

**Michemberg Conti, Enrique J. S. ; Mohamad, Jorge A.**

*Modelo de logística inversa para la recolección de bidones de agroquímicos. Logística inversa sustentable*

**Ponencia presentada en: XXIX Encuentro Nacional de Docentes en Investigación Operativa y XXVII Escuela de Perfeccionamiento en Investigación Operativa, 2016**

Este documento está disponible en la Biblioteca Digital de la Universidad Católica Argentina, repositorio institucional desarrollado por la Biblioteca Central "San Benito Abad". Su objetivo es difundir y preservar la producción intelectual de la Institución.

La Biblioteca posee la autorización del autor para su divulgación en línea.

Cómo citar el documento:

Michemberg Conti, EJS, Mohamad, JA. Modelo de logística inversa para la recolección de bidones de agroquímicos : logística inversa sustentable [en línea] Presentado en Vigésimo noveno Encuentro Nacional de Docentes en Investigación Operativa y Vigésimo séptimo Escuela de Perfeccionamiento en Investigación Operativa, 2016. Universidad Católica Argentina, Facultad de Ciencias Fisicomatemáticas e Ingeniería, Buenos Aires. Disponible en: <http://bibliotecadigital.uca.edu.ar/repositorio/investigacion/logistica-inversa-bidones-agroquimicos.pdf> [Fecha de consulta: ....]

# MODELO DE LOGÍSTICA INVERSA PARA LA RECOLECCIÓN DE BIDONES DE AGROQUÍMICOS

## LOGÍSTICA INVERSA SUSTENTABLE

MICHEMBERG CONTI, ENRIQUE J. S.; MOHAMAD, JORGE A.

[michemberg@uca.edu.ar](mailto:michemberg@uca.edu.ar); <mailto:santiago.mce4@gmail.com>; [jorge\\_mohamad@uca.edu.ar](mailto:jorge_mohamad@uca.edu.ar)

Facultad de Ciencias Fisicomatemáticas e Ingeniería-Pontificia Universidad Católica Argentina

### RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo el estudio y análisis de la disposición de los Bidones de Agroquímicos utilizados en los procesos agrícolas en un sector de la Provincia de Buenos Aires, Argentina. Para dicho análisis se aplicarán los conceptos de logística inversa en cuanto a la localización de los centros de acopio y tratamiento de los bidones desechados, y la determinación de sus capacidades operativas. La herramienta de cálculo a emplear para este propósito será la Programación Lineal. El resultado obtenido es un modelo de red de distribución de logística inversa que satisface la recolección de la totalidad de los bidones contaminados generados en el área de estudio, mediante una distribución desde 6 municipios que disponen de centros de acopio –CAs- hacia otros 7 municipios en los que se encuentran localizados los centros de acopio y tratamiento –CATs-.

### PALABRAS CLAVES

Bidones de agroquímicos - Logística inversa - Centros de Acopio

### ABSTRACT

*The present paper aims to study and analyze the agrochemical containers disposal after their use in agricultural process in a specific area of Buenos Aires, Argentina. To develop this study, concepts of reverse logistics will be applied as long as to establish the disposal treatment and stock warehouse locations and to determine their operational capacities. The technique use for this purpose is Linear Programming. A reverse logistics network to collect the whole agrochemical containers disposal towards treatment and stock warehouses was obtained.*

### KEYWORDS

*Agrochemical containers - Reverse Logistics - Stock Warehouse*

## 1. INTRODUCCIÓN

Este trabajo se propone estudiar y analizar la disposición de los Bidones de Agroquímicos luego de su uso. En Argentina estos residuos especiales representan un inconveniente de difícil solución debido a la gran dispersión territorial en la que se generan, y a la poca o casi nula alternativa para su eliminación según exige la reglamentación; lo que conlleva a ejecutar por parte de los productores agropecuarios prácticas peligrosas que afectan la salud de las personas y al medio ambiente, entre las que se destacan la quema, entierro o reutilización de estos envases.

Los Bidones constituyen el Sistema de Envasado de los pesticidas conocidos como Agroquímicos. Estos representan un problema debido a que parte del herbicida que contienen queda retenido en el PEAD, convirtiendo este residuo en peligroso.

Nuestra hipótesis de trabajo es que los Bidones de Agroquímicos son materia prima en potencia. Estos pueden ser usados para la producción de materiales que no estén en contacto directo con el ser humano (como por ejemplo los caños corrugados utilizados en instalaciones eléctricas). Y con el tratamiento correcto, hasta es posible eliminar el agroquímico retenido en el PEAD, y ampliar la gama de productos finales.

Los datos que utilizaremos serán las hectáreas cultivables en la zona determinada, ya que los Bidones a tratar están directamente relacionados con el tipo de cultivo y la cantidad de hectáreas sembradas y cultivadas.

De esta forma analizaremos la cantidad y localización de los centros de acopio y tratamiento –CAT- en los cuales se tratarán los contaminantes, y de centros de acopio –CA-. Vinculando la oferta de materia prima (bidones de agroquímicos) y la capacidad de adquisición para su tratamiento de cada CAT, realizaremos un modelo eficiente: un mapeo de los CA y CAT en la zona elegida, buscando llegar a la eficacia, convirtiendo el mayor número de Bidones de Agroquímicos en materia prima, y disminuyendo el número de residuos contaminantes.

## **1.1. SITUACIÓN DE LA ACTIVIDAD AGRÍCOLA**

En el año 2000 la Argentina “se declaró libre de aftosa sin vacunación y pocos meses después se reintrodujo la enfermedad. Esto, más el ocultamiento de la enfermedad que hizo el gobierno de entonces, provocó el cierre de los mercados para las exportaciones argentinas” (Bertello, 2015). Esta medida produjo el cierre del comercio de carne a Estados Unidos. Lo cual, debido también a otros factores, se vio reflejado en el incremento de hectáreas sembradas a lo largo de los últimos años en el país, disminuyendo la actividad ganadera, y aumentando la actividad agrícola (por ser bienes sustitutos uno del otro). Proporcionalmente, se produjo un aumento del uso de agroquímicos, ya que impulsan la producción de cultivos.

### **1.1.1. República Argentina**

Como puede observarse en el Gráfico 1, desde el año 2000 hasta el último período relevado e incorporado en el Sistema Integrado de Información Agropecuaria –SIIA- (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca - República Argentina) en el país se ha visto un incremento con perturbaciones pero con tendencia creciente de las superficies sembradas y cosechadas.

Siendo en el período 2000/01 44 millones de hectáreas sembradas y 42 millones de hectáreas cosechadas, en el último período 2014/15 nos encontramos con 52 millones de hectáreas sembradas y 47 millones de hectáreas cosechadas.

Debemos aclarar que de las 23 provincias, 7 de ellas se encuentran sin relevamiento incorporado en el SIIA.

