

Análisis del impacto de las decisiones de aprovisionamiento de componentes en los costos logísticos de la industria de maquinaria agrícola

Sincovich, Victoria; Croce, Cecilia; Tucci, Víctor y Rodríguez, M. Analía

Facultad Tecnológica Nacional, Universidad Tecnológica Nacional

Lavaise 610 – 3000, Santa Fe.

victoria_sincovich@hotmail.com

ceci.croce@gmail.com

vtucci@frsf.utn.edu.ar

r_analia@santafe-conicet.gov.ar

RESUMEN

El presente trabajo de investigación aborda la temática de la cadena de abastecimiento y los costos logísticos asociados analizando diversas alternativas de suministro en la industria de la maquinaria agrícola. Se estudia en particular la sembradora de arrastre y los elementos más importantes que la componen a fin de analizar el proceso de provisión de partes e insumos. Como caso de estudio se focaliza sobre una empresa existente y sus proveedores, definiendo una serie de escenarios posibles de aprovisionamiento y el impacto de las diversas decisiones sobre los costos de transporte. Esos escenarios resultan disparadores de un modelo matemático para diseñar el abastecimiento óptimo considerando la operación en temporada baja y alta.

El modelo propuesto integra decisiones de ruteo junto a aquellas de transporte, permitiendo elegir a su vez la estructura de la cadena de provisión que permita minimizar los costos de transporte como los de insumos y materias primas.

Palabras Claves: costos, logística, sembradora, aprovisionamiento.

1. INTRODUCCIÓN

Debido al alto nivel de empleo en el sector agropecuario y a la importancia de su actividad en la economía Argentina, los requerimientos de maquinaria agrícola son cada vez más exigentes.

Las máquinas agroindustriales pueden clasificarse en dos grandes grupos, según su nivel de tecnología, en equipos de baja o alta tecnológica. Dentro del primer grupo se incluyen, por ejemplo, las cosechadoras y las pulverizadoras, por ejemplo, mientras que las sembradoras de arrastre y las enfardadoras forman parte del segundo.

Según información publicada por el INDEC [1], en el Gráfico 1, puede observarse la evolución de las ventas de maquinaria agrícola, entre los años 2005 y 2011, tanto para aquellas de origen nacional como importadas. Fácilmente puede observarse que casi la totalidad de las sembradoras vendidas son nacionales. Es decir que al momento de comprar un equipo de siembra, los agricultores prefieren aquellos fabricados en el país.

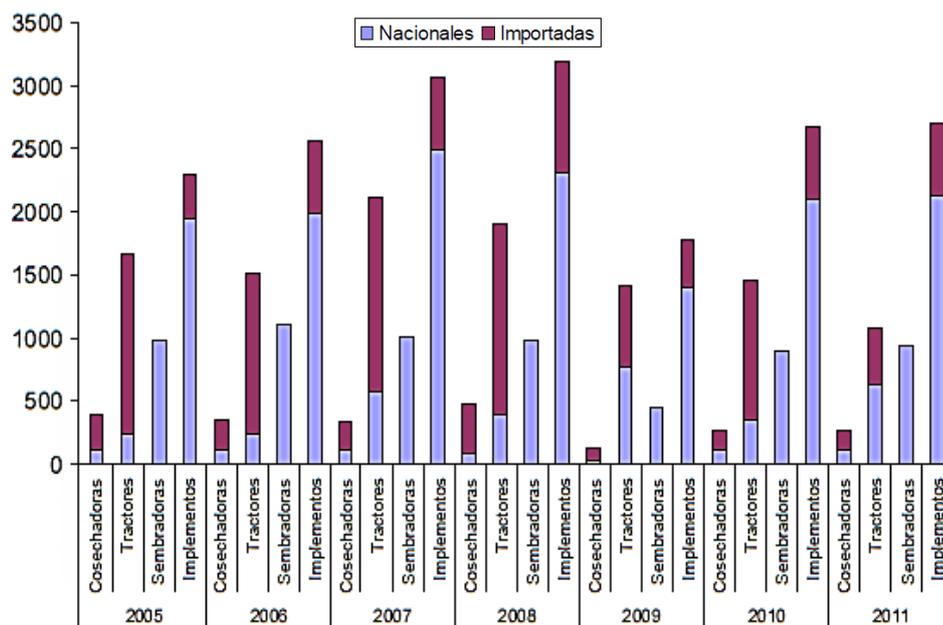


Imagen 1. Ventas máquinas agrícolas, nacionales e importadas. Año 2005 - 2011

Por ello se decidió enfocar el presente trabajo en la sembradora, sus componentes, fabricantes y proveedores, y analizar las decisiones de aprovisionamiento y su repercusión en los costos logísticos.

2. ANTECEDENTES

Existen múltiples trabajos que marcan la importancia de los costos logísticos en las cadenas de suministros pero son pocos los vinculados a la industria de maquinaria agrícola. En [2], se aborda la problemática logística en el contexto de energía no renovable, con fin de reducir importación de energía y mejorar la calidad del aire. Se elabora un modelo logístico donde se asumen parámetros relacionados con la industria de generación de energía a partir de biomásas y se estudia su comportamiento en tres regiones diferentes. Los resultados cubren los costos de materia prima, costos laborales, tiempo de espera y costos de maquinaria y equipos.

