



PROYECTO FINAL DE
INGENIERÍA INDUSTRIAL

“OPTIMIZACIÓN DE ESTRATEGIAS COMERCIALES
DE PRODUCTORES DE GRANOS A TRAVÉS DEL
ACOPIO”

AUTOR: KEVIN GRUT

TUTORES:

ING. JULIO GARCIA VELASCO

ING. FEDERICO PRETZEL

2012

Agradecimientos

Quiero agradecer a todos aquellos que hayan colaborado en este proyecto, especialmente a mis tutores Federico Pretzel y Julio García Velasco por su dedicación, apoyo y sus aportes en el entendimiento del problema. También a Pablo Oeyen por haberme guiado en el planteo del proyecto y su colaboración con información y datos.

Resumen

En este proyecto se investiga el rol del acopio en las estrategias de comercialización de granos en función de los objetivos de maximización de ingresos y minimización de riesgos desde el punto de vista de los productores. Se analizan dos aplicaciones del acopio. Por un lado, como herramienta para poder vender en el futuro a un precio distinto al actual. Se utiliza la programación dinámica estocástica y un modelo de precios para encontrar una regla de decisión óptima en función de los precios y según la tolerancia al riesgo del productor, el costo de acopio, y una tasa de descuento. La segunda aplicación estudiada es en el arbitraje con futuros. Se realiza un análisis de oportunidades históricas, encontrando que son pocas y para ello es necesaria una estructura de costos y operaciones muy eficiente.

Abstract

This project investigates the role of storage in a grain producer's marketing strategy, in which the objectives are to maximize profits and minimize risks. Two different applications of storage were analyzed. On one hand, as a means to be able to sell at better prices in the future. A stochastic dynamic programming model and a price model is used to find an optimal decision rule that depends on prices, the producer's level of risk aversion, the cost of storage and an interest rate. The second application studied is in soy futures arbitrage. Historical opportunities for arbitrage is studied, finding that they are indeed few and that to achieve them the cost and operations structure needs to be highly efficient.

INDICE

1	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	LA COMERCIALIZACIÓN DE GRANOS EN ARGENTINA.....	4
1.2	LA CONVENIENCIA DE ACOPIAR.....	9
1.3	ALTERNATIVAS DE ACOPIO.....	10
1.4	EL PRECIO DE LA SOJA.....	15
1.5	RIESGOS DEL PRODUCTOR.....	19
2	DECISIONES ÓPTIMAS.....	21
2.1	INTRODUCCIÓN.....	21
2.2	REGLAS DE DECISIÓN.....	22
2.3	PROGRAMACIÓN DINÁMICA.....	24
2.4	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	26
2.5	MODELO CONCEPTUAL.....	29
2.6	MODELO DE DATOS.....	34
2.7	MODELO OPERACIONAL.....	37
2.8	RESULTADOS.....	47
2.9	DESEMPEÑO DE LA REGLA DE DECISIÓN ÓPTIMA.....	54
2.10	CONCLUSIÓN.....	58
3	ARBITRAJE.....	59
3.1	ARBITRAJE CON FUTUROS.....	59
3.2	OPERACIÓN.....	60
3.3	OPORTUNIDADES DE ARBITRAJE.....	65
3.4	RIESGOS.....	67
3.5	AUMENTAR LAS OPORTUNIDADES DE ARBITRAJE.....	67
3.6	CONCLUSIÓN.....	69
4	CONCLUSIÓN.....	71
5	REFERENCIAS.....	73
6	ANEXO.....	75

1 INTRODUCCIÓN

Los productores agropecuarios se encuentran involucrados en negocios de alta variabilidad debido a su exposición a distintos factores de riesgo que influyen directamente en sus ingresos. Hoy en día, la red de comercialización de granos cuenta con una gran cantidad de actores y diversidad de canales, además de ofrecer distintas herramientas que permiten a los productores elaborar diferentes estrategias de acuerdo a sus objetivos comerciales.

Los productores tienen dos metas principales. Por un lado, aumentar el ingreso a través de mejores precios, y por otro lado reducir los riesgos. En la mayoría de los casos, estos objetivos son contradictorios, por lo que cada productor debe establecer sus preferencias a la hora de hacer decisiones de venta y cobertura.

Dentro de las distintas herramientas disponibles, una es el simple almacenaje de granos. En este trabajo se analizará las oportunidades que ofrece el almacenaje para elaborar estrategias adecuadas a objetivos de rentabilidad y riesgo de cada productor.

Una de estas oportunidades es la posibilidad de esperar y vender en el futuro, con la esperanza que los precios sean mejores. Esto tiene aparejado un cierto riesgo ya que la evolución de los precios es incierta y con alta variabilidad.

Otra oportunidad que ofrece el almacenaje es la de arbitrar en el mercado de granos. A partir de una cierta estructura de costos, y la capacidad de acopio, un productor puede aprovecharse de las diferencias entre los precios spot y precios de futuros para generar una ganancia sin riesgo alguno.

Los objetivos para este proyecto son:

- *Regla de decisión óptima.* Mediante la elaboración de un modelo de precios de soja y la programación dinámica estocástica se buscará una regla de decisión óptima y se analizará cómo esta se ve influida por cambios en factores como costo de acopio, costo de transporte, tasa de descuento y grado de aversión al riesgo.
- *Arbitraje.* Se estudiará cómo un productor puede establecer su franja de arbitraje y cómo puede operar para aprovechar situaciones de mercado. Además, se buscará la factibilidad de esta operación a partir de precios históricos y las distintas maneras para que un productor pueda aumentar sus oportunidades de arbitraje.

Antecedentes

El problema de las decisiones óptimas para productores ha sido estudiado en varios artículos de economía agraria. Uno de los primeros es Berg (1987) en donde se analiza las decisiones de almacenaje de productores de trigo en la Unión Europea. Para la optimización, propone dos algoritmos de resolución, un algoritmo a “lazo cerrado” y

otro a “lazo abierto”. La única diferencia entre estos es que en el caso del lazo abierto, no se permite actualizaciones de información luego de la cosecha. Es decir, al comienzo de la temporada el productor ya establece la estrategia completa. En el algoritmo de lazo cerrado, en cambio, se puede actualizar la estrategia en cualquier momento. En cada etapa de decisión, el productor compara el precio de venta actual con el ingreso esperado de una venta futura, descontando el costo de acopio. En este trabajo se consideró la tolerancia al riesgo de los productores, y se encontró que distribuir las ventas a lo largo del año es óptimo para un productor adverso al riesgo. Este estudio tiene algunos aspectos restrictivos en cuanto a los supuestos. Por ejemplo, se asume que la distribución de probabilidad del precio sigue una distribución triangular. También, se asume que la distribución de probabilidad para cualquier precio es independiente de los precios anteriores. De esta manera, se trabajó con una evolución de precios muy alejada de la realidad.