No se encuentran los datos requeridos de las provincias:  
Chubut – Mendoza – Neuquén – Río Negro – San Juan – Santa Cruz – Tierra del Fuego

Por lo que no pudieron analizarse.

### 1.1.2. Provincias Relevadas

En cuanto a las demás, encontramos también un comportamiento creciente como se observa en el Gráfico 2. En el mismo podemos ver las tres provincias de mayor relevancia con respecto a hectáreas sembradas:

Buenos Aires – Córdoba – Santa Fe

Siendo en ese orden su importancia en cuanto a la cantidad de hectáreas sembradas. En la provincia de Buenos Aires al inicio del milenio, en el período 2000/01, encontramos más de 9 millones de hectáreas sembradas, correspondiendo aproximadamente al 20% del total de hectáreas del país. En Córdoba y Santa Fe, en el mismo período, encontramos 6 millones de hectáreas sembradas y 4.9 millones de hectáreas sembradas, respectivamente, correspondiendo al 13% y 11% del total de hectáreas sembradas en el país.

En la actualidad, período 2014/15, Buenos Aires presentó 13 millones de hectáreas sembradas, 25% del total del país. Córdoba y Santa Fe, 9 millones de hectáreas sembradas y 5.4 millones de hectáreas sembradas, respectivamente, siendo 16% y 10% con respecto al total del país.

Por lo tanto observamos que Buenos Aires es la provincia de mayor peso en cuanto a siembra en el país, según los datos incorporados en el SIIA.

## 1.2. **CONSUMO DE FERTILIZANTES**

Actualmente, después de quince años, Estados Unidos reabrió las puertas a la carne Argentina (Diario Clarín, 2015). El Servicio de Inspección de Salud Animal y Vegetal del Departamento de Agricultura de Estados Unidos realizó el anuncio, incluyendo una presentación ante la Organización Mundial de Comercio.

Este hecho remarca la importancia de los organismos internacionales sobre la actividad agrícola argentina.

### 1.2.1. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (*Food and Agriculture Organization – FAO*)

La FAO lleva a cabo la confección del indicador de desempeño (*Key Performance Indicator – KPI*) de Consumo de fertilizantes, proporcionándolo para cada período en kilogramos por hectárea de tierras cultivables, el cual puede encontrarse en el sitio web del Banco Mundial.

Este KPI mide la cantidad de elementos nutritivos de las plantas por unidad de tierra cultivable. Los productos fertilizantes abarcan los fertilizantes nitrogenados, el abono potásico y los fertilizantes fosfatados (por ejemplo, la fosforita molida). No se incluyen los nutrientes tradicionales (abono animal y vegetal). La tierra cultivable incluye aquellos terrenos definidos por la FAO como afectados a cultivos temporales (las zonas de doble cosecha se cuentan una sola vez), los prados temporales para segar o para pasto, las tierras cultivadas como huertos comerciales o domésticos, y las tierras temporalmente en barbecho. Se excluyen las tierras abandonadas a causa del cultivo migratorio.

Como podemos observar en el Gráfico 3, en la Argentina se manifiesta un crecimiento con descensos leves desde el 2002 hasta el 2007, luego cae abruptamente cuando ocurrió la crisis económica del 2008 –Gran Recesión

originada en Estados Unidos-; disminuyendo hasta el 2009 –crisis del Campo Argentino-, cuando comenzó a crecer nuevamente.

En los datos relevados de la FAO no se encuentra información de los períodos 2000/01, y tampoco del período 2014/15. Estos datos faltantes nos permiten un margen de análisis hasta el período 2013/14, tomando éste como último para nuestro modelo de logística inversa. De todas formas, observamos valores altos de consumo de fertilizantes, siendo el último de 37 kilogramos por hectárea cultivable.

### **1.3. PROGRAMA DE AGRO LIMPIO**

El programa de Agro Limpio es realizado por CASAFE (Cámara de Sanidad Agropecuaria y Fertilizantes) y tiene como objetivo la recolección y disposición final de los envases vacíos de agroquímicos en la Argentina.

Según datos del 2014 de CASAFE, los envases de agroquímicos identificados significaron 13.450 toneladas de plásticos diseminadas por el campo. En el mismo período, el programa de CASAFE logró recolectar 4.360 toneladas de plástico alrededor del país (Longoni, 2015). Estos envases contaminados corresponden al 32% del total de envases de agroquímicos registrados en el 2014.

El problema radica en que en la Legislación Argentina no existe una ley que imponga la obligación de un tratamiento adecuado de esos bidones (Longoni, 2015). Por eso creemos que el número relevado de envases está por debajo del real, lo cual también dificulta su recolección.

Sin embargo, con el trabajo de CASAFE y el programa de Agro Limpio, año tras año, se ha incrementado el número conocido de envases de Agroquímicos y su recolección.

#### **1.3.1. Los Centros de Acopio CASAFE**

“A partir de la Norma IRAM 12.069 se establece que los productores que utilicen y manipulen agroquímicos en predios y establecimientos agroindustriales deberán cumplir con el procedimiento de triple lavado o lavado a presión de los envases vacíos. Además, quedan absolutamente prohibidas las siguientes conductas: reutilizar envases de agroquímicos; enterrar cualquier tipo de envases de agroquímicos; quemar a cielo abierto cualquier tipo de envases de agroquímicos; comercializar e intercambiar envases de agroquímicos de cualquier tipo”, (Uria, 2014).

Asimismo, los usuarios tendrán la obligación de entregar los envases vacíos luego de su respectivo tratamiento, a un centro de acopio autorizado por CASAFE. Estos tratamientos incluyen la técnica del triple lavado o lavado a presión, debiendo ser inutilizados mediante perforación, aplastados y embolsados.

Hoy en día los CAT (definidos por CASAFE) funcionan como depósitos, donde se acopian los Bidones de Agroquímicos. Por ello mismo, para este trabajo, a los CATs existentes en la actualidad los denominaremos como CA (centros de acopio).

Por otro lado, teniendo en cuenta que la técnica del triple lavado o lavado a presión remueve el agroquímico superficialmente, este mismo queda retenido en las moléculas del PEAD, haciendo su remoción únicamente posible a través de un tratamiento a temperatura, aprovechando la composición

molecular orgánica del agroquímico y la característica inorgánica del PEAD, siendo el punto de evaporación de agroquímico mucho menor al del PEAD.

Este proyecto no analiza el proceso de tratamiento, pero lo toma como punto de partida para modelar la logística inversa a partir de la localización estratégica de CATs (centros de acopio y tratamiento donde se elimina el agroquímico retenido en las paredes del PEAD) en un área determinada y de forma óptima para la instalación de un CAT en cada municipio. El modelo que se desarrollará en el punto 2 del presente trabajo, optimiza la logística inversa de recolección de bidones de agroquímicos. Se comenzará por el número mínimo necesario de CATs en el área determinada, teniendo un CA necesario en cada municipio, proporcionando un modelo al menor costo posible, pudiendo crecer hasta llegar al punto de un CAT por cada municipio.