En cuanto al análisis de escenarios en el contexto industrial de la maquinaria agrícola, [3], se focaliza en desarrollar modelos de simulación considerando operaciones agrícolas como sistemas de transporte, requerimientos de maquinaria o performance de las máquinas y logística. Se detecta una carencia en la simulación de actividad de máquinas agrícolas en el campo propiamente dicho. El objetivo del trabajo es construir un modelo de simulación que contemple tal situación junto a ciertos requerimientos como la dirección de manejo y la forma del campo.

Un caso de estudio vinculado a la manufactura de maquinaria agrícola es considerado por [4]. En este trabajo se argumenta que *el mercado de la maquinaria agrícola es caracterizado por una producción en serie, volumen de demanda bajo y estacional, creciente variedad de productos y globalización de operaciones*. Se desarrolla un benchmarking con mercados del rubro representativos, demostrando que la producción por stock conduce a mayores costos considerando costos de inventario y reconfiguración del producto. También genera un menor valor de producción porque productos estoqueados no suelen coincidir con requerimientos de clientes. Los autores proponen una metodología para evaluar la performance de diferentes estrategias de producción, considerando el dinamismo de los parámetros y la capacidad de contracción de la demanda.

Como puede observarse en análisis de costos logísticos en la industria y las diferentes estrategias para llevarlo a cabo es un tema abierto y de interés en el ámbito académico. Por otro lado, teniendo nuestro país un mercado desarrollo agro-exportador, resulta relevante plantear el estudio de la matriz de costos logística de la cadena y desarrollar una propuesta que permita optimizar la operación de la cadena integrando decisiones de compras, selección de proveedores, localización de nodos y rutas de provisión.

3. OBJETIVOS

El presente trabajo se enfoca en el estudio de la sembradora de arrastre, los elementos que la componen como así también los fabricantes y sus proveedores con el fin de hallar de manera metódica diferentes alternativas de provisión de insumos a través del planteo de distintos escenarios, buscando optimizar la gestión del abastecimiento. Asimismo se pretende identificar los componentes que inciden en el costo logístico y conocer el peso de cada uno de ellos en el valor total. Para ello, se plantearán escenarios de estudio que faciliten extraer conclusiones.

A partir de los resultados obtenidos se pretende determinar una política de abastecimiento según la temporalidad propia del rubro a modo de generar una estructura operacional en el vínculo fabricante-proveedor orientada a la minimización de los costos logísticos.

4. ESTUDIO DE LA LOGÍSTICA EN LA PRODUCCIÓN DE SEMBRADORAS DE ARRASTRE

4.1. Estimación de la demanda

4.1.1. Demanda de Sembradoras

Como punto de partida para el análisis de los costos de abastecimiento de la sembradora, se estima la demanda de equipos, para calcular los requerimientos de cada uno de los componentes principales.

Tomando como referencia las cantidades de sembradora vendidas en el primer trimestre del 2010 y 2011, según el INDEC [5], se obtuvieron los valores de la Tabla 1:

Tabla 1. Demanda de sembradoras de arrastre

	Unidades vendidas	Proyección anual
1er trimestre 2010	295	1180
1er trimestre 2011	486	1944
Incremento ventas 2010 a 2011	24,5%	
Proyección a 2012	2419,4	

El presente análisis se focaliza en una empresa fabricante de equipamiento agroindustrial, principalmente sembradoras, ubicada en la localidad de Monte Maíz, provincia de Córdoba. A partir de ahora, se hará referencia a la compañía con la sigla **AM**.

A partir de datos obtenidos de diversas fuentes, es posible estimar la participación de la empresa **AM** en las ventas. Siendo la facturación total de sembradoras para el año 2008, en pesos, fue de 295.600.000 [6], y las ventas totales en mercado interno y externo de **AM** para ese mismo año fueron 131.000.000 [7], se conoce la proporción de **44,3%** de la empresa en las ventas totales. Según este valor y las proyecciones de la Tabla 1, se puede estimar una cantidad de **1072,2 unidades** a vender por **AM** en el 2012.

Como se muestra en la Tabla 2, la comercialización de máquinas agrícolas presenta cierta estacionalidad en las ventas, siendo el primer y cuarto trimestre del año los períodos de baja producción, incrementado hacia el segundo y tercer trimestre [8].

Tabla 2. Temporalidad ventas sembradora de arrastre

1er trimestre (Baja)	482		
2do trimestre (Alta)	1108	Total Temporada Alta	Total Temporada Baja 1306
3er trimestre (Alta)	1151	2259	
4to trimestre (Baja)	824		

A partir de las cantidades de cada período, se estima un incremento del **42,2%** de las ventas de sembradoras entre la temporada baja y la alta. Afectando la proyección de demanda de **AM** por esta proporción, se puede establecer el siguiente nivel de producción (Tabla 3).