Otro estudio posterior es el realizado por Tronstad y Taylor (1989), en donde se incluye la posibilidad de hacer hedging con futuros y el efecto de los impuestos. No se considera en este trabajo la tolerancia al riesgo de los productores. De manera similar al estudio anterior, se encuentra que las ventas parciales a lo largo del año son también óptimas, pero en este caso esto es causa de la estructura de impuestos, con tasas distintas a diferentes niveles de ingreso. El método de solución es la programación dinámica estocástica.

Un estudio más reciente es el de Fackler y Livingston (2002), donde también se utiliza la programación dinámica estocástica para encontrar una regla de decisión óptima consistente en precios de corte a partir del cual se vende el grano. A diferencia de los estudios anteriores, se toma el tiempo como continuo, en vez de separarlo en etapas discretas. En este estudio tampoco se considera la tolerancia al riesgo de los productores.

Un último estudio es el realizado por Lai, Myers y Hanson (2003). Este trabajo, como los anteriores, utiliza la programación dinámica estocástica para obtener una regla de decisión óptima. Para incluir la tolerancia al riesgo de los productores, se utiliza una función de utilidad cóncava para transformar los ingresos obtenidos. Este es el único estudio de los mencionados que realiza un análisis de sensibilidad de las variables de tasa de interés y costo de acopio.

En todos estos trabajos, se elabora un modelo de precios como input para obtener la decisión óptima. En ningún caso el objetivo es producir un modelo para pronosticar precio a futuro. Uno de los únicos supuestos que se mantiene en todos los casos es el de no permitir las compras especulativas. Es decir, el productor solo puede vender grano, pero no comprarlo porque piense que el precio esté barato. Otro supuesto en común es que el costo de acopio es un costo variable mensual. Si se considerara la utilización de silobolsas, en cambio, solo habría que hacer una inversión inicial. Con

respecto a la producción de grano, que pasa a ser el stock inicial de la temporada de acopio, en algunos de estos trabajos se toma como una variable estocástica. En ninguno de estos artículos se considera tampoco el costo de transporte.

Estructura del trabajo

Este proyecto está dividido en tres secciones principales: un capítulo introductorio, un capítulo sobre decisiones de almacenaje óptimas y un capítulo sobre las oportunidades de arbitraje.

En el capítulo introductorio, en primer lugar se describe sintéticamente la estructura de la comercialización de granos en la Argentina. Seguidamente, se estudia la conveniencia de acopiar y las distintas alternativas de acopio. Luego se describe la evolución del precio de soja y sus componentes principales. Para finalizar el capítulo, se presentan los riesgos a los que está expuesto el productor y las herramientas disponibles para mitigarlos.

En el segundo capítulo, se comienza por establecer los objetivos de los productores y los factores que afectan sus planes de comercialización. Luego se introduce el método de la programación dinámica para seguir con la formulación del problema, el modelo conceptual, el modelo de datos y el modelo operacional. Seguidamente, se presentan los resultados del programa y se realiza una simulación para evaluar el desempeño de la decisión óptima obtenida.

En el tercer capítulo, se inicia con un marco teórico del arbitraje y una descripción de las operaciones a realizar por los productores. Luego se utilizan datos históricos de precios spot y de futuros para buscar posibles oportunidades de arbitraje en el pasado. Se finaliza el capítulo proponiendo brevemente algunas acciones para poder aumentar las posibilidades de aprovechar el arbitraje.

1.1 LA COMERCIALIZACIÓN DE GRANOS EN ARGENTINA

Canales y modalidades de venta

En la última temporada 2010/2011 la producción de granos a nivel nacional fue de 91,3 millones de toneladas entre maíz, trigo, soja y girasol. Entre estas, la de mayor participación es por lejos la soja, con 48,9 millones de toneladas, representando una participación del 54%.

El principal destino de la soja es la industria, para la producción de aceites y harinas, y en segundo lugar la exportación. Otros destinos, con participación mucho menor, son la industria de alimento balanceado y la compra para consumo propio.

La comercialización de la soja puede dividirse en tres etapas según quien sea el oferente. En la etapa primaria, el vendedor es el originador de la mercadería. Estos pueden ser productores propietarios, contratistas, fondos de inversión agrícola o pools de venta. La demanda está compuesta por acopiadores, cooperativas, proveedores de insumos, exportadores e industrias.

La segunda etapa tiene como oferentes a acopiadores, cooperativas y proveedores de insumos y como demandantes exportadores e industrias.

La tercera y última etapa involucra a los exportadores como oferentes y a los importadores de otros países como demandantes.

Otros participantes en la cadena comercial son los corredores, entregadores, laboratorios, bolsas de comercio y cámaras arbitrales. El siguiente diagrama muestra los canales más utilizados según el registro de contratos de la BCR, en el año 2006.

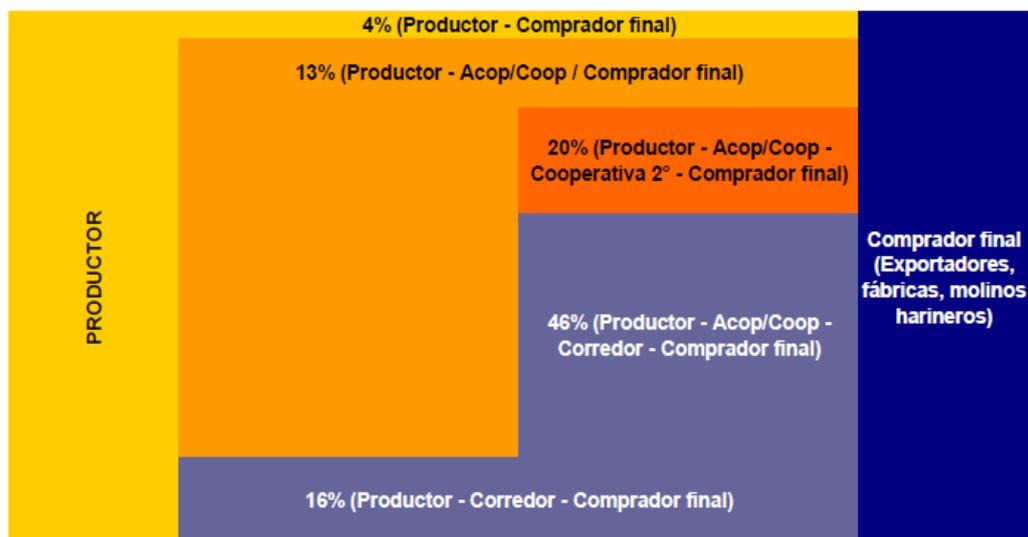


Figura 1.1 Canales de comercialización.

Básicamente existen dos modalidades de compraventa. La primera es con mercadería efectiva o disponible, y la segunda es con mercadería a futuro, cuando la mercadería

es todavía inexistente. Dentro de estas, existen distintas posibilidades para la entrega y el pago.

