

Artículo No. 05: Sierra, P., et al (2016). Diseño de un modelo de recolección de residuos de plaguicidas para una unidad de riego del distrito Usochicamocha- Boyacá. *Semilleros*, 3 (5), 49-60.

Diseño de un modelo de recolección de residuos de plaguicidas para una unidad de riego del distrito Usochicamocha- Boyacá.

Design of a model of pesticide waste collection unit for irrigation district

Usochicamocha Boyacá

Sierra Molina Paula¹, Sanabria Becerra Yurani²,
Rincon Amezcuita Jonathan³, Silva Rodríguez Julián⁴

Resumen. Este artículo tiene como objetivo presentar un estudio de caso de la unidad San Rafael del Distrito de riego USOCHICAMOCHA ubicado en Duitama, Boyacá, Colombia. Actualmente dicha unidad presenta problemas como el de no contar con una herramienta para determinar la eficiencia y eficacia del proceso de recolección, la no devolución de los envases y empaque vacíos de plaguicidas y el tratamiento inadecuado de los mismos. Debido a lo anterior en la presente investigación se diseñó un modelo de programación lineal que permite conocer las cantidades óptimas a recolectar de los residuos de plaguicidas en cada una de las fincas generadoras de dicha unidad, para ello en primera instancia se recolectó información de las actividades de siembra y procesos de recolección que se llevan a cabo, posteriormente se construyó el modelo matemático incluyendo las restricciones que intervienen, luego se le dio solución y se validó. El modelo determinó que las cantidades óptimas de recolección de los residuos de plaguicidas varían dependiendo el periodo y tipo de residuo en cada una de las fincas, dando datos aproximados al sistema real, por tanto, se concluye que el modelo sirve como herramienta base para planificar y evaluar las jornadas de recolección.

Palabras clave: *Logística Inversa, Investigación de Operaciones, residuos.*

Abstract. This article must as objective present a study of case of the unit San Rafael of the District of irrigation USOCHICAMOCHA located in Duitama, Boyacá, Colombia. At the moment this unit presents problems like the one of not counting on a tool to determine the efficiency and effectiveness of the harvesting process, the nonreturn of the empty packages and packing of plaguicidas and the inadequate treatment of such. Due to the previous thing in the present investigation a model of linear programming was designed that allows to know the amounts optimal to collect of the remainders of plaguicidas in each one of the generating property of this unit, for it in first instance I collect information of the sowing activities and harvesting processes that are carried out, later the mathematical model including the restrictions was constructed which they take part, soon occurred solution him and it was validated. The model I determine that the optimal amounts of harvesting of the remainders of plaguicidas vary depending the period and type of remainder in each one on the property, giving data approximated to the real system, therefore, one concludes that the model serves as tool bases to plan and to evaluate the harvesting days.

Key Words: *Reverse Logistics, Operations Research, waste.*

¹Universidad de Boyacá. Facultad de Ciencias e Ingeniería. Programa Ingeniería Industrial, Tunja, Colombia, Tunja, Colombia. pdsierra@uniboyaca.edu.co

² Universidad de Boyacá. Facultad de Ciencias e Ingeniería. Programa Ingeniería Industrial, Tunja, Colombia, Tunja, Colombia. ylsanabria@uniboyaca.edu.co

³Universidad de Boyacá. Facultad de Ciencias e Ingeniería. Programa Ingeniería Industrial, Tunja, Colombia, Tunja, Colombia. jerincon@uniboyaca.edu.co

⁴ Universidad de Boyacá. Facultad de Ciencias e Ingeniería. Programa Ingeniería Industrial, Tunja, Colombia, Tunja, Colombia. jdsilva@uniboyaca.edu.co

INTRODUCCIÓN

Actualmente las empresas han venido desarrollando e implementando sistemas de Logística Inversa (LI), ya que según Lopez, Santos, Sevegnani, Berkenbrock y Serra (2012) la práctica de la LI puede traer resultados importantes en términos de beneficios técnicos, económicos y ambientales para las organizaciones. Varios actores han centrado sus investigaciones con el fin de lograr una definición de LI. La más utilizada es la propuesta por Rogers (2007) en el Reverse Logistics Executive Council, la cual es definida como “El proceso de planificación, ejecución y control eficiente y rentable del flujo de 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 realizar una correcta eliminación”.

Debido a lo anterior, autores como Srivastava (2008), Carotenuto, Giordani, Ricciardelli y Rismondo (2007), Tuzkaya, Gülsün y Önsel (2007), Alumur y Kara (2007), Li y Tee (2012), Verma y Verter (2010), han adelantado investigaciones con el fin de dar una visión detallada sobre los problemas y aplicaciones asociados con LI y asimismo dar una base sobre las estructuras y sistemas existentes en la literatura.

Por otra parte, las empresas han venido priorizando el bienestar del medio ambiente, adoptando sistemas de sostenibilidad social, como por ejemplo el proceso de recolección y disposición de envases y empaques vacíos de plaguicidas, el cual se puede considerar como un sistema de LI.

La eliminación o retorno de estos envases y empaques vacíos de plaguicidas son esenciales para el bienestar de las personas y el desarrollo sostenible no sólo a nivel local y regional, sino a nivel

mundial, ya que poseen contaminantes altamente tóxicos que pueden causar daños por la propagación en el medio ambiente (Boldrin et. al, 2007), por esa razón, diversos autores, entre ellos, Damalas, Telidis y Thanos (2008), Haylamicheal y Dalvie (2009) y Veiga (2009) han desarrollado sus investigaciones con el objetivo de estudiar y observar las practicas más comunes realizadas por los generadores de residuos de plaguicidas en cuanto a su tratamiento y disposición final.