Tabla 3. Demanda sembradoras AM por temporada, en unidades

Temporada Baja	392,8
Temporada Alta	679,4

4.1.2. Demanda de Componentes de Sembradoras

En el apartado anterior, se ha estimado la demanda de sembradoras para la empresa **AM** para cada una de las temporadas, del año 2012.

Para realizar un análisis preliminar del requerimiento de insumos y de proveedores, se analizan los componentes que constituyen la sembradora y se consideran aquellos más significativos. La Tabla 4 enumera los componentes seleccionados y las cantidades requeridas por equipo. Cabe destacar que, dada la gran variedad de modelos que existen en el mercado, se optó por considerar uno de los equipos fabricados por **AM**, la sembradora de arrastre de 12 hileras.

Tabla 4. Principales componentes de la sembradora de arrastre

Componente	Unidades por Máquina	Unidad
Chapa de acero	2880	Kilos
Dosificador (Tipo Chevron)	12	Unidad
Discos Abridores	48	Unidad
Ruedas Niveladoras	48	Unidad
Ruedas Pisagranos	48	Unidad
Ruedas Tapadoras	48	Unidad
Ruedas De Mando	6	Unidad
Sistema Hidráulico	1	Unidad
Sistema de Transmisión	1	Unidad

Respecto a los valores presentados en la Tabla 4, se requieren algunas aclaraciones:

- Los componentes chasis y tolva de la sembradora, están fabricados a partir de chapa de acero. Según informes del *Centro de Estudios para la producción* (CEP) del Ministerio de Industria, el 80% del peso de la sembradora se debe a la chapa plegada del armazón y la tolva [9]. Conociendo el peso aproximado de la sembradora estudiada, se logró estimar la cantidad de chapa necesaria como insumo principal de fabricación.

- Debido a la complejidad de los sistemas hidráulicos y de transmisión, es que se optó por considerar este elemento como un solo insumo.

4.2. Localización de Proveedores

En estudios realizados previos al presente trabajo (Croce y otros, 2012 [10]), se investigó la ubicación de empresas del rubro agroindustrial y sus proveedores. A partir de ello, se analizó el principal polo productivo de máquinas agrícolas conocido como el *Triángulo Productivo de Maquinaria Agrícola*, determinado por las localidades de Las Parejas (Santa Fe), Armstrong (Santa Fe) y Marcos Juárez (Córdoba), donde más del 60% de empleo se vincula a esta rama industrial [11]. De este modo, tanto la empresa **AM** como sus proveedores se encuentran en la misma región. La Tabla 5 presenta un listado de tales proveedores y los insumos que lo fabrican.

Tabla 5. Proveedores de insumos a AM

Componente	Proveedor	Ubicación proveedor	Distancia a AM (Km)
ACERO	1B	Rosario - Santa Fe	230
	1C	Firmat - Santa Fe	110
DOSIFICADOR (Chevron)	2A	Las Parejas - Santa Fe	165
DISCOS ABRIDORES	3A	Oncativo - Córdoba	170
	3B	Garín - Buenos Aires	449
	3C	Rufino - Santa Fe	210
RUEDAS NIVELADORAS	4A	Monte Maiz - Córdoba	0
	3B	Garín - Buenos Aires	449
	3C	Rufino - Santa Fe	210
RUEDAS PISAGRANOS	4A	Monte Maiz - Córdoba	0
	3B	Garín - Buenos Aires	449
	3C	Rufino - Santa Fe	210
RUEDAS TAPADORAS	4A	Monte Maiz - Córdoba	0
	3B	Garín - Buenos Aires	449
	3C	Rufino - Santa Fe	210
RUEDAS DE MANDO	4A	Monte Maiz - Córdoba	0
	3B	Garín - Buenos Aires	449
	3C	Rufino - Santa Fe	210
SISTEMA HIDRAULICO (Mangueras, Cilindro, Válvulas, Codos)	5A	San Jorge - Santa Fe	260
	5B	San Francisco - Córdoba	264
SISTEMA DE TRANSMISIÓN (Engranajes, Cadenas, Ejes, Caja)	6A	Rosario, Santa Fe	230
	6B	Perez, Santa Fe	204

Con los datos indicados en la Tabla 5, se asume que aquellos componentes que cuentan con fabricantes en la misma localidad de Monte Maíz, son provisto a AM por dicho proveedores locales. De este modo, los componentes a comprar en Monte Maíz, quedan fuera del presente estudio preliminar. A partir de tal consideración, las ruedas niveladoras, pisagranos, tapadoras y de mando serán suministradas por la empresa 4A, siendo los componentes en análisis y sus proveedores los indicados en la Tabla 6. Las empresas de aprovisionamiento fueron elegidas teniendo en cuenta la cercanía a la planta de **AM** en Monte Maíz, la cercanía entre ellos, la facilidad de generar un recorrido y la disponibilidad de rutas.

