiento (V6) y Recuperación de Activos (V7), donde por medio de la aplicación de esta fórmula se podrá predecir el comportamiento del Factor tres disposición final para los Comercializadores, creando una sola variable latente. Se evidencia que la mayor incidencia es de la variable V5, la cual está relacionada con la devolución correcta de los envases y empaques vacíos de plaguicidas por parte de los agricultores con un 46,12% y

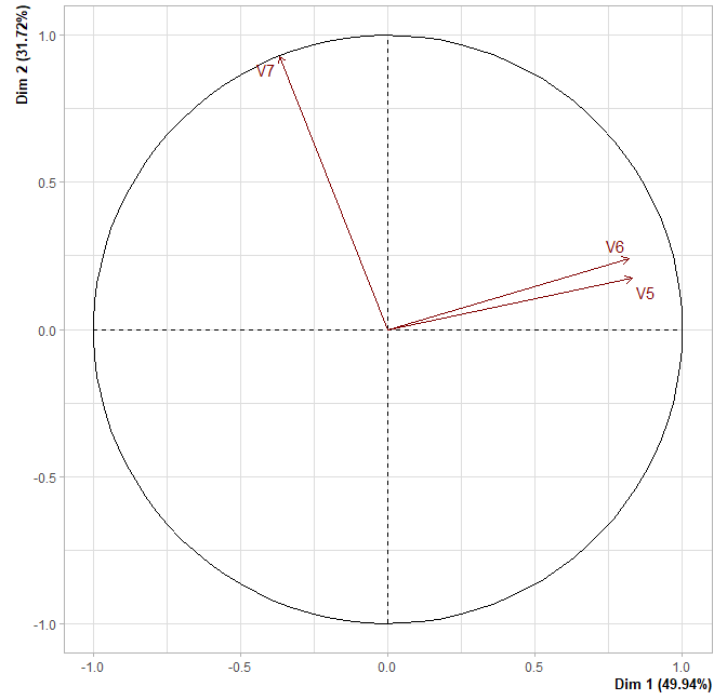
similarmente la variable V6 con un valor de 44,86%, concerniente a la disposición final correcta de los residuos de plaguicidas. Por el contrario, y coincidiendo con lo evidenciado para los Fabricantes y/o Importadores, la variable V7 relacionada con la entrega correcta de envases y empaques vacíos de plaguicidas para reciclarlos y generar un beneficio social tiene un porcentaje bajo de participación con un 9,01%.

Así mismo, en la figura 31 se observan las correlaciones de las variables del factor tres, donde, inicialmente se puede evidenciar que existe una alta correlación positiva de las variables V5 y V6, esto se debe a que la primera variable denominada Devolución Cero evalúa si las condiciones actuales del proceso de recolección incentivan a los participantes a la devolución correcta de los envases y empaques vacíos de plaguicidas y la siguiente variable concerniente a la disposición final correcta de los envases y empaques vacíos de plaguicidas, lo cual concluye que si existen las condiciones correctas del proceso de LI se lograrán incentivos para los participantes sobre todo para los generadores y esto repercutirá en la correcta disposición final de los residuos de plaguicidas. En consecuencia, se podría inducir que estas dos variables al tener un alto grado de correlación, los comercializadores la están interpretando de la misma forma y se podría manejar como una sola variable.

Por otra parte, se evidencia que la variable V7 la cual mide si la entrega correcta de envases y empaques vacíos de plaguicidas ayuda a reciclarlos y generar un beneficio social es independiente o su comportamiento no depende de la variable relacionada con los incentivos que se pueden generar para la correcta devolución de acuerdo con las condiciones actuales del proceso de LI ni de la variable que evalúan si la disposición final es la correcta para los residuos de plaguicidas.

Figura 31

Circulo de correlaciones variables factor 3 – comercializadores



Nota: Elaboración propia

7.2.4. Factor 4 – Comercializadores

En el factor cuatro “Satisfacción del cliente”, se tienen en cuenta las mismas variables que en el actor anterior, relacionadas con la Negociación, Gestión financiera, Outsourcing y Stakeholder relationship management. Igual que el factor anterior, se aplica el método ACP para determinar la ecuación que represente el comportamiento de dichas variables dentro del Factor de Satisfacción del Cliente. En la tabla 29 se evidencian los valores propios generados para el Factor cuatro, donde se observa el valor de la varianza para cuatro dimensiones estipuladas por el modelo, donde por medio del mismo criterio de varianza mayor a uno, solo se necesitaría una dimensión para representar el comportamiento conjunto de las cuatro variables y así lograr el

comportamiento del factor tres de Comercializadores, logrando la captación o representación del mayor porcentaje de datos correspondiente al 54,369.

Tabla 29

Valores propios factor 4 – comercializadores

	Dimensión 1	Dimensión 2	Dimensión 3	Dimensión 4
Varianza	2,175	0,865	0,612	0,348
% de Varianza	54,369	21,615	15,305	8,712
% Acumulado de Varianza	54,369	75,983	91,288	100

Nota: Elaboración propia

Teniendo en cuenta lo anterior, se determinan las contribuciones de cada una de las variables para cada una de las dimensiones identificadas (ver tabla 30).

Tabla 30

Contribuciones variables factor 4 – comercializadores

	Dim. 1	Dim. 2	Dim. 3	Dim. 4
V8	17,06845	59,644151	12,126158	11,16124
V9	27,69115	10,432031	34,873907	27,00291
V10	26,98373	5,007214	50,389696	17,61936
V11	28,25667	24,916604	2,610239	44,21649

Nota. Elaboración propia

Tal como se mencionó anteriormente y de acuerdo con el ACP realizado, para la determinación de la fórmula de este factor, se tomaron en cuenta las contribuciones solo de la dimensión uno, quedando la ecuación de la siguiente manera:

Ecuación 9*Factor 4 – comercializadores*

$$F4 = 0.1706845V8 + 0.2769115V9 + 0.2698373V10 + 0.2825667V11 \quad (9)$$

Nota. Elaboración propia.

La fórmula anterior, refleja el comportamiento conjunto de las variables Negociación (V8), Gestión Financiera (V9), Outsourcing (V10) y Stakeholder relationship management (V11), donde por medio de la aplicación de esta fórmula se podrá predecir el comportamiento del Factor cuatro Satisfacción del Cliente para los Comercializadores, creando una sola variable latente. Se observa que la variable V11 tiene la mayor incidencia con un valor de 28,25% la cual hace referencia a la gestión de las relaciones con las partes interesadas como entidades gubernamentales o ambientales que participan indirectamente en el proceso. Sin embargo, no se evidencia una gran diferencia con la incidencia de las variables V9 y V10 con un valor de 27,69% y 26,98% respectivamente, las cuales hacen referencia a la gestión financiera para llevar a cabo el proceso de LI y a la gestión que hace la empresa intermediaria que se encarga de las jornadas de recolección.

En consecuencia, se puede evidenciar que las variables V9, V10, V11 tienen una incidencia muy similar y sus diferencias no afectan o hacen que una variable tenga una mayor participación en la fórmula que la otra. Por otra parte, si se evidencia que la variable V8 tiene una menor incidencia con un valor de 17,06%, referente a los incentivos o beneficios que se les otorga a los comercializadores y agricultores para la participación en el proceso de LI.

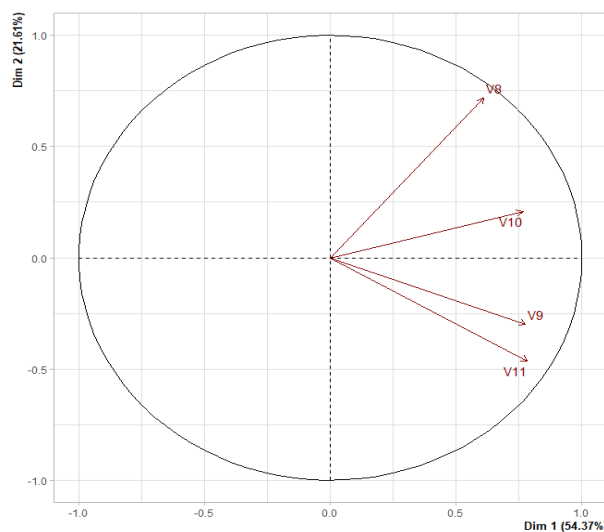
Por otra parte, en la figura 32 se observan las correlaciones de las variables del factor cuatro, teniendo en cuenta los mismos criterios de análisis del factor anterior. En consecuencia,

inicialmente se puede evidenciar que existe una alta correlación positiva de las variables V9 y V11, lo cual se refleja en el proceso inicialmente por medio del respaldo financiero que se brinda para llevar a cabo el proceso de LI, según los Comercializadores dependerá del apoyo o participación que tengan entidades gubernamentales o ambientales. Igualmente, se podría evidenciar una correlación, pero no tan fuerte entre las variables V8 y V10, demostrando que para que se lleve a cabo el proceso de recolección y disposición final de envases y empaques vacíos de plaguicidas eficientemente, dependerá significativamente de los beneficios o forma de incentivar a los comercializadores y agricultores para que participen de manera correcta en el proceso.

Por el contrario, se evidencia que la variable V11 referente a la forma en que entidades como Corpoboyacá, gobierno o autoridades ambientales apoyan en el éxito del proceso de recolección y disposición es totalmente independiente tanto de los beneficios que tienen participantes del proceso (V8).

Figura 32

Circulo de correlaciones variables factor 4 – comercializadores



Nota. Elaboración propia

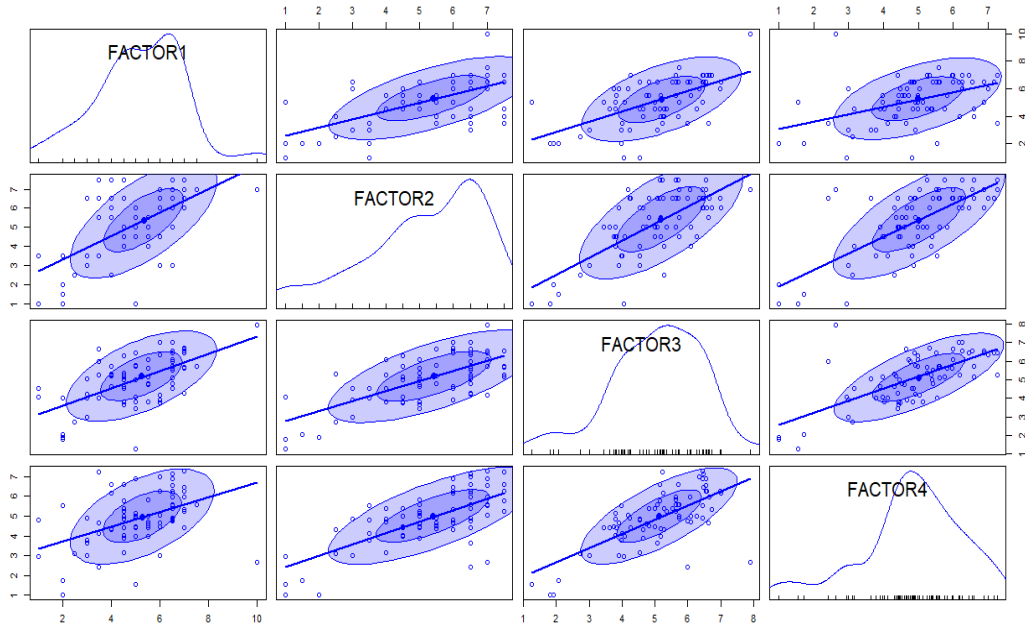
7.2.5. Índice total – comercializadores

Seguidamente, se determinó el modelo general para los Comercializadores, el cual describe el comportamiento en conjunto de los cuatro factores analizados anteriormente. En la figura 33 se puede observar inicialmente la gráfica de correlaciones de todos los factores para los Comercializadores, donde se evidencia de forma visual, que una de las correlaciones fuertes que se pueden dar es entre el Factor dos (Almacenaje) y el Factor cuatro (Satisfacción del Cliente), lo cual se refleja en el proceso debido a que el Almacenaje donde intervienen los tiempos entre jornadas y los centros de acopio dependen primero de cómo la empresa recolectora está ejecutando los procesos y así mismo del respaldo financiero que se tenga, variables que pertenecen al Factor Satisfacción del Cliente.

Igualmente, se observa una correlación positiva entre el Factor dos (Almacenaje) y el Factor tres (Disposición Final), lo cual se refleja en el proceso en el sentido que la forma como se almacenan los residuos de plaguicidas y las capacidades de los centros de acopio incide en las alternativas de disposición final y la recuperación que se podría realizar de los envases y empaques vacíos de plaguicidas.

Figura 33

Gráficas correlaciones factores fabricantes y/o importadores



Nota. Elaboración propia

Igualmente, se determinan los coeficientes de Pearson para medir la correlación de las variables, donde se evidencia igualmente que la correlación más alta se da entre el Factor dos y el Factor cuatro con un coeficiente de 0,7074. Así mismo, se da una correlación positiva entre el Factor dos y el Factor tres. Lo anterior refleja que el Almacenaje de los envases y empaques vacíos de plaguicidas tienen una dependencia tanto con la Disposición Final como con la Satisfacción del Cliente (ver tabla 31).

Tabla 31

Coefficientes de Pearson factores comercializadores

	FACTOR 1	FACTOR 2	FACTOR 3	FACTOR 4
FACTOR 1	1,0000	0,6051	0,5881	0,4472

FACTOR 2	0,6051	1,0000	0,6978	0,7074
FACTOR 3	0,5881	0,6978	1,0000	0,6817
FACTOR 4	0,4472	0,7074	0,6817	1,0000

Nota: Elaboración propia

En la tabla 32 se observan los p-value de las pruebas de hipótesis múltiples realizadas para los cuatro factores de los Comercializadores con un nivel de significancia de 0.05. Se puede evidenciar que los valores más pequeños $< ,0001$ significan que existe una correlación significativa, pero a su vez que esta relación es más fuerte e igualmente los valores menores a 0,05 también comprueban que existe una correlación significativa. En consecuencia, se evidencia que todas las correlaciones entre pares de factores nos dan un p-value $< ,0001$, lo cual concluye que entre todos los factores verdaderamente existen una correlación significativa y su intensidad si se puede dar en mayor grado en ciertas relaciones de factores, lo cual se puede evidenciar con los coeficientes de Pearson calculados anteriormente.

Tabla 32

P-values bilaterales factores comercializadores

	FACTOR 1	FACTOR 2	FACTOR 3	FACTOR 4
FACTOR 1		$< ,0001$	$< ,0001$	$< ,0001$
FACTOR 2	$< ,0001$		$< ,0001$	$< ,0001$
FACTOR 3	$< ,0001$	$< ,0001$		$< ,0001$
FACTOR 4	$< ,0001$	$< ,0001$	$< ,0001$	

Nota. Elaboración propia

Seguidamente, se determina el índice total del proceso de LI desde el punto de vista de los Comercializadores, teniendo en cuenta la incidencia que tiene cada uno de los factores en el

modelo general. En la tabla 33 se evidencian los valores propios generados para el Índice Total, donde se observa el valor de la varianza para cuatro dimensiones estipuladas por el modelo, donde por medio del mismo criterio de varianza mayor a uno, solo se necesitaría una dimensión para representar el comportamiento conjunto de los cuatro factores y así lograr representar el comportamiento del índice total referente a todo el modelo para el proceso de LI, logrando la captación o representación del mayor porcentaje de datos correspondiente al 71,802%.

Tabla 33

Valores propios índice total – comercializadores

	Dimensión 1	Dimensión 2	Dimensión 3	Dimensión 4
Varianza	2,872	0,565	0,308	0,255
% de Varianza	71,802	14,137	7,693	6,368
% Acumulado de Varianza	71,802	85,939	93,632	100

Nota: Elaboración propia

Posteriormente, se calculan las diferentes contribuciones de cada uno de los factores para cada una de las dimensiones identificadas (ver tabla 34).

Tabla 34

Contribuciones factores – comercializadores

	Dim. 1	Dim. 2	Dim. 3	Dim. 4
FACTOR 1	20,47285	67,17503	1,270608	11,081509
FACTOR 2	27,84323	0,807861	26,44986	44,899042
FACTOR 3	27,00984	0,775822	67,77164	4,442694
FACTOR 4	24,67408	31,24128	4,507880	39,576755

Nota: Elaboración propia

Tal como se mencionó anteriormente y de acuerdo con el ACP realizado, para la determinación de la fórmula de este factor, se tomaron en cuenta las contribuciones solo de la dimensión uno, quedando la ecuación de la siguiente manera:

Ecuación 10

Índice Total – comercializadores

$$TOTAL = 0.2047285F1 + 0.2784323F2 + 0.2700984F3 + 0.2467408F4 \quad (10)$$

Nota. Elaboración propia.

Con la formula anterior, se determina el comportamiento conjunto de los cuatros factores a saber: Transporte (F1), Almacenaje (F2), Disposición Final (F3) y Satisfacción del Cliente (F4), donde por medio de la aplicación de esta fórmula se podrá predecir el comportamiento del proceso de recolección y disposición final de los envases y empaques vacíos de plaguicidas para los Comercializadores, creando una sola variable latente denominada “Total”.

Igualmente, se evidencia que el Factor dos almacenaje y el Factor tres disposición final son los que mayor incidencia tienen en el índice total de los Comercializadores con un valor de 27,8% y 27% respectivamente, lo que significa que para los Comercializadores tanto el almacenaje como la disposición final son los factores más importantes para que el proceso de LI, se lleve a cabo de forma exitosa. Sin embargo, el factor uno y el factor cuatro no tiene una diferencia significativa frente a los otros factores, pues tienen valores de 20,47% y 24,67% respectivamente, evidenciando que en general los cuatro factores pueden llegar a incidir de igual manera desde el punto de vista de los Comercializadores.

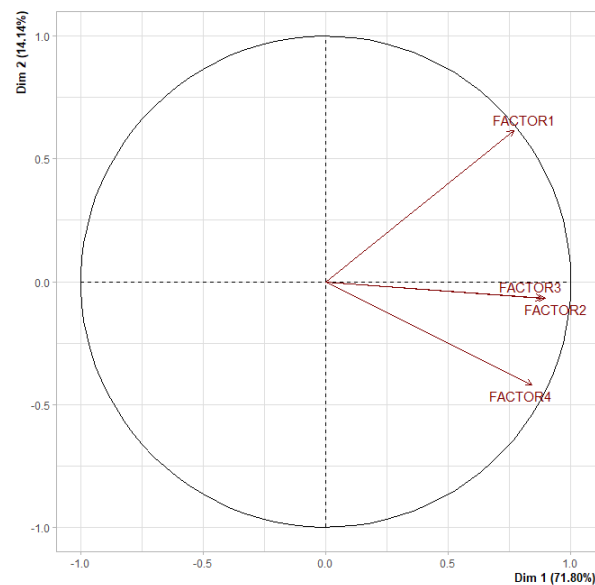
Por otra parte, en la figura 34 se observan las correlaciones de los factores para el modelo general. En consecuencia, inicialmente se puede evidenciar que existe una alta correlación

positiva de los factores dos y tres, lo cual determina que el Almacenaje (F2) tiene una correlación con la Disposición Final (F3), incluso se puede observar que el vector de F2 está sobrepuesto en el vector de F3, lo cual indica que para los Comercializadores estos dos factores podrían tener una misma interpretación o se podrían evaluar como uno solo.

Lo anterior se puede presentar debido a que los Comercializadores consideran que el almacenaje que se realiza a los envases y empaques vacíos de plaguicidas determinan las condiciones en las que están estos residuos para la determinación de la alternativa de disposición final que van a tener. Igualmente, se puede observar que existe una correlación no tan fuerte entre el factor cuatro, con el factor tres y dos, lo que evidencia que la Satisfacción del Cliente (F4) depende en un grado menor del Almacenaje (F2) y la Disposición Final (F3). Finalmente se puede observar que, para los Comercializadores, el Transporte (F1) y la Satisfacción del Cliente (F4) son totalmente independiente y uno no depende del otro.

Figura 34

Circulo de correlaciones factores – comercializadores



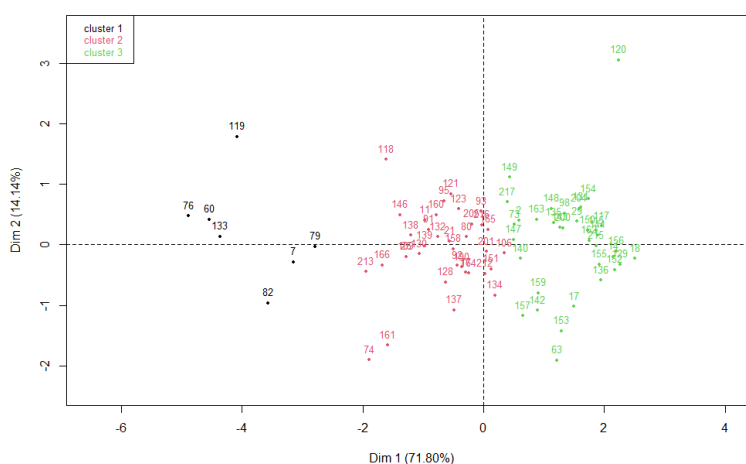
Nota: Elaboración propia

Finalmente, para los Comercializadores se determinan los posibles clúster en cuanto a la dispersión que se tienen con los datos recolectados. En la figura 35 se representan las valoraciones de los Comercializadores, donde el número de grupos formados son tres, identificados por medio de la técnica de análisis de conglomerados o clusterización.

De acuerdo a lo anterior, la segmentación realizada inicialmente se representa con color negro al Clúster uno considerados como aquellas empresas con una valoración baja frente al proceso y donde se observa un número inferior de empresas comercializadores en este grupo con una variabilidad marcada entre ellas. Seguidamente con color Rojo se encuentran los de valoración media, pero por el contrario presentan una mayor homogeneidad y hay un mayor número de empresas comercializadoras en este grupo. Por último, se encuentra el clúster tres representado con el color verde y son aquellas empresas que tienen una valoración alta en el proceso, presentando la mejor homogeneidad de todos los grupos y solo se evidencia que la empresa 120 presenta un comportamiento totalmente diferente al resto de empresas de este grupo.