Mercadería disponible

- *Pago contra entrega.* La operación estándar. El pago se realiza de contado una vez entregado el grano. El precio se fija en condiciones de cámara.
- *Pago contra entrega incierta.* El pago se realiza con la entrega, pero esta no tiene fecha establecida. El comprador debe incluir en el precio un adicional por almacenaje e interés por el tiempo que el vendedor debe esperar.
- *Pago contra certificados de depósitos.* El pago se realiza antes de la entrega, y el comprador exige garantías, propias o de terceros, que avalen la operación. Al precio se le adiciona el costo de almacenaje por la duración estipulada.
- *Precio a fijar.* El pago es posterior a la entrega. La mercadería se encuentra en el depósito del comprador, pero el vendedor tiene el derecho de fijar el precio, dentro de un plazo determinado. En general, se toma el precio de las cámaras arbitrales. El comprador tiene derecho a utilizar la mercadería.
- *Calidad especial.* El comprador establece expresamente la calidad requerida para la mercadería. Se necesitan en este caso análisis de laboratorios y modos de almacenaje diferenciados. El precio del grano es superior al fijado en pizarra.

Mercadería a futuro

- *Anticipadas.* Se realiza el pago por la mercadería antes de su existencia. El comprador exige garantías para respaldar la operación. Se tiene en cuenta el precio futuro del grano y se descuenta la tasa de interés por el costo de oportunidad del dinero y una tasa de riesgo.
- *Canje.* Consiste en un canje de insumos en el momento de su utilización, por el compromiso de entrega de una determinada cantidad de granos. Se tiene en cuenta el valor de los insumos, la tasa de interés y la tasa de riesgo.
- *Forward.* El pago se efectúa en el mes pactado al momento de la entrega. El precio se determina con anterioridad en el contrato. Este es un acuerdo comercial entre las partes, y culmina únicamente con la entrega del grano.
- *Mercado a término.* Existen para la soja tres instrumentos: Futuros, Puts y Calls. Una ventaja de estas operaciones es que se realizan dentro del marco institucional del Mercado a Término, garantizando el cumplimiento de los contratos. Otra es que una parte puede desistir de la operación sin autorización de la contraparte. Los Futuros son contratos de compraventa, similares a los forwards, donde se está obligado a comprar o vender la mercadería. Los forwards son contratos creados a medida para una operación y dos agentes en particular, mientras que los futuros son contratos estandarizados, en los que una de las contrapartes es siempre la bolsa de comercialización. Los puts son

opciones de venta, donde el vendedor no tiene la obligación de vender. Los calls son opciones de compra, donde el comprador no tiene la obligación de comprar.

En la Argentina hay dos mercados donde se pueden operar futuros y opciones: el Rosario Futures Exchange (ROFEX) y el Mercado a Término de Buenos Aires (MATBA), siendo este último el principal. Los granos comercializados son soja, trigo, maíz, girasol y sorgo. En 2011 se comercializaron en MATBA 20.535.456 toneladas, mientras que en ROFEX solo 6.773.360 toneladas. A nivel nacional, la producción en 2011 fue de 95.787.845 de toneladas. Es decir, pasó por el mercado a término menos del 30% de la producción nacional. El volumen operado tiende a aumentar, pero a una velocidad mucho menor que la del aumento de la producción. Claramente el uso de estos instrumentos no tiene gran difusión en la Argentina, principalmente por desconocimiento y desconfianza general hacia los intermediarios y las ventas a futuro. En resumen, existe una gran cantidad de posibilidades de comercialización de la soja por la combinación de los distintos canales y modalidades, lo que hace que se pueda elaborar una estrategia de comercialización adecuada a los objetivos de cada productor.

El almacenaje

El almacenaje juega un rol crucial en la red de comercialización de los granos. Por un lado, sirve para regular los flujos físicos de los insumos y productos a medida que pasan por las distintas etapas. También, como se dijo anteriormente, el almacenaje es fundamental para las decisiones de compraventa del productor ante cambios en el precio.

En los últimos años se observó una expansión de la capacidad de acopio en Argentina pero a una tasa menor al aumento de la producción, por lo que existe un déficit de acopio que empeora año a año. El almacenamiento de granos puede hacerse en el mismo campo, en cooperativas y acopios de la zona o en silos ubicados en puertos y fábricas.

La provincia con la mayor capacidad de almacenaje es Buenos Aires, con 21,3 millones de toneladas de capacidad de almacenaje declarada, seguida por Santa Fe y Córdoba con 18,2 y 8,5 millones de toneladas respectivamente. No se cuenta con información suficiente sobre este sector, pero se estima que un 54% de la capacidad en instalaciones fijas corresponde a acopiadores y cooperativas. Un 22% es almacenado por productores (no incluye silobolsas) y un 11% a molinos aceiteros. El resto se divide en puertos de exportación, molinos harineros, balanceadores y seleccionadores. En 2008 se estimó que un 30% de la capacidad de acopio general (Instalaciones Fijas + Silobolsas) correspondía a las silobolsas.

El siguiente diagrama muestra las existencias declaradas de soja para las distintas campañas desde el 2008. Los datos son del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca.