Tabla 6. Componentes en estudio y sus proveedores

Componente	Proveedor	Ubicación proveedor	Distancia a AM (Km)
ACERO	1B	Rosario - Santa Fe	230
DOSIFICADOR (Chevron)	2A	Las Parejas - Santa Fe	165
DISCOS ABRIDORES	3A	Oncativo - Córdoba	170
SISTEMA HIDRAULICO	5A	San Jorge - Santa Fe	260
SISTEMA DE TRANSMISIÓN	6A	Rosario, Santa Fe	230

4.3. Propuesta de escenarios

Con el fin de analizar las variables que inciden en los costos e identificar las posibles limitaciones que pueden presentarse, se generan una serie de escenarios, tanto para temporada baja como para alta, que simplifican la operación y la logística de la empresa. En cada situación se modifican ciertos parámetros como la frecuencia de envíos, los recorridos y la cantidad de componentes, con el fin objetivo de:

- Maximizar la capacidad del camión
- Cubrir la demanda requerida de cada componente por AM
- Minimizar los costos.

Sin embargo, los parámetros de la Tabla 7 se mantienen constantes para todos ellos. Las Tablas 8 y 11 indican los parámetros variables en cada escenario.

Tabla 7. Parámetros constantes en escenarios propuestos

Máxima capacidad del camión	8500 Kg
Costo de transporte terciarizado	10 \$/Km

Debido al gran volumen y peso de los rollos de acero y a la complejidad y limitaciones en el transporte, se considera que el aprovisionamiento se hace en forma exclusiva, es decir, que cuando el camión visita al proveedor de acero, no puede pasar por otro proveedor y completar el camión con otros componentes. Las Tablas 9 y 10 presentan los resultados de cada uno de los escenarios planteados en temporada baja, mientras que las Tablas 12 y 13 indican los de alta.

4.3.1. Temporada Baja

Tabla 8. Presentación escenarios temporada baja

	ESCENARIO 1		ESCENARIO 2	
	Componentes	Acero	Componentes	Acero
Frecuencia de pedido	15 días	15 días	8 días	8 días
Nivel de Pedido	14786,6 Kg	141480 Kg	7886,2 Kg	75456 Kg
Nro de viajes requeridos	1,7	16,6	0,9	8,9

Tabla 9. Escenario 1 para temporada baja con alternativas

	Viaje #	De	A	Distancia (Km)	Carga (Kg)	Max Cap Camión (Kg)	Cap perdida (Kg)	% Cap perdida	Valor envío (\$)	Valor cap perdida (\$)	Valor envío (\$)	Costo Total envío (\$)	
OPCIÓN 1	Componentes	1	Rosario	Monte Maíz	230	7860	8500	640	8%	\$ 10,00	\$ 173,18	\$ 2.300,00	\$ 2.705,61
		2	Oncativo San Jorge Las Parejas	San Jorge Las Parejas Monte Maiz	514	6926,63	8500	1573,38	19%	\$ 10,00	\$ 951,43	\$ 5.140,00	\$ 6.091,43
	Acero	1 a 16	Rosario	Monte Maíz	230	8500	8500	0	0%	\$ 10,00	\$ -	\$ 2.300,00	\$ 36.800,00
		17	Rosario	Monte Maíz	230	5480	8500	3020	36%	\$ 10,00	\$ 817,18	\$ 2.300,00	\$ 3.117,18
	TOTAL COSTO TRANSPORTE POR ENVÍO												\$ 48.714,21
	COSTO TRANSPORTE POR LA TEMPORADA												\$ 581.781,38
OPCIÓN 2	Componentes	1	Rosario Las Parejas	Las Parejas Monte Maíz	260	8154,75	8500	345,25	4%	\$ 10,00	\$ 105,61	\$ 2.600,00	\$ 2.705,61
		2	San Jorge Oncativo	Oncativo Monte Maiz	464	6631,88	8500	1868,13	22%	\$ 10,00	\$ 1.019,78	\$ 4.640,00	\$ 5.659,78
	Acero	1 a 16	Rosario	Monte Maíz	230	8500	8500	0	0%	\$ 10,00	\$ -	\$ 2.300,00	\$ 36.800,00
		17	Rosario	Monte Maíz	230	5480	8500	3020	36%	\$ 10,00	\$ 817,18	\$ 2.300,00	\$ 3.117,18
TOTAL COSTO TRANSPORTE POR ENVÍO												\$ 48.282,56	
COSTO TRANSPORTE POR LA TEMPORADA												\$ 579.390,71	

Tabla 10. Escenario 2 para temporada baja

	Viaje #	De	A	Distancia (Km)	Carga (Kg)	Max Cap Camión (Kg)	Cap perdida (Kg)	% Cap perdida	Valor envío (\$)	Valor cap perdida (\$)	Valor envío (\$)	Costo Total envío (\$)
Componentes	1	Rosario San Jorge Las Parejas Oncativo	San Jorge Las Parejas Oncativo Monte Maiz	664	7886,2	8500	613,8	7%	\$ 10,00	\$ 479,49	\$ 6.640,00	\$ 7.119,49
Acero	1 a 8	Rosario	Monte Maíz	230	8500	8500	0	0%	\$ 10,00	\$ -	\$ 2.300,00	\$ 18.400,00
	17	Rosario	Monte Maíz	230	7456	8500	1044	12%	\$ 10,00	\$ 282,49	\$ 2.300,00	\$ 2.582,49
TOTAL COSTO TRANSPORTE POR ENVÍO												\$ 28.101,98
COSTO TRANSPORTE POR LA TEMPORADA												\$ 632.294,56