Figura 35

Clúster – comercializadores



Nota: Elaboración propia

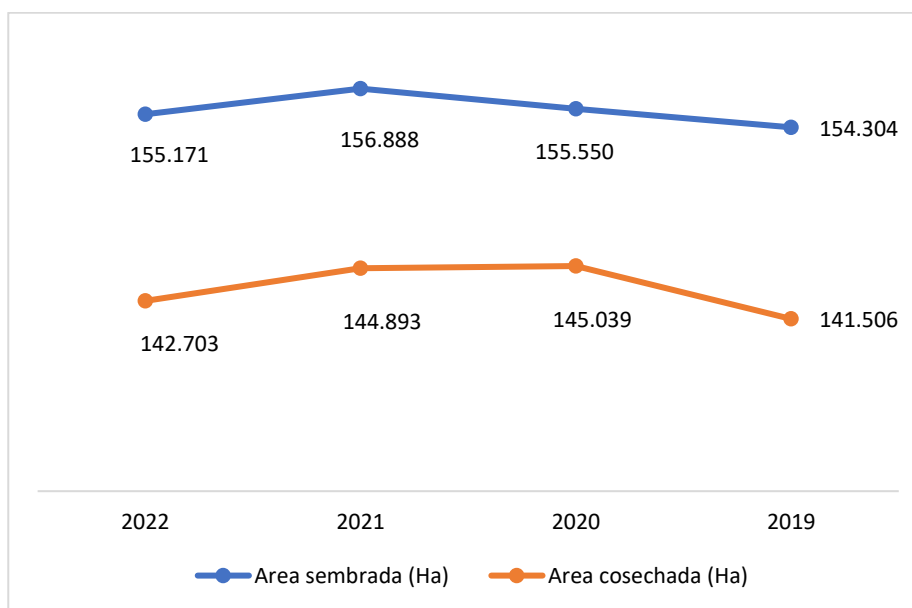
7.3. Análisis modelo agricultores

El departamento de Boyacá se destaca por su gran actividad económica agropecuaria. Según el DANE (2020) para el año 2023 el censo agrícola del departamento de Boyacá es de 516.145 personas naturales dedicadas a la agricultura. En la figura 36 se puede observar el comportamiento del sector agrícola del departamento de Boyacá en cuanto al área sembrada y área cosechada en comparación desde el año 2019 al año 2022.

En consecuencia, se puede observar que en cuanto al área cosechada y sembrada hay un comportamiento similar en comparación con los años analizados, se evidencia que el mayor valor de área sembrada se presenta en el año 2021 con 156.888 hectáreas, sin embargo, en cuanto al área cosechada el mayor valor se presenta en el año 145.039 hectáreas. Lo anterior se presenta que, debido a condiciones ambientales como el clima, lluvia, entre otros, pueden disminuir en mayor o menor cantidad el área sembrada.

Figura 36

Área sembrada y cosechada Departamento de Boyacá 2019-2022

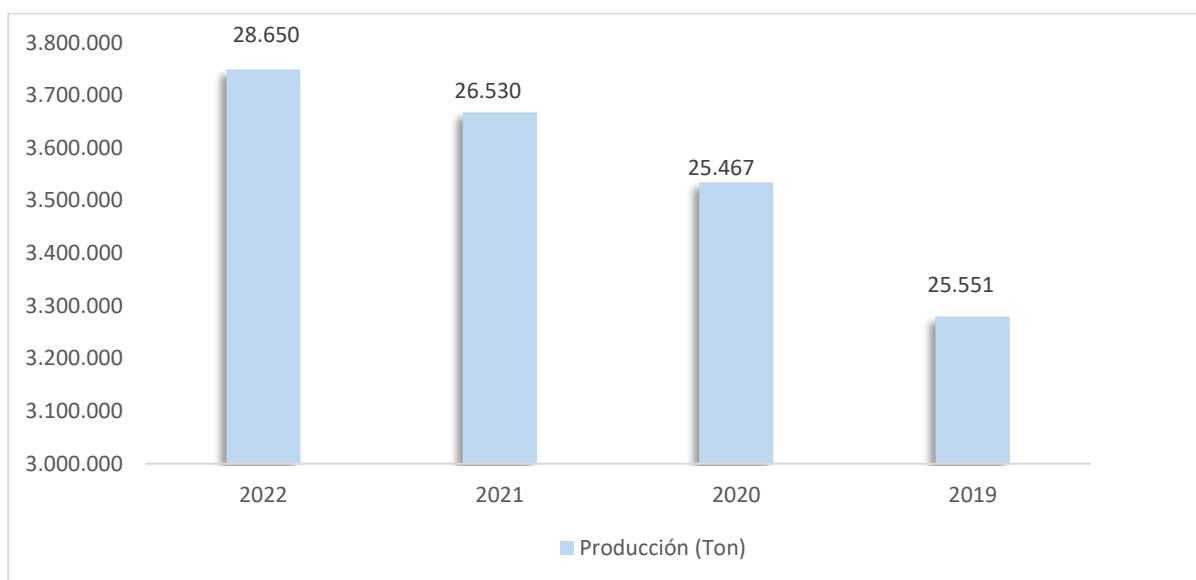


Nota. DANE (2020).

Por otra parte, en la figura 37 se evidencia el comportamiento en términos de la producción por toneladas del departamento de Boyacá y así mismo el rendimiento de toneladas por hectáreas. Se puede observar un aumento de la producción y el rendimiento desde el año 2019, logrando alcanzar en el año 2022 una producción total de 3.749.515 toneladas con un rendimiento por hectárea de 28.650 toneladas.

Figura 37

Área sembrada y cosechada Departamento de Boyacá 2019-2022



Nota. DANE (2020)

Seguidamente se identifican los productos agrícolas de mayor producción en el departamento de Boyacá. En la tabla 35 se puede observar que la Caña de azúcar tiene la mayor producción con 1.902.374,44 toneladas para el año 2022, la cual se da principalmente en municipios pertenecientes a la provincia de Ricaurte como Chitaraque, Togüí, Santana, San José de Pare y Moniquirá, destacados por tener climas cálidos, lo cual se presta para la siembra de este tipo de producto. Seguidamente se puede observar que la Papa es el segundo cultivo con una producción de 943.177,7 toneladas en el año 2022, la cual se produce en aproximadamente 82

municipios, donde los que más se destacan son: Ventaquemada, Siachoque, Toca, Chíquiza, Cómbita, Motavita, Soracá, Tunja, Úmbita, Saboyá, Arcabuco y Samacá

Tabla 35

Producción agrícola departamento de Boyacá - 2022

PRODUCTO	PRODUCCIÓN (TON)
Caña	1.902.374,44
Papa	943.177,70
Tomate	219.011,80
Cebolla de Rama	133.693,40
Cebolla de Bulbo	127.276,13
Zanahoria	77.199,20
Pera	35.061,33
Plátano	20.746,75
Yuca	19.983,24
Tomate de árbol	17.754,99

Nota: DANE (2020)

Los agricultores se pueden considerar como el actor más importante y con mayor responsabilidad dentro del proceso de recolección y disposición final de los envases y empaques vacíos de plaguicidas, pues son ellos quien utilizan los productos de plaguicidas y son los generadores de los envases y empaques vacíos de plaguicidas.

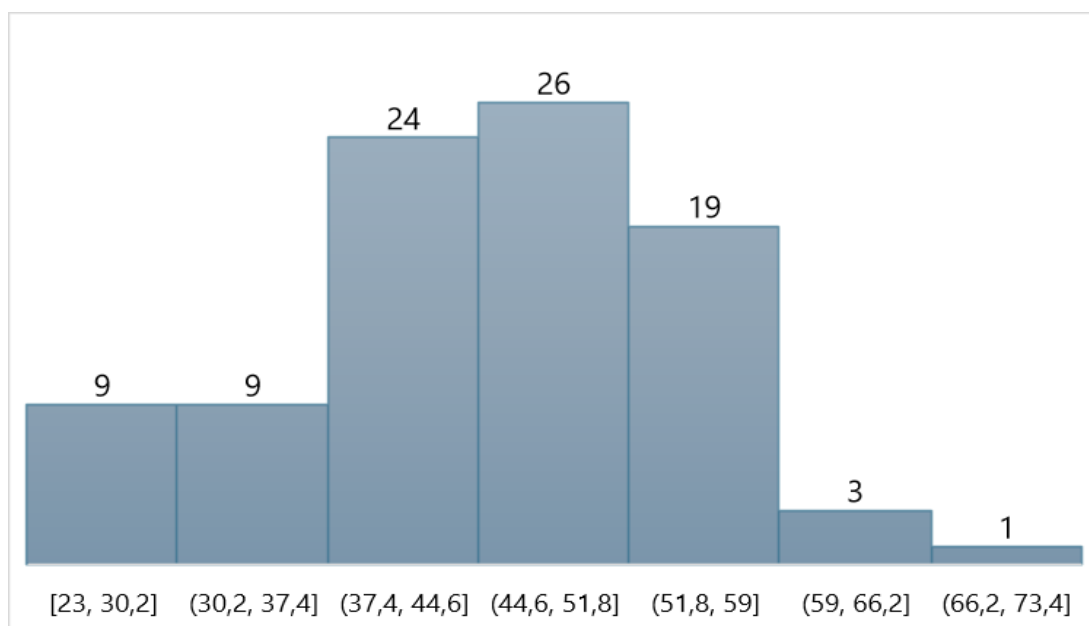
Teniendo en cuenta lo anterior y según la resolución 1675 de 2013 los consumidores de plaguicidas quien este caso son los agricultores tendrán la obligación inicialmente de entregar los residuos de plaguicidas por medio de las jornadas de recolección, los cuales se deben entregar en

las condiciones estipuladas por el fabricante y para el caso de los envases deberán realizar el triple lavado e inutilización. Del cumplimiento de esta obligación dependerá significativamente que primero se realice el proceso de LI y además que las cantidades de residuos de plaguicidas que se recolecten sean las mayores, logrando la disminución de los impactos negativos que puede generar para la salud y medio ambiente estos residuos.

Por otra parte, realizando un análisis en cuanto a las edades de los agricultores, en la figura 38 se evidencia inicialmente que el 28,6% de ellos tienen una edad entre 44.5 y 52 años e igualmente el 26,4% de los agricultores tienen una edad entre 37 y 44.5 años. En general se evidencia que la mayor parte de los agricultores poseen una edad entre 37 y 52 años, lo cual se debe a que son personas en edad activa que poseen varios años de experiencia en el sector e incluso desde su infancia o desde muy jóvenes se han dedicado a actividades agrícolas por herencia de sus familiares.

Figura 38

Distribución edades agricultores



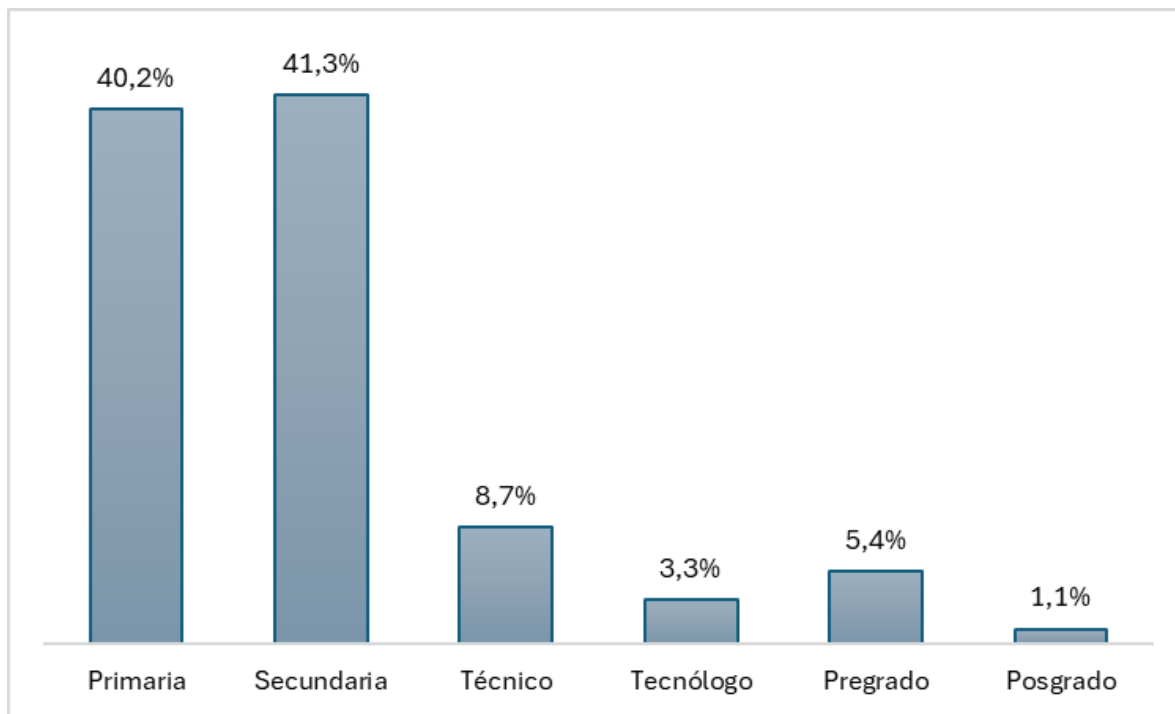
Nota. Elaboración propia

Por otra parte, en la figura 39 se observa la participación porcentual de los niveles de educación de los Agricultores, donde se evidencia que el nivel de educación Primaria y Secundaria tienen una participación similar con un 40,2% y 41,3% respectivamente del total. Solo el 5,4% tiene un nivel educativo de pregrado y un 1,1% un nivel de Posgrado.

En general se evidencia que el 81,5% de los agricultores poseen un nivel máximo de Secundaria, esto se debe principalmente que desde jóvenes se dedicaron a esta actividad económica, dejando de lado un poco los estudios formales. Sin embargo, se evidencia que los agricultores a pesar de tener este nivel educación, poseen gran conocimiento y experiencia en el sector agrícola.

Figura 39

Nivel de educación – agricultores



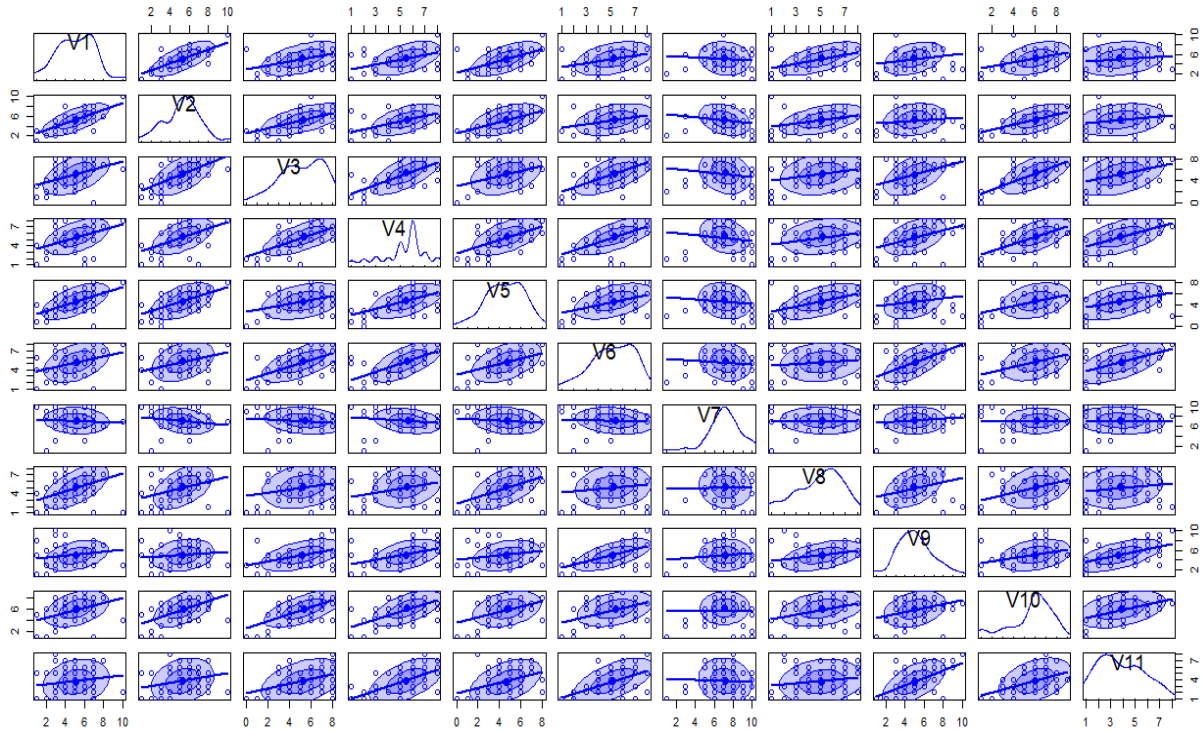
Nota. Elaboración propia

Por otra parte, para iniciar a generar el modelo para los Agricultores, se determina de forma gráfica las posibles correlaciones que puedan existir entre las 11 variables incluidas en el estudio. En la figura 40 se observan inicialmente las curvas de comportamiento de las 11 variables, donde se evidencia que la mayoría de sus curvas están sesgadas hacia la derecha, lo cual quiere decir que obtuvieron una mayor valoración alta que baja. Solo se evidencia que las variables Gestión Financiera (V9) y *Stakeholder relationship management* (V11) están más sesgadas hacia la izquierda, lo cual representan valoraciones más bajas por parte de los agricultores.

Igualmente, se puede observar inicialmente una correlación entre las variables Sistemas de Información de LI (V2) y Subcontratación (V10), lo cual se debe a que los Agricultores reconocen la empresa encargada de la recolección no solo para la entrega de los residuos de plaguicidas sino también la encargada de realizar las jornadas de divulgación y en general estipular todos los sistemas de información del proceso de LI. Así mismo, se evidencia una posible correlación entre las variables Control de acceso (V1) y Sistemas de Información de LI (V2), que al igual que la relación anterior los agricultores perciben que para realizar una entrega correcta y en las condiciones adecuadas, se les debe brindar la información suficiente y la capacitación para dicho proceso.

Figura 40

Gráficas correlaciones variables agricultores



Nota. Elaboración propia

Posteriormente, se calcula el Coeficiente de Pearson para determinar el grado de correlación que puede existir entre dos variables (ver tabla 36). Inicialmente se puede corroborar las correlaciones de las variables anteriormente identificadas, donde se observa que existe una correlación alta positiva entre las variables Sistemas de Información de LI (V2) y Outsourcing (V10) con un coeficiente| de Pearson de 0.7379. Así mismo las variables de Control de Acceso (V1) y Sistemas de Información de LI (V2) presentan un valor de Pearson de 0.6366 lo cual significa una correlación positiva e induce a que los Agricultores consideran que la entrega correcta de los envases y empaques vacíos de plaguicidas depende de los sistemas de información que se utilicen para el proceso de LI.

Tabla 36

Coefficientes de Pearson variables agricultores

	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11
V1	1,0000	0,6366	0,3158	0,3533	0,3681	0,4440	0,2954	0,5472	0,5595	0,5739	0,5534
V2	0,6366	1,0000	0,5946	0,5577	0,6060	0,6317	0,2693	0,5572	0,5929	0,7379	0,6201
V3	0,3158	0,5946	1,0000	0,6518	0,6588	0,5802	0,1010	0,3485	0,1850	0,5243	0,2128
V4	0,3533	0,5577	0,6518	1,0000	0,5231	0,5926	0,1491	0,4026	0,4467	0,4940	0,2909
V5	0,3681	0,6060	0,6588	0,5231	1,0000	0,7051	0,2941	0,4403	0,3588	0,5014	0,4236
V6	0,4440	0,6317	0,5802	0,5926	0,7051	1,0000	0,3746	0,3912	0,4251	0,5517	0,3950
V7	0,2954	0,2693	0,1010	0,1491	0,2941	0,3746	1,0000	0,3408	0,3437	0,3250	0,2611
V8	0,5472	0,5572	0,3485	0,4026	0,4403	0,3912	0,3408	1,0000	0,5565	0,5661	0,4271
V9	0,5595	0,5929	0,1850	0,4467	0,3588	0,4251	0,3437	0,5565	1,0000	0,6101	0,4962
V10	0,5738	0,7379	0,5243	0,4940	0,5014	0,5517	0,3250	0,5661	0,6101	1,0000	0,5979
V11	0,5534	0,6201	0,2128	0,2909	0,4236	0,3950	0,2611	0,4271	0,4962	0,5979	1,0000

Nota. Elaboración propia

Posteriormente e igual que en modelo anterior se aplicó el Método de Holm con el fin de realizar pruebas de hipótesis múltiples, cuya hipótesis a corroborar es que el coeficiente de correlación entre dos variables sea diferente de cero.

En este sentido, en la tabla 37 se observan los p-value de las pruebas de hipótesis múltiples realizadas para las 11 variables con un nivel de significancia de 0.05. Inicialmente se puede evidenciar que los valores más pequeños $< ,0001$ significan que existe una correlación significativa, pero a su vez que esta relación es más fuerte. Por ejemplo, las variables Control de acceso (V1) y Sistemas de Información de Logística Inversa (V2) tienen una correlación

significativa lo cual quiere decir que la verificación y control del triple lavado e inutilización de los envases vacíos de plaguicidas depende del uso de sistemas de información para el proceso de recolección y disposición, sin embargo, tienen un coeficiente de Pearson de 0.6366, valor que representa una correlación no tan fuerte entre estas variables. Por el contrario, se evidencia que existe una correlación significativa entre el Control de Acceso (V1) la Recuperación de Activos (V7) pero con p-value de 0,0382, lo cual refleja que esta correlación no es tan fuerte, evidenciada con el coeficiente de Pearson entre estas variables de 0,2954.

Tabla 37

P-values bilaterales variables agricultores

	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11
V1		<,0001	0,0217	0,0083	0,0052	0,0002	0,0382	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001
V2	<,0001		<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	0,0567	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001
V3	0,0217	<,0001		<,0001	<,0001	<,0001	0,3380	0,0093	0,2326	<,0001	0,1667
V4	0,0083	<,0001	<,0001		<,0001	<,0001	0,3124	0,0015	0,0002	<,0001	0,0382
V5	0,0052	<,0001	<,0001	<,0001		<,0001	0,0382	0,0003	0,0071	<,0001	0,0006
V6	0,0002	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001		0,0042	0,0022	0,0006	<,0001	0,0020
V7	0,0382	0,0567	0,3380	0,3124	0,0382	0,0042		0,0107	0,0103	0,0173	0,0597
V8	<,0001	<,0001	0,0093	0,0015	0,0003	0,0022	0,0107		<,0001	<,0001	0,0005
V9	<,0001	<,0001	0,2326	0,0002	0,0071	0,0006	0,0103	<,0001		<,0001	<,0001
V10	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	0,0173	<,0001	<,0001		<,0001
V11	<,0001	<,0001	0,1667	0,0382	0,0006	0,0020	0,0597	0,0005	<,0001	<,0001	

Nota: Elaboración propia

Una vez realizado el análisis de las correlaciones de todas las variables para los agricultores, se procede a determinar las ecuaciones y modelo estadístico por cada uno de los factores y sus respectivas variables que se componen.