A nivel mundial se encuentran organizaciones como la World Health Organization (2008) que rige el código internacional de conducta sobre la distribución y utilización de plaguicidas, en el cual se encuentra un apartado de eliminación y reciclaje adecuado utilizando diversos procesos para los distintos tipos de empaques de plaguicidas que existen. Según Albert (2005) países como EE.UU y México son muy estrictos en cuanto al tema de la eliminación adecuada de estos tipos de envases, puesto que por medio de investigaciones han encontrado el impacto negativo al medio ambiente y las consecuencias a largo plazo para agricultores que conservan estos envases. En Colombia, el Decreto 4741 de 2005, expedido por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, regula la clasificación y previene el manejo de los residuos peligrosos, donde expone que los envases de plaguicidas se encuentran catalogados dentro de éstos y que, además, dichos residuos se deben eliminar de forma segura.

Dadas estas consideraciones, este artículo presenta los resultados de una investigación desarrollada en la unidad de riego San Rafael del Distrito USOCHICAMOCHA-Boyacá, donde

actualmente se presentan dificultades como el tratamiento inadecuado y la no devolución de los residuos de plaguicidas, así como inconvenientes en lo que se refiere a metodologías o herramientas que permitan optimizar sus procesos de recolección de envases y empaques vacíos de plaguicidas.

En consecuencia, se diseñó un modelo de programación lineal que permite determinar las cantidades óptimas a recolectar en cada una de las fincas generadoras de la unidad bajo estudio, con el propósito de reducir el costo de transporte y la cantidad de envases y empaques vacíos de plaguicidas en las fincas, dado que en muchos casos donde se da la falta de jornadas de recolección, los agricultores optan por eliminar estos residuos por sus propios medios, causando un impacto negativo al medio ambiente, animales y a ellos mismos.

Debido a ello en primera instancia se efectuó una recolección de información referente a las actividades de siembra y usos de plaguicidas en la zona bajo estudio, posteriormente a través de observación directa se caracterizó el proceso y se identificó las variables que intervienen para la construcción del modelo, donde a continuación se solucionó a través de un software especializado y por último se realizó su validación teórica.

El presente artículo se estructura de la siguiente manera: En la sección dos se muestra la estructura metodológica, donde se describe cada una de las fases que se llevó a cabo para la investigación. Luego la sección tres presenta los resultados principales de la investigación. Finalmente, en la sección cuatro se muestran las conclusiones obtenidas al final de la investigación.

METODOLOGÍA

La investigación maneja un enfoque netamente cuantitativo puesto que requiere del planteamiento y diseño de un modelo matemático utilizando un enfoque de LI, así mismo la investigación será de tipo aplicada y específicamente un estudio de caso siguiendo los lineamientos de Yin (1994).

La investigación tendrá dos niveles de alcance: En primera instancia tendrá un alcance descriptivo puesto que se llevó a cabo la identificación de las zonas de mayor generación de residuos de plaguicidas y asimismo se realizó un diagnóstico sobre el proceso de recolección y acopio de residuos de plaguicidas que actualmente se ejecuta en la zona bajo estudio.

Igualmente tendrá un alcance experimental, debido a que a partir del diagnóstico realizado se construyó un modelo matemático para representar el proceso de LI y realizar su respectiva validación.

En la figura 1, a través de un diagrama de flujo, se describe cada una de las actividades que se llevarán a cabo para desarrollar la investigación, allí se evidencian tanto las etapas cualitativas como las etapas cuantitativas.

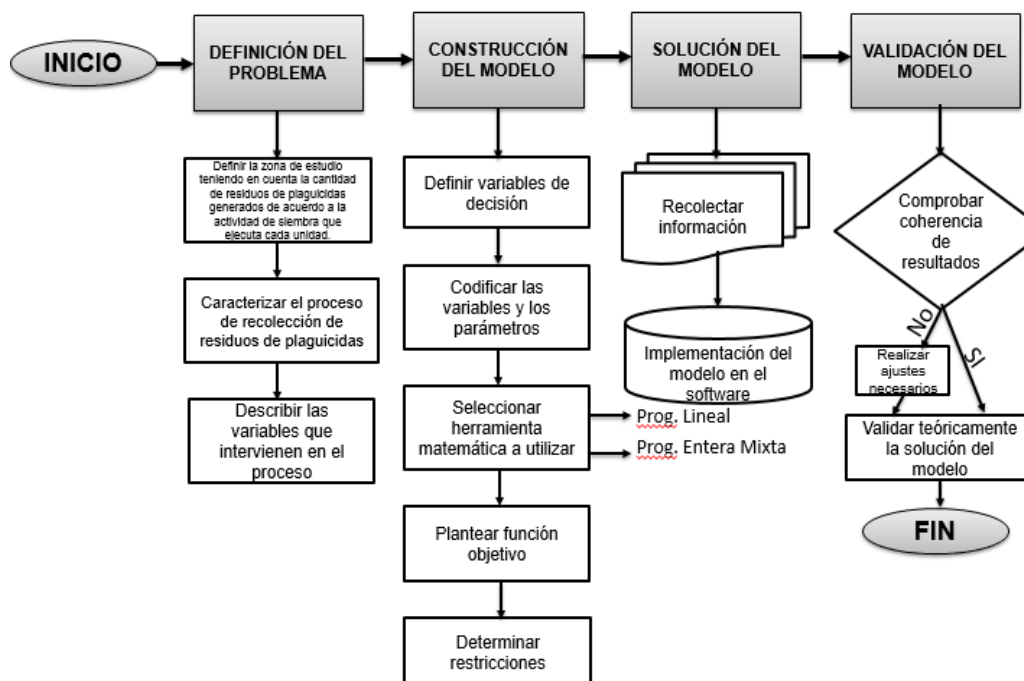


Figura 1. Estructura metodológica empleada, según Taha (2012).