4.3.2. Temporada Alta

Tabla 11. Presentación escenarios temporada alta

	ESCENARIO 1		ESCENARIO 2		ESCENARIO 3	
	Componentes	Acero	Componentes	Acero	Componentes	Acero
Frecuencia de pedido	15 días	15 días	9 días	9 días	29 días	29 días
Nivel de Pedido	25585 Kg	244800 Kg	15351 Kg	146880 Kg	49464,3 Kg	473280 Kg
Nro de viajes requeridos	3,01	28,8	1,81	17,28	5,82	55,68

Tabla 12. Escenario 1 para temporada alta con alternativas

		Viaje #	De	A	Distancia (Km)	Carga (Kg)	Max Cap Camión (Kg)	Cap perdida (Kg)	% Cap perdida	Valor envío (\$)	Valor cap perdida (\$)	Valor envío (\$)	Costo Total envío (\$)
OPCIÓN 1	Componentes	1	Rosario	Monte Maíz	230	8500	8500	0	0%	\$ 10,00	\$ -	\$ 2.300,00	\$ 2.300,00
		2	San Jorge Las Parejas Rosario	Las Parejas Rosario Monte Maíz	260	6885	8500	1615	19%	\$ 10,00	\$ 494,00	\$ 2.600,00	\$ 3.094,00
		3	Oncativo	Monte Maíz	210	8500	8500	0	0%	\$ 10,00	\$ -	\$ 2.100,00	\$ 2.100,00
		4	Oncativo	Monte Maíz	210	1700	8500	1573,38	80%	\$ 10,00	\$ 1.680,00	\$ 2.100,00	\$ 3.780,00
	Acero	1 a 28	Rosario	Monte Maíz	230	8500	8500	0	0%	\$ 10,00	\$ -	\$ 2.300,00	\$ 64.400,00
		29	Rosario	Monte Maíz	230	6800	8500	1700	20%	\$ 10,00	\$ 460,00	\$ 2.300,00	\$ 2.760,00
TOTAL COSTO TRANSPORTE POR ENVÍO												\$ 78.434,00	
COSTO TRANSPORTE POR LA TEMPORADA												\$ 941.208,00	
OPCIÓN 2	Componentes	1	Oncativo	Monte Maíz	210	8500	8500	0	0%	\$ 10,00	\$ -	\$ 2.100,00	\$ 2.100,00
		2	Oncativo San Jorge Las Parejas Rosario	San Jorge Las Parejas Rosario Monte Maíz	685	8500	8500	0	0%	\$ 10,00	\$ -	\$ 6.850,00	\$ 6.850,00
		3	Rosario	Monte Maíz	230	8500	8500	0	0%	\$ 10,00	\$ -	\$ 2.300,00	\$ 2.300,00
		4	Rosario	Monte Maíz	230	85	8500	8415	99%	\$ 10,00	\$ 2.277,00	\$ 2.300,00	\$ 4.577,00
	Acero	1 a 28	Rosario	Monte Maíz	230	8500	8500	0	0%	\$ 10,00	\$ -	\$ 2.300,00	\$ 64.400,00
		29	Rosario	Monte Maíz	230	6800	8500	1700	20%	\$ 10,00	\$ 460,00	\$ 2.300,00	\$ 2.760,00
TOTAL COSTO TRANSPORTE POR ENVÍO												\$ 82.987,00	
COSTO TRANSPORTE POR LA TEMPORADA												\$ 995.844,00	

Tabla 13. Escenario 2 para temporada alta con alternativas

	Viaje #	De	A	Distancia (Km)	Carga (Kg)	Max Cap Camión (Kg)	Cap perdida (Kg)	% Cap perdida	Valor envío (\$)	Valor cap perdida (\$)	Valor envío (\$)	Costo Total envío (\$)	
OPCIÓN 1	Componentes	1	Rosario	Monte Maíz	230	8160	8500	340	4%	\$ 10,00	\$ 92,00	\$ 2.300,00	\$ 2.392,00
		2	Oncativo San Jorge Las Parejas	San Jorge Las Parejas Monte Maíz	514	7191	8500	1309	15%	\$ 10,00	\$ 791,56	\$ 5.140,00	\$ 5.931,56
	Acero	1 a 17	Rosario	Monte Maíz	230	8500	8500	0	0%	\$ 10,00	\$ -	\$ 2.300,00	\$ 39.100,00
		18	Rosario	Monte Maíz	230	2380	8500	6120	72%	\$ 10,00	\$ 1.656,00	\$ 2.300,00	\$ 3.956,00
	TOTAL COSTO TRANSPORTE POR ENVÍO												\$ 51.379,56
COSTO TRANSPORTE POR LA TEMPORADA												\$ 1.027.591,20	
OPCIÓN 2	Componentes	1	Rosario Las Parejas	Las Parejas Monte Maíz	260	8466	8500	34	0,4%	\$ 10,00	\$ 10,40	\$ 2.600,00	\$ 2.610,40
		2	San Jorge Oncativo	Oncativo Monte Maíz	464	6885	8500	1615	19%	\$ 10,00	\$ 881,60	\$ 4.640,00	\$ 5.521,60
	Acero	1 a 17	Rosario	Monte Maíz	230	8500	8500	0	0%	\$ 10,00	\$ -	\$ 2.300,00	\$ 39.100,00
		18	Rosario	Monte Maíz	230	2380	8500	6120	72%	\$ 10,00	\$ 1.656,00	\$ 2.300,00	\$ 3.956,00
	TOTAL COSTO TRANSPORTE POR ENVÍO												\$ 51.188,00
COSTO TRANSPORTE POR LA TEMPORADA												\$ 1.023.760,00	