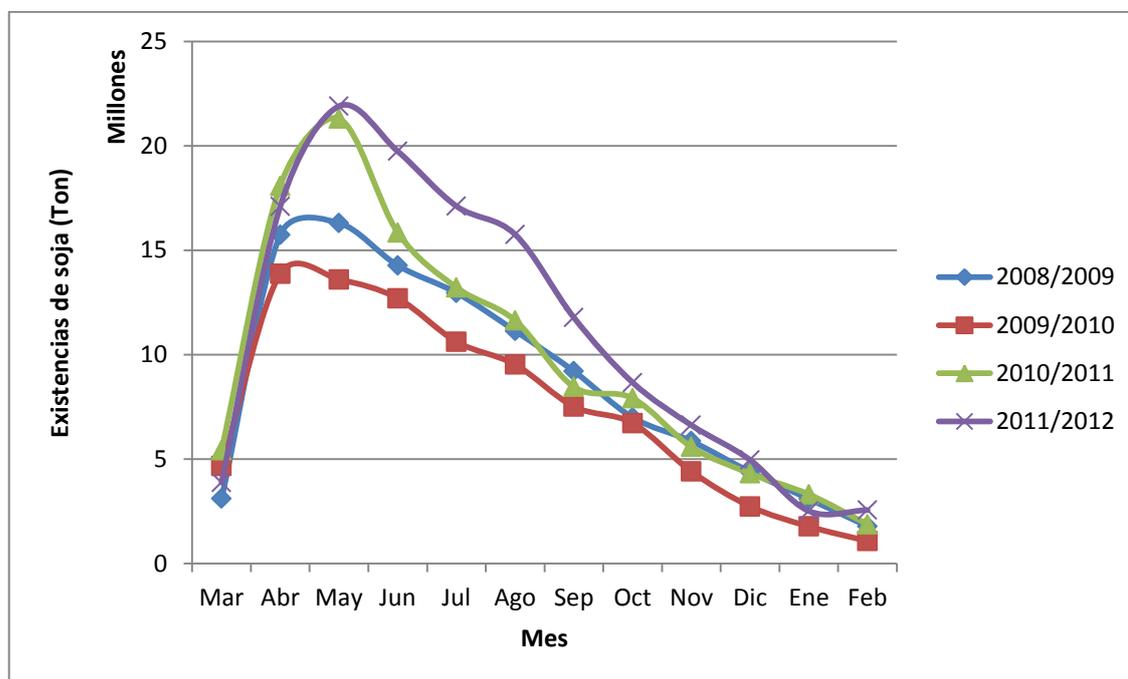


Figura 1.2 Existencias de soja en Argentina.

En marzo comienza la cosecha y aumentan las existencias, pero el salto más grande se da en el mes de abril. En mayo el stock suele seguir creciendo, pero luego comienza a bajar hasta febrero, donde se da el punto más bajo de la temporada de acopio. Estos datos no permiten evaluar qué cantidad de grano termina siendo acopiada por más de un año.

Red de transporte

En Argentina, se estima que la producción agrícola es transportada a los puertos en un 84% por camión, un 14,5% por ferrocarril y en un 1,5% por barcasas. Las exportaciones son realizadas en un 90% por buques de carga, un 7% por camión, y el restante por ferrocarril y barcasas. En comparación con los otros grandes productores de granos, Brasil y Estados Unidos, la Argentina posee mayores costos de comercialización. Es por esto que el transporte es un factor crucial para la rentabilidad y la competitividad de la industria. La magnitud del transporte por camiones lleva a que por día ingresen a la ciudad de Rosario un promedio de 5.000 camiones, aunque este sea un número muy variable según la época del año.

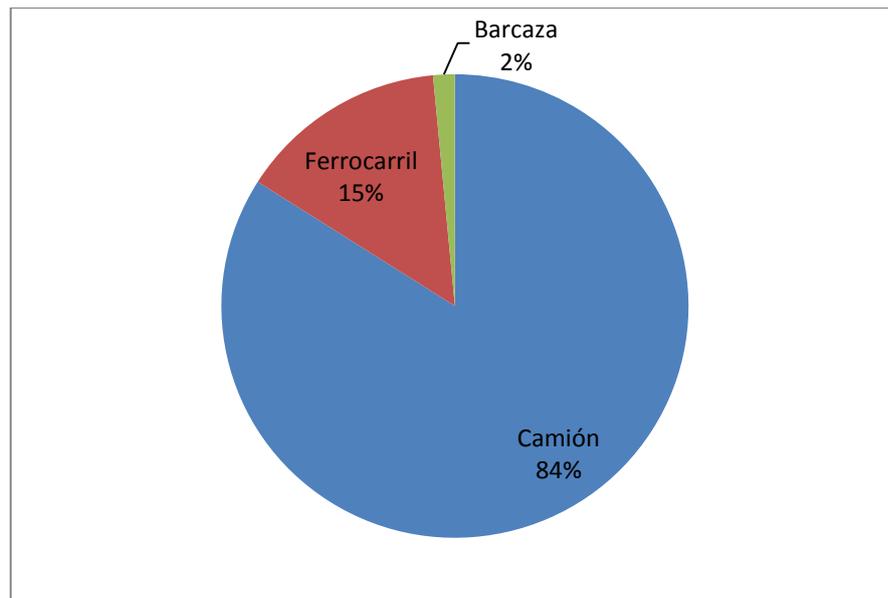


Figura 1.3 Participación de los distintos medios de transporte.

El camión es el medio más utilizado a pesar de sus tarifas superiores, siendo 3,25 veces del costo de la barcaza y 2,50 veces el costo del ferrocarril. Las ventajas del camión son la rapidez, flexibilidad y el hecho de que sea un servicio puerta a puerta. En promedio, pueden encontrarse centros de acopio dentro de un radio de 20 km. del campo y a una distancia media de 300 km. de centros industriales y puertos.

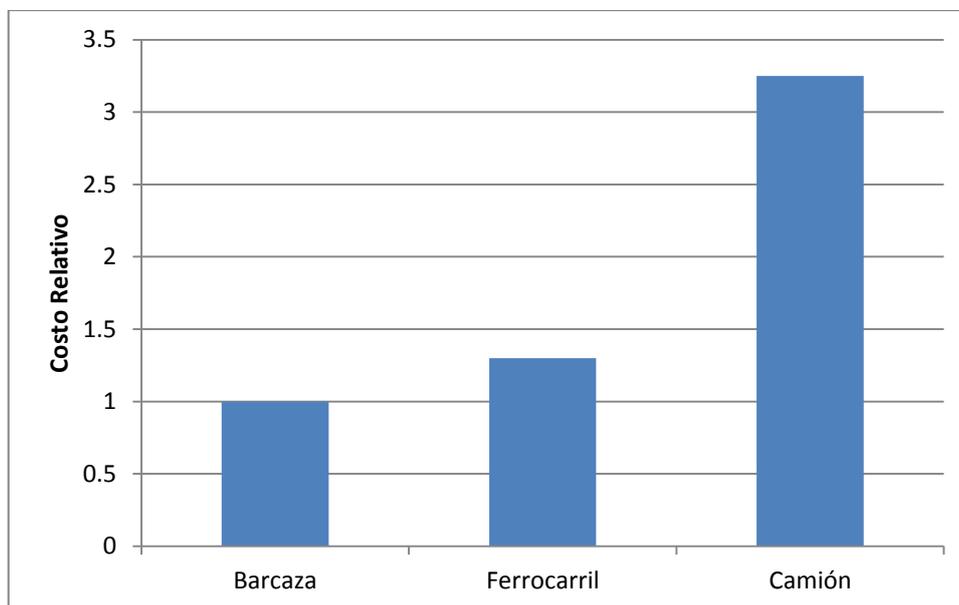


Figura 1.4 Relación de costos unitarios de las modalidades de transporte, tomando como base la barcaza.

La Confederación Argentina de Transporte Automotor (CATAC) se ocupa de llevar a cabo negociaciones con los distintos actores de la red de comercialización para establecer un cuadro tarifario de referencia que es publicado anualmente.

Existen dos tipos de flete principales. En primer lugar, lo que se llama el “flete corto”, que corresponde al transporte del grano en la etapa primaria, como por ejemplo de un campo de producción a un centro de acopio. El otro tipo es el “flete largo”, que corresponde al transporte de la siguiente etapa, por ejemplo de un acopiador a una industria.