Etap 1. Definición del problema. En primera instancia se llevó a cabo una recolección de información en el Distrito de riego USOCHICAMOCHA – Boyacá y en el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), referente a las actividades de siembra y usos de plaguicidas en la zona bajo estudio. Posteriormente a través de observación directa y específicamente estructurada a las jornadas de recolección de la empresa encargada, se realizó la descripción del proceso de recolección de residuos de plaguicidas por medio de un diagrama de flujo.

De igual forma se efectuó la aplicación de 33 encuestas dirigidas a los agricultores de la unidad bajo estudio por medio de un muestreo aleatorio simple, con el fin de identificar las actividades agrícolas que desarrollan y las prácticas que realizan para el tratamiento y disposición de los envases y empaques vacíos de plaguicidas. Finalmente se determinó el objetivo del modelo matemático, el cual

busca minimizar el costo total de la recolección, incluyendo costos como mano de obra, de transporte y costos directos (seguros, parqueaderos, impuestos)

Etap 2. Construcción del modelo. Una vez culminado el diagnóstico del proceso, se inició con la construcción de un modelo de programación lineal, partiendo de la determinación de las variables de decisión e identificando los parámetros que influyen en dicho modelo.

Seguidamente se planteó la función objetivo de acuerdo al propósito definido, donde luego se procedió a determinar las restricciones del modelo de acuerdo a las limitaciones del proceso de recolección y acopio de envases y empaques vacíos de plaguicidas que se presentan.

Etap 3. Solución del modelo. Para la solución se llevaron a cabo visitas de campo durante las jornadas de recolección, con el fin de recoger los datos necesarios como cantidades

generadas de envases y empaques vacíos de plaguicidas y número de predios que conforman la unidad de riego bajo estudio. Así mismo, por medio de un GPS se tomaron las coordenadas de las fincas que comprende la unidad y las del centro de acopio, para posteriormente a través de la herramienta Google Maps determinar la distancia entre el centro de acopio y cada una de las fincas generadoras, con el propósito de calcular el costo de transporte unitario por kilogramo de envase o empaque vacío de plaguicida. De igual forma, se recolectaron datos sobre la capacidad del vehículo

recolector, capacidad de centro de acopio, recursos utilizados y demás datos relevantes para la solución del modelo.

Finalmente, a través del software especializado en investigación de operaciones LINGO Versión 15, se dio solución al modelo planteado.

Etapas 4. Validación del modelo. Una vez concluida la etapa de solución se llevó a cabo una validación teórica, comprobando la coherencia de los resultados del modelo frente a las condiciones actuales del sistema real.

Resultados y Discusión

Diagnóstico del proceso

Según la información brindada por el ICA, el Distrito de riego USOCHICAMOCHA – BOYACÁ y la información recolectada a través de las encuestas realizadas a los agricultores, se logró identificar las dos actividades económicas que abarcan el Distrito, como lo son la ganadera con una utilización de 5795 hectáreas y la agrícola con la utilización total de 3356 hectáreas, lo correspondiente al 38% del total de hectáreas que comprenden el Distrito. Seguidamente se estableció que la actividad que genera mayores residuos de plaguicidas corresponde a la agrícola por la exigencia constante del producto (plaguicida), debido a su continua siembra y a la variación de los distintos tipos de cultivos en cada finca que varían de acuerdo a la temporada.

En la figura 2 puede evidenciar que la unidad de riego San Rafael posee la mayor participación en la actividad

agrícola con el 15.56% y 553,16 total de hectáreas de la agricultura de todo el Distrito de riego, así mismo la unidad de riego Surba es la que menor participación tiene en cuanto a agricultura ya que apenas cuenta con una participación del 2,22% con 79,02 hectáreas de tierra sembradas. En cuanto a la actividad ganadera la unidad Cucho es la que mayor participación tiene con el 16,36% y 948,27 hectáreas de tierra destinadas a la siembra de pastos y kikuyo para alimentar al ganado, de igual forma las unidades que menor participación tienen son las de Holanda y Tibasosa con el 3,64% y 210,73 hectáreas de tierra destinadas a esta actividad económica. A partir de ello se eligió la unidad de San Rafael como la zona que genera mayor cantidad de empaques y envases vacíos de plaguicidas, puesto que posee la mayor extensión en hectáreas de actividad agrícola.