### 1.3.2. Mapa de Centros de Acopio y Recicladores CASAFE en Argentina

En la Ilustración 1 podemos observar la distribución en la actualidad de los centros de acopio y recicladores de CASAFE.

Los puntos azules corresponden a los CAT (CASAFE), los verdes a los recicladores, los rojos a los CAT (CASAFE) pendientes de habilitación, y por último los amarillos a operadores. Existiendo respectivamente una cantidad de 35, 20, 4 y 3 en total en el país.

La Ilustración 1 muestra también la cantidad dentro de la provincia de Buenos Aires. Esta provincia, como vimos anteriormente, es la de mayor actividad agrícola en el país (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca - República Argentina). Se puede observar que no existen en la provincia de mayor siembra CATs (CASAFE) habilitados, como tampoco operadores. Únicamente existen 5 recicladores al norte de la provincia y 3 CATs (CASAFE) pendientes de habilitación al oeste y sur.

## 1.4. **PROVINCIA DE BUENOS AIRES**

Buenos Aires, históricamente y en la actualidad, es la provincia de mayor actividad agrícola (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca - República Argentina). Al sur-este de la provincia se registra una alta densidad de siembra. En esta zona es donde seleccionamos el área de estudio para el modelo de logística inversa de recolección de bidones de agroquímicos, pudiendo replicarse en cualquier región del país.

Se seleccionaron trece municipios de interés como se muestra en la Ilustración 2:

Ayacucho – Azul – Balcarce – General Alvarado – General Pueyrredón – González Chaves – Lobería – Mar Chiquita – Necochea – Olavarría – Rauch – Tandil – Tres Arroyos

La selección se hizo teniendo en cuenta la simplificación del modelo logístico. Los trece municipios conforman un entorno de 300 km a la redonda de Tandil. Su actividad en el período de estudio (2013/14) se puede apreciar en la Tabla 1.

## 2. **DESARROLLO**

Para realizar la logística de recolección propondremos la localización de Centros de Acopio y Tratamiento dentro de municipios que cumplan cierta restricción. Aquellos en que esta no se cumpla serán únicamente Centros de Acopio. Seguidamente se procederá a optimizar los lotes de Bidones de

Agroquímicos de cada localidad sin tratamiento, distribuyéndolos por los diferentes municipios que sí lo tengan.

## 2.1. MODELO DE LOGÍSTICA INVERSA

Nuestra zona de estudio consiste en trece municipios al sur de la provincia de Buenos Aires, los cuales pertenecen a un entorno de 300 km a la redonda de Tandil. Cada uno genera BAI Tn de PEAD contaminado con agroquímicos. Estos BAI se obtuvieron mediante los últimos datos relevados del Ministerio de Agricultura, Ganadería, y Pesca (período 2013/14), donde, por cada hectárea sembrada y cultivada, se estima haber usado al menos un bidón de pesticida, equivalente a 800 gramos de PEAD, como se muestra en la Tabla 1.

### 2.1.1. Centros de Acopio y Tratamiento CAT

Cada uno de los municipios se puede representar en un eje cartesiano. El mapeo se centraliza en Tandil, el cual se encuentra rodeado de tres rutas de acceso. De esta forma, toda distancia entre municipios es menor a 300 km.

Se localizará un CAT en todo municipio que posea tres o menos municipios ajenos incluidos en un entorno de 150 km. En la Tabla 2 se observan resaltadas en verde las distancias menores a 150 km entre municipios, también se observan las distancias de 0 km, las cuales corresponden al mismo municipio (por lo que no se toman en cuenta).

- Tres Arroyos es la única localidad que cumple esta condición.

A la vez, en todo municipio que se produzca más de 300 toneladas de PEAD contaminado con glifosato se localizará un CAT.

- Tres Arroyos también cumple esta condición.
- Tandil
- Necochea
- Lobería
- Gonzáles Chaves
- Balcarce
- Azul

De esta forma, en nuestro modelo localizaremos 7 CAT, dentro de los 7 municipios que cumplen con una o las dos condiciones mencionadas. Los 6 municipios restantes, al no poseer centros propios, deberán distribuir sus envases de agroquímicos en lotes parciales a los 7 CAT.

Tendremos en cuenta la siguiente notación:

‘i’: Municipios con CAT incorporado.

‘j’: Municipios distribuidos en lotes parciales.

### 2.1.2. Primera Restricción

La suma de los lotes parciales (BAP) del municipio ‘j’ a distribuir en cada municipio CAT ‘i’ no podrá exceder a la cantidad total de Bidones de Agroquímicos (BA) en dicho municipio (municipio ‘j’).

$$BA_j - \sum_i BAP_{ji} \geq 0. (j = 1; \dots; 6)$$

En la Tabla 1 se pueden observar los BA<sub>j</sub> como datos en toneladas en la columna “Bidones Agroquímicos [Tn]”.

### 2.1.3. Segunda Restricción

Cada CAT 'i' podrá adquirir un máximo de 125 toneladas de PEAD contaminado. Siendo las 125 toneladas la suma de los envases de los BAP de cada municipio 'j' que adquiera.

$$\sum_j^6 BAP_{ji} \leq 125 [Tn], (i = 1, \dots, 7)$$

### 2.1.4. Selección de CATs a distribuir

Todo municipio que se distribuya en lotes parciales podrá hacerlo a todo CAT que se encuentre en un radio de 200 km. En la Tabla 2 se muestran las distancias entre los municipios seleccionados, donde al tratarse del mismo municipio la distancia es cero (resaltada en rojo). Por medio de la Tabla 3 se obtuvieron los municipios relacionados que poseen distancias mayores a 200 km, los cuales se representaron con el valor 0; y también se obtuvieron los municipios que poseen entre sí una distancia menor a 200 km, los que se representaron con el valor 1. Los valores binarios 0 y 1 definen si el municipio 'j' se encuentra a un radio de 200 km con el CAT 'i', resumiendo:

- 1: el municipio 'j' se encuentra en un radio de 200 km con el CAT 'i'.
- 0: el municipio 'j' no se encuentra en un radio de 200 km con el CAT 'i'.

Así es como obtenemos un total de 29 variables BAPij.

### 2.1.5. Funcional Z Máximo

Se buscará maximizar la cantidad de bidones de agroquímicos para tratar la contaminación, siendo estos los BAI de los municipios CAT, y la suma total de todos los BAPij.

$$Z_{\max} = \sum_i^7 BAI_i + \sum_i^7 \sum_j^6 BAP_{ij}$$

## 3. RESULTADOS OBTENIDOS

### 3.1. **MODELO DE LOGÍSTICA INVERSA**

El modelo planteado toma 13 municipios al Sud-Este de la provincia de Buenos Aires, los cuales conforman un entorno de 300 km a la redonda de Tandil.