7.3.1. Factor 1 – agricultores

Como se mencionó anteriormente, el factor uno es lo concerniente al Transporte dentro del proceso de LI, donde las variables que componen dicho factor no varían respecto a los actores y por ende serán las mismas descritas para los Fabricantes y/o Importadores. Recordando que según la técnica de ACP al existir un factor de análisis cuya composición es de solo dos variables, la incidencia de cada una de las variables es la misma, puesto que se considera que la variabilidad de cada una de ellas es la misma. Teniendo en cuenta lo anterior la ecuación que describe el comportamiento de este factor es la siguiente:

Ecuación 11

Factor 1 – agricultores

$$F1 = 0.5V1 + 0.5V2 \quad (11)$$

Nota. Elaboración propia.

De acuerdo a la ecuación definida para el factor uno, se tiene en cuenta que tanto la variable Control de Acceso (V1) como los Sistemas de Información de Logística Inversa (V2), tienen la misma incidencia, lo cual induce que para los Comercializadores la verificación y control del triple lavado e inutilización de los envases vacíos de plaguicidas inciden de igual manera que los sistemas de información actuales para el proceso de recolección y disposición de los envases y empaques vacíos de plaguicidas. Sin embargo, como se había evidenciado anteriormente, la correlación entre V1 y V2 es significativa con un valor de Coeficiente de Pearson 0,7028.

En general, se evidencia que, según lo estipulado para los Agricultores, el factor transporte dentro del proceso de LI para los envases y empaques vacíos estará determinado por la dependencia positiva entre el Control de Acceso y los Sistemas de Información.

7.3.2. *Factor 2 – Agricultores*

Igualmente, el factor dos denominado Almacenaje, posee el mismo comportamiento descrito anteriormente para el actor Fabricante y/o Importador y tendrá incluida las mismas variables de tiempo de ciclo de disposición y centros de devolución centralizados.

Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente, el factor dos también está compuesto por solo dos variables por ende la ecuación queda de la siguiente manera:

Ecuación 12

Factor 2 – agricultores

$$F2 = 0.5V3 + 0.5V4 \quad (12)$$

Nota. Elaboración propia.

De acuerdo con la ecuación anterior, los Tiempos de ciclo de disposición (V3) están relacionados inicialmente, con la programación de las jornadas de recolección de envases y empaques vacíos de plaguicidas, a fin de analizar si los tiempos entre cada una de las jornadas o para el desarrollo del proceso de LI, son adecuados y pertinentes. También esta variable incluye los tiempos destinados para realizar la disposición final de cada tipo de residuos. En consecuencia, según lo que se estipula para el factor 2 en los Comercializadores, esta variable de tiempo de ciclo tendrá la misma incidencia que las variables Centros de Devolución Centralizados (V4), referente al análisis si los centros de acopio que se poseen actualmente son adecuados y con la capacidad suficiente para el almacenaje de los residuos de plaguicidas. Por

otra parte, se evidencia que existe una correlación significativa entre estas 2 variables con un coeficiente de Pearson de 0,6781.

7.3.3. *Factor 3 – agricultores*

Los agricultores tienen gran incidencia en el factor tres denominado Disposición Final, debido a que, dependiendo de las condiciones de entrega de los envases y empaques vacíos de plaguicidas por parte de ellos, se decidirá sobre la alternativa de disposición final. Las variables que se incluyen en este factor son las mismas descritas en el apartado de Fabricantes y/o Importadores concernientes a devolución cero, remanufactura y reacondicionamiento y recuperación de activos.

Igualmente, como este factor posee más de dos variables se puede aplicar el método ACP para determinar la ecuación que representa el comportamiento de dichas variables dentro del Factor de Disposición Final. Al generar el modelo, inicialmente en la tabla 38 se evidencian los valores propios generados para el Factor tres, donde se observa el valor de la varianza para tres dimensiones estipuladas por el modelo.

De acuerdo con lo anterior, se evidencia que para el factor tres de Agricultores solo es necesario la inclusión de la Dimensión uno puesto es quien tiene una varianza mayor a uno, logrando la captación o representación del mayor porcentaje de datos correspondiente al 64,759 y teniendo en cuenta como ya se había mencionado anteriormente, la primera dimensión tendrá siempre una mayor relevancia y captación de la mayor información que las otras dimensiones.

Tabla 38

Valores propios factor 3 – agricultores

	Dimensión 1	Dimensión 2	Dimensión 3
Varianza	1,943	0,768	0,289

% de Varianza	64,759	25,607	9,634
% Acumulado de Varianza	64,759	90,366	100

Nota. Elaboración propia

Teniendo en cuenta lo anterior, se determinan las contribuciones de cada una de las variables para cada una de las dimensiones identificadas (ver tabla 39).

Tabla 39

Contribuciones variables factor 3 – agricultores

	Dim. 1	Dim. 2	Dim. 3
V5	38,53290	15,388916	46,07818
V6	41,30544	5,820501	52,87406
V7	20,16166	78,790582	1,04776

Nota: Elaboración propia

Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente, solo se tomará la primera dimensión para describir el comportamiento del Factor tres para los Agricultores logrando así determinar la ecuación que representa este factor de la siguiente manera:

Ecuación 13

Factor 3 – agricultores

$$F3 = 0.3853290V5 + 0.4130544V6 + 0.2016166V7 \quad (13)$$

Nota. Elaboración propia.

La ecuación anterior, describe el comportamiento conjunto de las variables Devolución cero (V5), Remanufactura y Reacondicionamiento (V6) y Recuperación de Activos (V7), donde por medio de la aplicación de esta fórmula se podrá predecir el comportamiento del Factor 3 disposición final para los Agricultores, creando una sola variable latente. Se evidencia que la

mayor incidencia es de la variable V6, la cual está relacionada con la correcta disposición final de los envases y empaques vacíos de plaguicidas por parte de los agricultores con un 41,3% y similarmente la variable V5 con un valor de 38,53%, concerniente a los incentivos para la correcta devolución de los residuos de plaguicidas. Por el contrario, y coincidiendo con los evidenciado para los otros dos actores anteriores, la variable V7 relacionada con la entrega correcta de envases y empaques vacíos de plaguicidas para reciclarlos y generar un beneficio social tiene un porcentaje bajo de participación con un 20,16%.

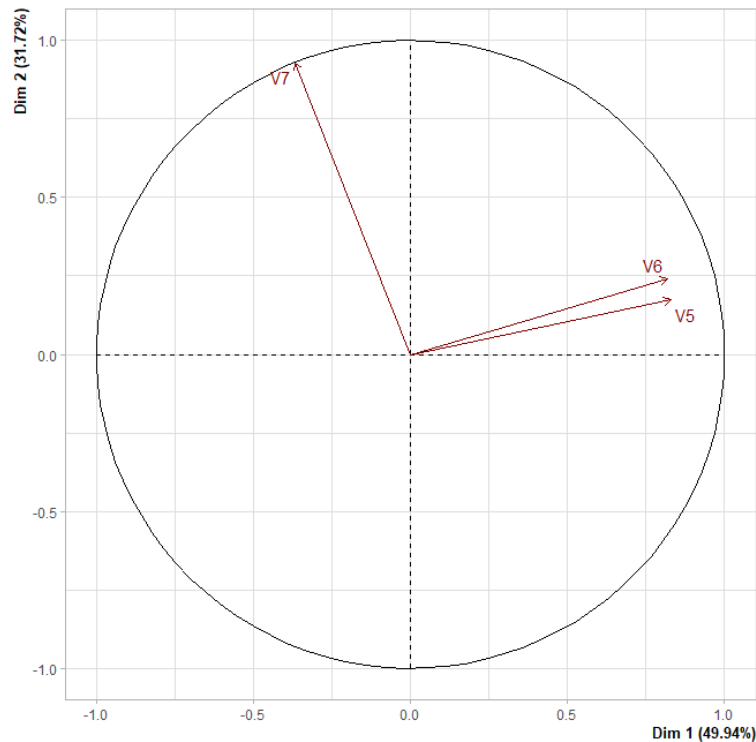
Por otra parte, en la figura 41 se observan las correlaciones de las variables del factor tres, donde, inicialmente se puede evidenciar que existe una alta correlación positiva de las variables V5 y V6, esto se debe a que la primera variable denominada Devolución Cero evalúa si las condiciones actuales del proceso de recolección incentivan a los participantes a la devolución correcta de los envases y empaques vacíos de plaguicidas y la siguiente variable concerniente a la disposición final correcta de los envases y empaques vacíos de plaguicidas, lo cual concluye que si existen las condiciones correctas del proceso de LI se lograrán incentivos para los participantes sobre todo para los generadores y esto repercutirá en la correcta disposición final de los residuos de plaguicidas. En consecuencia, se podría inducir que estas dos variables al tener un alto grado de correlación, los agricultores la están interpretando de la misma forma y se podría manejar como una sola variable.

Por otra parte, se evidencia que la variable V7 la cual mide si la entrega correcta de envases y empaques vacíos de plaguicidas ayuda a reciclarlos y generar un beneficio social es independiente o su comportamiento no depende de la variable relacionada con los incentivos que se pueden generar para la correcta devolución de acuerdo con las condiciones actuales del

proceso de LI ni de la variable que evalúan si la disposición final es la correcta para los residuos de plaguicidas.

Figura 41

Circulo de correlaciones variables factor 3 – agricultores



Nota: Elaboración propia

7.3.4. Factor 4 – agricultores

En el factor cuatro “Satisfacción del cliente”, se tienen en cuenta las mismas variables que en el actor de Fabricantes y/o Importadores, relacionadas con la Negociación, Gestión financiera, Outsourcing y Stakeholder relationship management. Igual que el factor anterior, se aplica el método ACP para determinar la ecuación que represente el comportamiento de dichas variables dentro del Factor de Satisfacción del Cliente. En la tabla 40 se evidencian los valores propios generados para el Factor cuatro, donde se observa el valor de la varianza para cuatro

dimensiones estipuladas por el modelo, donde por medio del mismo criterio de varianza mayor a uno, solo se necesitaría una dimensión para representar el comportamiento conjunto de las cuatro variables y así lograr el comportamiento del factor 4 de los Agricultores, logrando la captación o representación del mayor porcentaje de datos correspondiente al 65,784.

Tabla 40

Valores propios factor 4 – agricultores

	Dimensión 1	Dimensión 2	Dimensión 3	Dimensión 4
Varianza	2,631	0,586	0,431	0,352
% de Varianza	65,784	14,648	10,776	8,792
% Acumulado de Varianza	65,784	80,432	91,208	100

Nota: Elaboración propia

Teniendo en cuenta lo anterior, se determinan las contribuciones de cada una de las variables para cada una de las dimensiones identificadas (ver tabla 41).

Tabla 41

Contribuciones variables factor 4 – agricultores

	Dim. 1	Dim. 2	Dim. 3	Dim. 4
V8	23,27058	38,921280	33,590903	4,217235
V9	25,81771	5,190195	59,983705	9,008388
V10	28,28013	1,540212	0,0149667	70,164695
V11	22,63158	54,348314	6,410424	16,609682

Nota: Elaboración propia

Tal como se mencionó anteriormente y de acuerdo con el ACP realizado, para la determinación de la fórmula de este factor, se tomaron en cuenta las contribuciones solo de la dimensión uno, quedando la ecuación de la siguiente manera:

Ecuación 14

Factor 4 – agricultores

$$F4 = 0,2327058V8 + 0,2581771V9 + 0,2828013V10 + 0,2263158V11 \quad (14)$$

Nota. Elaboración propia.

La fórmula anterior, refleja el comportamiento conjunto de las variables Negociación (V8), Gestión Financiera (V9), Outsourcing (V10) y Stakeholder relationship management (V11), donde por medio de la aplicación de esta fórmula se podrá predecir el comportamiento del Factor 4 Satisfacción del Cliente para los Agricultores, creando una sola variable latente. Se observa que la variable V10 tiene la mayor incidencia con un valor de 28,28% la cual hace referencia a la gestión y la forma como la empresa encargada realiza el proceso de recolección y disposición final de los residuos de plaguicidas.

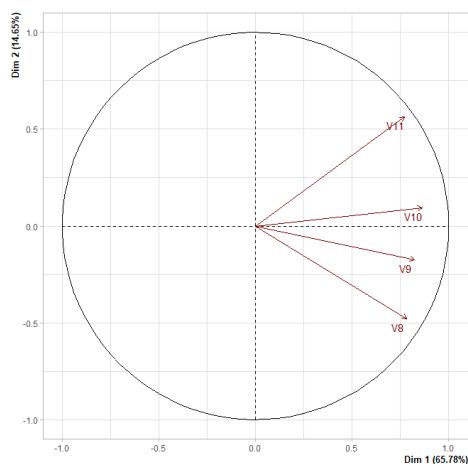
Sin embargo, no se evidencia una gran diferencia con la incidencia de las variables V8, V9 y V11 con un valor de 23,27%, 25,81% y 22,63% respectivamente, las cuales hacen referencia a la negociación que se logra para la devolución correcta, la gestión financiera para llevar a cabo el proceso de LI y a la gestión que hace la empresa intermediaria que se encarga de las jornadas de recolección. En general se puede evidenciar que todas las variables contenidas en este factor tienen una incidencia muy similar y sus diferencias no afectan o hacen que una variable tenga una mayor participación en la fórmula que la otra.

Por otro lado, en la figura 42 se observan las correlaciones de las variables del factor cuatro, teniendo en cuenta los mismos criterios de análisis del factor anterior. En consecuencia, inicialmente se puede evidenciar que existe una correlación positiva de las variables V9 y V10, la cual no se evidencia tan fuerte pero refleja que para los agricultores la gestión y respaldo financiero que se tenga dependerá en cierta medida de la gestión o forma de cómo la empresa encargada de la recolección de los residuos de plaguicidas lleve a cabo el proceso. Igualmente, se podría evidenciar una correlación no tan fuerte entre las variables V8 y V9, demostrando que para lograr beneficios para los comercializadores y agricultores y hacer que estos participen de forma correcta en el proceso, dependerán en cierto punto del respaldo o gestión financiera que se tenga.

Por el contrario, se evidencia que la variable V11 referente a la forma en que entidades como Corpoboyacá, gobierno o autoridades ambientales apoyan en el éxito del proceso de recolección y disposición es totalmente independiente tanto de los beneficios que tienen participantes del proceso (V8).

Figura 42

Circulo de correlaciones variables factor 4 – agricultores



Nota: Elaboración propia

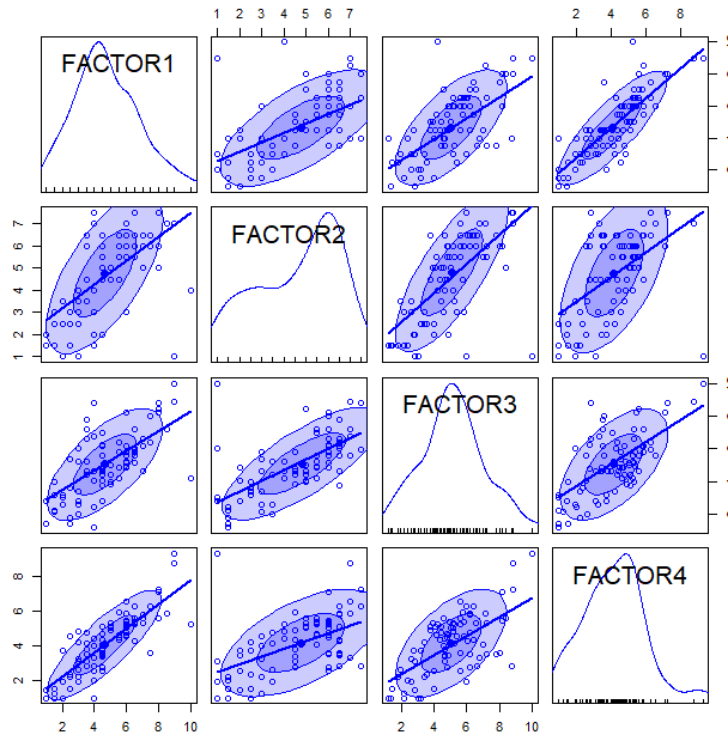
7.3.5. Índice Total – agricultores

Posteriormente, se determinó el modelo general para los Agricultores, el cual describe el comportamiento en conjunto de los cuatro factores analizados anteriormente. En la figura 43 se puede observar inicialmente la gráfica de correlaciones de todos los factores para los Agricultores, donde se evidencia de forma visual, que una de las correlaciones fuertes que se pueden dar es entre el Factor uno (Transporte) y el Factor cuatro (Satisfacción del Cliente), lo cual se debe a que el transporte es la actividad del proceso donde se tiene contacto con el Agricultor, encargada de realizar la recolección de los envases y empaques vacíos de plaguicidas y evaluar las condiciones de entrega de estos residuos, por ende incide en la Satisfacción del cliente porque es allí donde el agricultor visualiza el que hacer de la empresa encargada del proceso

Igualmente, se observa una correlación positiva entre el Factor dos (Almacenaje) y el Factor tres (Disposición Final), lo cual se refleja en el proceso en el sentido que la forma como se almacenan los residuos de plaguicidas y las capacidades de los centros de acopio incide en las alternativas de disposición final y la recuperación que se podría realizar de los envases y empaques vacíos de plaguicidas.

Figura 43

Gráficas correlaciones factores Agricultores



Nota. Elaboración propia

Igualmente, se determinan los coeficientes de Pearson para medir la correlación de las variables, donde se evidencia igualmente que la correlación más alta se da entre el Factor uno y el Factor cuatro con un coeficiente de 0,8124. Así mismo, se da una correlación positiva entre el Factor dos y el Factor tres. Lo anterior refleja que el Almacenaje de los envases y empaques vacíos de plaguicidas tienen una dependencia tanto con la Disposición Final como con la Satisfacción del Cliente (ver tabla 42).

Tabla 42

Coefficientes de Pearson factores agricultores

	FACTOR 1	FACTOR 2	FACTOR 3	FACTOR 4
--	----------	----------	----------	----------

FACTOR 1	1,0000	0,5593	0,6244	0,8124
FACTOR 2	0,5593	1,0000	0,6554	0,5014
FACTOR 3	0,6244	0,6554	1,0000	0,6157
FACTOR 4	0,8124	0,5014	0,6157	1,0000

Nota: Elaboración propia

En la tabla 43 se observan los p-value de las pruebas de hipótesis múltiples realizadas para los cuatro factores de los Comercializadores con un nivel de significancia de 0.05. Se puede evidenciar que los valores más pequeños $< ,0001$ significan que existe una correlación significativa, pero a su vez que esta relación es más fuerte e igualmente los valores menores a 0,05 también comprueban que existe una correlación significativa. En consecuencia, se evidencia que todas las correlaciones entre pares de factores nos dan un p-value $< ,0001$, lo cual concluye que entre todos los factores verdaderamente existen una correlación significativa y su intensidad si se puede dar en mayor grado en ciertas relaciones de factores, lo cual se puede evidenciar con los coeficientes de Pearson calculados anteriormente.

Tabla 43

P-values bilaterales factores agricultores

	FACTOR 1	FACTOR 2	FACTOR 3	FACTOR 4
FACTOR 1		$< ,0001$	$< ,0001$	$< ,0001$
FACTOR 2	$< ,0001$		$< ,0001$	$< ,0001$
FACTOR 3	$< ,0001$	$< ,0001$		$< ,0001$
FACTOR 4	$< ,0001$	$< ,0001$	$< ,0001$	

Nota. Elaboración propia

Seguidamente, se determina el índice total del proceso de LI desde el punto de vista de los Agricultores, teniendo en cuenta la incidencia que tiene cada uno de los factores en el modelo general. En la tabla 44 se evidencian los valores propios generados para el Índice Total, donde se observa el valor de la varianza para cuatro dimensiones estipuladas por el modelo, donde por medio del mismo criterio de varianza mayor a uno, solo se necesitaría una dimensión para representar el comportamiento conjunto de los cuatro factores y así lograr representar el comportamiento del índice total referente a todo el modelo para el proceso de LI, logrando la captación o representación del mayor porcentaje de datos correspondiente al 72,221%.

Tabla 44

Valores propios índice total – agricultores

	Dimensión 1	Dimensión 2	Dimensión 3	Dimensión 4
Varianza	2,889	0,598	0,330	0,183
% de Varianza	72,221	14,945	8,262	4,572
% Acumulado de Varianza	72,221	87,166	95,428	100

Nota: Elaboración propia

Posteriormente, se calculan las diferentes contribuciones de cada uno de los factores para cada una de las dimensiones identificadas (ver tabla 45).

Tabla 45

Contribuciones factores – agricultores

	Dim. 1	Dim. 2	Dim. 3	Dim. 4
FACTOR 1	27,31267	17,06642	4,90093	50,71997
FACTOR 2	21,53375	45,23672	31,65983	1,56969
FACTOR 3	25,03641	11,15190	63,26727	0,54440

FACTOR 4	26,11717	26,54496	0,17195	47,16592
----------	----------	----------	---------	----------

Nota. Elaboración propia

De acuerdo con el ACP realizado, para la determinación de la fórmula de este factor, se tomaron en cuenta las contribuciones solo de la dimensión uno, quedando la ecuación de la siguiente manera:

Ecuación 15

Índice total – agricultores

$$TOTAL = 0.2731267F1 + 0.2153375F2 + 0.2503641F3 + 0.2611717F4 \quad (15)$$

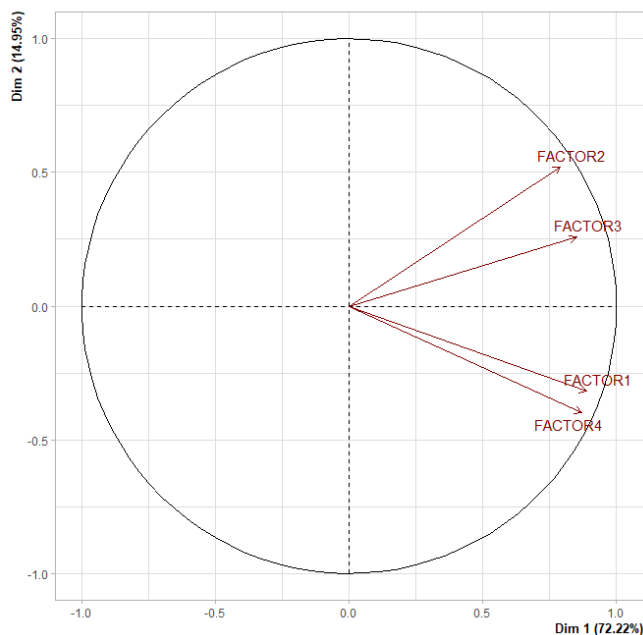
Nota. Elaboración propia.