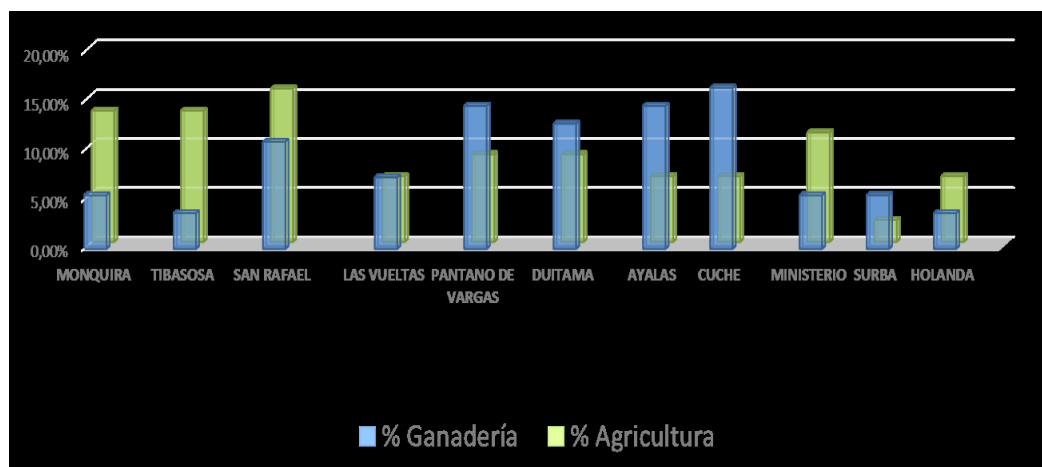


Figura 2. Porcentaje en cuanto a las hectáreas utilizados para la realización de la actividad de siembra en unidad del Distrito USOCHICAMOCHA-Boyacá

Posteriormente se asistió a las jornadas de recolección realizadas por la empresa recolectora donde se logró identificar que el proceso de recolección el cual se comprende las etapas de divulgación, recolección y

acopio. En la Figura 3, se observa el diagrama de flujo del proceso de recolección, el cual está conformado por tres fases en las cuales se describe las actividades que involucra cada una.

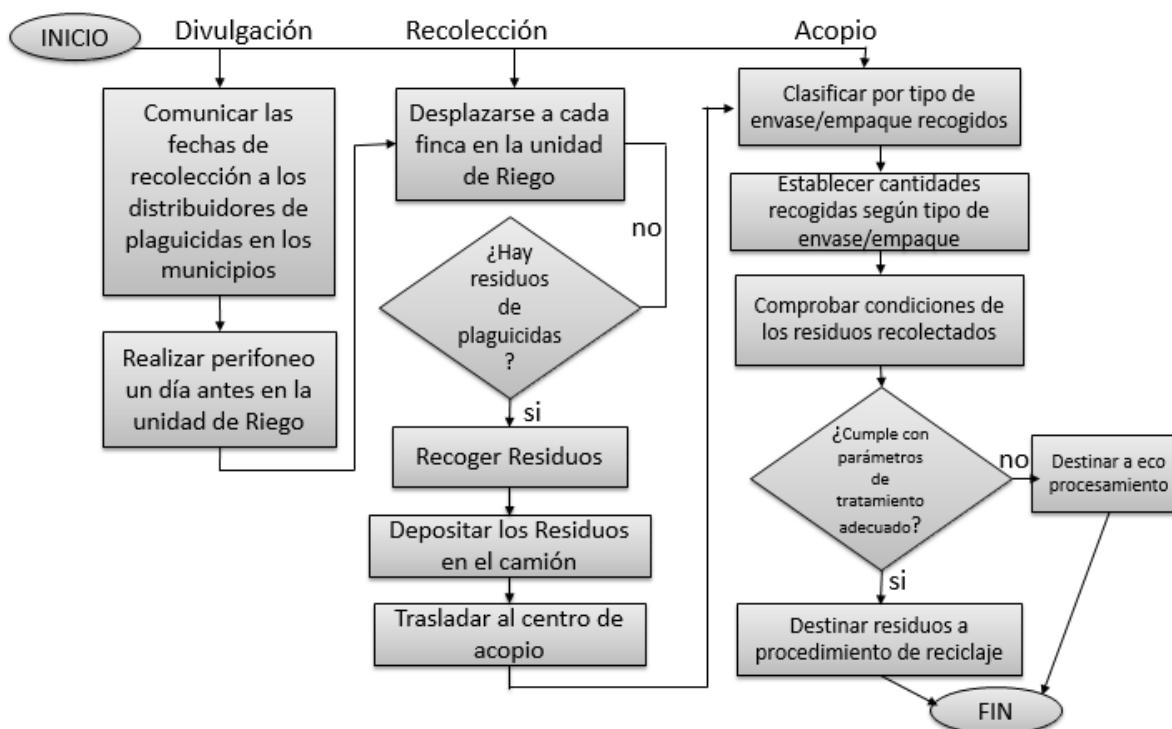


Figura 3. Diagrama de flujo del proceso de recolección.

- **Fase de divulgación:** En esta etapa inicial, el Distrito de riego en

cooperación de la empresa recolectora y las empresas distribuidoras de los municipios Duitama, Santa Rosa de Viterbo, Paipa, Nobsa, Tibasosa, Sogamoso y Firavitoba, hacen una difusión de información anticipada por medio de folletos o verbalmente donde se les comunica las fechas programadas para las jornadas, además de informarles a los agricultores el tratamiento que se le debe dar a los residuos de plaguicidas. Asimismo, se realiza perifoneo por medio del vehículo proporcionado en el Distrito, generalmente una volqueta o un camión, por las unidades de riego donde se va a ejecutar la recolección el siguiente día.