Tabla 14. Escenario 2 para temporada alta con alternativas

	Viaje #	De	A	Distancia (Km)	Carga (Kg)	Max Cap Camión (Kg)	Cap perdida (Kg)	% Cap perdida	Valor envío (\$)	Valor cap perdida (\$)	Valor envío (\$)	Costo Total envío (\$)
Componentes	1	Rosario	Monte Maiz	230	8500	8500	0	0%	\$ 10,00	\$ -	\$ 2.300,00	\$ 2.300,00
	2	Rosario	Monte Maiz	230	8500	8500	0	0%	\$ 10,00	\$ -	\$ 2.300,00	\$ 2.300,00
	3	Rosario	Monte Maiz	230	8500	8500	0	0%	\$ 10,00	\$ -	\$ 2.300,00	\$ 2.300,00
	4	Rosario Las parejas San Jorge Oncativo	Las Parejas San Jorge Oncativo Monte Maíz	664	6885	8500	0	0%	\$ 10,00	\$ -	\$ 4.640,00	\$ 6.640,00
	5	Oncativo	Monte Maiz	210	8500	8500	0	0%	\$ 10,00	\$ -	\$ 2.100,00	\$ 2.100,00
	6	Oncativo	Monte Maiz	210	6964,3	8500	1535,67	18%	\$ 10,00	\$ 379,40	\$ 2.100,00	\$ 2.479,40
Acero	1 a 55	Rosario	Monte Maíz	230	8500	8500	0	0%	\$ 10,00	\$ -	\$ 2.300,00	\$ 126.500,00
	56	Rosario	Monte Maíz	230	5780	8500	2720	32%	\$ 10,00	\$ 736,00	\$ 2.300,00	\$ 3.036,00
TOTAL COSTO TRANSPORTE POR ENVÍO												\$ 147.655,40
COSTO TRANSPORTE POR LA TEMPORADA												\$ 916.481,79

A partir de los diferentes escenarios planteados, es posible afirmar que, tanto en temporada baja como en alta, a medida que la frecuencia de envío aumenta, los costos unitarios por envío también aumentan, debido a que se requieren más viajes; pero el costo total de transporte por temporada es menor. Es decir que, siempre y cuando se logren cumplir los requerimientos de insumos según la demanda estimada, es más conveniente tomar un período de envío más amplio para obtener menores costos.

El planteo de escenarios resulta útil para la identificación de las variables y las restricciones que condicionan el aprovisionamiento. Sin embargo, a medida que se incorporan nuevos factores intervinientes y se complejiza el contexto, el estudio por escenarios resulta limitado.

Por otra parte, la comparación por escenarios puede brindar una aproximación a una buena solución, pero no necesariamente permite hallar la óptima.

De este modo, se propone la formulación de un modelo matemático que permita seleccionar la mejor alternativa de aprovisionamiento entre diferentes proveedores para los componentes bajo estudio.

4.4. Modelo Matemático

El modelo generado plantea como objetivo la minimización de los costos de aprovisionamiento, incluyendo tanto el costo de los insumos como el transporte. Asimismo, asegura que en cada viaje que se realiza, se respeta la capacidad limitante del camión y que se cubre la demanda de materiales requerida. A continuación se indican los elementos considerados en el modelado.