1.2 LA CONVENIENCIA DE ACOPIAR

En este capítulo se estudia si en el mercado de soja en la Argentina existe o existió la posibilidad de mejorar las utilidades mediante el acopio.

Precios históricos

Un primer indicador para analizar esto puede ser la variación de los precios durante las temporadas de acopio (tiempo entre cosechas) de los últimos años. Para hacer este análisis se toma una serie histórica de precios de soja en dólares (se usan promedio mensuales), y por el momento se ignoran costos de acopio y flete. En la siguiente tabla se muestra el máximo precio de la temporada, que hubiera podido ser alcanzado a través del acopio, junto con los precios al momento de la cosecha (se toma el mes de Abril) y la diferencia en porcentaje.

Año	Acopio (US\$/ton)	Sin Acopio (US\$/ton)	Porcentaje	Mes de precio máx.	Duración del acopio
1995	262,5	185,7	41%	1	9
1996	308,5	271,8	14%	3	11
1997	308,3	296,5	4%	11	7
1998	212,3	212,3	0%	4	0
1999	185,4	154,2	20%	2	10
2000	206,1	175,6	17%	12	8
2001	232,8	142,2	64%	1	9
2002	177,2	131,0	35%	2	10
2003	237,5	166,5	43%	1	9
2004	235,3	235,3	0%	4	0
2005	187,4	168,0	12%	7	3
2006	208,4	165,7	26%	12	8
2007	349,9	193,5	81%	3	11
2008	308,2	281,7	9%	7	3
2009	277,6	256,4	8%	6	2
2010	362,0	227,6	59%	1	9
2011	321,7	317,2	1%	8	4

Tabla 1.1 Análisis de la conveniencia histórica del acopio.

Como puede observarse, en la mayoría de los años hubiera convenido almacenar la soja. La duración promedio hasta llegar al precio máximo es de 6,6 meses. Sin embargo, el mes en el que más veces estuvo el precio máximo es enero, con cuatro veces en los 17 años. Nunca el precio promedio mensual fue el más alto en los meses de mayo, septiembre y octubre.

Claramente, la dificultad de aprovechar esta oportunidad radica en la incertidumbre en el momento de tomar la decisión. Es difícil afirmar con certeza que los precios aumentarán y también existe la complicación de determinar el momento justo de venta, donde no se espera que siga subiendo el precio. Es decir que la decisión del productor dependerá fuertemente de las perspectivas propias sobre la evolución de los precios.

1.3 ALTERNATIVAS DE ACOPIO

En los últimos años hubo un surgimiento del acopio en campo debido a la aparición de las bolsas plásticas y al déficit en la infraestructura de acopio, que se vuelve aún más grave en la época de cosecha. En estos casos un productor puede verse obligado a invertir en silobolsas para almacenar su cosecha. Sin embargo, en situaciones normales existen diversos factores a considerar al momento de elegir el método de acopio, como el nivel de inversión inicial, los costos operativos, capacidades máximas, la complejidad de operación y la flexibilidad. Otro factor importante, como se verá en este capítulo, es el pronóstico del aumento de precio, que también dará un estimativo de la duración del acopio.

Existen distintas opciones de acopio para un productor:

- Inversión en estructuras de acopio en campo.
- Inversión en condominio
- Alquiler en acopio comercial o cooperativas
- Alquiler de espacio de acopio en otros campos

A continuación se analizan las ventajas y desventajas de cada alternativa.

Acopio en campo

La forma de almacenaje más usada por los productores actualmente son las silobolsas, pero también existen otras opciones de mayor inversión como silos de chapa y de cemento.

Ventajas

- Máxima flexibilidad respecto a cuándo y dónde se comercializan los granos.
- Garantiza espacio de almacenaje al productor.
- Menor costo de transporte (se evita el “flete corto”).
- Menos tiempo hasta que se almacena el grano y posiblemente menores pérdidas.

Desventajas

- Inversión inicial.
- Necesidad de monitorear el grano a lo largo del período de acopio. Mantener la calidad del grano puede ser complicada, especialmente si se almacena en bolsas plásticas.

Inversión en condominio

Existe la posibilidad de comprar espacio propio en una planta de silos, o también de hacer contratos a largo plazo.

Ventajas

- La planta de silos controla el grano y puede garantizar calidad.
- La planta en general puede aumentar la capacidad de acopio a menores costos unitarios que un productor en su propio terreno.
- El espacio de acopio puede ser vendido o alquilado si deja de ser necesario. Si el espacio es alquilado, simplemente se termina el contrato de alquiler.

Desventajas

- Se debe transportar el grano (“flete corto”).

Alquiler en acopio comercial o cooperativas

Cuando no se cuenta con capacidad de acopio propio, la posibilidad más utilizada es a través de un acopiador o cooperativa. En este caso existen dos posibilidades para el productor. Por un lado, puede directamente vender la producción al acopiador o cooperativa, por el precio del momento. Esto se llama vender “a precio”. Otra opción es vender “a fijar”, en cuyo caso se entrega el grano pero no se cobra hasta el momento de venta, que puede ser decidido por el productor (depende del tipo de contrato). Cuando la venta es “a fijar”, el productor debe pagar una tarifa mensual por el servicio de acopio. Este monto se paga al final de la operación.

De todas maneras, el acopiador no está obligado a quedarse con la producción en stock, y en general la vende temprano para liberar espacio y poder obtener un mayor giro en la planta. Esta es una operación riesgosa para el acopiador, ya que queda al descubierto de posibles incrementos futuros del precio.

Además de la tarifa mensual, el acopiador cobra el flete corto y los servicios de acondicionamiento (secado y zarandeo).¹

Ventajas

- Vendiendo “a fijar”, se pasa el riesgo precio al acopiador.

¹ Este es el ingreso principal del acopiador, y con el que pueden financiar posibles pérdidas por variaciones de precio. Es por esta razón que el acopiador tiene en general el objetivo de aumentar el giro lo más posible, aún si esto aumenta su riesgo precio.

- El precio pagado por el productor es en función del volumen acopiado, por lo que se paga por la capacidad exacta necesaria, sin tener capacidad ociosa que aumentan los costos unitarios.
- Se puede “acopiar” por más allá de la vida del grano, ya que el grano en sí puede ser comercializado antes. El pago se puede recibir en un momento posterior a precios mayores.
- La planta de silos controla el grano y puede garantizar calidad.
- También puede ofrecer menores costos de secado y zarandeo que con el acopio propio.

Desventajas

- Pago de transporte (“flete corto”).
- Para largos períodos de acopio, el costo puede sobrepasar el costo de acopiar en el propio terreno.
- Una distancia a la planta grande puede afectar la velocidad de la cosecha.

Alquiler de espacio de acopio en otros campos

Una última opción es utilizar la capacidad de acopio de algún otro productor. Aunque una alternativa más difícil de conseguir, puede traer algunas ventajas.