#### 3.1.1. Localización de CATs

Aplicando la información de las Tablas 1 y 2, se localizaron los CATs en 7 municipios, los cuales cumplieron las condiciones de poseer tres o menos municipios ajenos incluidos en un entorno de 150 km y de producir más de 300 toneladas de PEAD contaminado.

Estos son:

Tres Arroyos – Tandil – Necochea – Lobería – Gonzáles Chaves – Balcarce – Azul

A su vez, mediante la Segunda Restricción, tienen capacidad de hasta 125 Tn de Bidones Contaminados (BAP) de los municipios sin CAT.

### 3.1.2. Municipios sin CAT

Dentro de la zona de estudio, luego de seleccionar los 7 municipios con CAT, quedaron 6 municipios los cuales tendrían un CA cada uno:

Rauch – Olavarría – Mar Chiquita – General Pueyrredón – General Alvarado – Ayacucho

Estos repartirán por medio de Lotes Parciales (BAP) sus Bidones Contaminados a los CAT existentes, debiendo cumplir, como se plantea en la Primer Restricción, que la suma de los lotes parciales (BAP) distribuidos del municipio, no pueda superar la cantidad de Bidones de Agroquímicos (BA) del mismo municipio.

### 3.1.3. CATs a distribuir

Se plantea que todo municipio que se distribuya en lotes parciales podrá hacerlo a todo CAT que se encuentre en un radio de 200 km, minimizando así los costos de logística inversa de recolección, y la distancia de distribución de cada municipio. Por medio de tablas cruzadas, se pudieron obtener los CATs a los cuales cada municipio podrá hacer su distribución BAP, simplificando el modelo a 29 variables BAP<sub>ij</sub>.

## 3.2. RESUMEN DE RESULTADOS

### 3.2.1. Variable BAP<sub>ij</sub>

En la Tabla 4 se muestran los resultados cuantificados de los lotes parciales a distribuir por municipio ('i': CAT hacia donde se dirige el lote parcial, 'j': CA del cual proviene el lote parcial). La distribución concluyó con el siguiente resultado (como se observa gráficamente en la Ilustración 3):

El CAT de Tres Arroyos recibe los lotes parciales de:

- Olavarría, 74.4 Tn.
- General Alvarado, 50.6 Tn.

Dando un total de 892.9 Tn de Bidones de Agroquímicos para tratamiento (125 Tn de municipios Ajenos, más 767.9 Tn de su propio municipio).

El CAT de Tandil recibe los lotes parciales de:

- Rauch, 4.7 Tn.
- Olavarría, 57.8 Tn.
- Mar Chiquita, 4.7 Tn.
- General Pueyrredón, 17.1 Tn.
- General Alvarado, 35.9 Tn.
- Ayacucho, 4.7 Tn.

Dando un total de 584.4 Tn de Bidones de Agroquímicos para tratamiento (125 Tn de municipios Ajenos, más 459.4 Tn de su propio municipio).

El CAT de Necochea recibe los lotes parciales de:

- Rauch, 4.7 Tn.
- Mar Chiquita, 10.5 Tn.

- General Pueyrredón, 43.4 Tn.
- General Alvarado, 50.6 Tn.
- Ayacucho, 15.6 Tn.

Dando un total de 766.6 Tn de Bidones de Agroquímicos para tratamiento (125 Tn de municipios Ajenos, más 641.6 Tn de su propio municipio).

El CAT de Lobería recibe los lotes parciales de:

- Rauch, 4.7 Tn.
- Olavarría, 33.9 Tn.
- Mar Chiquita, 65.9 Tn.
- Ayacucho, 20.4 Tn.

Dando un total de 676.4 Tn de Bidones de Agroquímicos para tratamiento (125 Tn de municipios Ajenos, más 551.44 Tn de su propio municipio).

El CAT de Gonzáles Chaves recibe los lotes parciales de:

- Rauch, 10.5 Tn.
- Olavarría, 43.5 Tn.
- General Alvarado, 50.6 Tn.
- Ayacucho, 20.4 Tn.

Dando un total de 427.2 Tn de Bidones de Agroquímicos para tratamiento (125 Tn de municipios Ajenos, más 302.2 Tn de su propio municipio).

El CAT de Balcarce recibe los lotes parciales de:

- Rauch, 4.7 Tn.
- Mar Chiquita, 5.8 Tn.
- General Pueyrredón, 43.5 Tn.
- General Alvarado, 50.6 Tn.
- Ayacucho, 20.4 Tn.

Dando un total de 449 Tn de Bidones de Agroquímicos para tratamiento (125 Tn de municipios Ajenos, más 324 Tn de su propio municipio).

El CAT de Azul recibe los lotes parciales de:

- Rauch, 38.2 Tn.
- Olavarría, 43.5 Tn.
- Ayacucho, 20.4 Tn.

Dando un total de 464.9 Tn de Bidones de Agroquímicos para tratamiento (102 Tn de municipios Ajenos, más 362.9 Tn de su propio municipio).

Azul es el único CAT que recibe menos de 125 Tn de municipios ajenos.

### 3.2.2. Funcional Máximo – Cantidad de Bidones de Agroquímicos Tratados

La suma total de bidones de agroquímicos contaminados de los 13 municipios a tratar en los CAT es 4261.4 Tn en el período estudiado. Este resultado se verifica en el funcional del modelo.

El presente modelo de logística inversa contempla la totalidad de recolección de los bidones de agroquímicos contaminados para su tratamiento en los CAT.

### 3.2.3. Capacidad Operativa de los CATs

Además, se obtiene la capacidad de operación requerida para cada CAT:

- Tres Arroyos: 892.9 Tn.
- Tandil: 584.4 Tn.
- Necochea: 766.6 Tn.
- Lobería: 676.4 Tn.
- Gonzáles Chaves: 427.16 Tn.
- Balcarce: 449.0 Tn.
- Azul: 464.9 Tn.

Los municipios a distribuirse lo hacen de la siguiente forma:

- Rauch distribuye sus lotes a 6 CATs.
- Olavarría distribuye sus lotes a 5 CATs.
- Mar Chiquita distribuye sus lotes a 4 CATs.
- General Pueyrredón distribuye sus lotes a 3 CATs.
- General Alvarado distribuye sus lotes a 5 CATs.
- Ayacucho distribuye sus lotes a 6 CATs.

Los seis municipios distribuyen su totalidad de BAP a los diferentes CATs.

## **4. CONCLUSIONES**

Finalizado el desarrollo del modelo, y con los resultados obtenidos, llegamos a la etapa de las conclusiones del presente trabajo.