4.4.1. Índices

i = insumos

j = nodos

k = tramo

4.4.2. Variables

q_{ij} = Cantidad del insumo i provista por el nodo j (positiva)

n = Número totales de viajes por temporada requeridos para el abastecimiento (entera)

$v_{jj',k}$ = Viaje entre nodos j y j' en el tramo k (binaria)

$nv_{jj',k}$ = Variable auxiliar para reemplazar el producto de n por $v_{jj',k}$ (positiva)

4.4.3. Parámetros

RU_i = Requerimiento unitario de insumo i para satisfacer la demanda, en unidades

RI_i = Requerimiento total de insumo i para toda la temporada, en unidades

DE = Demanda de sembradoras para la temporada, en unidades

$Qmin_{ij}$ = Cantidad mínima del insumo i a ser provista por el proveedor j , en unidades

$Qmax_{ij}$ = Cantidad máxima del insumo i a ser provista por el proveedor j , en unidades

P_i = Peso del insumo i , en kilogramos

$DI_{jj'}$ = Distancia entre los nodos j y j' , en kilómetros

Cmp_{ij} = Costos del insumo i provisto por el nodo j

Ckm = Costos de transporte terciarizado, en \$/kilómetro

CAP = Capacidad del camión, en kilogramos

$CT_{jj'}$ = Costos de transporte entre los nodos j y j'

C = Costo total de aprovisionamiento

Ecuación 1. Costo de transporte entre nodos

$$CT_{jj'} = Ckm \times DI_{jj'}$$

Ecuación 2. Requerimientos de componentes

$$RI_i = DE \times RU_i$$

4.4.4. Restricciones

Ecuación 3. Limitación de la capacidad máxima del camión para todos los viajes

$$\sum_{ij} q_{ij} \times P_i \leq n \times CAP$$

Ecuación 4. Asignación única del nodo j' como destino y en un único tramo k

$$\sum_{kj} v_{jj'k} \leq 1; \quad \forall j'$$

Ecuación 5. Asignación única del nodo j como origen y en un único tramo k

$$\sum_{kj'} v_{jj'k} \leq 1; \quad \forall j$$

Ecuación 6. Asignación del destino del tramo k como origen del tramos $k+1$

$$\sum_{j'} v_{jj'k} \geq \sum_{j''} v_{jj''k+1}; \quad \forall j \text{ y } \forall k$$

Ecuación 7. Determinación de un único origen y un único destino cada tramo k

$$\sum_{jj'} v_{jj'k} \leq 1; \quad \forall k$$

Ecuación 8. Asignación del nodo empresa ($j1$) como destino del viaje

$$\sum_{jk} v_{jj'k} = 1; \quad \forall j' = 1$$

Ecuación 9. Asignación del nodo empresa ($j1$) como inicio del viaje

$$\sum_{j'} v_{jj'k} = 1; \quad \forall j = 1 \text{ y } \forall k = 1$$

Ecuación 10. Cantidad de viajes entre nodo j y j' en el tramo k , por temporada

$$nv_{jj'k} \geq n - M \times (1 - v_{jj'k}); \quad M \gg 0$$

Ecuación 11. Impedimento de aprovisionamiento de insumo i por nodo j , si no se visita el nodo j

$$q_{ij} \leq Q_{max_{ij}} \times B \times \sum_{j'k} v_{jj'k} \quad \forall j \neq 1 \text{ y } \forall j \neq j' \quad B \gg 0$$

Ecuación 12. Requerimiento de cumplimiento de demanda

$$\sum_j q_{ij} \geq RI_i \quad \forall j \neq 1$$

Ecuación 13. Costo total de aprovisionamiento

$$C = \sum_{ij} (q_{ij} \times Cmp_{ij}) + \sum_{jj'k} CT_{jj'} \times nv_{jj'k}$$

Así, el modelo tiene como función objetivo minimizar C , es decir, minimizar los costos totales de aprovisionamiento.

Se incluyen variables positivas (q_{ij} y $nv_{jj'k}$), variables enteras (n) y variables binarias ($v_{jj'k}$), y se identificaron agentes condicionantes a través de la determinación de las restricciones, donde se relacionan dichas variables junto a los parámetros necesarios.

5. RESULTADOS

El modelo propuesto es del tipo MILP (*Mixed Integer Linear Programming*), fue implementado en GAMS 23.7.3 y resuelto con CPLEX 12.3. La Tabla 15 muestra los resultados obtenidos del modelo, para cada una de las temporadas.

Tabla 15. Resultados obtenidos del modelo matemático para el caso planteado

Recorrido	Proveedor		Insumo		ALTA	BAJA
					qij (Ud)	qij (Ud)
# 1	j3	Oncativo, Cba	i2	Disco Abridor	32640	18867
# 2	j6	San Francisco, Cba	i3	Sistema Hidráulico	680	393
# 3	j9	Rosario, Sta Fe	i5	Acero	231,2	133,62
# 4	j7	Rosario, Sta Fe	i4	Transmisión	680	393
# 5	j2	Las Parejas, Sta Fe	i1	Dosificador	8160	4716
n					25 viajes	14 viajes
c					\$ 83.685.178,0	\$ 48.360.665,3
CT					\$ 779.510,0	\$ 446.066,0

El modelo propuesto permite definir quiénes serán los proveedores de cada uno de los insumos, teniendo en cuenta los costos de transporte y las distancias, como así también los costos de los materiales. En este caso particular, cada insumo es adquirido a un solo proveedor, y es el mismo en ambas temporadas.

Asimismo, el modelo determina la cantidad de viajes a realizar para el transporte de insumos que permita cumplir con los requerimientos de demanda; como así también el orden del recorrido, es decir, de qué manera se van a recoger los pedidos. Este modelo supone un único recorrido, de modo que todos los viajes se realizan en la misma secuencia. También considera que en cada viaje se visita a todos los nodos j.