En la ecuación anterior se puede evidenciar que el Factor uno transporte, tiene la mayor incidencia en el modelo con 27,31%. Sin embargo, el factor 2, 3 y 4 no tiene una diferencia significativa frente a al Factor uno, pues tienen valores de 21,53%, 25,03% y 26,11% respectivamente, evidenciando que en general los cuatro factores pueden llegar a incidir de igual manera desde el punto de vista de los Agricultores.

Igualmente, en la figura 44 se observan las correlaciones de los factores para el modelo general. En consecuencia, inicialmente se puede evidenciar que existe una alta correlación positiva de los factores uno y cuatro, lo cual determina que el Transporte (F2) tiene una correlación alta con la Satisfacción del Cliente (F4). Igualmente se evidencia una correlación positiva pero menos fuerte ente el Almacenaje (F2) y la Disposición Final (F4). Por otra parte, se observa que los factores uno y cuatro tienden a ser independientes de los factores dos y tres.

Figura 44

Circulo de correlaciones factores – agricultores



Nota: Elaboración propia

7.4. **Análisis modelo proceso de LI**

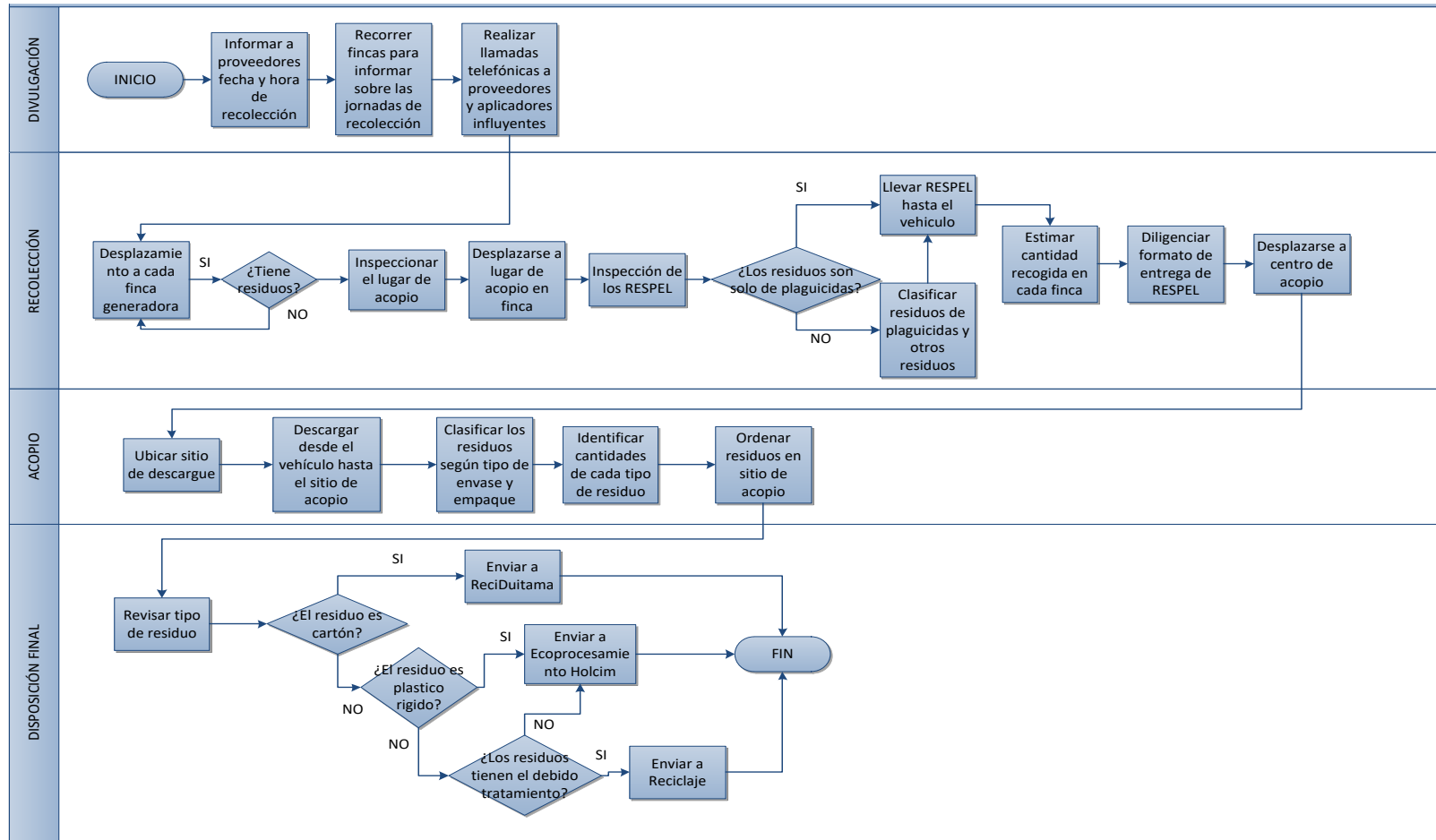
El proceso de recolección y disposición final de envases y empaques vacíos de plaguicidas que se realiza actualmente en el departamento de Boyacá es realizado totalmente de forma empírica, debido a que no tiene en cuenta las actividades propias de la LI como lo son devolución al proveedor, reventa, reacondicionamiento, restauración, reprocesamiento, reciclaje y reutilización. Además, que no se posee ninguna herramienta específica tecnología o de ingeniería que aporte tanto en la planificación como en la ejecución de las jornadas de recolección.

En consecuencia, el proceso actual de LI está compuesto por cuatro etapas: divulgación, recolección, acopio y disposición final. En la figura 45 se muestra el diagrama de flujo de proceso de recolección de envases y empaques vacíos de plaguicidas para el departamento de

Boyacá, en el cual se detalla todas las actividades que comprenden cada una de las etapas anteriormente mencionadas, las cuales en conjunto conllevan al correcto desarrollo de las jornadas de recolección.

Figura 45

Diagrama del proceso de recolección y disposición final de envases y empaques vacíos de plaguicidas



Nota. Elaboración Propia

El proceso de LI de envases y empaques vacíos de plaguicidas en el departamento de Boyacá se divide en cuatro fases como lo son:

Divulgación. Se realiza con previa anticipación. En esta fase se informa a proveedores la fecha, el lugar de recolección y el tratamiento adecuado a los envases y empaques vacíos de plaguicidas, con el fin de que los mismos comuniquen a sus compradores o clientes a través de carteles y de manera verbal, de igual forma se realizan llamadas telefónicas a los aplicadores que generan mayor cantidad de residuos, y finalmente se realiza perifoneo recorriendo las diferentes fincas que conforman el sector informando a los agricultores la fecha, el lugar en el cual deben dejar los desechos y las diferentes indicaciones del tratamiento como el triple lavado, inutilización y acopio seguro.

Recolección. En esta etapa se traslada un vehículo con capacidad de carga de 6 toneladas para tal fin, donde recorre los diferentes puntos de recolección o casetas desarrolladas por aplicadores, con el fin de que el generador haga entrega de los envases y empaques vacíos de plaguicidas a la empresa involucrada en la recolección, cabe resaltar que en esta situación no siempre se entregan solo residuos de plaguicidas, es decir que se encuentra otra clase de desechos, de igual manera no existe la totalidad de envases y empaques con tratamiento adecuado como el triple lavado y la inutilización.

Al llegar a cada finca generadora, el operario recolector realiza una inspección con el fin de ubicar el sitio donde se encuentran situados los residuos de plaguicidas, posteriormente el operario se traslada a dicho sitio en donde efectúa una preinspección de los residuos en donde se observa que sean exclusivamente residuos de plaguicidas, además de detallar el estado en que se encuentran estos residuos. En el momento de tener asegurado los desechos se procede a trasladarlos hasta el vehículo, donde el coordinador (a) de la empresa recolectora verifica el tipo

y cantidad de los residuos entregados, diligenciando un acta de entrega de RESPEL (Residuos Peligrosos) firmado por el agricultor que realiza la entrega.

Acopio. Al finalizar el recorrido por la totalidad de las fincas que comprenden la unidad de riego, el vehículo se traslada al centro de acopio correspondiente para dicha unidad el cual se encuentra ubicado en el municipio de Sotaquirá. En primera instancia en el centro de acopio, se ubica el sitio adecuado para realizar el descargue de los residuos según la disponibilidad de espacio que exista en el momento, posteriormente el vehículo descarga los residuos recolectados, el cual se realiza al levantar automáticamente el platón de la volqueta. Después de descargados los residuos, el operario recolector procede a ordenar los residuos en el centro de acopio para apilarlos de forma segura.

Disposición final. Una vez ordenado los envases y empaques vacíos de plaguicidas, en el centro de acopio, se lleva a cabo una clasificación de los residuos según el tipo de material del cual están hechos. Luego de clasificarlos correctamente se identifican las cantidades recolectadas de cada tipo inspeccionando las condiciones y de esta forma seleccionar los residuos para eliminación segura o reciclaje. La disposición final que se le da a los residuos depende de las condiciones que se encuentren, la cual puede ser reciclaje o eco procesamiento

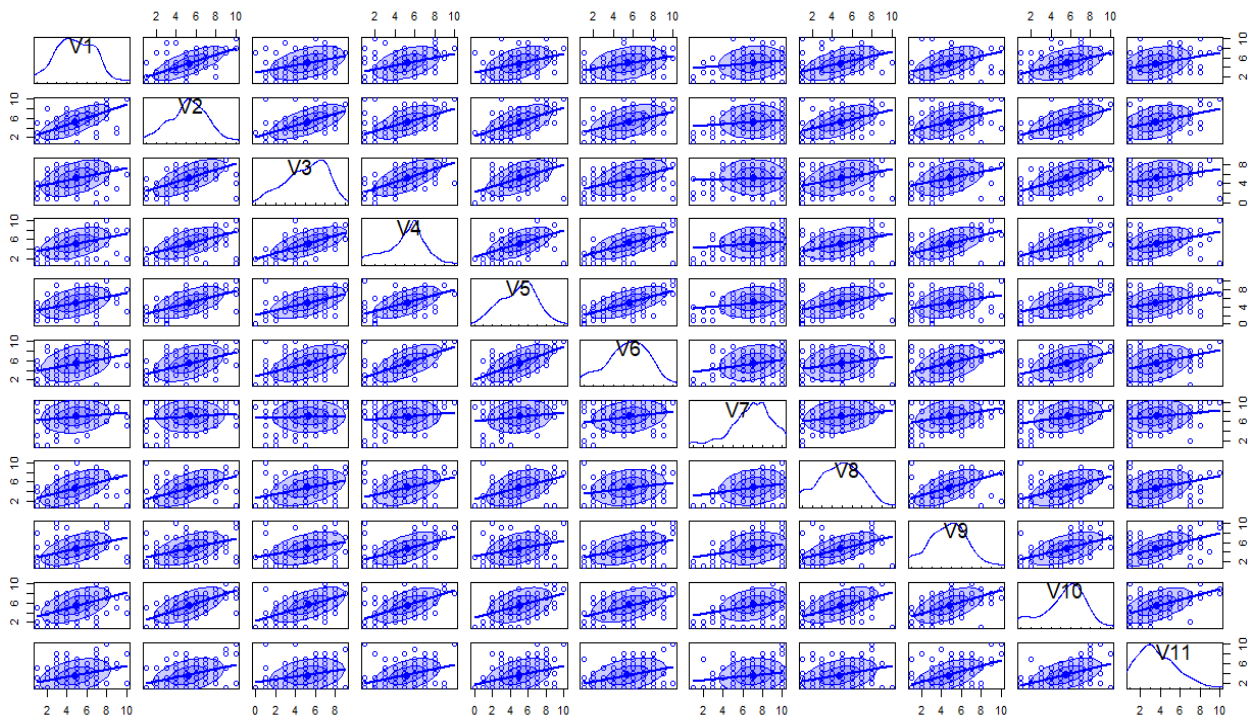
Para iniciar con la determinación del modelo general para todo el proceso de LI, el cual tiene en cuenta la participación de todos los actores a saber: Agricultores, Comercializadores y Fabricantes y/o Importadores, se determina de forma gráfica las posibles correlaciones que puedan existir entre las 11 variables incluidas en el estudio. En la figura 46 se observan inicialmente las curvas de comportamiento de las 11 variables, donde se evidencia que la mayoría de sus curvas están sesgadas centralizadas, lo que indican que en su mayoría las valoraciones tuvieron puntuaciones medias respecto a la escala. Solo se evidencia que la variable

Stakeholder relationship management (V11) están más sesgadas hacia la izquierda, lo cual representan valoraciones más bajas por parte de los actores.

Igualmente, se puede observar inicialmente una correlación entre las variables Control de Acceso (V1) y Sistemas de Información de LI (V2), lo cual se debe a que los actores consideran en general que para que haya una entrega de los residuos de plaguicidas en las condiciones correctas depende de los sistemas de información que se implementen para el proceso de LI. Así mismo, se evidencia una posible correlación entre las variables Sistemas de Información de LI (V2) y Outsourcing (V10).

Figura 46

Gráficas correlaciones variables modelo general



Nota. Elaboración propia

Posteriormente, se calcula el Coeficiente de Pearson para determinar el grado de correlación que puede existir entre dos variables (ver tabla 46). Inicialmente se puede corroborar

las correlaciones de las variables anteriormente identificadas, donde se observa que existe una correlación alta positiva entre las variables Control de Acceso (V1) y Sistemas de Información de LI (V2) con un coeficiente de Pearson de 0.6764. Así mismo las variables Sistemas de Información de LI (V2) y Outsourcing (V10) presentan un valor de Pearson de 0.6441 lo cual significa una correlación positiva e induce a que los actores en general consideran que los sistemas de información que se utilicen para el proceso de LI dependen de la gestión que realice la empresa encargada de las jornadas de recolección.

Tabla 46

Coefficientes de Pearson variables modelo general

	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11
V1	1,0000	0,6764	0,4124	0,4076	0,4230	0,3498	0,1759	0,4962	0,4538	0,4994	0,3607
V2	0,6764	1,0000	0,6194	0,5569	0,5861	0,4766	0,1424	0,5038	0,4570	0,6441	0,4324
V3	0,4124	0,6194	1,0000	0,6533	0,5455	0,5137	0,0509	0,3857	0,3825	0,5959	0,3097
V4	0,4076	0,5569	0,6533	1,0000	0,5708	0,6302	0,1483	0,4263	0,5213	0,6108	0,4296
V5	0,4230	0,5861	0,5455	0,5708	1,0000	0,6461	0,1916	0,4496	0,3401	0,4826	0,3957
V6	0,3498	0,4766	0,5137	0,6302	0,6461	1,0000	0,2704	0,2674	0,4480	0,5029	0,4068
V7	0,1759	0,1424	0,0509	0,1483	0,1916	0,2704	1,0000	0,2700	0,3208	0,3225	0,2027
V8	0,4962	0,5038	0,3857	0,4263	0,4496	0,2674	0,2700	1,0000	0,5464	0,5548	0,3682
V9	0,4538	0,4570	0,3825	0,5213	0,3401	0,4480	0,3208	0,5464	1,0000	0,5642	0,5345
V10	0,4994	0,6441	0,5959	0,6108	0,4826	0,5029	0,3225	0,5548	0,5642	1,0000	0,5409
V11	0,3607	0,4324	0,3097	0,4296	0,3957	0,4068	0,2027	0,3682	0,5345	0,5409	1,0000

Nota. Elaboración propia

Posteriormente e igual que en modelo anterior se aplicó el Método de Holm con el fin de realizar pruebas de hipótesis múltiples, cuya hipótesis a corroborar es que el coeficiente de correlación entre dos variables sea diferente de cero.

En la tabla 47 se observan los p-value de las pruebas de hipótesis múltiples realizadas para las 11 variables con un nivel de significancia de 0.05. Inicialmente se puede evidenciar que los valores más pequeños < ,0001 significan que existe una correlación significativa, pero a su vez que esta relación es más fuerte. En general se evidencia que la mayoría de las variables tiene una correlación significativa entre ellas, solo se destaca que la variable Recuperación de Activos (V7), la cual describe la valoración de los actores frente a si la entrega correcta de los residuos de plaguicidas ayuda a reciclarlos y generar un beneficio social, dicha variable no tiene correlación o dependencia con las variables Control de Acceso (V1), Sistemas de Información de LI (V2), Tiempo Ciclo de Disposición (V3) y Centros de Devolución Centralizados (V4).

Tabla 47

P-values bilaterales variables modelo general

	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11
V1		< ,0001	< ,0001	< ,0001	< ,0001	< ,0001	0,0357	< ,0001	< ,0001	< ,0001	< ,0001
V2	< ,0001		< ,0001	< ,0001	< ,0001	< ,0001	0,0835	< ,0001	< ,0001	< ,0001	< ,0001
V3	< ,0001			< ,0001	< ,0001	< ,0001	0,4525	< ,0001	< ,0001	< ,0001	< ,0001
V4	< ,0001	< ,0001	< ,0001		< ,0001	< ,0001	0,0835	< ,0001	< ,0001	< ,0001	< ,0001
V5	< ,0001	< ,0001	< ,0001	< ,0001		< ,0001	0,0217	< ,0001	< ,0001	< ,0001	< ,0001
V6	< ,0001	< ,0001	< ,0001	< ,0001	< ,0001		0,0004	< ,0001	< ,0001	< ,0001	< ,0001
V7	0,0357	0,0835	0,4525	0,0835	0,0217	0,0004		0,004	< ,0001	< ,0001	0,0151
V8	< ,0001	< ,0001	< ,0001	< ,0001	< ,0001	0,0004	0,0004		< ,0001	< ,0001	< ,0001
V9	< ,0001	< ,0001	< ,0001	< ,0001	< ,0001	< ,0001	< ,0001	< ,0001		< ,0001	< ,0001

V10	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001
V11	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001	<,0001

Nota. Elaboración propia

Una vez realizado el análisis de las correlaciones de todas las variables para los actores en general, se procede a determinar las ecuaciones y modelo estadístico por cada uno de los factores y sus respectivas variables que se componen.

7.4.1. Factor 1 – modelo general

El factor uno concerniente al Transporte, posee las variables de Control de Acceso y Sistemas de Información de LI. Igualmente, que el análisis realizado para cada uno de los actores del proceso y según la técnica de ACP al existir un factor de análisis cuya composición es de solo dos variables, la incidencia de cada una de las variables es la misma, puesto que se considera que la variabilidad de cada una de ellas es la misma. Teniendo en cuenta lo anterior la ecuación que describe el comportamiento de este factor es la siguiente:

Ecuación 16

Factor 1 – modelo general

$$F1 = 0.5V1 + 0.5V2 \quad (16)$$

Nota. Elaboración propia.

De acuerdo a la ecuación definida para el factor uno, se tiene en cuenta que tanto la variable Control de Acceso (V1) como los Sistemas de Información de Logística Inversa (V2), tienen la misma incidencia, lo cual induce que para los actores en general la verificación y control del triple lavado e inutilización de los envases vacíos de plaguicidas inciden de igual manera que los sistemas de información actuales para el proceso de recolección y disposición de los envases y empaques vacíos de plaguicidas. Sin embargo, como se había evidenciado

anteriormente, la correlación entre V1 y V2 es significativa con un valor de Coeficiente de Pearson 0,6764.

7.4.2. Factor 2 – modelo general

Igualmente, el factor dos denominado Almacenaje, posee el mismo comportamiento descrito anteriormente para cada uno de los actores y tendrá incluida las mismas variables de tiempo de ciclo de disposición y centros de devolución centralizados.

Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente, el factor dos también está compuesto por solo 2 variables por ende la ecuación queda de la siguiente manera:

Ecuación 17

Factor 2 – modelo general

$$F2 = 0.5V3 + 0.5V4 \quad (17)$$

Nota. Elaboración propia.

Teniendo en cuenta la ecuación anterior, los Tiempos de ciclo de disposición (V3) están relacionados inicialmente, con la programación de las jornadas de recolección de envases y empaques vacíos de plaguicidas, a fin de analizar si los tiempos entre cada una de las jornadas o para el desarrollo del proceso de LI, son adecuados y pertinentes. También esta variable incluye los tiempos destinados para realizar la disposición final de cada tipo de residuos. En consecuencia, según lo que se estipula para el factor dos para todos los actores, esta variable de tiempo de ciclo tendrá la misma incidencia que las variables Centros de Devolución Centralizados (V4), referente al análisis si los centros de acopio que se poseen actualmente son adecuados y con la capacidad suficiente para el almacenaje de los residuos de plaguicidas. Por otra parte, se evidencia que existe una correlación significativa entre estas dos variables con un coeficiente de Pearson de 0,6533.

7.4.3. Factor 3 – modelo general

El factor tres denominado Disposición Final tiene en cuenta todas las actividades pertinentes para la evaluación y determinación de la alternativa final de disposición para los envases y empaques vacíos de plaguicidas. Las variables que se incluyen en este factor son las mismas descritas en el apartado de Fabricantes y/o Importadores concernientes a devolución cero, remanufactura y reacondicionamiento y recuperación de activos.

Igualmente, como este factor posee más de dos variables se puede aplicar el método ACP para determinar la ecuación que representa el comportamiento de dichas variables dentro del Factor de Disposición Final. Al generar el modelo, inicialmente en la tabla 48 se evidencian los valores propios generados para el Factor tres, donde se observa el valor de la varianza para tres dimensiones estipuladas por el modelo.

De acuerdo con lo anterior, se evidencia que para el factor tres del modelo general solo es necesario la inclusión de la Dimensión uno puesto es quien tiene una varianza mayor a uno, logrando la captación o representación del mayor porcentaje de datos correspondiente al 59,428.

Tabla 48

Valores propios factor 3 – modelo general

	Dimensión 1	Dimensión 2	Dimensión 3
Varianza	1,783	0,869	0,348
% de Varianza	59,428	28,958	11,614
% Acumulado de Varianza	59,428	88,386	100

Nota. Elaboración propia

Teniendo en cuenta lo anterior, se determinan las contribuciones de cada una de las variables para cada una de las dimensiones identificadas (ver tabla 49).

Tabla 49*Contribuciones variables factor 3 – agricultores*

	Dim. 1	Dim. 2	Dim. 3
V5	41,16243	11,750302	47,08726
V6	43,93880	4,096497	51,96706
V7	14,89877	84,153201	0,948025

Nota: Elaboración propia

Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente, solo se tomará la primera dimensión para describir el comportamiento del Factor tres para el modelo general, logrando así determinar la ecuación que representa este factor de la siguiente manera:

Ecuación 18*Factor 3 – modelo general*

$$F3 = 0.4116243V5 + 0.4393880V6 + 0.1489877V7 \quad (13)$$

Nota. Elaboración propia.