- **Fase de recolección:** Esta etapa comienza en las oficinas del Distrito de riego ubicado en la ciudad de Duitama-Boyacá, donde se asigna el vehículo recolector y el personal para ejecutar las jornadas el cual consta de dos personas (un conductor y un operario encargado de recoger los residuos), los cuales se dirigen por cada una de las fincas generadoras de la unidad bajo estudio. Una vez en finca, el operario realiza una pre-inspección de los residuos con el fin de verificar que contengan solo residuos de plaguicidas y no se encuentren otros tipos de residuos como los domésticos, además de detallar el estado en que se encuentran dichos residuos. Posteriormente el operario procede a trasladar los residuos hasta el vehículo recolector donde se comprueba la cantidad de cada tipo de residuo que entrega el agricultor, donde finalmente se diligencia un acta de entrega de residuos por parte del generador.

- **Fase de acopio:** Cuando se ha finalizado el recorrido por la totalidad de fincas que comprende la unidad, el vehículo se desplaza al centro de acopio. Una vez está en el centro de acopio, en el vehículo se realiza una clasificación por tipo de residuo (envase o empaque), para

posteriormente descargarlo y someterlo a un proceso de pesaje para establecer las cantidades recolectadas tanto de envases como de empaques vacíos de plaguicidas. Seguidamente, se verifican las condiciones en que se encuentran los residuos recaudados si cumplen con los parámetros de tratamiento. Si la verificación resulta favorable los residuos son designados a un procedimiento propio de la logística inversa como lo es el reciclaje, por el contrario, si salen desfavorables son dirigidos a eco-procesamiento.

Modelo matemático

Se desarrolló un modelo algebraico de programación lineal el cual permite determinar las cantidades óptimas en kg de empaques y envases vacíos de plaguicidas que se deben recoger en cada finca que comprende la unidad bajo estudio, con el objetivo de minimizar los costos totales que se requieren para el proceso.

A continuación, se presenta los subíndices, parámetros, variables, función objetivo y las restricciones que comprenden el modelo de transporte desarrollado.

Subíndices

i =Tipo de finca o predio $i=1,2,\dots,33$;

j =Tipo de residuo (Empaque o envase)
 $j=1, 2$;

k =Periodo en el que tiene variación la capacidad del centro de acopio $k=1,2,\dots,6$;

l =Periodo de recolección $l=1,2,\dots,6$;

Parámetros

CG_{ijl} = Cantidad generada por la finca tipo i del residuo tipo j en el periodo l (kg)

$COST_i$ = Costo de transportar un kg de residuo desde la finca tipo i al centro Acopio

CM_l = Costo de mano de obra en el periodo l

CV_l = Capacidad del vehiculo recolector en el periodo l (kg)

CAP = Capacidad inicial del centro de acopio(kg)

CF_l = Costos fijos del vehiculo recolector en el periodo l

Variables

CAP_k = Capacidad del centro de acopio en el periodo k (kg)

X_{ijl} = Cantidad del residuo tipo j a recolectar y enviar desde cada finca tipo i hasta el centro de acopio en el periodo l (kg)

Ecuaciones

[1] Ecuación de minimización de costos: Esta función busca minimizar los costos totales en los que se incurren para llevar a cabo cada jornada de recolección, teniendo en cuenta en primera instancia la sumatoria del costo de mano de obra y costos fijos del vehículo (seguro, parqueadero, impuesto, entre otros), asimismo el costo de recolectar un kilogramo de envase y empaque vacío de plaguicida desde cada finca generadora hasta el centro de acopio.

$$MIN Z = \sum_l (CM_l + CF_l) + \sum_i \sum_j \sum_l X_{ijl} * COST_i \quad [1]$$

[2] Ecuación de la restricción de cantidad mínima a recolectar: Su función principal es programar al modelo para que las cantidades que se recojan en cada periodo de recolección sean como mínimo las cantidades reales que genera cada una de fincas, puesto que se pretende garantizar que la empresa recolectora acopie todos los envases y empaques generados por la unidad.

$$X_{ijl} \geq CG_{ijl} \quad \forall ijl \quad [2]$$

[3] Ecuación de la restricción de capacidad del centro de acopio: Esta ecuación tiene como finalidad, realizar el cálculo de la capacidad que tendrá el centro de acopio, para cada uno de los periodo de recolección, la cual tendrá en cuenta la capacidad inicial del centro de acopio e ira descontando las cantidades que se recolectan en cada una de las fincas generadoras.

$$CAP_k = CAPI - \sum_i^n \sum_j^m \sum_l^k X_{ijl} \quad \forall k \quad [3]$$

[4] Ecuación de la restricción de la cantidad máxima a recolectar según la capacidad del centro de acopio: Su función es asegurar que la cantidad total de residuos de plaguicidas a recolectar en cada uno de los periodos, no puede ser superior a la capacidad que tenga el centro de acopio para almacenar los envases y empaques vacíos de plaguicidas.

$$\sum_i^n \sum_j^m \sum_l^k X_{ijl} \leq CAP_k \quad \forall k = 1 \dots 6 \quad [4]$$

[5] Ecuación de la restricción de la cantidad máxima a recolectar según la capacidad del vehículo recolector: Esta restricción establece que la cantidad de envases y empaques vacíos que se recolecten en cada periodo debe ser menor o igual a la capacidad que tenga el vehículo para transportar estos residuos.

$$\sum_i^n \sum_j^m X_{ijl} \leq CV_l \quad l = 1 \dots 6 \quad [5]$$

[6] Ecuación de no negatividad para la cantidad a recolectar: Su función es indicar que las cantidades de envases y empaques de plaguicida a recolectar en cada finca, en los diferentes periodos debe ser mayor o igual 0.

$$X_{ijl} \geq 0 \forall ijl \quad [6]$$

[7] Ecuación de no negatividad para la capacidad del centro de acopio: Esta restricción indica que la capacidad del centro de acopio en cada uno de los periodos debe ser mayor o igual a 0.

$$CAP_k \geq 0 \forall k = 1 \dots 6 \quad [7]$$

Resultados del modelo

Por medio del software especializado LINGO versión 15, se procedió a darle solución al modelo matemático anteriormente planteado, donde partiendo de la codificación de los subíndices, variables y parámetros, se llevó a cabo la programación de la sintaxis requerida para la introducción del modelo al software tal como se observa en la figura 4.