Ventajas

- Posiblemente distancias más cortas, reduciendo costos y evitando demoras en la cosecha.
- Tarifas de acopio pueden ser menores que en alternativas comerciales.
- Contratos de acopio suelen ser más cortos, aumentando la flexibilidad.
- Se mantiene la flexibilidad sobre cuándo y dónde el grano se comercializa.

Desventajas

- El productor puede seguir siendo el responsable de monitorear su propio grano.
- Menor seguridad respecto a garantías de calidad.

Análisis de costos

Estas alternativas están muy diferenciadas por la estructura y el nivel de costos de cada una, con respecto a las inversiones, costos fijos y costos variables.

Para el caso del acopio en el propio terreno, el mayor costo es la inversión inicial, que a nivel contable puede ser amortizada por la vida útil del sistema. Las silobolsas, por ejemplo, sólo pueden ser utilizadas una vez, con una vida útil máxima de solo un año. Los silos, por lo contrario, tienen una vida útil de más de veinte o treinta años, pero con un costo inicial mucho mayor.

En este caso los costos variables en relación al tiempo acopiado son muy bajos. Para las silobolsas sí existen costos de servicio de embutido y extracción, que dependen del

tonelaje y en algunos casos puede cobrarse en función del precio del grano (servicio tercerizado). Si se cuenta con silos, algunos otros costos pueden ser seguros y mantenimiento. Las pérdidas de calidad también deberían ser consideradas, especialmente en el caso de las silobolsas.

Con respecto al alquiler de capacidad de acopio en otros campos, la estructura de costos es muy similar, pero no hay una inversión inicial. Se deben pagar en este caso tarifas mensuales o anuales, y costos de transporte.

En el caso de acopiadores comerciales, el costo variable es por cantidad y por tiempo cosechado (en general la tarifa es mensual), y se paga al finalizar el acopio.

Un factor importante para tener en cuenta a la hora de elegir, es el valor del dinero en el tiempo. Las alternativas con gastos iniciales suponen un costo de oportunidad por no poder invertir ese capital en otro lado.

Análisis de costos y duración óptima del acopio

En base a los costos mencionados, se realiza un análisis con el fin de determinar la estrategia de acopio más conveniente para minimizar los costos. Se asume para este análisis que el objetivo del productor es acopiar para poder acceder a precios mayores en el futuro y que el precio crece linealmente a partir de la cosecha con la siguiente función.

$$p = 1,7 t + 180 \quad (1.1)$$

Donde t es la cantidad de meses después de la cosecha, y la variable p está en US\$/ton. Esta relación se obtuvo a partir del modelo de precios obtenido en el capítulo 2.6 y un precio inicial de 180 US\$/ton en el mes de abril. A partir del precio inicial, se calcularon los precios de los siguientes 11 meses con ese modelo de precios. La ecuación 1.1 es una regresión de la serie de precios obtenida.

Las alternativas analizadas son invertir en silobolsas o vender la producción “a fijar” a un acopiador comercial.

Opción Silobolsas:

- Inversión de 1,5 US\$/ton
- Servicio de embutido de 1,2 US\$/ton
- Flete largo de 23 US\$/ton (150 km.)

Opción Acopiador “a fijar”:

- Tarifa de acopio del 0,9% del precio de venta por mes acopiado.
- Flete corto de 9 US\$/ton (25 km.)
- Flete largo de 21 US\$/ton (125 km.)

Los precios de flete fueron obtenidos del tarifario CATAC. La tasa de descuento se establece en 10% anual. Se ignoran costos de secado, asumiendo que son similares en ambas alternativas.

Se calculó el valor presente de un flujo de fondos para distintas duraciones de acopio. Los resultados se muestran en el siguiente gráfico.

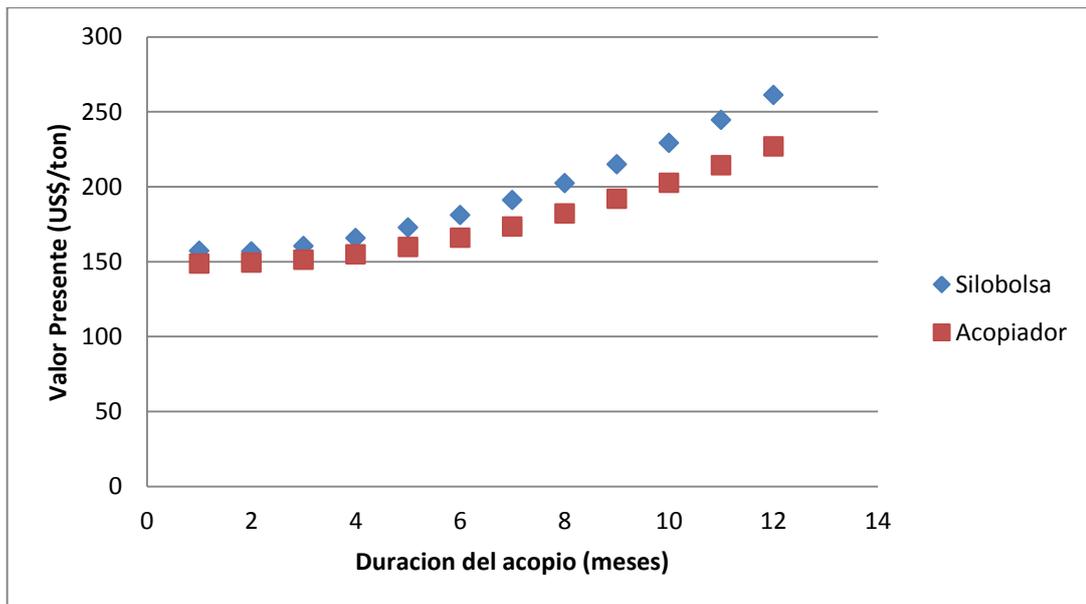


Figura 1.5 Valor presente de las alternativas según la duración del acopio.

Como puede observarse, la silobolsa es la alternativa más económica independientemente de la duración del acopio. Con duraciones de acopio más larga, la diferencia se vuelve mayor. Esto es porque con duraciones cortas la inversión inicial en la silobolsa tiene mayor incidencia que a duraciones mayores. Estos resultados explican su utilización tan generalizada actualmente. La baja inversión en esta tecnología hace que sea preferible inclusive para almacenar por un solo mes.