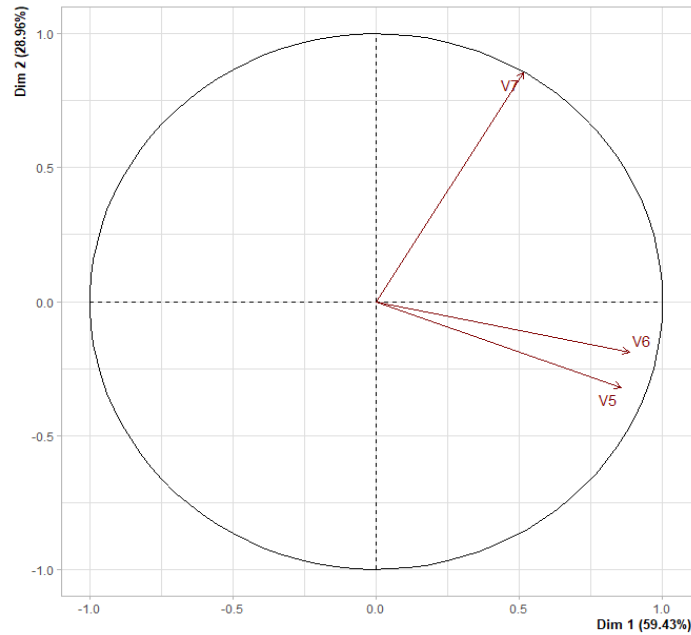
La ecuación anterior, describe el comportamiento conjunto de las variables para el factor tres, donde por medio de la aplicación de esta fórmula se podrá predecir el comportamiento del Factor tres, disposición final para todo el proceso de LI, creando una sola variable latente. Se evidencia que la mayor incidencia es de la variable V6, la cual está relacionada con la correcta disposición final de los envases y empaques vacíos de plaguicidas por parte de los agricultores con un 43,93% y similarmente la variable V5 con un valor de 41,16%, concerniente a los incentivos para la correcta devolución de los residuos de plaguicidas. Por el contrario, y coincidiendo con lo evidenciado para el análisis realizado por cada uno de los actores, la variable V7 relacionada con la entrega correcta de envases y empaques vacíos de plaguicidas

para reciclarlos y generar un beneficio social tiene un porcentaje bajo de participación con un 14,89%.

Por otra parte, en la figura 47 se observan las correlaciones de las variables del factor 3, donde, inicialmente se puede evidenciar que existe una alta correlación positiva de las variables V5 y V6, esto se debe a que la primera variable denominada Devolución Cero evalúa si las condiciones actuales del proceso de recolección incentivan a los participantes a la devolución correcta de los envases y empaques vacíos de plaguicidas y la siguiente variable concerniente a la disposición final correcta de los envases y empaques vacíos de plaguicidas, lo cual concluye que si existen las condiciones correctas del proceso de LI se lograrán incentivos para los participantes sobre todo para los generadores y esto repercutirá en la correcta disposición final de los residuos de plaguicidas. Por otra parte, se evidencia que la variable V7 la cual mide si la entrega correcta de envases y empaques vacíos de plaguicidas ayuda a reciclarlos y generar un beneficio social es independiente o su comportamiento no depende de la variable relacionada con los incentivos que se pueden generar para la correcta devolución de acuerdo con las condiciones actuales del proceso de LI ni de la variable que evalúan si la disposición final es la correcta para los residuos de plaguicidas.

Figura 47

Circulo de correlaciones variables factor 3 – modelo general



Nota. Elaboración propia

7.4.4. Factor 4 – modelo general

En el factor cuatro “Satisfacción del cliente”, se tienen en cuenta las mismas variables que en cada uno de los actores, relacionadas con la Negociación, Gestión financiera, Outsourcing y Stakeholder relationship management. En la tabla 40 se evidencian los valores propios generados para el Factor cuatro, donde se observa el valor de la varianza para cuatro dimensiones estipuladas por el modelo, donde por medio del mismo criterio de varianza mayor a uno, solo se necesitaría una dimensión para representar el comportamiento conjunto de las cuatro variables y así lograr el comportamiento del factor cuatro del modelo general, logrando la captación o representación del mayor porcentaje de datos correspondiente al 63,972.

Tabla 50

Valores propios factor 4 – modelo general

	Dimensión 1	Dimensión 2	Dimensión 3	Dimensión 4
Varianza	2,559	0,632	0,436	0,373
% de Varianza	63,972	15,802	10,907	9,319
% Acumulado de Varianza	63,972	79,775	90,681	100

Nota: Elaboración propia

Teniendo en cuenta lo anterior, se determinan las contribuciones de cada una de las variables para cada una de las dimensiones identificadas (ver tabla 51).

Tabla 51

Contribuciones variables factor 4 – modelo general

	Dim. 1	Dim. 2	Dim. 3	Dim. 4
V8	23,09074	47,170560	0,190238	29,54846
V9	27,06880	0,011392	55,825001	17,09480
V10	27,41691	0,026211	43,782288	28,77459
V11	22,42354	52,791836	0,202471	24,58215

Nota: Elaboración propia

Se toman en cuenta las contribuciones de la dimensión uno para la determinación de la formula o ecuación que describe el comportamiento del factor 4 del modelo general, quedando de la siguiente manera:

Ecuación 19*Factor 4 – modelo general*

$$F4 = 0,2309074V8 + 0,2706880V9 + 0,2741691V10 \\ + 0,2242354V11 \quad (19)$$

Nota. Elaboración propia.

La fórmula anterior, refleja el comportamiento conjunto de las variables Negociación (V8), Gestión Financiera (V9), Outsourcing (V10) y Stakeholder relationship management (V11), donde por medio de la aplicación de esta fórmula se podrá predecir el comportamiento del Factor cuatro Satisfacción del Cliente para el modelo general teniendo en cuenta todos los actores. Se observa que la variable V10 tiene la mayor incidencia con un valor de 27,41% la cual hace referencia a la gestión y la forma como la empresa encargada realiza el proceso de recolección y disposición final de los residuos de plaguicidas.

Sin embargo, no se evidencia una gran diferencia con la incidencia de las variables V8, V9 y V11 con un valor de 23,09%, 27,06% y 22,42% respectivamente, las cuales hacen referencia a la negociación que se logra para la devolución correcta, la gestión financiera para llevar a cabo el proceso de LI y a la gestión que hace la empresa intermediaria que se encarga de las jornadas de recolección. En general se puede evidenciar que todas las variables contenidas en este factor tienen una incidencia muy similar y sus diferencias no afectan o hacen que una variable tenga una mayor participación en la fórmula que la otra.

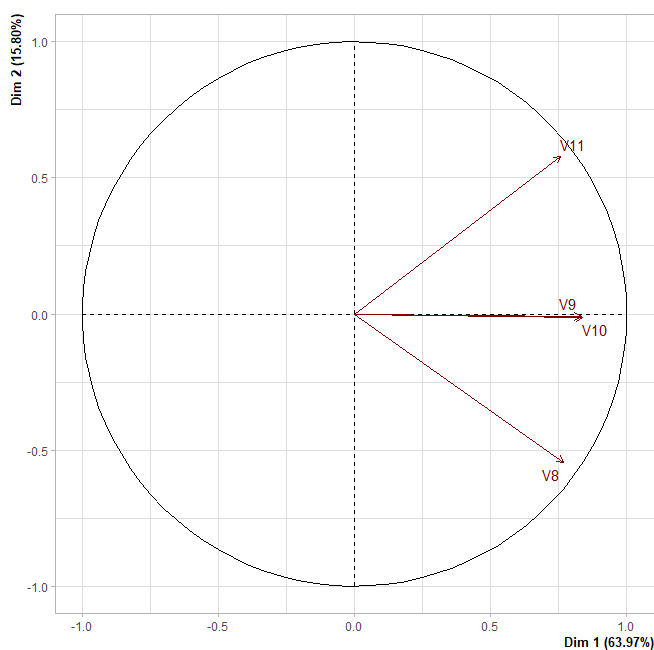
Así mismo, en la figura 48 se observan las correlaciones de las variables del factor 4, teniendo en cuenta los mismos criterios de análisis del factor anterior. En consecuencia, inicialmente se puede evidenciar que existe una correlación positiva de las variables V9 y V10, incluso se evidencia que los vectores de estas variables están sobrepuestos, lo cual indican que la

correlación positiva fuerte y que los actores en general del proceso la visualizan o entienden dichas variables como una sola.

Por el contrario, se evidencia que la variable V11 referente a la forma en que entidades como Corpoboyacá, gobierno o autoridades ambientales apoyan en el éxito del proceso de recolección y disposición es totalmente independiente tanto de los beneficios que tienen participantes del proceso (V8).

Figura 48

Circulo de correlaciones variables factor 4 – modelo general



Nota. Elaboración propia

7.4.5. Índice total – modelo general

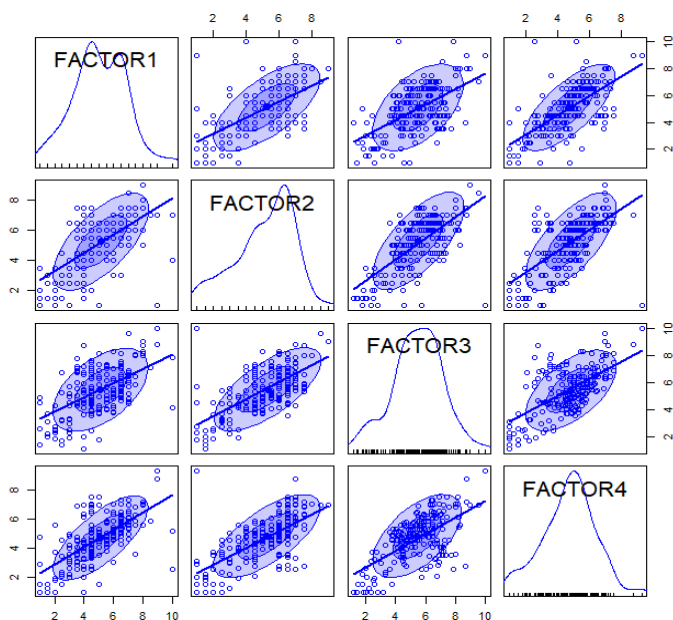
Seguidamente, se determinó el índice total para el proceso general de recolección y disposición final de envases y empaques vacíos de plaguicidas, el cual tiene en cuenta la percepción de todos los actores que participan en el proceso como lo son Agricultores, Comercializadores y Fabricantes y/o Importadores.

En primera instancia, en la figura 49 se puede observar inicialmente la gráfica de correlaciones de todos los factores para el modelo general, donde se evidencia de forma visual, que una de las correlaciones fuertes que se pueden dar es entre el Factor uno (Transporte) y el Factor cuatro (Satisfacción del Cliente), lo cual induce a que, para todos los actores analizados, la satisfacción del cliente que en este caso son los Agricultores dependerá significativamente del transporte, porque es allí donde la empresa recolectora tiene el primer contacto con los agricultores y ellos visualizan lo positivo o negativo del proceso en esta primera etapa.

Igualmente, se observa una correlación positiva entre el Factor dos (Almacenaje) y el Factor tres (Disposición Final), lo cual se refleja en el proceso en el sentido que la forma como se almacenan los residuos de plaguicidas y las capacidades de los centros de acopio incide en las alternativas de disposición final y la recuperación que se podría realizar de los envases y empaques vacíos de plaguicidas.

Figura 49

Gráficas correlaciones factores modelo general



Nota: Elaboración propia

Igualmente, se determinan los coeficientes de Pearson para medir la correlación de las variables, donde se evidencia igualmente que la correlación más alta se da entre el Factor uno y el Factor cuatro con un coeficiente de 0,6622. Así mismo, se da una correlación positiva entre el Factor dos y el Factor tres. Lo anterior refleja que el Almacenaje de los envases y empaques vacíos de plaguicidas tienen una dependencia tanto con la Disposición Final como con la Satisfacción del Cliente (ver tabla 52).

Tabla 52

Coefficientes de Pearson factores agricultores

	FACTOR 1	FACTOR 2	FACTOR 3	FACTOR 4
FACTOR 1	1,0000	0,6021	0,5482	0,6622
FACTOR 2	0,6021	1,0000	0,6620	0,6365
FACTOR 3	0,5482	0,6620	1,0000	0,5976
FACTOR 4	0,6622	0,6365	0,5976	1,0000

Nota: Elaboración propia

En la tabla 53 se observan los p-value de las pruebas de hipótesis múltiples realizadas para los cuatro factores del modelo general con un nivel de significancia de 0.05. Se puede evidenciar que todas las relaciones entre las variables tienen una correlación significativa, lo que refleja que para los actores en general, los 4 factores tienen dependencia entre ellos y que de esto depende el éxito del proceso de LI. La diferencia puede radicar en el sentido que algunas correlaciones son más fuertes que otras, esto evidenciado en los coeficientes de Pearson que están variando entre 0,5482 y 0,6620.

Tabla 53*P-values bilaterales factores modelo general*

	FACTOR 1	FACTOR 2	FACTOR 3	FACTOR 4
FACTOR 1		<,0001	<,0001	<,0001
FACTOR 2	<,0001		<,0001	<,0001
FACTOR 3	<,0001	<,0001		<,0001
FACTOR 4	<,0001	<,0001	<,0001	

Nota: Elaboración propia

Seguidamente, se determina el índice total del proceso de LI general, teniendo en cuenta la incidencia que tiene cada uno de los factores en el modelo general. En la tabla 54 se evidencian los valores propios generados para el Índice Total, donde se observa el valor de la varianza para cuatro dimensiones estipuladas por el modelo, donde por medio del mismo criterio de varianza mayor a uno, solo se necesitaría una dimensión para representar el comportamiento conjunto de los cuatro factores y así lograr representar el comportamiento del índice total referente a todo el modelo para el proceso de LI, logrando la captación o representación del mayor porcentaje de datos correspondiente al 71,377%.

Tabla 54*Valores propios índice total – modelo general*

	Dimensión 1	Dimensión 2	Dimensión 3	Dimensión 4
Varianza	2,855	0,484	0,332	0,329
% de Varianza	71,377	12,099	8,262	4,572
% Acumulado de Varianza	71,377	83,476	91,764	100

Nota: Elaboración propia

Posteriormente, se calculan las diferentes contribuciones de cada uno de los factores para cada una de las dimensiones identificadas (ver tabla 55).

Tabla 55

Contribuciones factores – modelo general

	Dim. 1	Dim. 2	Dim. 3	Dim. 4
FACTOR 1	24,17372	38,55589	21,13682	16,13356
FACTOR 2	25,91441	10,11132	20,97343	43,00083
FACTOR 3	24,07838	40,36406	2,784001	32,77356
FACTOR 4	25,83349	10,96873	55,10574	8,09203

Nota. Elaboración propia

De acuerdo con el ACP realizado, para la determinación de la fórmula de este factor, se tomaron en cuenta las contribuciones solo de la dimensión uno, quedando la ecuación de la siguiente manera:

Ecuación 20

Índice total – agricultores

$$TOTAL = 0.2417372F1 + 0.2591441F2 + 0.2407838F3 + 0.2583349F4 \quad (20)$$

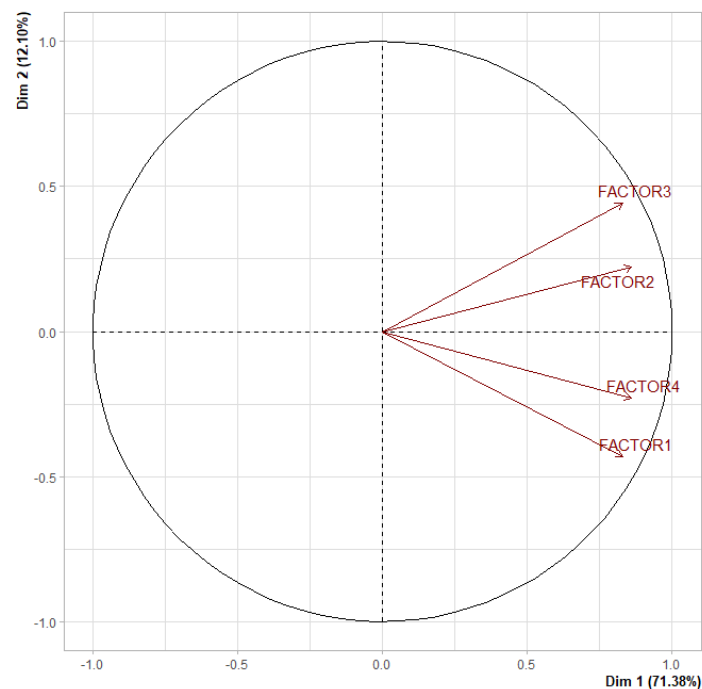
Nota. Elaboración propia.

En la ecuación anterior se puede evidenciar que el Factor dos Almacenaje, tiene la mayor incidencia en el modelo con 25,91%. Sin embargo, el factor uno, tres y cuatro no tiene una diferencia significativa frente al Factor dos, pues tienen valores de 24,17%, 24,07% y 25,83% respectivamente, evidenciando que en general los cuatro factores pueden llegar a incidir de igual manera desde el punto de vista del proceso de LI general.

En la figura 50 se observan las correlaciones de los factores para el modelo general. En consecuencia, inicialmente se puede evidenciar que existe una correlación positiva de los factores uno y cuatro, lo cual determina que el Transporte (F1) tiene una correlación con la Satisfacción del Cliente (F4). Igualmente se evidencia una correlación positiva entre el Almacenaje (F2) y la Disposición Final (F3). Por otra parte, se observa que los factores uno y cuatro tienden a ser independientes de los factores dos y tres.

Figura 50

Circulo de correlaciones factores – modelo general



Nota. Elaboración propia

En términos generales se puede evidenciar frente a los diferentes datos del modelo estructural logístico realizado, que teniendo en cuenta la teoría que sustenta el modelo de LI propuesto, no solo se puede considerar un gran aporte al estado del arte y a la generación de nuevas metodologías para la medición de procesos de LI mediante variables y factores, sino que

además aporta significativamente en el proceso de recolección y disposición final de envases y empaques vacíos de plaguicidas que se realiza actualmente en el departamento de Boyacá, determinando las posibles estrategias y puntos de mejora para un mejor desempeño de la cadena de suministro inversa actual.

Finalmente, en la tabla 56 se puede observar las contribuciones de cada una de las variables en las formuladas de los factores tanto para cada uno de los actores analizados como para el modelo en general.

Tabla 56

Comparación modelos generados

MODELO	F1		F2		F3			F4			
	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11
Fabricantes y/o Importadores	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4791	0,4834	0,037	0,296	0,3	0,2555	0,1483
Comercializadores	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4612	0,4486	0,09	0,1706	0,2769	0,2698	0,2825
Agricultores	0,5	0,5	0,5	0,5	0,3853	0,413	0,2016	0,2327	0,2581	0,2828	0,2263
Modelo General LI	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4116	0,4393	0,1489	0,2309	0,2706	0,2741	0,2242

Nota: Elaboración propia

Inicialmente se puede observar y como ya se recaló anteriormente que para el factor uno y factor dos al tener solo dos variables que describen el comportamiento, estadísticamente tendrán la misma incidencia y variabilidad con un peso dentro de la fórmula de 0,5. En cuanto al factor tres concerniente a la Disposición Final, se puede observar que la Devolución Cero (V5) no tiene una diferencia significativa en cuanto al peso o incidencia en los modelos de cada uno de los participantes y para el modelo general, lo cual induce que tanto para Fabricantes y/o Importadores, Comercializadores y Agricultores tiene la misma relevancia el que el proceso actual deba tener las condiciones para incentivar a los participantes para que se realice una devolución correcta de los envases y empaques vacíos de plaguicidas .

Igualmente se puede observar el mismo comportamiento para la variable Remanufactura y Reacondicionamiento (V6) donde no se evidencia diferencias significativas entre las

incidencias o pesos dados para esta variable dentro de los modelos generados, lo cual significa que para todos los actores es indispensable que exista una correcta disposición final de los residuos recolectados. En cuanto a la variable Recuperación de Activos (V7) si se evidencian diferencias entre los modelos generados de los actores, donde inicialmente el menor valor de incidencia o peso se da para los Fabricantes y/o Importadores, lo cual refleja que para ellos esta variable no tiene mayor importancia para el cumplimiento de la disposición final, esto se da debido a que para los Fabricantes y/o Importadores no tiene un valor agregado el hecho de lograr un reciclaje de los envases y empaques vacíos de plaguicidas o darles un segundo uso debido a que no tienen ninguna retribución económica sino se logra por el contrario es un beneficio social. Contrario a lo anterior, para los Agricultores si tiene una mayor incidencia esta variable, ya que para ellos el hecho de lograr una recuperación de estos residuos y dándoles un uso secundario por medio del reciclaje se podrían beneficiar comunidades vulnerables y se puede lograr un impacto a la sociedad.

Por otra parte en el factor cuatro (Satisfacción del cliente), la variable Negociación (V8) su valor más bajo en los modelos se da en los Comercializadores con 17,06%, lo cual es ocasionado debido a que para este actor en particular no tiene una mayor incidencia el hecho que se generen beneficios para los participantes del proceso en particular para los Agricultores y Comercializadores, ya que ellos no perciben en mayor medida el hecho de una mayor generación o mala gestión de los residuos de plaguicidas y no tienen gran afectación en su actividad económica. Sin embargo, para los Fabricantes y/o Importadores si tiene una mayor incidencia con un valor de 29,6%, esto porque para este actor si tiene mayor importancia el hecho de lograr incentivar a los participantes del proceso en especial a los agricultores para generar una mayor participación y por ende un mayor volumen de residuos recolectados.

En cuanto a la variable Gestión Financiera (V9) todos los actores y en modelo general se no se evidencia diferencias en los valores o incidencias dentro de la formula establecida, lo que refleja que para todos los actores del proceso el tener una correcta gestión financiera y la asignación de recursos, inciden en que se realice el proceso de recolección y disposición final de envases y empaques vacíos de plaguicidas de forma exitosa. La variable referente a Outsourcing (V10), también se puede evidenciar que no tiene diferencia en sus valores de la formula, lo que refleja que, para todos los actores, la forma como realiza el proceso de LI la empresa intermediaria encargada es de suma importancia para que se logre la Satisfacción del Cliente.