De igual forma, se hizo necesario realizar un trabajo de campo para recolectar datos reales los cuales permitieron conocer costos totales y cantidades que se generan en cada una de las 33 fincas que comprenden la unidad bajo estudio y que son consideradas generadoras activas de residuos de plaguicidas. En primer lugar, para determinar las cantidades de residuos generados en cada finca, se tomó como referencia los datos proporcionados por los agricultores en la encuesta, donde especificaban exactamente las cifras que usaban en periodos de tiempo y si al transcurso del mismo se presentaba variabilidad. Seguidamente se estimó la cantidad en kg de envases y empaques vacíos de plaguicidas por cada periodo de recolección, el cual se realiza cada dos meses.

Una vez obtenida la cantidad generada de envases y empaques vacíos de plaguicidas, se

procedió a precisar el costo de transporte de dicha cantidad al centro de acopio, para lo cual se tomó como referencia los datos proporcionados por el *Sistema de Información de Costos Eficientes para el Transporte*, donde se llevó a cabo una conversión con el fin de determinar el costo asociado por kilogramo de residuo transportado/kilómetro recorrido y posteriormente de acuerdo a las distancias calculadas, hallar finalmente el costo total de transporte desde cada finca generadora al centro de acopio. En cuanto al costo de mano de obra, por cada jornada de recolección se utilizan 2 operarios a los cuales se les paga \$40.000 c/u, para un total de \$80.000 por

```
sets:
  i/F1..F33/:COST; !Número de fincas - Contador (a);
  j/R1 R2/: !Tipo de residuo 1=Sólido (empaque) /2=Líquido(envase)-- Contador (b);
  l/P1..P6/:CM,CF,CV; !Tipo de periodo de recolección - contador (c);
  k/P1..P6/:CAP; !Tipo de periodo donde descuentan el inventario - contador (d);
  ij(i,j,l):X,CG;
  ij(i,j);
end sets

Data:
  CAPI,CG,COST,CF,CM,CV = @OLE('PARAMETROS-MODELO LI.XLSX');
  @OLE('PARAMETROS-MODELO MATEMATICO.XLSX')=X,CAP;
END DATA

MIN=@SUM(l(c):CM(c)+CF(c))+@SUM(ijl(a,b,c):X(a,b,c)*COST(a));
@FOR(ijl(a,b,c):[CANTIDAD_GENERADA]X(a,b,c)>=CG(a,b,c));
@FOR(k(d):[CAPACIDAD]CAP(d)=CAPI-(@SUM(ijl(a,b,c)|c#LE#d:X(a,b,c))));
@FOR(k(d):[CAPACIDAD_ACOPIO]@SUM(ijl(a,b,c):X(a,b,c))<=CAP(d));
@FOR(l(c):[CAPACIDAD_VEHICULO]@SUM(ij(a,b):X(a,b,c))<=CV(c));
```

periodo de recolección.

Figura 4. Estructura de sintaxis de modelo matemático

De acuerdo con los resultados obtenidos por el modelo matemático planteado y evidenciado en la tabla 1, para generar el costo mínimo durante el proceso de recolección de envases y empaques vacíos de plaguicida de la unidad San Rafael, perteneciente al Distrito de riego USOCHICAMOGA se deberá recolectar distintas cantidades en cada finca dependiendo el periodo y tipo de residuo. A partir de la solución generada, se puede afirmar que la finca 31 es la que demanda mayor cantidad de residuos de envase a

recolectar en los periodos 2, 3, 4, 5 y 6; mientras que en el caso de la finca 2, es la zona que menos genera residuos de envases y empaques en los periodos 1, 3 y 5. En general se evidencia que existe variabilidad en las

cantidades de residuos a recolectar, ya que estas dependen del tipo de cultivo, frecuencia y extensión de tierra asignada para la actividad agrícola.

Tabla 1. Cantidades a recolectar en kilogramos (kg)