El Programa de Agro Limpio nos permite identificar los Centros de Acopio y Tratamiento –CAT-, en los que se recogen y tratan los bidones de agroquímicos contaminados para su posterior reutilización como materia prima industrial; y los Centros de Acopio –CA-, en los que simplemente se recogen y almacenan. Se observa una carencia importante de centros de acopio y tratamiento en Buenos Aires, siendo la provincia de Argentina con mayor cantidad de hectáreas sembradas y cultivadas, y de mayor uso de agroquímicos. A la vez, aparece una necesidad de replantear el proceso de reciclaje, ya que con el triple lavado o lavado a presión no se elimina el agroquímico retenido en las paredes del PEAD. Este es el punto de partida de nuestro modelo logístico, haciendo énfasis en distinguir Centros de Acopio (CA) y Centros de Acopio y Tratamiento (CAT), donde los CA distribuyen en lotes parciales los bidones de agroquímicos recolectados (BAP) hacia los CAT, proporcionando una logística inversa eficiente y eficaz.

Para aplicar el modelo se seleccionaron 13 municipios del sur-este de la provincia de Buenos Aires que conforman un entorno de 300 kilómetros a la redonda de Tandil, zona que por experiencia se reconoce con alto nivel de producción agrícola, y por lo tanto de uso de agroquímicos. Estos 13 municipios son los ya enunciados en el desarrollo del trabajo. De los 13 municipios seleccionados, en 7 de ellos se localizan CATs, y en los 6 restantes solo CAs. De manera que los 6 municipios que disponen de CAs deben distribuir lotes parciales de bidones contaminados entre los 7 que poseen CATs. El criterio para asignar los CATs a los 7 municipios fue que cumplan alguna, o ambas, de estas 2 condiciones: poseer 3 o menos municipios ajenos en una distancia de 150 kilómetros, y producir más de 300 toneladas de bidones contaminados en un año. Además, a los CATs se les asignó una capacidad de recibir bidones contaminados de hasta 125 toneladas. En la red de logística inversa modelada se incorporó una condición de impida distribuir bidones contaminados (desde los municipios con CAs a los municipios con CATs) a distancias mayores de 200 kilómetros, a fin de restringir los costos de transporte asociados. El resultado, tal como se puede observar en el punto 3, es un modelo de red de distribución de logística inversa que satisface la recolección de la totalidad de los bidones contaminados generados en el área de estudio, mediante una distribución desde 6 municipios que disponen CAs hacia otros 7 municipios en los que se encuentran localizados los CATs. Además el modelo nos proporciona la capacidad operativa requerida para cada uno de los CATs.

## 5. REFERENCIAS

- Bertello, F. (2015). *"Aftosa: reclaman que siga la vacunación"*. *La Nación*. Recuperado el 30 de Diciembre de 2015, de <http://servicios.lanacion.com.ar/archivo/2015/05/26/015/DT>
- Cámara de Sanidad Agropecuaria y Fertilizantes. (s.f.). *CASAFE*. Recuperado el 30 de Diciembre de 2015, de <http://www.casafe.org/imagen/agrolimpio/>
- Diario Clarín. (29 de Junio de 2015). "Después de 15 años, EE.UU. deja entrar carne argentina". *Clarín*.
- Longoni, M. (8 de Marzo de 2015). "Los cinco desafíos del campo en la vidriera de Expoagro". *Clarín*.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca - República Argentina. (2015). SIIA - Sistema Integrado de Información Agropecuaria.
- Miranda, M. (2012). *Programación lineal y su entorno* (3ra ed.). Buenos Aires: EDUCA.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (s.f.). *Banco Mundial*. Recuperado el 30 de Diciembre de 2015, de <http://datos.bancomundial.org/indicador/AG.CON.FERT.ZS/countries?display=default>

Uria, V. (2014). "Ambientus - Gestión Ambiental Eficiente". Recuperado el 31 de Diciembre de 2015, de <http://www.ambientus.com.ar/nueva-normativa-para-gestion-de-envases-de-agroquimicos/>