Por último, se puede evidenciar que en cuanto a la variable de Stakeholder relationship management (V11) el menor valor de incidencia se da para los Fabricantes y/o Importadores, lo cual se ocasiona puesto que para estos el hecho de la intervención de entidades ambientales o gubernamentales dentro del proceso de LI, no tiene una mayor importancia para lograr la Satisfacción del Cliente, además de identificar algunas relevancia de la participación de dichas entidades ya que realizan más actividades es de control.

Por otra parte, en la tabla 57 se puede observar la comparación de los valores de cada uno de los factores para los índices totales tanto para cada uno de los actores como para el modelo general de LI.

Tabla 57

Datos de validación Agricultores

MODELO	F1	F2	F3	F4
Fabricantes y/o Importadores	0,228	0,374	0,104	0,297
Comercializadores	0,204	0,278	0,27	0,246
Agricultores	0,273	0,215	0,250	0,261
Modelo General LI	0,241	0,259	0,240	0,258

Nota: Elaboración propia

En primera instancia, en cuanto al factor Transporte (F1) se observa que para los Agricultores tiene el mayor peso con 27,31%, esto se debe a que ellos son los que intervienen directamente en este factor inicialmente con la entrega de los envases y empaques vacíos de plaguicidas y el control de acceso de dichos residuos y es la etapa donde se tiene el primer contacto entre la empresa recolectora y los agricultores y de esto depende significativamente el éxito de todo el proceso. El menor valor en este factor se da en los Comercializadores con 20,47%, lo cual es ocasionado a que este actor no interviene o tiene una responsabilidad directa en el Transporte y no consideran que el control de acceso de los residuos y los sistemas de información que se utilizan, incidan en mayor medida para el éxito de todo el proceso de LI.

En cuanto al factor de Almacenaje (F2) se observa que para los Fabricantes y/o Importadores, este tiene mayor peso que para los demás actores, debido a que consideran que allí se centran actividades clave como el tiempo de cada ciclo de disposición y el manejo de los centros de acopio, aspectos importantes y que dan el rumbo exitoso para el rol que desempeñan los Fabricantes y/o Importadores en el proceso de LI. Por el contrario, el menor valor se da en el modelo de los Agricultores con una incidencia del 21,53%, esto debido a que ellos ya no tienen intervención en el tema del almacenaje y por ende si bien consideran que los tiempos de ciclo de recolección y los centros de acopio son importantes para el proceso, pero no con la incidencia que lo manifiestan los otros actores.

El factor de Disposición Final (F3) se evidencia un mayor peso para los Comercializadores donde manifiestan que tiene una mayor relevancia el incentivo que se le puede brindar a los participantes para lograr una devolución correcta de los residuos como el tratamiento correcto que se le puede dar a los envases y empaques vacíos de plaguicidas para el

logro de un mayor impacto y beneficio social. Por el contrario, para los Fabricantes y/o Importadores tiene una menor incidencia con un valor de 10,49% pues la disposición final no es una etapa que considere este actor de mayor relevancia dentro del proceso, puesto que para ellos las variables de recuperación de activos y las alternativas de disposición final no son importantes dentro del proceso de LI, debido a que el interés solo se centra en la eliminación de los residuos para el cumplimiento de la normatividad.

En el factor de Satisfacción del Cliente (F4) no se evidencia una mayor diferencia entre los valores estipulados para cada uno de los actores, lo cual refleja que para todos los actores tiene igual importancia el hecho de lograr la satisfacción del cliente por medio de una correcta gestión de la empresa intermediaria y encargada del proceso de recolección y disposición y de la gestión financiera que se tenga. En general se puede evidenciar que los modelos generados poseen diferencias en cuanto a los aportes de variables y factores en la medición del proceso de LI para cada uno de los actores que se incluyeron en la investigación, lo cual demuestra que existe una percepción y posición diferente del desempeño del proceso de recolección y disposición final de los envases y empaques vacíos de plaguicidas.

8. Validación y ajuste al modelo propuesto

El proceso de validación del modelo propuesto se realizó mediante la técnica de comparación directa. Esta técnica permitió comparar los resultados de un ejercicio diagnóstico, con la aplicación directa del modelo (utilizando el instrumento definido para tal fin), identificando oportunidades de mejora y posibles ajustes o consideraciones al mismo. En este sentido, se seleccionó una muestra a conveniencia de cada uno de los actores de participación: Agricultores, Comercializadores y Fabricantes y/o Importadores. De esta forma, se realizaron entrevistas estructuradas a profundidad, para tres actores de cada uno seleccionados bajo criterio de experiencia, conocimiento del proceso de LI y reconocimiento en el mercado o sector de influencia, estableciendo el estado de estos, donde se vinculó la gestión del proceso de recolección y disposición final de los envases y empaques vacíos de plaguicidas y en general la teoría sobre LI. En una segunda fase, se procedió con el diligenciamiento del instrumento desarrollado para el modelo y la construcción de este en cada caso, y se culminó con un análisis comparativo que se presenta en este aparte. Anexo 2. Análisis de datos proceso de validación y ajuste.

8.1. Validación agricultores

Inicialmente se realiza la validación del modelo para cada uno de los actores participantes de forma individual. Para la validación de este modelo participaron Agricultores reconocidos en el Departamento de Boyacá tanto por su experiencia, años en el sector y área de extensión de los cultivos. El primer agricultor está ubicado en el municipio de Toca reconocido en el sector por tener una extensión de área sembrada de más de dos hectáreas, cultivador de productos como papa y reconocido por las tiendas comercializadoras de la región; segundo agricultor, está ubicado en el municipio de Soracá, también productor de papa y cuenta con 1.5 hectáreas de

extensión de cultivo y el tercer agricultor está ubicado en el municipio de Sáchica, productos de tomate y reconocido por ser un agricultor líder que lidera el gremio de productores de tomate de la región.

A través de una prueba de validación y ajuste, se realizaron dos tablas comparativas de los datos de los tres agricultores, que sirvieron para aplicar el modelo logístico integral.

Inicialmente, en la tabla 56 se presentan los resultados de los cuatro factores analizados y evaluados, recopilados mediante una entrevista semiestructurada a los agricultores y la segunda tabla, corresponde a como se comportaron los datos mediante el modelo propuesto de carácter -cuantitativo-descriptivo- correlacional (ver Tabla 58).

Tabla 58

Datos de validación agricultores

Diagnóstico o Vs Factores	F1. TRANSPORTE	F2. ALMACENAJE	F3. DISPOSICIÓN FINAL	F4. SATISFACCIÓN DEL CLIENTE	SUBJETIVA	MODELO GENERADO
Agricultor 1	2	2,5	4,33	3,75	3,1	2,9
Agricultor 2	4,5	2	5,67	3,5	3,9	3,8
Agricultor 3	4	4	5,00	4,25	4,3	4,3
	3,5	2,8	5,0	3,8		

Nota. Elaboración propia.

De acuerdo con la tabla anterior, se puede observar inicialmente que el factor con menor calificación es el Almacenaje con un valor promedio de 2,8/10, lo cual se debe que para los agricultores no se cumple con los tiempos estipulados para la realización de las jornadas de recolección, lo cual ocasiona que se cree una mayor acumulación de los envases y empaques vacíos de plaguicidas en las fincas y a su vez se tomen decisiones por parte de los agricultores de realizar malas prácticas como quemarlos a cielo abierto, enterrarlos bajo tierra, botarlos a ríos o lagos, entre otros. Igualmente consideran que los centros de acopio o disposición actual no son del todo eficientes en cuanto a la forma de almacenar los residuos y la capacidad del único centro de acopio actual para el departamento de Boyacá no es suficiente para la cantidad de residuos que se generan.

Otro de los factores que presenta baja calificación es el Transporte con una valoración de 3.5/10, lo que deduce que para los agricultores el proceso actual no realiza un control de las condiciones correctas de los residuos de plaguicidas en especial de los envases vacíos, esto debido también a que los agricultores no realizan el tratamiento adecuado o no tienen conocimiento del proceso, a causa que los sistemas de información actuales, no son los adecuados y no logran que la información sea entendida de forma correcta

El factor con mayor calificación es el factor cuatro Disposición Final con una valoración de 5/10, sin embargo a pesar de ser la valoración más alta en comparación con los otros factores, sigue siendo un valor bajo, considerando por parte de los agricultores que se cumple parcialmente con las alternativas correctas de disposición final de los envases y empaques vacíos de plaguicidas y a su vez estas alternativas pueden ayudar a reciclar los envases y generar un beneficio social con su tratamiento correcto.

Por otra parte, en cuanto al análisis de cada uno de los resultados por Agricultor, se evidencia que el agricultor uno perteneciente al municipio de Toca evidencio que todo el análisis de los cuatro factores tuvo una valoración de 3.1, evidenciando una calificación baja en cuanto al proceso de LI donde el factor con menor calificación fue Transporte con un valor de 2. Esta calificación es una valoración subjetiva, donde en comparación con el modelo generado se obtiene una calificación de 2.9, la cual es una valoración más real y precisa de la evaluación realizada a los cuatro factores del proceso de LI. El agricultor 3 perteneciente al municipio de Sáchica, obtuvo la mayor calificación entre los agricultores con un valor de 4,3, el cual no alcanza siquiera el valor promedio entre la escala.

El promedio de los diferentes factores evaluados para los agricultores en el proceso de validación son: El primer factor, Transporte, obtuvieron 3,5; el segundo factor Almacenaje tuvieron 2,8; el tercer factor, Disposición Final un valor de 5 y el cuarto factor, Satisfacción del Cliente arrojaron 3,8. Lo anterior evidencia que en conjunto para los Agricultores los 4 factores requieren de mejoras significativa y en si el proceso de recolección y disposición final de envases y empaques vacíos de plaguicidas que se realiza actualmente.

En la tabla 59 se observan los resultados de la aplicación del modelo generado para los Agricultores, así como la generación del índice total para todo el proceso de LI. Inicialmente, se puede evidenciar que la menor calificación del índice total corresponde al Agricultor 1 con un valor de 2,9. En cuanto a las calificaciones de los factores se evidencia que el valor de disposición final tiene una disminución en cuanto al valor subjetivo analizado anteriormente pasando de 5 a 4.2 donde este último valor es más preciso y real frente a las condiciones del proceso.

Tabla 59*Datos del modelo generado – agricultores*

	F1. TRANSPORTE	F2. ALMACENAJE	F3. DISPOSICIÓN FINAL	F4. SATISFACCIÓN DEL CLIENTE	Índice Total
Agricultor 1	2,0	2,5	3,2	3,7	2,9
Agricultor 2	4,5	2,0	4,9	3,5	3,8
Agricultor 3	4,0	4,0	4,7	4,4	4,3
	3,5	2,8	4,2	3,9	

Nota. Elaboración propia.**8.2. Validación comercializadores**

Posteriormente, se realiza la validación del modelo para los Comercializadores. En esta etapa participaron tiendas o comercializadores de renombre en el departamento de Boyacá que tienen gran experiencia en sector de ventas de plaguicidas, además de conocer muy bien el proceso de LI que se lleva a cabo actualmente.

El primer comercializador está ubicado en el municipio de Sáchica, reconocido por ser la tienda más grande de este sector y además con más de 20 años de experiencia en la venta de plaguicidas; el segundo y tercer comercializador, están ubicados en el municipio de Tunja, los cuales se destacan inicialmente por tener un mayor volumen de venta de plaguicidas en el sector y además son reconocidos en el ámbito agrícola no solo por su venta, sino también por su conocimiento tanto de procesos agrícolas como del proceso de recolección y disposición final de envases y empaques vacíos de plaguicidas.

Igualmente, que en los agricultores se realizan dos tablas comparativas de los datos de las 3 comercializadores, que sirvieron para aplicar el modelo logístico integral. Inicialmente, en la

tabla 60 se presentan los resultados de los cuatro factores analizados y evaluados, recopilados mediante una entrevista semiestructurada a los agricultores y la segunda tabla, corresponde a como se comportaron los datos mediante el modelo propuesto de carácter -cuantitativo-descriptivo- correlacional.

Tabla 60

Datos de validación comercializadores

Diagnóstico Vs Factores	F1. TRANSPORTE	F2. ALMACENAJE	F3. DISPOSICIÓN FINAL	F4. SATISFACCIÓN DEL CLIENTE	SUBJETIVO	MODELO GENERADO
Comercializador 1	4	6	5,00	4,5	4,9	4,8
Comercializador 2	2,5	2,5	4,67	3,5	3,3	2,7
Comercializador 3	1	3,5	6,00	4,75	3,8	3,6
	2,5	4,0	5,2	4,3		

Nota. Elaboración propia.

En consecuencia, se puede observar que el factor con menor calificación es el Transporte con un valor promedio de 2,5/10, lo cual se debe que para los comercializadores, al ser esta la primera etapa que se lleva a cabo del proceso de LI, es la etapa crucial para que dicho proceso sea exitoso, ya que ahí es donde tienen contacto con los agricultores y se genera la correcta devolución de los residuos, lo cual actualmente no se está cumpliendo, además de evidenciarse una falta de cobertura de la recolección y falta de información del proceso.

Otro de los factores que presenta baja calificación es el Almacenaje de 4/10, lo que deduce que, para los comercializadores, las condiciones de almacenamiento actuales para los envases y empaques vacíos de plaguicidas no son las adecuadas, tanto en las fincas por parte de los agricultores, en los depósitos que tienen algunos comercializadores y en el centro de acopio como tal.

El factor con mayor calificación es el factor tres Disposición Final con una valoración de 5.2/10, donde se considera por parte de los comercializadores que medianamente, las alternativas de disposición final que actualmente se practican a los residuos de plaguicidas son las correctas, sin embargo, hay una gran parte de los residuos que no pueden tener la disposición final correcta, debido a que las condiciones de entrega o almacenamiento no son las correctas.

Por otra parte, en cuanto al análisis de cada uno de los resultados por Comercializador, se evidencia que el comercializador dos perteneciente al municipio de Tunja, el análisis de los cuatro factores tuvo una valoración de 3.3, evidenciando una calificación baja en cuanto al proceso de LI donde los factores con menores calificaciones fueron Transporte y Almacenaje con un valor de 2.5. Dicha valoración es comparada con la valoración real del modelo generado obteniendo una calificación del proceso de LI para este comercializador de 2,7. El comercializador 1 perteneciente al municipio de Sáchica, obtuvo la mayor calificación entre los comercializadores con un valor de 4,9.

El promedio de los diferentes factores evaluados para los comercializadores en el proceso de validación es: El primer factor, Transporte, obtuvieron 2,5; el segundo factor Almacenaje tuvo un valor de 4; el tercer factor, Disposición Final un valor de 5.2 y el cuarto factor, Satisfacción del Cliente arrojaron 4.3. Lo anterior evidencia que en conjunto para los Comercializadores los 4

factores requieren de mejoras significativa en especial lo concerniente al transporte donde se presentan las mayores falencias del proceso.

En la tabla 61 se observan los resultados de la aplicación del modelo generado para los Comercializadores, así como la generación del índice total para todo el proceso de LI. Inicialmente, se puede evidenciar que la menor calificación del índice total corresponde al Comercializador 2 con un valor de 2,7. En cuanto a las calificaciones de los factores se evidencia que el valor de disposición final tiene una disminución en cuanto al valor subjetivo analizado anteriormente pasando de 5,2 a 4 donde este último valor es más preciso y real frente a las condiciones del proceso.

Tabla 61

Datos del modelo generado – comercializadores

	F1. TRANSPORTE	F2. ALMACENAJE	F3. DISPOSICIÓN FINAL	F4. SATISFACCIÓN DEL CLIENTE	Índice Total
Comercializador 1	4,0	6,0	4,6	4,3	4,8
Comercializador 2	2,5	2,5	2,7	3,1	2,7
Comercializador 3	1,0	3,5	4,5	4,8	3,6
	2,5	4,0	4,0	4,1	

Nota. Elaboración propia.

8.3. Validación fabricantes y/o importadores

Seguidamente, se realiza la validación del modelo para los Fabricantes y/o Importadores. En esta etapa participaron fabricantes y/o importadores que, si bien no tienen sucursal física en el

departamento de Boyacá, si tienen una gran participación en el mercado del departamento y su mayor volumen de productos los comercializan en Boyacá.

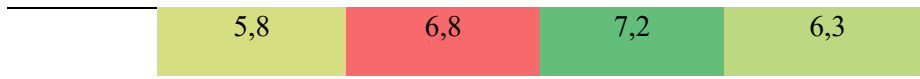
El primer fabricante está ubicado en el municipio de Cota en el departamento de Cundinamarca, marca reconocida dentro del sector agrícola por su variedad de productos; el segundo fabricante se encuentra ubicado en la ciudad de Bogotá, destacado por su gran volumen de producción de plaguicidas y el tercer fabricante está ubicado en la ciudad de Cali, empresa que es la más destacada y de renombre en el sector de venta de plaguicidas y concedora de los planes posconsumo para la gestión de los residuos de plaguicidas.

Igualmente, que en los agricultores se realizan dos tablas comparativas de los datos de las tres comercializadores, que sirvieron para aplicar el modelo logístico integral. Inicialmente, en la tabla 62 se presentan los resultados de los cuatro factores analizados y evaluados, recopilados mediante una entrevista semiestructurada a los fabricantes.

Tabla 62

Datos de validación fabricantes

Diagnóstico o Vs Factores	F1. TRANSPORTE	F2. ALMACENAJE	F3. DISPOSICIÓN FINAL	F4. SATISFACCIÓN DEL CLIENTE	SUBJETIVO	MODELO GENERADO
Fabricante 1	6,5	6,5	6,33	5,5	6,2	6,2
Fabricante 2	4,5	7	8,00	7,5	6,8	6,6
Fabricante 3	6,5	7	7,33	6	6,7	6,7



Nota. Elaboración propia.

Según la tabla anterior, se puede evidenciar inicialmente que el factor con menor calificación es el Transporte con un valor promedio de 5,8/10, esto debido que para los fabricantes se debe mejorar inicialmente las condiciones de entrega actuales de los residuos de plaguicidas por parte de los agricultores, además de mejorar los sistemas de transporte y capacidades por parte la empresa recolectora a fin de disponer y lograr una mayor cobertura de las jornadas de recolección.

Otro de los factores que presenta baja calificación es la Satisfacción del cliente de 6.3/10, lo que deduce que, para los fabricantes, se debe mejorar la gestión que realiza la empresa recolectora por medio de implementación de estrategias de mejora para el proceso de LI actual, además de un mejor apoyo financiera por parte de los fabricantes y además mayor apoyo por parte de entidades gubernamentales o ambientales que participan indirectamente en el proceso.

El factor con mayor calificación es el factor tres Disposición Final con una valoración de 7.2/10, donde se considera por parte de los fabricantes que las alternativas de disposición final son correctas y están generando un beneficio social y que existen incentivos y beneficios para que los diferentes actores participen en la devolución correcta de los residuos.

Por otra parte, en cuanto al análisis de cada uno de los resultados por Fabricante y/o Importadores, se evidencia que el fabricante uno perteneciente al municipio de Cota, el análisis de los cuatro factores tuvo una valoración de 6.2, evidenciando una calificación media en cuanto al proceso de LI donde el factor con menor calificación fue Satisfacción del Cliente con un valor de 5.5.

El promedio de los diferentes factores evaluados para los Fabricantes y/o Importadores en el proceso de validación es: El primer factor, Transporte, obtuvieron 5,8; el segundo factor

Almacenaje tuvo un valor de 6,8; el tercer factor, Disposición Final un valor de 7,2 y el cuarto factor, Satisfacción del Cliente arrojaron 6,3. Lo anterior evidencia que en conjunto para los Comercializadores los cuatro factores requieren tienen valoraciones medias pero que en general consideran que el proceso de LI que se realiza actualmente es bueno con algunos aspectos que se pueden mejorar.

En la tabla 63 se observan los resultados de la aplicación del modelo generado para los Fabricantes, así como la generación del índice total para todo el proceso de LI. Inicialmente, se puede evidenciar que la menor calificación del índice total corresponde al Fabricante uno con un valor de 6,2. En cuanto a las calificaciones de los factores se evidencia que existe una menor variabilidad de los resultados frente a las calificaciones subjetivas, lo cual demuestra que para los fabricantes existe una mayor homogeneidad frente a las valoraciones que consideran pertinentes para cada uno de los factores.

Tabla 63

Datos del modelo generado – fabricantes

	F1. TRANSPORTE	F2. ALMACENAJE	F3. DISPOSICIÓN FINAL	F4. SATISFACCIÓN DEL CLIENTE	Índice Total
Fabricante 1	6,5	6,5	6,5	5,6	6,2
Fabricante 2	4,5	7,0	7,1	7,4	6,6
Fabricante 3	6,5	7,0	7,5	6,3	6,7
	5,8	6,8	7,0	6,4	

Nota. Elaboración propia.

8.4. Validación modelo general

Finalmente se realiza un análisis del modelo general, teniendo en cuenta las valoraciones de todos los actores para medir los cuatro factores incluidos. En la tabla 64 se puede observar inicialmente que el factor con menor calificación es el Transporte con 3,9/10, evidenciando que en general para todos los actores en conjunto no se está realizando el control de las condiciones de entrega de los residuos de plaguicidas o no se están cumpliendo por parte de los agricultores, esto también en parte por la falta de sistemas de información eficientes que se manejen en el proceso, para garantizar que la información llegue y sea entendida por cada uno de los actores.

El factor con mayor calificación es la Disposición Final con una valoración de 5,8/10, lo cual considera un valor promedio dentro de la escala de medición. En general en cuanto a la valoración subjetiva de los actores en conjunto, se puede analizar que la percepción frente al proceso de LI que se realiza actualmente en el departamento de Boyacá es baja sobre todo evidenciado por parte de los Agricultores y Comercializadores donde se observa que la valoración subjetiva tiene una mayor variación con la valoración del modelo generado.

Tabla 64

Datos de validación modelo general

Diagnóstico Vs Factores	F1. TRANSPOR TE	F2. ALMACENA JE	F3. DISPOSICI ÓN FINAL	F4. SATISFACCI ÓN DEL CLIENTE	SUBJETIV A	MODELO GENERAD O
Agricultor 1	2	2,5	4,33	3,75	3,1	2,8
Agricultor 2	4,5	2	5,67	3,5	3,9	3,6
Agricultor 3	4	4	5,00	4,25	4,3	4,2

Comercializado						
r 1	4	6	5,00	4,5	4,9	4,8
Comercializado						
r 2	2,5	2,5	4,67	3,5	3,3	2,9
Comercializado						
r 3	1	3,5	6,00	4,75	3,8	3,3
Fabricante 1	6,5	6,5	6,33	5,5	6,2	6,2
Fabricante 2	4,5	7	8,00	7,5	6,8	6,6
Fabricante 3	6,5	7	7,33	6	6,7	6,7
	3,9	4,6	5,8	4,8		

Nota. Elaboración propia.