CANTIDAD A RECOLECTAR (KG) DE EMPAQUES Y ENVASES VACIOS DE PLAGUICIDA POR CADA PERIODO EN CADA FINCA													
FINCA	PERIODO 1		PERIODO 2		PERIODO 3		PERIODO 4		PERIODO 5		PERIODO 6		
	EMPAQUE (KG)	ENVASE (KG)	EMPAQUE (KG)	ENVASE (KG)	EMPAQUE (KG)	ENVASE (KG)	EMPAQUE (KG)	ENVASE (KG)	EMPAQUE (KG)	ENVASE (KG)	EMPAQUE (KG)	ENVASE (KG)	
1	0,8	0,802	1,2	2,406	1,6	4,01	2	5,614	2,4	7,218	2,8	8,822	
2	0,1	0,802	0,1	0,802	0,1	0,802	0,1	0,802	0,1	0,802	0,1	0,802	
3	0,4	1,604	0,4	3,208	0,4	4,812	0,4	6,416	0,4	8,02	0,4	9,624	
4	0,8	1,203	0,8	1,203	0,8	1,203	0,8	1,203	0,8	1,203	0,8	1,203	
5	1,2	0,802	1,2	0,802	1,2	0,802	1,2	0,802	1,2	0,802	1,2	0,802	
6	3,2	6,416	4,8	9,624	6,4	12,832	8	16,04	9,6	19,248	11,2	22,456	
7	0,8	0,802	0,8	0,802	0,8	0,802	0,8	0,802	0,8	0,802	0,8	0,802	
8	0,6	0,802	1,8	2,807	3	4,812	4,2	6,817	5,4	8,822	6,6	10,827	
9	2,4	2,406	2,4	2,406	2,4	2,406	2,4	2,406	2,4	2,406	2,4	2,406	
10	1,6	2,005	1,6	2,005	1,6	2,005	1,6	2,005	1,6	2,005	1,6	2,005	
11	1,6	2,005	1,6	2,005	1,6	2,005	1,6	2,005	1,6	2,005	1,6	2,005	
12	1,6	1,604	1,6	1,604	1,6	1,604	1,6	1,604	1,6	1,604	1,6	1,604	
13	1,6	1,604	1,6	1,604	1,6	1,604	1,6	1,604	1,6	1,604	1,6	1,604	
14	1,6	9,624	1,6	19,248	1,6	28,872	1,6	38,496	1,6	48,12	1,6	57,744	
15	1,6	2,406	1,6	2,406	1,6	2,406	1,6	2,406	1,6	2,406	1,6	2,406	
16	1,2	1,604	1,2	1,604	1,2	1,604	1,2	1,604	1,2	1,604	1,2	1,604	
17	0,4	2,406	0,4	2,406	0,4	2,406	0,4	2,406	0,4	2,406	0,4	2,406	
18	0,4	2,406	0,4	2,406	0,4	2,406	0,4	2,406	0,4	2,406	0,4	2,406	
19	0,4	0,802	0,4	0,802	0,4	0,802	0,4	0,802	0,4	0,802	0,4	0,802	
20	0,264	0,79398	0,264	0,79398	0,264	0,79398	0,264	0,79398	0,264	0,79398	0,264	0,79398	
21	2	4,812	2	4,812	2	4,812	2	4,812	2	4,812	2	4,812	
22	4,8	6,416	9,6	19,248	14,4	32,08	19,2	44,912	24	57,744	28,8	70,576	
23	4,8	6,416	9,6	19,248	14,4	32,08	19,2	44,912	24	57,744	28,8	70,576	
24	0,4	3,208	0,4	3,208	0,4	3,208	0,4	3,208	0,4	3,208	0,4	3,208	
25	0,8	2,005	1,8	5,614	2,8	9,223	3,8	12,832	4,8	16,441	5,8	20,05	
26	0,8	0,802	0,8	0,802	0,8	0,802	0,8	0,802	0,8	0,802	0,8	0,802	
27	1,188	1,58796	1,188	1,58796	1,188	1,58796	1,188	1,58796	1,188	1,58796	1,188	1,58796	
28	30,4	22,456	30,4	22,456	30,4	22,456	30,4	22,456	30,4	22,456	30,4	22,456	
29	0,8	0,802	0,8	0,802	0,8	0,802	0,8	0,802	0,8	0,802	0,8	0,802	
30	2,4	5,614	2,4	5,614	2,4	5,614	2,4	5,614	2,4	5,614	2,4	5,614	
31	6,4	16,04	19,2	35,288	32	54,536	44,8	73,784	57,6	93,032	70,4	112,28	
32	0,8	1,604	0,8	1,604	0,8	1,604	0,8	1,604	0,8	1,604	0,8	1,604	
33	1,2	0,802	1,2	0,802	1,2	0,802	1,2	0,802	1,2	0,802	1,2	0,802	
TOTAL A RECOLECTAR	79,352	115,4639	105,952	182,0299	132,552	248,5959	159,152	315,1619	185,752	381,7279	212,352	448,2939	

Como se mencionaba anteriormente la capacidad del centro de acopio variará en cada uno de los periodos respecto a las cantidades que se recolectarán. En la tabla 2 se observa la capacidad del centro de acopio en cada uno de los periodos de recolección.

Tabla 2. Capacidad del centro de acopio/periodo.

PERIODO	CAPACIDAD (KG)
1	11761,50
2	11330,87
3	11039,17
4	10475,41
5	10130,50
6	9433,614

Aplicando el objetivo principal del caso el cual era minimizar los costos totales y teniendo en cuenta la optimización del proceso de recolección de los residuos de plaguicidas, el modelo arrojó un costo total de \$519.967,9. Según el análisis realizado a través de los precios sombra se estableció que por cada kilogramo adicional que se desee recolectar, el costo variaría según la finca.

En último lugar, se determinó que existe una holgura en cuanto a la capacidad tanto del centro de acopio como del vehículo que transporta los residuos. Inicialmente el centro de acopio en el periodo 1 presenta una

holgura de 9195,110 kg disminuyendo progresivamente hasta llegar al periodo 6 donde presenta una holgura de 6867,229 kg. Así mismo, con respecto a la capacidad del vehículo recolector en el periodo 1 se

presenta una holgura de 3761,496 kg disminuyendo del mismo modo hasta llegar al periodo 6 donde presenta una holgura de 3303,110 kg.