## 6. ANEXO DE GRÁFICOS Y TABLAS

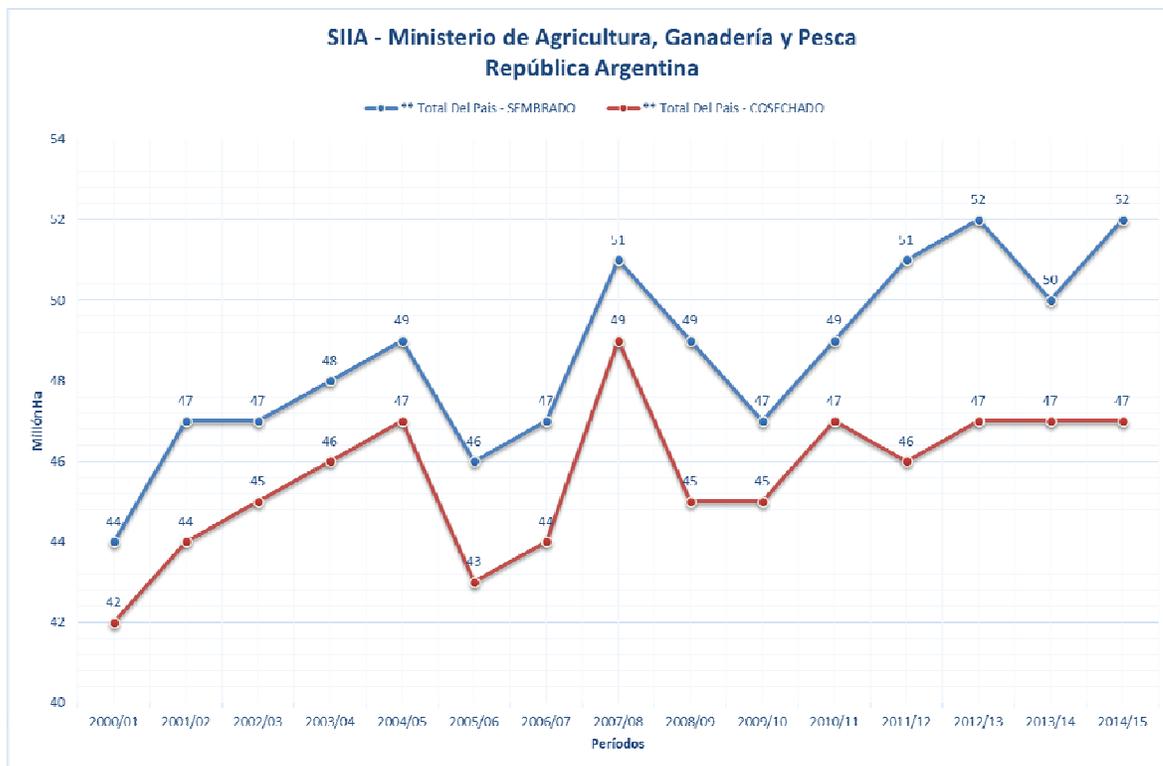


Gráfico 1

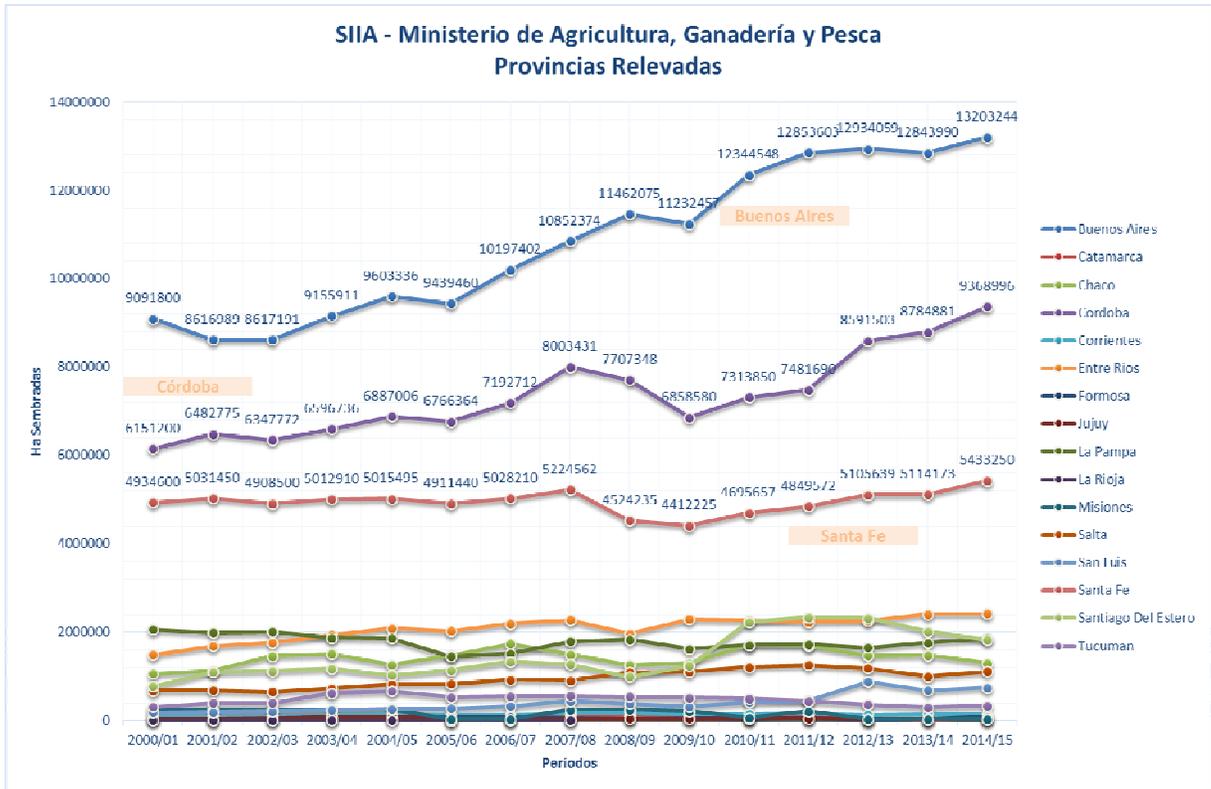


Gráfico 2

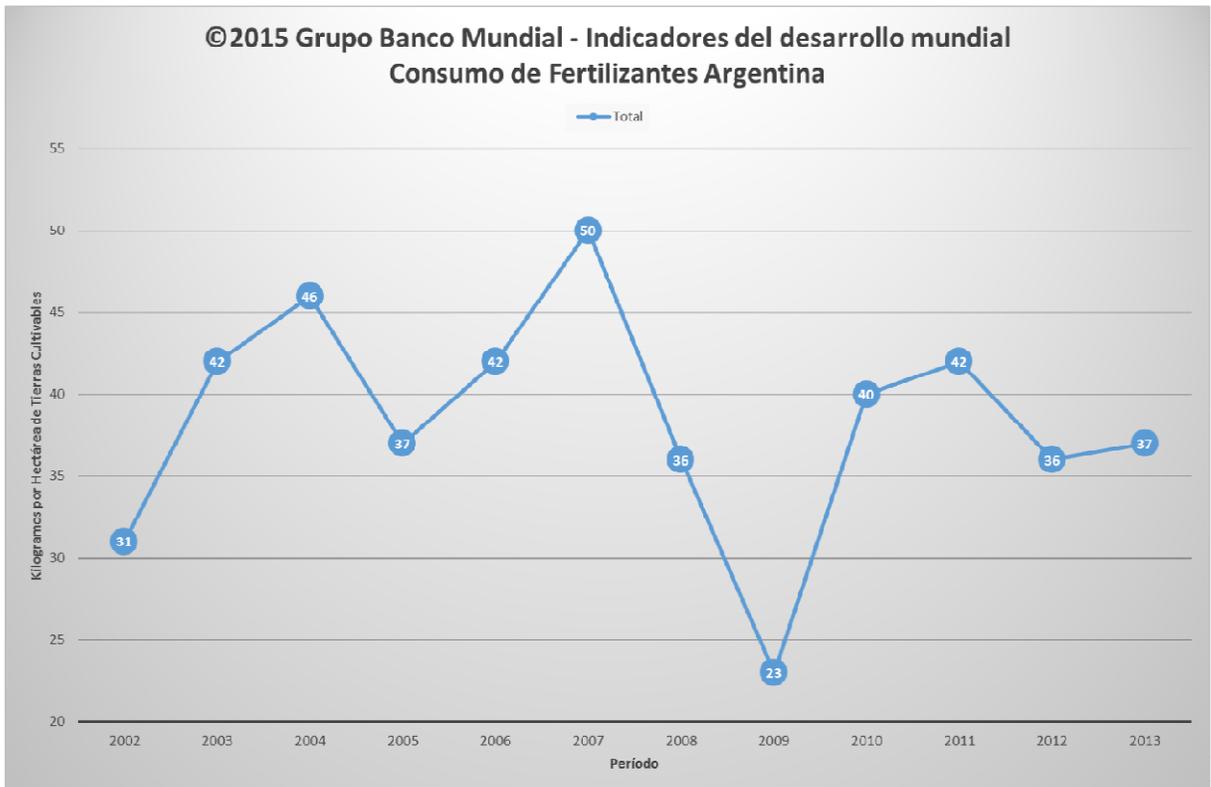


Gráfico 3

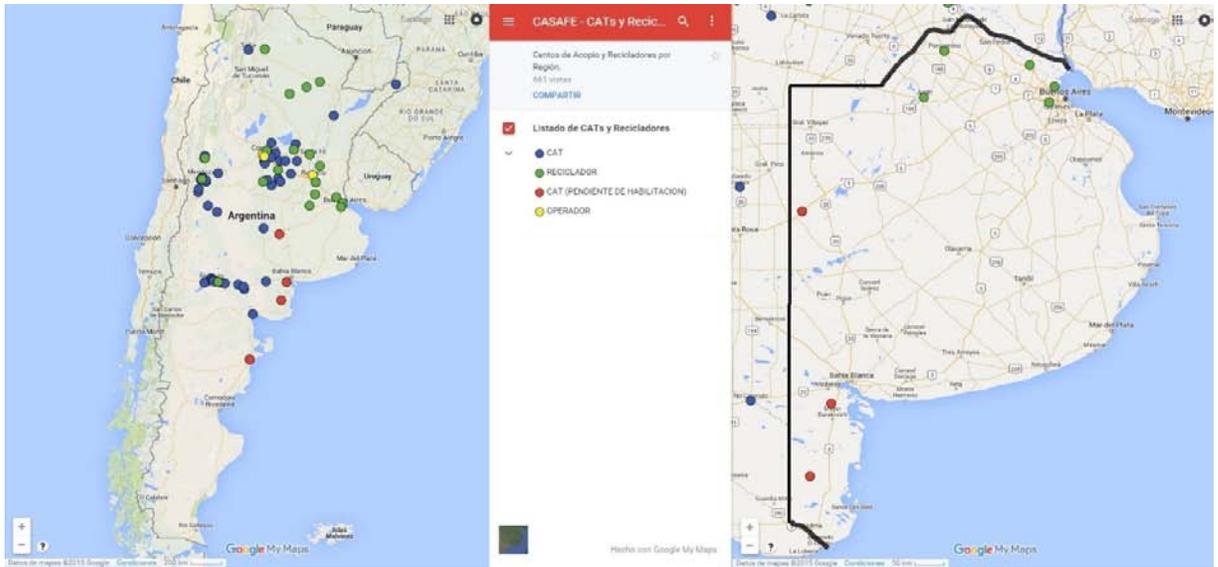


Ilustración 1

SEMBRADO (Millon Ha) por Municipio y CULTIVO

- CULTIVO
- Alpiste
  - Avena
  - Cebada cervicera
  - Colza
  - Girasol
  - Maiz
  - Soja
  - Sorgo
  - Trigo
  - Trigo candeal

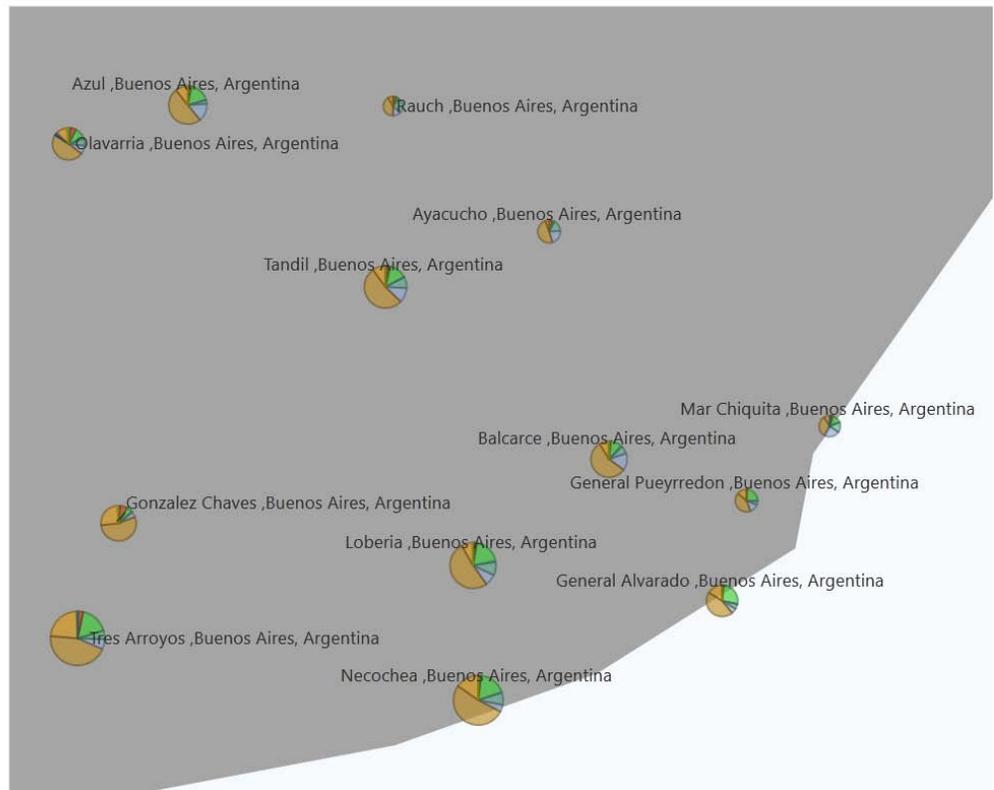


Ilustración 2

DEPARTAMENTO	SEMBRADO [Ha]	COSECHADO [Ha]	PERDIDO [Ha]	BIDONES AGROQUÍMICOS [kg]	BIDONES AGROQUÍMICOS [Tn]
Ayacucho	69530	57770	11760	101840	101,84
Azul	239620	214000	25620	362896	362,896
Balcarce	212205	192815	19390	324016	324,016
General Alvarado	153070	144940	8130	238408	238,408
General Pueyrredon	68070	61945	6125	104012	104,012
Gonzalez Chaves	202650	175050	27600	302160	302,16
Loberia	355300	334000	21300	551440	551,44
Mar Chiquita	57715	51065	6650	87024	87,024
Necochea	419870	382170	37700	641632	641,632
Olavarria	164210	152090	12120	253040	253,04
Rauch	44630	39970	4660	67680	67,68
Tandil	299137	275087	24050	459379,2	459,3792
Tres Arroyos	502890	456990	45900	767904	767,904