En la tabla 65 se observan los resultados de la aplicación del modelo generado para el proceso de LI, así como la generación del índice total. Inicialmente, se puede evidenciar que la menor calificación se evidencia en el factor uno Transporte un valor de 3,9. En general en las calificaciones de los factores con el modelo generado se obtienen valores bajos, ocasionando una percepción general que el proceso presenta falencias que pueden ser evaluadas para mejorar en general la recolección y disposición final de los envases y empaques vacíos de plaguicidas.

Tabla 65

Datos del modelo generado – modelo general

F1.	F2.	F3.	F4.	Índice Total
TRANSPORT	ALMACENAJ	DISPOSICIÓ	SATISFACCIÓ	
E	E	N FINAL	N DEL	
			CLIENTE	

Agricultor 1	2,0	2,5	2,8	3,7	2,8
Agricultor 2	4,5	2,0	4,5	3,5	3,6
Agricultor 3	4,0	4,0	4,5	4,4	4,2
Comercializador 1	4,0	6,0	4,7	4,5	4,8
Comercializador 2	2,5	2,5	3,2	3,5	2,9
Comercializador 3	1,0	3,5	4,9	3,7	3,3
Fabricante 1	6,5	6,5	6,4	5,5	6,2
Fabricante 2	4,5	7,0	7,4	7,5	6,6
Fabricante 3	6,5	7,0	7,4	6,1	6,7
	3,9	4,6	5,1	4,7	

Nota. Elaboración propia.

9. Conclusiones, recomendaciones, aportes y líneas

9.1. Conclusiones

Durante el desarrollo de la investigación y como se ha demostrado a lo largo del documento, se evidencia gran importancia y relevancia de la teoría referente a la Logística Inversa y en general de la gestión de residuos o productos fuera de uso, donde autores como Rogers y Tibben-Lembke (1999), Stock & Lambert (2001), Christopher (2022), Fleischmann et al., (2004), Srivastava (2008) y Stock (1992) creando bases importantes para implementar procesos o programa de LI por parte de las organizaciones, sin embargo, se evidencio la falta de un constructo general que reúna los factores y variables a tener en cuenta en un modelo de LI, aporte significativo que se realiza en la presente investigación.

En consecuencia, a través de la revisión de literatura y análisis bibliométricos, se logra determinar que los factores que inciden en la LI son cuatro: Transporte, Almacenaje, Disposición Final y Satisfacción del Cliente, los cuales describen el comportamiento general de un proceso de LI en cualquier tipo de residuo y/o productos fuera de uso y que sirven como base fundamental para la medición de la eficiencia de la implementación de procesos de recolección y disposición final de residuos.

Así mismo, dentro de los factores identificados se determinan una serie de variables que establecen los componentes del modelo de LI para la gestión de residuos y/o producto fuera de uso. Para el factor transporte se incluyen las variables Control de Acceso y Sistemas de Información en Logística Inversa, en el factor almacenaje se tienen las variables Tiempo del ciclo de Disposición y Centros de Devolución Centralizados. En el factor disposición final, las variables que inciden son Devolución Cero, Remanufactura y Reacondicionamiento y

Recuperación de Activos y finalmente en el factor satisfacción del cliente se tiene Negociación, Gestión Financiera, Outsourcing y *Stakeholder relationship Management*.

Por otra parte, se evidencia en cuanto al modelo logístico integral propuesto, que si bien existen algunas postulaciones o antecedentes frente a los procesos o sistemas de LI como los expuestos por Rogers y Tibben-Lembke (1999), la Teoría carece de integración de variables o generación de referentes metodológicos para la medición y evaluación de procesos de LI, que abarque de forma detallada cada una de las etapas que deben contener estos procesos y en específico las variables no solo relacionadas con el proceso interno que se realiza, sino así mismo con la inclusión de variables relacionada con factores externos que intervienen en el proceso.

Igualmente, con lo desarrollado en el proyecto investigación, se obtuvo una mayor precisión inicialmente respecto a cada uno de los roles y forma de participación de los actores analizados y así mismo en cuanto a la medición del proceso de LI en general. Así mismo, con el proyecto se pretende crear una base fundamental para fortalecer aspectos que la teoría y los modelos cuantitativos no logran evaluar como lo son la cultura de devolución por parte de los agricultores, conciencia ambiental, cultura social, cumplimiento de normatividad, entre otros.

Por otra parte, en cuanto a los resultados obtenidos se evidencia que si existe una variación de los modelos generados para cada uno de los actores de participación donde se observó que la mayor variabilidad en cuanto a la incidencia de cada uno de los factores y variables se da para los Fabricantes y/o Importadores. Igualmente, en cuanto a los factores analizados en el modelo general se evidencia una alta correlación entre el factor uno de Transporte y el Factor cuatro Satisfacción del Cliente y por otra parte se evidencia una correlación entre el Factor dos Almacenaje con el Factor tres Disposición Final.

En consecuencia con el modelo generado y teniendo en cuenta la participación de todos los actores incluidos, se debe fortalecer el primer factor de Transporte, en especial lo concerniente al control y verificación de las condiciones de entrega de los residuos de plaguicidas por parte de los agricultores, esto acompañado de un mejoramiento de los sistemas de información que se utilizan para dar a conocer la técnica de triple lavado y en general las condiciones en las que deben entregar los residuos de plaguicidas. Frente al segundo factor, Almacenaje, se pudo evidenciar que la variable tiempo de ciclo de disposición no tiene una buena calificación, lo cual refleja que para los actores los tiempos entre las jornadas de recolección no son las adecuada, generando una mayor acumulación de los envases y empaques vacíos de plaguicidas en las fincas y con ello generación de afectaciones a la salud y medio ambiente.

Frente a las hipótesis planteadas inicialmente se puede corroborar que los actores consideran que no se realizan en mayor medida un control de acceso de las condiciones de entrega de los envases y empaques vacíos de plaguicidas por parte de los agricultores. De igual forma consideran que el proceso que actualmente realiza la empresa intermediaria encargada no es del todo eficiente, evidenciando algunas dificultades en particular en la cobertura geográfica de la recolección, generando una acumulación de residuos den las fincas generadoras.

Por otra parte, se evidenció que los sistemas de información en el proceso de LI, influyen significativamente en la entrega correcta de los envases y empaques vacíos de plaguicidas, toda vez que al tener una mayor publicidad y claridad frente al proceso a realizar, los agricultores tendrán un mejor manejo de los residuos y se lograra una mayor recolección de estos.

El modelo propuesto se comportó de manera mucho más estricta frente a cada uno de los factores y variables evaluados en el proceso de validación, lo cual no requirió de ningún ajuste al

mismo. En general se puede evidenciar un gran aporte por parte del investigador de la tesis doctoral frente a la consolidación de un modelo de medición de desempeño que si bien se validó con el caso del proceso de recolección y disposición final de envases y empaques vacíos de plaguicidas en el departamento de Boyacá, sirve como base teórica para aplicarla en cualquier proceso de LI, teniendo en cuenta el modelo construido en cuanto a factores y variables.

9.2. Futuras líneas de investigación

Posteriormente a la finalización de la presente investigación doctoral, se puede concluir que las organizaciones o empresas no tienen un mayor interés en la implementación de procesos o sistemas de LI, que en muchos de los casos son implementados por requerimientos legales o ambientales. Igualmente, como en el caso estudiado en la investigación referente al proceso de recolección y disposición final de los envases y empaques vacíos, se evidencia que existen distintas variables y factores que requieren de mejoras, puesto que las empresas se centran en sus procesos de producción y distribución normales, dejando al lado los procesos de LI que deben llevar a cabo.

Por otra parte, de acuerdo con la revisión bibliográfica realizada inicialmente se observa que existe varios autores que han orientado sus investigaciones tanto cualitativas como cuantitativas, al desarrollo de modelo para la toma de decisiones específicas dentro de las cadenas de suministro inversa, pero no logran integrar modelos que midan los procesos de LI en general, existiendo un vacío además frente a la inclusión de variables más sensibles al proceso como los son la cultura de devolución por parte de los clientes, cumplimiento de normatividad, impactos ambientales, entre otros, aspectos que pueden ser incluidos en futuras investigaciones.

10. Referencias

- Adebayo, T. (2022). An evaluation of reverse logistics responsiveness and customer satisfaction in retailing . *International Journal of Research in Business and Social Science (2147-4478)*, 11(1), 93–98. <https://doi.org/10.20525/ijrbs.v11i1.1570>
- Akbay, M. A., Kalayci, C. B., & Blum, C. (2023, March). Application of Adapt-CMSA to the two-echelon electric vehicle routing problem with simultaneous pickup and deliveries. In *European Conference on Evolutionary Computation in Combinatorial Optimization (Part of EvoStar)* (pp. 16-33). Cham: Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-30035-6_2
- Aldás Manzano, J., & Uriel Jiménez, E. (2017). *Análisis multivariante aplicado con R*. Paraninfo.
- Alkahtani, M., Ziout, A., Salah, B., Alatefi, M., Abd Elgawad, A. E. E., Badwelan, A., & Syarif, U. (2021). An insight into reverse logistics with a focus on collection systems. *Sustainability*, 13(2), 548. <https://doi.org/10.3390/su13020548>
- Alshamsi, A., & Diabat, A. (2015). A reverse logistics network design. *Journal of Manufacturing Systems*, 37, 589-598. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2015.02.006>
- Aparicio Morales, G. M., & Hernandez Estrada, A. (2021). *Análisis multivariante de datos: como buscar patrones de comportamiento en BIG DATA*. Ediciones Piramide
- Aryee, R., & Adaku, E. (2024). A review of current trends and future directions in reverse logistics research. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 36(2), 379-408. <https://doi.org/10.1007/s10696-023-09493-y>
- Baah, C., Jin, Z., & Tang, L. (2020). Organizational and regulatory stakeholder pressures friends or foes to green logistics practices and financial performance: investigating corporate

- reputation as a missing link. *Journal of Cleaner Production*, 247, 119125.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119125>
- Bag, S., & Gupta, S. (2020). Examining the effect of green human capital availability in adoption of reverse logistics and remanufacturing operations performance. *International Journal of Manpower*, 41(7), 1097-1117. <https://doi.org/10.1108/IJM-07-2019-0349>
- Barros, R. J., Duque, G., Rojas, J., Sánchez, I., & Velosa, J. (2005). *Grace. Introducción a la ingeniería*. Universidad EAN. <http://hdl.handle.net/10882/9617>.
- Bhusiri, N., Banomyong, R., Julagasigorn, P., Varadejsatitwong, P., & Dhami, N. (2021). A purchasing portfolio model for humanitarian supply chain resilience: perspectives from a development aid context. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 11(4), 639-660. <https://doi.org/10.1108/JHLSCM-06-2021-0053>
- Blewett, D. K. (1991). The dictionary of modern war. *RQ*, 31(2), 256-258.
- Bondori, A., Bagheri, A., Allahyari, M. S., & Damalas, C. A. (2019). Pesticide waste disposal among farmers of Moghan region of Iran: current trends and determinants of behavior. *Environmental monitoring and assessment*, 191, 1-9.
<https://doi.org/10.1007/s10661-018-7150-0>
- Bogataj, M., & Grubbström, R. W. (2013). Transportation delays in reverse logistics. *International Journal of Production Economics*, 143(2), 395-402.
<https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2011.12.007>
- Bowersox, D. J., Closs, D. J., & Bixby Cooper, M. (2005). *Administración y logística en la cadena de suministros*. McGraw Hill.

Brito, M. P., Dekker, R., & Flapper, S. D. P. (2005). Reverse logistics: a review of case studies.

En: Fleischmann, B., Klose, A. (eds). *Distribution logistics. Lecture notes in economics and mathematical systems*. (p. 243-281). Springer

Butt, A. S., Ali, I., & Govindan, K. (2024). The role of reverse logistics in a circular economy for achieving sustainable development goals: a multiple case study of retail firms. *Production Planning & Control*, 35(12), 1490-1502. <https://doi.org/10.1080/09537287.2023.2197851>

Caliman Comper, I., Diniz Chaves, G. L., & Matavel, N. I. (2016). Análise bibliométrica da logística reversa. *Revista Ifes Ciência*, 2(1), 72-97.

<https://ojs.ifes.edu.br/index.php/ric/article/view/251/226>

Castillo, B., Ruiz, J. O., Manrique, M. A., & Pozo, C. (2020). Contaminación por plaguicidas agrícolas en los campos de cultivos en Cañete. *Revista Espacios*, 41(10),1-11.

<https://www.revistaespacios.com/a20v41n10/a20v41n10p11.pdf>

Christopher, M. (2016). *Logistics and supply chain management*. FT Publishing International

Christopher, M. (2022). *Logistics and supply chain management*. Pearson Uk.

Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2022). Fuentes estadísticas: agricultura y alimentos. <https://biblioguias.cepal.org/estadisticas/agricultura>

Costa-Salas, Y., Sarache, W., & Überwimmer, M. (2017). Fleet size optimization in the discarded tire collection process. *Research in Transportation Business & Management* 24: 81–89. <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2017.08.001>

De La Hoz, E., Vélez, J., & López, L. (2017). Multiobjective linear programming model for reverse logistics in the polypropylene plastics industry. *Informacion tecnológica*, 28, 31-6. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642017000500005>.

de Lima Junior, F. B., Soliani, R. D., de Souza Oliveira, P. R., de Oliveira, D. A., Siqueira, R.

M., da Silva Nora, L. A. R., & Macêdo, J. (2023). Reverse Logistics of Pesticide Packaging: A Case Study in Rio Branco/Ac, Brazil. *Revista de Gestão Social e Ambiental*, 17(3), e03296-e03296. <https://doi.org/10.24857/rgsa.v17n3-010>

de Souza Neto, P. M. (2019). Logística reversa de resíduos sólidos: Uma análise bibliométrica.

Revista de Ensino, Pesquisa e Extensão em Gestão, 21(1), e21.

<https://periodicos.ufrn.br/revenspesextgestao/article/view/23505>

Dekker, R., Fleischmann, M., Inderfurth, K., & Wassenhove, L. N. (2004). *Reverse logistics: quantitative models for closed-loop supply chains*. Springer.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística – (DANE). (2020). *Encuesta nacional*

agropecuaria (ENA). <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuario/encuesta-nacional-agropecuaria-ena>

Dewi, Y. A., Yulianti, A., Hanifah, V. W., Jamal, E., Sarwani, M., Mardiharini, M., ... &

Harsanti, E. S. (2022). Farmers' knowledge and practice regarding good agricultural practices (GAP) on safe pesticide usage in Indonesia. *Heliyon*, 8(1).

<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08708>

Diabat, A., Kannan, D., Kaliyan, M., & Svetinovic, D. (2013). An optimization model for

product returns using genetic algorithms and artificial immune system. *Resources, Conservation and Recycling*, 74, 156-169.

<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.12.010>

Díaz-Vallejo, J., Barraza-Villarreal, A., Yañez-Estrada, L., & Hernández-Cadena, L. (2021).

Plaguicidas en alimentos: riesgo a la salud y marco regulatorio en Veracruz, México.

Salud Pública de México, 63(4), 486-497. <https://doi.org/10.21149/12297>

Duong, Q. H., Zhou, L., Meng, M., Van Nguyen, T., Ieromonachou, P., & Nguyen, D. T. (2022).

Understanding product returns: A systematic literature review using machine learning and bibliometric analysis. *International Journal of Production Economics*, 243, 108340.

<https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2021.108340>

Edmonds, W. A., & Kennedy, T. D. (2016). *An applied guide to research designs: Quantitative, qualitative, and mixed methods*. Sage Publications.

Eren, E., & Tuzkaya, U. R. (2021). Safe distance-based vehicle routing problem: Medical waste collection case study in COVID-19 pandemic. *Computers & Industrial Engineering*, 157,

107328. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107328>

Ferreira, C., & Gonçalves, G. (2021). A systematic review on life extension strategies in industry: The case of remanufacturing and refurbishment. *Electronics*, 10(21), 2669.

<https://doi.org/10.3390/electronics10212669>

Fleischmann, M., Bloemhof-Ruwaard, JM., Beullens, P., & Dekker, R. (2004). Reverse logistics network design. En R. Dekker, M. Fleischmann, K. Inderfurth, & L. N. Van Wassenhove (Eds.), *Reverse Logistics - Quantitative models for closed-loop supply chains* (pp. 65-94).

Springer-Verlag. <http://hdl.handle.net/1765/2298>

Garbounis, G., & Komilis, D. (2021). A modeling methodology to predict the generation of wasted plastic pesticide containers: An application to Greece. *Waste Management*, 131,

177-186. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.06.005>

Garzón-Agudelo, P. A., Palacios-Alvarado, W. L. A. M. Y. R., & Medina-Delgado, B. (2021, May). Diagnosis of physical conditions for the implementation of a reverse logistics

management model in a supply chain. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol.

1938, No. 1, p. 012019). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1938/1/012019>

Gattorna, J. (1996). *Managing the supply chain: a strategic perspective*: Macmillan International Higher Education.

Gaur, A., Gurjar, S. K., & Chaudhary, S. (2022). Circular system of resource recovery and reverse logistics approach: Key to zero waste and zero landfill. En *Advanced organic waste management* (pp. 365-381). Elsevier.

Giraldo Sagra, J. A. (2008). Utilización de la teoría de la logística inversa, en el reciclaje, sustitución y re-uso de materiales y la disposición de desperdicios. *Opciones : Revista del Programa de Ingeniería Financiera de la UNAB*, 2(4), 15-18.
<https://repository.unab.edu.co/handle/20.500.12749/18155>

Gobernación de Boyacá. (2020). *Plan departamental de extensión agropecuaria (PDEA) Departamento de Boyacá 2020-2023*.
<https://www.minagricultura.gov.co/ministerio/direcciones/PublishingImages/Paginas/PDEA/Boyaca.pdf>

Govindan, K., Nasr, A. K., Mostafazadeh, P., & Mina, H. (2021). Medical waste management during coronavirus disease 2019 (COVID-19) outbreak: A mathematical programming model. *Computers & Industrial Engineering*, 162, 107668.
<https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107668>

Guide, J. V., & Van Wassenhove, L. N. (2002). The reverse supply chain. *Harvard Business Review*, 80(2), 25-26. <https://hbr.org/2002/02/the-reverse-supply-chain>

- Hazen, B. T. (2011). Strategic reverse logistics disposition decisions: from theory to practice. *International Journal of Logistics Systems and Management*, 10(3), 275-292. <https://doi.org/10.1504/IJLSM.2011.043118>
- He, M., Li, Q., Lin, T., Fan, J., Wu, X., & Han, X. (2024). Designing a Reverse Logistics Network for End-of-Life Vehicles in an Uncertain Environment. *World Electric Vehicle Journal*, 15(4), 140. <https://doi.org/10.3390/wevj15040140>
- He, M., Li, Q., Wu, X., & Han, X. (2024). A novel multi-level reverse logistics network design optimization model for waste batteries considering facility technology types. *Journal of Cleaner Production*, 142966. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.142966>
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. (2018). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill.
- Holm, S. (1979). A simple sequentially rejective multiple test procedure. *Scandinavian journal of statistics*, 65-70. <http://www.jstor.org/stable/4615733>
- Huici, O., Skovgaard, M., Condarco, G., Jørs, E., & Jensen, O. C. (2017). Management of empty pesticide containers—A study of practices in Santa Cruz, Bolivia. *Environmental Health Insights*, 11, 1178630217716917. <https://doi.org/10.1177/1178630217716917>
- Huo, B., Wang, K. & Zhang, Y. (2021). The impact of leadership on supply chain green strategy alignment and operational performance. *Operations Management Research*, 14, 152–165. <https://doi.org/10.1007/s12063-020-00175-8>
- Huscroft, J., Hazen, B., Hall, D., Skipper, J., & Hanna, J. (2013). Reverse logistics: past research, current management issues, and future directions. *The International Journal of Logistics Management*, 24(3), 304-327. <https://doi.org/10.1108/IJLM-04-2012-0024>

Ilgin, M. A., & Gupta, S. M. (2013). Reverse logistics. En S. M Gupta (ed), *Reverse Supply Chain: Issues and Analysis*, (pp. 1-60). CRC Press

Instituto Nacional de Salud. (2013). *Intoxicaciones por plaguicidas*.

https://www.minsalud.gov.co/comunicadosPrensa/Documents/INTOXICACION_POR_PLAGUICIDAS.pdf

Jimenez-Delgado, G., Alcazar-Franco, D., García-Tamayo, D., Oliveros-Eusse, P., & Gomez-Diaz, M. (2021). Evaluating the performance in the environmental management and reverse logistics in companies of plastic sector: An integration of Fuzzy AHP, DEMATEL and TOPSIS methods. In *HCI International 2021-Late Breaking Papers: HCI Applications in Health, Transport, and Industry: 23rd HCI International Conference, HCII 2021, Virtual Event, July 24–29, 2021 Proceedings 23* (pp. 525-545). Springer International Publishing.

Jin, S., Bluemling, B., & Mol, A. P. (2018). Mitigating land pollution through pesticide packages—The case of a collection scheme in Rural China. *Science of The Total Environment*, 622, 502-509. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.330>

Kain, R., & Verma, A. (2018). Logistics management in supply chain—an overview. *Materialstoday: Proceedings*, 5(2), 3811-3816.

<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.11.634>

Kaynak, R., Koçoğlu, İ., & Akgün, A. E. (2014). The role of reverse logistics in the concept of logistics centers. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 109, 438-442.

<https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.12.487>

Krikke, H. R., Kooi, E., & Schuur, P. C. (1999). Network design in reverse logistics: a quantitative model. En *New trends in distribution logistics* (pp. 45-61). Springer.