1.4 EL PRECIO DE LA SOJA

Como ocurre normalmente con los commodities, el precio de la soja es determinado a partir de una gran cantidad de factores. El hecho de que sean muchos hace que el precio tenga un comportamiento aleatorio e impredecible. Ante cualquier cambio en alguno o algunos de los factores, el precio de la soja se modifica. Entre los factores más importantes, por un lado están los que afectan la oferta del grano. Por ejemplo, al momento de la cosecha, la cantidad cosechada y las condiciones del grano. Otro factor importante es la cantidad en acopio, que se traduce directamente en cantidad ofertada. El clima también es fundamental ya que afecta a las perspectivas de cosecha. Cuando hay sequía, inundaciones, temperaturas extremas, heladas y propagación de enfermedades los precios tienden a subir, ya que se esperaría una producción menor y los consumidores demandan más de los stocks actuales.

Con respecto a la demanda, uno de los factores importantes, especialmente en los últimos años, es el rol de los países emergentes, que consumen proteínas en cada vez mayores cantidades. Últimamente también es significativo el papel del biodiesel. El biodiesel se produce a partir de aceite vegetal, y su consumo creciente hace que aumente la demanda del grano de soja. A su vez, el precio del petróleo puede afectar la demanda de biodiesel, finalmente afectando la demanda del grano de soja. Otros factores que afectan el precio de soja son el costo de transporte (que también depende del costo del combustible) y políticas de aranceles y trabas a la exportación. Por último, el rol de la especulación y las llamadas burbujas también pueden tener influencia en el precio. Sin embargo, esto es actualmente debatido por aquellos que sostienen que los factores fundamentales son la oferta y la demanda, y que la especulación tiene un efecto mínimo. La constante llegada de información sobre cada uno de estos factores hace que los cambios en el precio sean frecuentes y prácticamente aleatorios.

En el siguiente gráfico se observa la evolución de los precios diarios de soja desde 1992 en US\$/ton cotizados en MATBA con entrega en Rosario.

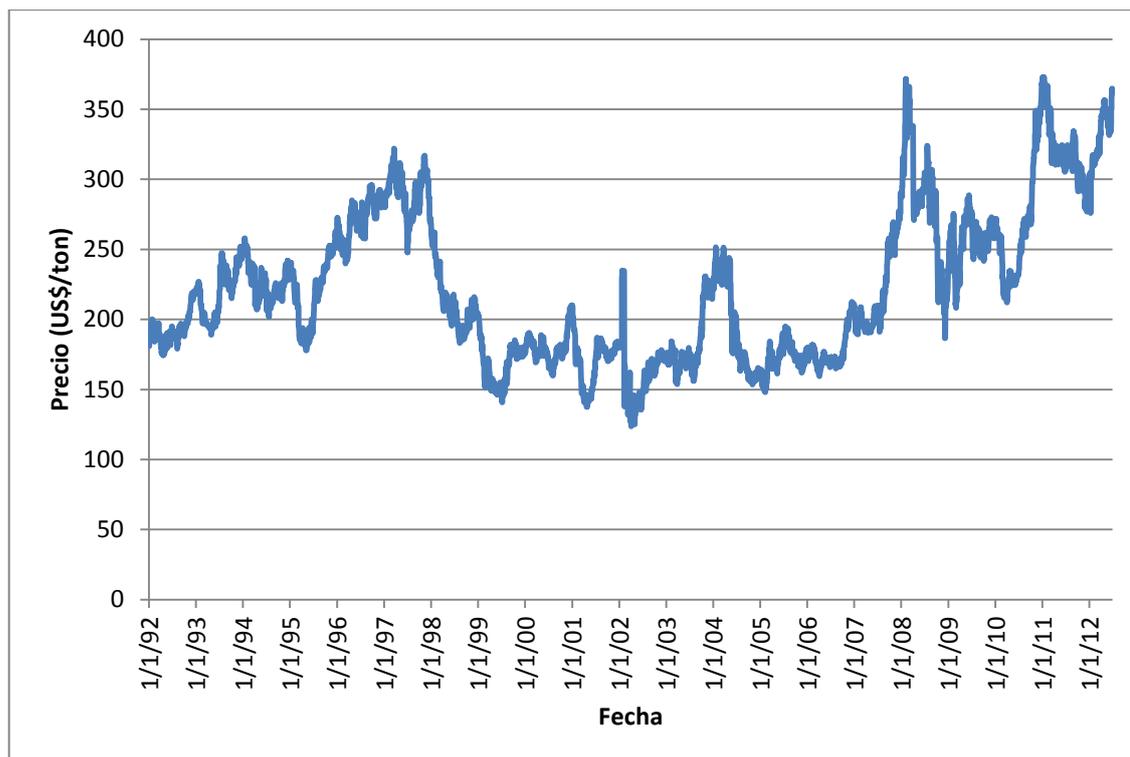


Figura 1.6 Evolución del precio de soja en los últimos 20 años.

Componente estacional

Los mercados de granos siguen un ciclo fijo de producción, comenzando con la siembra y finalizando con la cosecha en momentos específicos del año. Esto significa que la oferta se da una sola vez al año, a pesar de que su consumo en la industria es más parejo. Por ende, la producción anual debe ser racionada, y el mecanismo del mercado para lograr esto es a través del precio. Cuando la oferta actual es grande, por ejemplo al momento de la cosecha, el precio tiende a bajar. En los meses más alejados de la cosecha, al haber menor oferta el precio tiende a subir. La oferta del momento no es la única que influye en los precios, ya que, como se dijo anteriormente, la oferta esperada en el futuro también tiene su incidencia.

Para hacer posible su estimación, sería conveniente que este componente sea relativamente pronunciado y que sea estable en el tiempo. A pesar de que en muchos commodities agrícolas puede observarse una estacionalidad, sigue siendo un proceso influenciado con demasiados factores aleatorios que pueden hacer que esta estacionalidad no se observe en todos los años.

El componente estacional no solo depende del cronograma de producción local, ya que puede también tener influencia de los precios internacionales. Por ejemplo, en un estudio del precio de soja en la Argentina, se observó que en la década de 1980 el componente estacional se encontraba muy similar a la del Hemisferio Norte. En esos años la producción de Argentina y Brasil era muy inferior a la de los Estados Unidos, líder mundial en producción (alrededor del 55% del total) y formador de precios

internacionalmente. Durante la década de 1990 la producción conjunta de Argentina y Brasil se triplicó, y en el año 2003 superaron la producción de los Estados Unidos. Estos países comenzaron a tener mayor influencia en la formación del precio, y a partir del año 1998 hasta el 2003 (año en que se hizo el estudio), el componente estacional del precio en la Bolsa de Comercio de Rosario comenzó a reflejar el ciclo de siembra y cosecha del Hemisferio Sur.

Estos cambios afectaron las estrategias de comercialización de los productores. En el primer período estudiado, los precios más altos se encontraban en la época de cosecha, al mismo tiempo que en Estados Unidos se hacía la siembra. Esto era una gran ventaja para el productor argentino, ya que no era necesario invertir en acopio para encontrar los mejores precios. Después del cambio, la estrategia óptima pasó a ser vender más alejado de la cosecha.