Es importante remarcar que esta modelización no sólo abarca el ruteo y la forma de visitar a los proveedores, sino que también incluye cuestiones de limitación en el transporte, según la capacidad de los camiones. Esto no se trata de un detalle menor, dado que es un factor restrictivo en la cantidad de insumos a transportar por viaje. Por otro lado, se destaca que los costos de transporte obtenidos con el modelo desarrollado (CT - Tabla 15) son inferiores a los obtenidos a partir de los escenarios propuestos.

6. CONCLUSIONES

Las decisiones logísticas y de aprovisionamiento vinculadas a una empresa suponen un elevado número de elementos a tener en cuenta, como ser distancias, recorridos, tiempos de viaje y de aprovisionamiento, capacidades y demanda. La definición de un modelo matemático permite incluir las variables a considerar junto a las restricciones que condicionan la operación, buscando siempre cumplir con la minimización del costo total.

El planteo de escenarios realizados en una primera instancia resultó necesario para la identificación de las variables y restricciones que afectan las decisiones de aprovisionamiento. Se pudo evidenciar la dificultad de considerar todos los aspectos en caso de estudios particulares, siendo esto el disparador en la necesidad de determinar un modelo matemático.

El modelo propuesto integra tanto decisiones de ruteo como de transporte y de carga en sí. Para ampliar aún más el análisis y acerca el modelo a la realidad, se propone para trabajos futuros flexibilizar el planteo permitiendo múltiples rutas de recorridos. Es decir, el modo de recoger los pedidos podría variar en cada viaje, sin necesidad que se retire la misma cantidad de insumos y sin necesidad de visitar a todos los proveedores, en cada uno de los viajes.

Por otra parte, se podría extender el factor limitante del camión, no sólo la capacidad en kilos, sino también el volumen; o manejar múltiples tipos de camiones con capacidades diferentes y asignación de unidades a recorridos.

De todos modos, se considera que es modelado obtenido permite una inicial aproximación a la situación real de aprovisionamiento del sector de máquinas agrícolas, pudiendo aplicarse para otros equipos del rubro también, como aquellos de alto nivel tecnológico.

7. REFERENCIAS

- [1] Instituto Nacional de Estadísticas y Censos – INDEC. “Informe de coyuntura de la Industria de Maquinaria Agrícola. Cuatro trimestre año 2011”.
- [2] Delivand, M.K.; Barz, M.; Gheewala, S.H. The Joint Graduate School of Energy and Environment & Centre of Energy, Technology and Environment, Ministry of Education, Thailand “Logistics cost analysis of rice Straw for biomass power generation in Thailand” (2011)
- [3] Hameed, I.A.; Bochtis, D.D.; Sørensen, C.G. Vougioukas, S. a University of Aarhus, Faculty of Science and Technology, Denmark & Aristotle University of Thessaloniki, Agricultural Engineering Laboratory, Dept. of Hydraulics, Soil Science and Agricultural Engineering, Greece. “An object-oriented model for simulating agricultural in-field machinery activities” (2011).
- [4] Köbera, J.; Heinecke, G. CLAAS Selbstfahrende Erntemaschinen GmbH, Germany; Swiss Federal Institute of Technology (ETH), Switzerland; Corporate Technology Siemens AG, Germany. “Hybrid Production Strategy Between Make-to-Order and Make-to-Stock – A Case Study at a Manufacturer of Agricultural Machinery with Volatile and Seasonal Demand”. (2012)
- [5] Instituto Nacional de Estadísticas y Censos – INDEC. “Informe de coyuntura de la Industria de Maquinaria Agrícola. Cuatro trimestre año 2011”.
- [6] Instituto Nacional de Estadísticas y Censos – INDEC. “Informe de coyuntura de la Industria de Maquinaria Agrícola. Primer trimestre año 2013”.
- [7] Diario online Patagones noticias. “Agrometal, el principal fabricante de sembradoras del país”. 13/03/2009.
- [8] Instituto Nacional de Estadísticas y Censos – INDEC. “Informe de coyuntura de la Industria de Maquinaria Agrícola. Cuatro trimestre año 2011”.
- [9] Centro de Estudios para la Producción – CEP del Ministerio de Industria. “Nacimiento y evolución de la empresa de sembradoras 'Ingeniero Enrique Bertini' en el contexto micro y macroeconómico argentino” (2007)
- [10] Croce, C.; Sincovich, V.; Tucci, V.; Rodriguez, A. “Análisis del proceso de abastecimiento en la industria de maquinaria agrícola”. COINI 2012
- [11] Instituto Nacional de Tecnología Industrial – INTI. “Plan Estratégico – Argentina 2020. Sector Maquinarias Agrícolas”.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo desean agradecer la buena predisposición de las instituciones consultadas al brindar información y datos requeridos para nuestro estudio.

Así mismo, agradecemos el apoyo de la Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Santa Fe, quienes financiaron el presente trabajo alentando desde el comienzo nuestra formación como investigadores.