- Lagarda-Leyva, E. A., Morales-Mendoza, L. F., Ríos-Vázquez, N. J., Ayala-Espinoza, A., & Nieblas-Armenta, C. K. (2019). Managing plastic waste from agriculture through reverse logistics and dynamic modeling. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 21, 1415-1432.
- Lamb, C. W., Hair Jr, J. F., McDaniel Jr, C., Summers, J., & Gardiner, M. (2018). *Mktg4*: Cengage AU.
- Lambert, D., Stock, J., & Ellram, L. (1998). *Fundamentals of logistics management*. McGraw Hill.
- Langley, C. J., Novack, R. A., Gibson, B., & Coyle, J. J. (2020). *Supply chain management: a logistics perspective*. Cengage Learning.
- Lara, P., Sánchez, M., Herrera, A., Valdivieso, K., & Villalobos, J. (2019, May). Modeling reverse logistics networks: A case study for e-waste management policy. In *International Conference on Advanced Information Systems Engineering* (pp. 158-169). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-21297-1_14
- Lechner, G., & Reimann, M. (2020). Integrated decision-making in reverse logistics: an optimisation of interacting acquisition, grading and disposition processes. *International Journal of Production Research*, 58(19), 5786-5805. <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1659518>
- Lin, J., Li, X., Zhao, Y., Chen, W., & Wang, M. (2023). Design a reverse logistics network for end-of-life power batteries: A case study of Chengdu in China. *Sustainable Cities and Society*, 98, 104807. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104807>

- Llerena-Riascos, C., Jaén, S., Montoya-Torres, J. R., & Villegas, J. G. (2021). An optimization-based system dynamics simulation for sustainable policy design in weee management systems. *Sustainability*, *13*(20), 11377.
- Lozares Colina, C., & López-Roldán, P. (1991). El análisis multivariado: definición, criterios y clasificación. *Papers*, (37), 9-29. <https://doi.org/10.5565/rev/papers/v37n0.1594>
- Madaki, M. Y., Lehberger, M., Bavorova, M., Igbasan, B. T., & Kächele, H. (2024). Effectiveness of pesticide stakeholders' information on pesticide handling knowledge and behaviour of smallholder farmers in Ogun State, Nigeria. *Environment, Development and Sustainability*, 1-20. <https://doi.org/10.1007/s10668-023-03332-8>
- Marnasidis, S., Stamatelatu, K., Verikouki, E., & Kazantzis, K. (2018). Assessment of the generation of empty pesticide containers in agricultural areas. *Journal of environmental management*, *224*, 37-48. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.07.012>
- Martínez-Guido, S. I., Bernabé-Martínez, R., Gutiérrez-Antonio, C., & Hernández, S. (2023). Supply chain optimal planning for revalorization of empty plastic pesticide and fertilizer containers. In *Computer Aided Chemical Engineering* (Vol. 52, pp. 3301-3306). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-15274-0.50526-6>
- Martinazzo, R., Muller, C. A., Teixeira, L. C., Stumpf, L., Antunes, W. R., Metz, L. E. G., ... & Silveira, C. A. P. (2023). Leather-based fertilizers from Personal Protective Equipment (PPE) reverse logistics: Technical efficiency and environmental safety. *Resources, Conservation & Recycling Advances*, *18*, 200153. <https://doi.org/10.1016/j.rcradv.2023.200153>

- Martínez, J. P., Mathiyazhagan, K., Solanilla, J. A., & Morales, J. G. (2021). Proposal to Characterize a Reverse Logistics Network for the Tetra Pak Package in the Municipality of Armenia, Quindío. In *Proceedings of the International Congress of Industrial Engineering (ICIE2019) Engineering Paradigm of Change 5* (pp. 3-10). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-49370-7_1
- Marsola, K. B., Oliveira, A. L. R. D., & Neto, B. (2022). Life Cycle Assessment of reverse logistics of empty pesticide containers in Brazil: assessment of current and previous management practices. *Production*, 32. <https://doi.org/10.1590/0103-6513.20210105>
- Mengistu, D. A., Geremew, A., & Tessema, R. A. (2024). Pesticide safety practice and its public health risk in African regions: systematic review and meta-analysis. *BMC Public Health*, 24(1), 1-14. <https://doi.org/10.1186/s12889-024-19764-4>
- Ministerio de Agricultura. (2022, 25 de febrero). *Así afecta al campo colombiano la guerra entre Rusia y Ucrania*. <https://www.agronet.gov.co/Noticias/Paginas/As%C3%AD-afecta-al-campo-colombiano-la-guerra-entre-Rusia-y-Ucrania.aspx>
- Mohafrash, S. M., & Mossa, A. T. H. (2024). Disposal of expired empty containers and waste from pesticides. *Egyptian Journal of Chemistry*, 67(4), 65-85. <https://doi.org/10.21608/ejchem.2023.222647.8249>
- Mollenkopf, D. A. (2010, 29 de octubre). *Reverse logistics—effective returns management in an integrated supply chain*. https://www.scmr.com/article/effective_returns_management_in_an_integrated_supply_chain
- Mora, L. A. (2016). *Gestión logística integral*. (2ª ed.). Ecoe Ediciones.

Morello, L., Oliveira, S. V. D., Oliveira, K. S. D., Silva, B. F. D., Siegloch, A. E., & Agostinetto,

L. (2019). Disposal of pesticide wastes in apple orchards in the south of Brazil and its compliance with current legislation. *Journal of Agricultural Science*, 11(10), 140.

<https://doi.org/10.5539/jas.v11n10p140>

Muñoz-Valencia, A. L., Franco-Cano, C. A., Triviño-Arbeláez, H. F., & Álvarez-León, R.

(2017). Assessment of hazardous waste management (respel) and its implications for sustainable development of productive activities in five municipalities of the department of Quindío, Colombia. *Luna Azul*, (44), 334-347.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2020).

Eliminación de grandes cantidades de plaguicidas en desuso en los países en desarrollo: directrices provisionales. FAO.

Organización Internacional de Normalización (ISO). (2019). *ISO 14090:2019(es), Adaptación al cambio climático—Principios, requisitos y directrices*.

<https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14090:ed-1:v1:es>

Panjeh Fouladgaran, H., & Lim, S. F. (2020). Reverse logistics risk management: identification, clustering and risk mitigation strategies. *Management Decision*, 58(7), 1449-1474.

<https://researchonline.ljmu.ac.uk/id/eprint/12615/3/Reverse%20Logistics%20Risk%20Management%20Identification,%20Clustering,%20and%20Risk%20Mitigation%20Strategies.pdf>

Paul, J., & Criado, A. R. (2020). The art of writing literature review: What do we know and what do we need to know?. *International Business Review*, 29(4), 101717.

<https://doi.org/10.1016/j.ibusrev.2020.101717>

Peña-Montoya, C. C., Bouzon, M., Torres-Lozada, P., & Vidal-Holguin, C. J. (2020).

Assessment of maturity of reverse logistics as a strategy to sustainable solid waste management. *Waste Management & Research*, 38(1_suppl), 65-76.

<https://doi.org/10.1177/0734242X19897131>

Picuno, C., Godosi, Z., Kuchta, K., & Picuno, P. (2019). Agrochemical plastic packaging waste decontamination for recycling: Pilot tests in Italy. *Journal of agricultural*

engineering, 50(2), 99-104. <https://doi.org/10.4081/jae.2019.958>.

Rajabi-Kafshgar, A., Gholian-Jouybari, F., Seyedi, I., & Hajiaghahi-Keshteli, M. (2023).

Utilizing hybrid metaheuristic approach to design an agricultural closed-loop supply chain network. *Expert Systems with Applications*, 217, 119504.

<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.119504>

Raza, A., Naqvi, S. A. A., Mehdi, M. A., Usman, M., Ali, S., Shah, A. A., & Hussain, B. (2022).

An analysis of the circular economy practices of pesticide container waste in Pakistan. *Recycling*, 8(1), 4. <https://doi.org/10.3390/recycling8010004>

Rodrigues, M. A., Lopes, J. B., & Silva, E. A. D. (2021). Management of agricultural pesticide packaging in the Piauí Cerrado. *Ambiente & Sociedade*, 24. <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc20200071r1vu2021L4AO>

Rogers, D. S., & Tibben-Lembke, R. (2001). An examination of reverse logistics practices.

Journal of Business Logistics, 22(2), 129-148. <https://doi.org/10.1002/j.2158-1592.2001.tb00007.x>

Rogers, D. S., Melamed, B., & Lembke, R. S. (2012). Modeling and analysis of reverse logistics.

Journal of Business Logistics, 33(2), 107-117. <https://doi.org/10.1111/j.0000-0000.2012.01043.x>

Rogers, D.S. & Tibben-Lembke, R.S. (1999). *Going backwards. reverse logistics trends and practice*. Reverse Logistics Executive Council

Salehi-Amiri, A., Zahedi, A., Akbapour, N., & Hajiaghaei-Keshteli, M. (2021). Designing a sustainable closed-loop supply chain network for walnut industry. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 141, 110821. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110821>

Sarria-Cruz, D., Álvarez-López, F. A., Lima-Rivera, C., & Osorio-Gómez, J. C. (2021). Operational Risks Management in the Reverse Logistics of Lead-Acid Batteries. In *New Perspectives on Enterprise Decision-Making Applying Artificial Intelligence Techniques* (pp. 289-307). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-71115-3_13

Silva, J. D. (2017). Diseño de una red de logística inversa: caso de estudio Usochicamocha - Boyacá. *Ingeniería y Ciencia*, 13(26), 91-113. <https://doi.org/10.17230/ingciencia.13.26.4>

Sharafi, K., Pirsahab, M., Maleki, S., Arfaeinia, H., Karimyan, K., Moradi, M., & Safari, Y. (2018). Knowledge, attitude and practices of farmers about pesticide use, risks, and wastes; a cross-sectional study (Kermanshah, Iran). *Science of the total environment*, 645, 509-517. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.132>

Sooriyaarachchi, P. (2019). Identifying Farmers' Practices on Disposal of Empty Agrochemical Containers: A Case Study on Container Management Program of CropLife Sri Lanka-2017. *Agricultural Extension Journal*.

Sosan, M. B., Oladepo, O. W., & Ajibade, T. S. (2020). Assessment of Pesticide Wastes Disposal Practices by Cocoa Farmers in Southwestern Nigeria. *The Journal of Solid Waste Technology and Management*, 46(2), 230-238. <https://doi.org/10.5276/JSWTM/2020.230>

Stock, J. (1992). *Reverse logistics: white paper*. Council of Logistics Management, Oak Brook.

Stock, J. R., & Lambert, D. M. (2001). *Strategic logistics management* (Vol. 4). Boston, MA: McGraw-Hill/Irwin.

Sumrit, D., & Keeratibhubordee, J. (2025). Risk Assessment Framework for Reverse Logistics in Waste Plastic Recycle Industry: A Hybrid Approach Incorporating FMEA Decision Model with AHP-LOPCOW-ARAS Under Trapezoidal Fuzzy Set. *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, 42-81.

<https://doi.org/10.31181/dmame812025984>

Thalia, O. B., Gustavo, G., & Gonzalo, A. (2023, September). Design of a Generic Simulation Model of Direct and Reverse Logistics of PET Plastic Focused to Mitigation of Negative Impacts on Retailers. In *World Conference on Information Systems for Business Management* (pp. 413-424). Singapore: Springer Nature Singapore.

https://doi.org/10.1007/978-981-99-8349-0_32

Thierry, M., Salomon, M., Van Nunen, J., & Van Wassenhove, L. (1995). Strategic issues in product recovery management. *California Management Review*, 37(2), 114-136.

<https://repub.eur.nl/pub/19888/StrategicIssues.pdf>

Wang, C. N., Dang, T. T., & Nguyen, N. A. T. (2021). Outsourcing reverse logistics for e-commerce retailers: A two-stage fuzzy optimization approach. *Axioms*, 10(1), 34.

<https://doi.org/10.3390/axioms10010034>

Wang, J., Cevik, M., Amin, S. H., & Parsaee, A. A. (2021). Mixed-integer linear programming models for the paint waste management problem. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 151, 102343.

<https://doi.org/10.1016/j.tre.2021.102343>

- Wang, J. J., Chen, H., Rogers, D. S., Ellram, L. M., & Grawe, S. J. (2017). A bibliometric analysis of reverse logistics research (1992-2015) and opportunities for future research. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 47(8), 666-687. <https://doi.org/10.1108/IJPDLM-10-2016-0299>
- Wilson, M., & Goffnett, S. (2022). Reverse logistics: Understanding end-of-life product management. *Business Horizons*, 65(5), 643-655. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2021.10.005>
- Xu, X., Zhang, Z., Kuang, Y., Li, C., Sun, M., Zhang, L., & Chang, D. (2021). Waste pesticide bottles disposal in rural China: Policy constraints and smallholder farmers' behavior. *Journal of Cleaner Production*, 316, 128385. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128385>
- Yawson, D. O. (2022). Pesticide use culture among food crop farmers: Implications for subtle exposure and management in Barbados. *Agriculture*, 12(2), 288. <https://doi.org/10.3390/agriculture12020288>
- Yongsheng, Z., & Shouyang, W. (2008). Generic model of reverse logistics network design. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 8(3), 71-78. [https://doi.org/10.1016/S1570-6672\(08\)60025-2](https://doi.org/10.1016/S1570-6672(08)60025-2)

Anexo 1. Encuesta actores de participación



Acreditada
en Alta Calidad

Res. nº. 29499 del Mineducación.
29/12/17 vigencia 28/12/21



ENCUESTA ACTORES DE PARTICIPACIÓN PROCESO DE RECOLECCIÓN Y DISPOSICIÓN DE ENVASES Y EMPAQUES VACÍOS DE PLAGUICIDAS EN EL DEPARTAMENTO DE BOYACÁ

INVESTIGACIÓN: Modelo logístico integral para envases y empaques vacíos de plaguicidas en el departamento de Boyacá

Con la siguiente encuesta se desea conocer la percepción de diferentes actores sobre el proceso de recolección y disposición de envases y empaques vacíos de plaguicidas que se realiza actualmente en el departamento de Boyacá. Por este motivo se pide cordialmente que conteste el siguiente cuestionario. La información suministrada estará regida por las consideraciones éticas pertinentes y tendrá un uso exclusivo de carácter académico. De antemano agradecemos su colaboración.

1. Tipo de participante

1 Fabricante y/o importador 2 Comercializador 3 Agricultor

2. Municipio: _____

3. Provincia

1 Centro 2 Gutiérrez 3 La Libertad 4 Lengupa 5 Márquez 6 Neira
 7 Norte 8 Occidente 9 Oriente 10 Ricaurte 11 Sugamuxi 12 Tundama 13 Valderrama

4. Edad (años): _____

5. Género

1 Masculino 2 Femenino

6. Nivel de Educación

1 Primaria 2 Secundaria 3 Técnico 4 Tecnólogo 5 Pregrado 6 Posgrado

En las siguientes preguntas colocar al frente de cada una de ellas una calificación de 1 al 10 siendo 1 la calificación más baja y 10 la calificación más alta.

PREGUNTA	CALIFICACIÓN
¿En qué grado considera que en el proceso actual se realiza verificación y control del triple lavado e inutilización de los envases vacíos de plaguicidas? (V1)	
¿En qué grado considera que los sistemas de información actual ayudan para el proceso de recolección y disposición? (V2)	
¿En qué grado considera que los tiempos entre cada jornada de recolección aportan a la gestión correcta de los residuos? (V3)	
¿En qué grado considera que los centros de disposición actuales son adecuados para la correcta recolección de los envases y empaques vacíos de plaguicidas? (V4)	
¿En qué grado considera que las condiciones actuales del proceso de recolección incentivan a los participantes a la devolución correcta de los envases y empaques vacíos de plaguicidas? (V5)	
¿En qué grado considera que la disposición final actual es la correcta para los envases y empaques vacíos de plaguicidas? (V6)	
¿En qué grado considera que la entrega correcta de envases y empaques vacíos de plaguicidas ayuda a reciclarlos y generar un beneficio social? (V7)	
¿En qué grado considera que existen incentivos para los comercializadores y agricultores en el proceso de recolección y disposición final de los residuos de plaguicidas? (V8)	
¿En qué grado considera que el proceso actual cuenta con un respaldo financiero para su correcta aplicación? (V9)	
¿En qué grado considera que la gestión y proceso que realiza la empresa de recolección actual es eficiente? (V10)	
¿En qué grado considera que entidades como Corpoboyacá, el gobierno o autoridades ambientales apoyan al proceso de recolección y disposición de residuos de plaguicidas? (V11)	

Anexo 2. Resultados validación modelo

Datos

MUNICIPIO	PROVINCIA	EDAD	GÉNERO	NIVEL DE EDUCACIÓN	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11
Toca	Centro	36	Masculino	Secundaria	1	3	2	3	2	1	0	5	5	2	3
Soracá	Centro	28	Femenino	Pregrado	7	2	2	2	2	5	0	6	5	2	1
Sachica	Ricaurte	42	Femenino	Secundaria	3	5	5	3	2	6	7	4	5	7	1
Sachica	Ricaurte	52	Masculino	Primaria	3	5	6	6	5	4	6	6	3	6	3
Tunja	Centro	40	Masculino	Pregrado	3	2	2	3	2	2	0	7	4	2	1
TUNJA	Centro	41	Femenino	Pregrado	1	1	3	4	4	4	0	4	5	5	5
Cota	No aplica	54	Masculino	Tecnólogo	6	7	7	6	6	7	6	6	5	6	5
BOGOTÁ	No aplica	51	Masculino	Pregrado	4	5	6	8	7	7	0	7	7	8	8
Cali	No aplica	41	Masculino	Posgrado	6	7	6	8	8	7	7	6	7	7	4

Calculo factores

AGRICULTOR 3	COMERCIALIZADOR 1	COMERCIALIZADOR 2	COMERCIALIZADOR 3	FABRICANTE 1	FABRICANTE 2	FABRICANTE 3
3	3	3	1	6	4	6
5	5	2	1	7	5	7
4	4	2,5	1	6,5	4,5	6,5
5	6	2	3	7	6	6
3	6	3	4	6	8	8
4	6	2,5	3,5	6,5	7	7
2	5	2	4	6	7	8
6	4	2	4	7	7	7
7	6	10	10	6	10	7
5,00	5,00	4,67	6,00	6,33	8,00	7,33
4	6	7	4	6	7	6
5	3	4	5	5	7	7
7	6	2	5	6	8	7

1	3	1	5	5	8	4
4,25	4,5	3,5	4,75	5,5	7,5	6
4,31	4,88	3,29	3,81	6,21	6,75	6,71

Modelo agricultores

Diagnóstico Vs Factores	F1. TRANSPORTE	F2. ALMACENAJE	F3. DISPOSICIÓN FINAL	F4. SATISFACCIÓN DEL CLIENTE	SUBJETIVA	MODELO GENERADO
Agricultor 1	2	2,5	4,33	3,75	3,1	2,9
Agricultor 2	4,5	2	5,67	3,5	3,9	3,8
Agricultor 3	4	4	5,00	4,25	4,3	4,3
	3,5	2,8	5,0	3,8		

MODELO GENERADO

	F1. TRANSPORTE	F2. ALMACENAJE	F3. DISPOSICIÓN FINAL	F4. SATISFACCIÓN DEL CLIENTE	Índice Total
Agricultor 1	2,0	2,5	3,2	3,7	2,9
Agricultor 2	4,5	2,0	4,9	3,5	3,8
Agricultor 3	4,0	4,0	4,7	4,4	4,3
	3,5	2,8	4,2	3,9	

Modelo comercializadores

Diagnóstico Vs Factores	F1. TRANSPORTE	F2. ALMACENAJE	F3. DISPOSICIÓN FINAL	F4. SATISFACCIÓN DEL CLIENTE	SUBJETIVA	MODELO GENERADO
Comercializador 1	4	6	5,00	4,5	4,9	4,8
Comercializador 2	2,5	2,5	4,67	3,5	3,3	2,7

Comercializa dor 3	1	3,5	6,00	4,75	3,8	3,6
	2,5	4,0	5,2	4,3		

MODELO GENERADO

	F1. TRANSPORTE	F2. ALMACENAJE	F3. DISPOSICIÓN FINAL	F4. SATISFACCIÓN DEL CLIENTE	Índice Total
Comercializa dor 1	4,0	6,0	4,6	4,3	4,8
Comercializa dor 2	2,5	2,5	2,7	3,1	2,7
Comercializa dor 3	1,0	3,5	4,5	4,8	3,6
	2,5	4,0	4,0	4,1	

Modelo fabricantes

Diagnóstico Vs Factores	F1. TRANSPORTE	F2. ALMACENAJE	F3. DISPOSICIÓN FINAL	F4. SATISFACCIÓN DEL CLIENTE	SUBJETIVO	MODELO GENERADO
Fabricante 1	6,5	6,5	6,33	5,5	6,2	6,2
Fabricante 2	4,5	7	8,00	7,5	6,8	6,6
Fabricante 3	6,5	7	7,33	6	6,7	6,7
	5,8	6,8	7,2	6,3		

MODELO GENERADO

	F1. TRANSPORTE	F2. ALMACENAJE	F3. DISPOSICIÓN FINAL	F4. SATISFACCIÓN DEL CLIENTE	Índice Total
Fabricante 1	6,5	6,5	6,5	5,6	6,2
Fabricante 2	4,5	7,0	7,1	7,4	6,6
Fabricante 3	6,5	7,0	7,5	6,3	6,7
	5,8	6,8	7,0	6,4	

Modelo general

Diagnóstico Vs Factores	F1. TRANSPORTE	F2. ALMACENAJE	F3. DISPOSICIÓN FINAL	F4. SATISFACCIÓN DEL CLIENTE	SUBJETIVO	MODELO GENERAL
Agricultor 1	2	2,5	4,33	3,75	3,1	2,8
Agricultor 2	4,5	2	5,67	3,5	3,9	3,6
Agricultor 3	4	4	5,00	4,25	4,3	4,2
Comercializador 1	4	6	5,00	4,5	4,9	4,8
Comercializador 2	2,5	2,5	4,67	3,5	3,3	2,9
Comercializador 3	1	3,5	6,00	4,75	3,8	3,3
Fabricante 1	6,5	6,5	6,33	5,5	6,2	6,2
Fabricante 2	4,5	7	8,00	7,5	6,8	6,6
Fabricante 3	6,5	7	7,33	6	6,7	6,7
	3,9	4,6	5,8	4,8		

MODELO GENERADO

	F1. TRANSPORTE	F2. ALMACENAJE	F3. DISPOSICIÓN FINAL	F4. SATISFACCIÓN DEL CLIENTE	Índice Total
Agricultor 1	2,0	2,5	2,8	3,7	2,8
Agricultor 2	4,5	2,0	4,5	3,5	3,6
Agricultor 3	4,0	4,0	4,5	4,4	4,2
Comercializador 1	4,0	6,0	4,7	4,5	4,8
Comercializador 2	2,5	2,5	3,2	3,5	2,9
Comercializador 3	1,0	3,5	4,9	3,7	3,3
Fabricante 1	6,5	6,5	6,4	5,5	6,2
Fabricante 2	4,5	7,0	7,4	7,5	6,6
Fabricante 3	6,5	7,0	7,4	6,1	6,7
	3,9	4,6	5,1	4,7	