CONCLUSIÓN

A partir del diagnóstico que se le realizó al proceso de recolección de envases y empaques vacíos de plaguicidas que se ejecuta actualmente en la zona bajo estudio, se comprobaron algunas falencias las cuales contribuyen a la problemática ambiental y social que causa la mala utilización de estos residuos. En primera instancia se evidencia que el proceso de recolección es totalmente empírico, puesto que no cuenta con herramientas técnicas o de ingeniería que permitan la planeación y evaluación de eficiencia de las jornadas de recolección.

De igual forma se constató incumpliendo de la normatividad por parte de los agricultores al no realizar el tratamiento adecuado a los residuos de plaguicidas, lo cual afecta que dichos residuos no puedan ser reciclados y benefician a una comunidad. Además la empresa encargada, no ejecuta todas las jornadas de recolección según el procedimiento establecido, debido a que en ocasiones no se realizan actividades como pesaje de los residuos de plaguicidas, dando como resultados medidas aproximadas e inexactas de dichos residuos.

Sin embargo se destacan aspectos positivos evidenciados en la etapa de divulgación, donde se realiza una cobertura de la totalidad de los actores de participación que intervienen en las jornadas de recolección. Igualmente, en la etapa de recolección sobresale el

cubrimiento total de las fincas que generan residuos de plaguicidas en la unidad San Rafael y en general el emprendimiento y disposición tanto de la empresa recolectora como del distrito de riego, con la finalidad de generar estrategias para la sensibilización en cuanto a la devolución de los residuos, así como la adopción de mecanismos para la correcta disposición de los envases y empaques vacíos de plaguicidas.

Partiendo del diagnóstico ejecutado y teniendo en cuenta la información pertinente que se recolectó a través de la investigación, se realizó un modelo matemático el cual contiene todas las restricciones que intervienen en el proceso existente, y por ende representa las condiciones actuales del sistema real. Por otro lado, a partir del análisis de las holguras que presenta el proceso se recomienda al distrito disminuir la capacidad del centro de acopio y del vehículo recolector, ya que de esta manera se podría reducir gastos en los que en la actualidad se están incurriendo innecesariamente.

Por tanto, se concluye que el modelo matemático diseñado puede servir como una herramienta de medición que le permita al distrito y a la empresa recolectora tener una aproximación de la eficiencia real del proceso, del mismo

modo se obtiene una base para realizar planificaciones y evaluaciones en cuanto

a falencias detectadas en la unidad de riego.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Albert, L. (2005). Panorama de los plaguicidas en México. *Revista Toxicología en Línea (retel)* No, 8
- [2] Alumur, S. & Kara B. (2007). A new model for the hazardous waste location - routing problem. *Computers & Operations Research*. 34(5), 1406-1423
- [3] Boldrin, V., Trevizan, E., Barbieri, J., Hirose, F., Márcio, A., Silva, T., & Marinalva da (2007). A gestão ambiental e a logística reversa no processo de retorno de embalagens de agrotóxicos vazias. *Revista de Administração e Inovação revista de administração e inovação*, 4(2), 29-48.
- [4] Carotenuto, P., Giordani, S., Ricciardelli S., & Rismondo S. (2007). A tabu search approach for scheduling hazmat shipments. *Computers & Operations Research*. 34(5), 1328-1350
- [5] Código internacional de conducta sobre la distribución y utilización de plaguicidas, World Health Organization, 2008.
- [6] Colombia. Decreto 4741/ 2005, Diario Oficial de la república, 30 de diciembre de 2005, Núm. 46137.
- [7] Damalas, C., Telidis, G. & Thanos S. (2008). Assessing farmers' practices on disposal of pesticide waste after use. *Science of the Total Environment*. 390(2), 341-345.
- [8] DISTRITO DE RIEGO USOCHICAMOCHA. Somos más que riego. Colombia. Vol. 2. P. 3.
- [9] Haylamicheal, I. & Dalvie, M. (2009). Disposal of obsolete pesticides, the case of Ethiopia. *Environment International*. 35(3), 667-673.
- [10] Li, R., Tee, J. (2012). A reverse Logistics Model for Recovery Options Of E- waste Considering the Integration of the Formal and Informal Waste Sectors. *Procedia*. 36(5), 9299-9307.
- [11] Lopez, D., Santos, G., Sevegnani, G., Berkenbrock, T., & Serra, O. (2012). Comparison of disposable and returnable packaging. A case study of reverse logistics in Brazil. *Journal of Cleaner Production*. 47, 377-387.
- [12] Rogers, Dale S. & Tibben-lembeke, Ronald S. (2007) *Going Backwards: Reverse Logistics Trends and Practices*. Reno: University of Nevada.
- [13] Tuzkaya, G., Gülsün, B. & Önsel, S. (2007). A methodology for the strategic design o reverse logistics networks and its application in the Turkish white goods industry. *International Journal of Production Research*. 49 (15). 4543-4571.
- [14] Srivastava, S. (2008). Network design for reverse logistics. *Revista Omega*. Vol 36. 535-548.
- [15] Stock, J., & Mulki, J. (2009) Product returns processing: an examination of practices of manufacturers, wholesalers/distributors, and retailers. *Journal of Business Logistics*, 30(1). 33-62.
- [16] Veiga, M. (2009). Flaws in Brazilian take-back program for pesticide containers in a small rural community. *Management Research News*. 32(1), 62-77.
- [17] Verma, M., & Verter, V. (2010). A lead-time based approach for planning rail-truck intermodal transportation of dangerous goods. *European Journal of Operational Research* 202, 696-706.
- [18] Yin, R. (1994). *Case study research: DESIGN AND METHODS*. Sage, 1994.