Tabla 1

Distancia Admisible [km]	MUNICIPIOS													
	Tres Arroyos	Tandil	Rauch	Olavarria	Necochea	Mar Chiquita	Loberia	Gonzalez Chaves	General Pueyrredon	General Alvarado	Balcarce	Azul	Ayacucho	
150	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Tres Arroyos	1	0,0	156,2	208,3	165,4	139,3	260,2	251,5	48,4	236,4	195,0	185,8	182,6	209,7
Tandil	2	156,2	0,0	60,4	111,1	138,8	155,6	101,4	111,8	150,7	136,2	94,1	84,3	61,7
Rauch	3	208,3	60,4	0,0	106,7	196,6	178,8	43,3	160,8	184,5	182,4	136,9	65,1	70,7
Olavarria	4	165,4	111,1	106,7	0,0	227,1	266,2	137,1	121,3	261,6	242,7	203,8	42,6	163,5
Necochea	5	139,3	138,8	196,6	227,1	0,0	141,6	231,9	135,5	110,8	65,2	84,4	216,0	150,9
Mar Chiquita	6	260,2	155,6	178,8	266,2	141,6	0,0	189,1	234,4	33,4	77,3	75,3	233,8	108,2
Loberia	7	251,5	101,4	43,3	137,1	231,9	189,1	0,0	204,0	201,8	208,5	163,0	94,7	89,0
Gonzalez Chi	8	48,4	111,8	160,8	121,3	135,5	234,4	204,0	0,0	215,2	178,9	159,2	134,8	169,2
General Pue	9	236,4	150,7	184,5	261,6	110,8	33,4	201,8	215,2	0,0	45,7	59,2	233,2	114,8
General Alva	10	195,0	136,2	182,4	242,7	65,2	77,3	208,5	178,9	45,7	0,0	45,8	220,4	119,8
Balcarce	11	185,8	94,1	136,9	203,8	84,4	75,3	163,0	159,2	59,2	45,8	0,0	178,1	74,7
Azul	12	182,6	84,3	65,1	42,6	216,0	233,8	94,7	134,8	233,2	220,4	178,1	0,0	127,5
Ayacucho	13	209,7	61,7	70,7	163,5	150,9	108,2	89,0	169,2	114,8	119,8	74,7	127,5	0,0

Tabla 2

	Disposición para Tres Arroyos	Disposición para Tandil	Disposición para Necochea	Disposición para Loberia	Disposición para Gonzalez Chaves	Disposición para Balcarce	Disposición para Azul
Rauch	0	1	1	1	1	1	1
Olavarria	1	1	0	1	1	1	0
Mar Chiquita	0	1	1	1	1	0	1
General Pueyrredon	0	1	1	1	0	0	1
General Alvarado	1	1	1	1	0	1	1
Ayacucho	0	1	1	1	1	1	1

Tabla 3

Variable	BAP		i	j
	Bidones Agroquímicos Recolectados [Tn]	CAT	CA	
1	74,37615084	Tres Arroyos, Buenos Aires	Olavarría, Buenos Aires	
2	50,62384916	Tres Arroyos, Buenos Aires	General Alvarado, Buenos Aires	
3	4,743038513	Tandil, Buenos Aires	Rauch, Buenos Aires	
4	57,78259034	Tandil, Buenos Aires	Olavarría, Buenos Aires	
5	4,743038513	Tandil, Buenos Aires	Mar Chiquita, Buenos Aires	
6	17,07570155	Tandil, Buenos Aires	General Pueyrredon, Buenos Aires	
7	35,91259257	Tandil, Buenos Aires	General Alvarado, Buenos Aires	
8	4,743038513	Tandil, Buenos Aires	Ayacucho, Buenos Aires	
9	4,743038513	Necochea, Buenos Aires	Rauch, Buenos Aires	
10	10,53999036	Necochea, Buenos Aires	Mar Chiquita, Buenos Aires	
11	43,4681519	Necochea, Buenos Aires	General Pueyrredon, Buenos Aires	
12	50,62385454	Necochea, Buenos Aires	General Alvarado, Buenos Aires	
13	15,62496469	Necochea, Buenos Aires	Ayacucho, Buenos Aires	
14	4,743038513	Lobería, Buenos Aires	Rauch, Buenos Aires	
15	33,94496039	Lobería, Buenos Aires	Olavarría, Buenos Aires	
16	65,94400325	Lobería, Buenos Aires	Mar Chiquita, Buenos Aires	
17	20,36799785	Lobería, Buenos Aires	Ayacucho, Buenos Aires	
18	10,53999032	Gonzalez Chaves, Buenos Aires	Rauch, Buenos Aires	
19	43,4681519	Gonzalez Chaves, Buenos Aires	Olavarría, Buenos Aires	
20	50,62385454	Gonzalez Chaves, Buenos Aires	General Alvarado, Buenos Aires	
21	20,36800323	Gonzalez Chaves, Buenos Aires	Ayacucho, Buenos Aires	
22	4,743038513	Balcarce, Buenos Aires	Rauch, Buenos Aires	
23	5,796967882	Balcarce, Buenos Aires	Mar Chiquita, Buenos Aires	
24	43,46814655	Balcarce, Buenos Aires	General Pueyrredon, Buenos Aires	
25	50,62384918	Balcarce, Buenos Aires	General Alvarado, Buenos Aires	
26	20,36799787	Balcarce, Buenos Aires	Ayacucho, Buenos Aires	
27	38,16785562	Azul, Buenos Aires	Rauch, Buenos Aires	
28	43,46814653	Azul, Buenos Aires	Olavarría, Buenos Aires	
29	20,36799785	Azul, Buenos Aires	Ayacucho, Buenos Aires	

Tabla 4

Bidones Agroquímicos Recolectados por Municipio de Ingreso y Municipio de Egreso

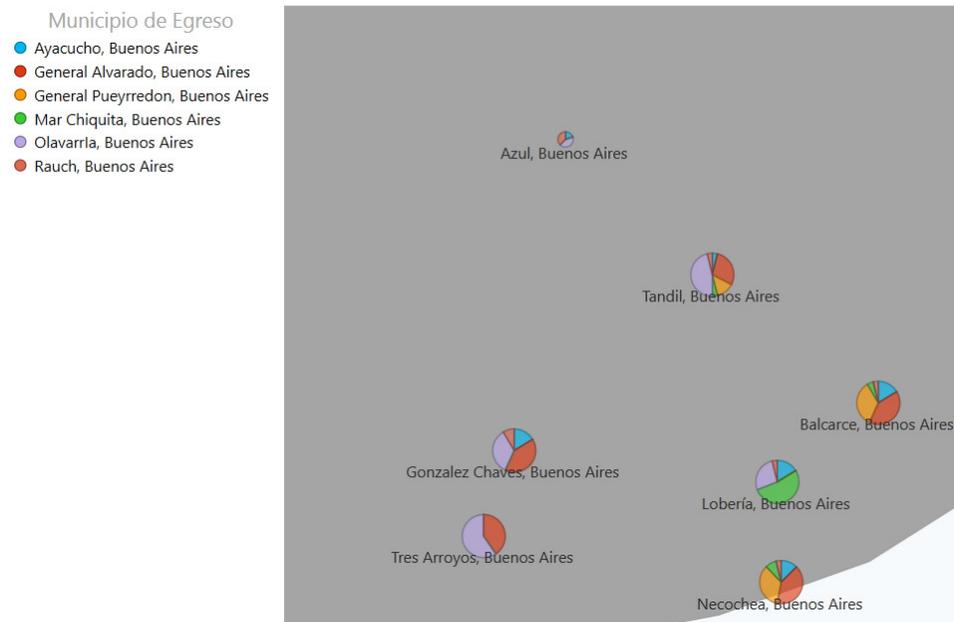


Ilustración 3