Conocer el componente estacional del precio de soja, y su evolución a lo largo del tiempo es fundamental para poder tomar las acciones más adecuadas. Para este proyecto, se buscará un modelo de precios que pueda reflejar esta estacionalidad, por ser un elemento fundamental en la estrategia de un productor, además de la aleatoriedad de la serie.

Fuentes de predicción

Para el productor es esencial tener un pronóstico de precios para elaborar su estrategia de comercialización. Existen diversas fuentes de información a partir de las cuales puede formular una predicción. Evidentemente, dependiendo del productor se tendrá mayor o menor acceso a las fuentes de información. Un productor con mayor acceso tendrá una ventaja muy grande y la posibilidad de tomar mejores decisiones.

Una forma de estimar tendencias es observando los factores de oferta y demanda que puedan afectar el precio. En épocas de pre cosecha y cosecha, toman mayor relevancia los factores relacionados a la oferta. Algunos indicadores que pueden ser considerados en esta instancia son:

- Área sembrada
- Progreso de las plantaciones
- Indicadores de condiciones de las plantas
- Proyecciones de cantidades a cosechar
- Condiciones de oferta internacional

Algunos de estos datos son publicados por distintas entidades, entre ellas el mismo MAGyP. Sobre condiciones internacionales, una muy buena fuente de información es la USDA.

En épocas de pos cosecha, cobran mayor importancia los factores relacionados con la demanda. En este caso habría que estudiar las proyecciones de los siguientes:

- Mercado aceitero
- Mercado del biodiesel
- Mercado de alimentos
- Perspectivas de exportación

Estos indicadores solo servirían para estimar tendencias de manera personal. Si se confía en la eficiencia del mercado, una mejor fuente de información es el mercado de futuros. Los precios de los futuros representan una predicción consensuada a partir de la información disponible. Puede considerarse que el mercado siempre tendrá más información que un solo productor. Por eso es recomendable usar este tipo de predicciones antes que intentar elaborar pronósticos propios. Sin embargo, cabe recordar que solo el 30% de la comercialización de granos en el país se hace a través del mercado a término, lo que hace que tampoco sea un formador de precios tan fuerte como en otros países, donde casi la totalidad de los granos se comercializan de esta manera.

Otras posibles fuentes de información son especialistas, consultores, compañías de gestión de riesgos y otros productores.

1.5 RIESGOS DEL PRODUCTOR

El riesgo puede definirse como la posibilidad de obtener resultados distintos al esperado. Este aparece a causa de las diferencias entre las evoluciones proyectadas inicialmente y las evoluciones reales de las variables consideradas. Es importante identificar los riesgos presentes y medir su posible impacto en el negocio. Para esto, en primer lugar es necesario poder medirlos. El riesgo actúa introduciendo variabilidad en el retorno esperado, y por lo tanto puede ser medido a partir de la varianza o desvió estándar de este retorno.

El buen manejo de los riesgos es un factor crucial para agregar valor al negocio, ya que de esta manera puede reducirse la probabilidad de que el retorno esperado sea negativo, como puede observarse en el siguiente diagrama.

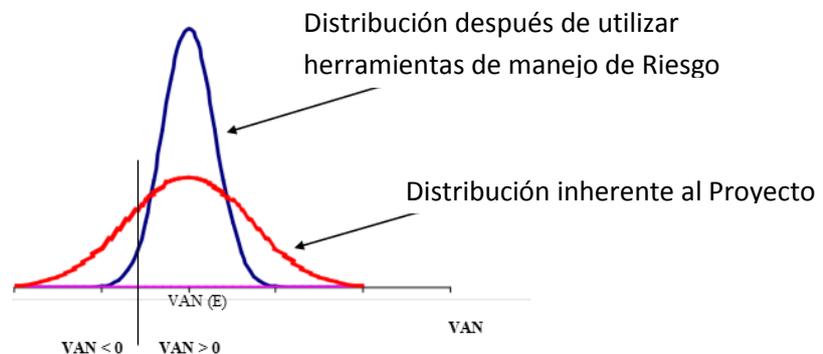


Figura 1.7 Efecto del manejo de riesgos en la distribución del retorno esperado.

Para un productor de granos, las fuentes de riesgo más importantes en términos de impacto son tres:

- Rindes
- Costos de producción
- Precios de venta

Algunas herramientas que puede usar el productor para mitigar estos riesgos son los contratos de futuros y forwards, las opciones financieras, los seguros de producción y la diversificación de cultivos. En el caso de los futuros, un productor puede asegurar su ingreso entrando en un contrato de venta. De todas maneras, hay que tener en cuenta que operar con futuros implica cambiar el riesgo de mercado por un riesgo de base. El riesgo de base se define como la diferencia entre el precio del activo subyacente al contrato y el precio del derivado. Una de las causas es la posible diferencia en la calidad del grano real y de la calidad estipulada en el contrato. Otra causa es la diferencia en la cantidad a entregar, ya que los contratos son estándar pero existe incertidumbre sobre las disponibilidades finales al principio de la campaña, cuando se genera el contrato. Otra causa posible es la diferencia entre el período de cierre del contrato y del cierre de la posición.

En este proyecto se hará foco sobre el riesgo precio, y las posibilidades que tiene un productor para, a través del acopio, encontrar un balance entre el objetivo de aumentar los ingresos y el objetivo de reducir los riesgos. Como se explicó anteriormente, el riesgo precio es el resultado de fluctuaciones de la oferta y demanda en el mercado, que a su vez son influenciados por diversos factores. Esto es lo que hace que sea algo tan difícil de predecir, pero existen maneras de reducir su impacto en la rentabilidad.

2 DECISIONES ÓPTIMAS

2.1 INTRODUCCIÓN

Un productor que advierte los beneficios que puede traer el acopio debe diseñar su estrategia para la comercialización de los granos. En primer lugar, debe elegir el método de acopio. Como se vio en el análisis de costos, la opción más económica es la de almacenar en campo en silobolsas, debido a los baja inversión y costos operativos y el ahorro de fletes cortos.

En segundo lugar, el productor debe elaborar una regla de decisión óptima, que le permita decidir cómo y en qué momento hará la venta. Como regla de decisión se refiere a una política óptima que indique qué decisión debe tomarse en cada etapa de decisión. Esta puede depender del estado en que se encuentre en esa etapa, o bien puede ser una regla general independiente del estado.

El input más importante para formular la regla de decisión es el pronóstico de la evolución del precio del grano. Las expectativas de precio, junto con los costos de acopio y flete esperados, determinarán si seguir acopiando o vender.

Objetivo

En este capítulo se mostrará cómo se puede obtener una regla de decisión a partir de un pronóstico de precios dado, y analizar cuáles son los factores que modifican esta regla y cómo lo hacen. También se plantea analizar qué efectos puede tener un grado de intolerancia al riesgo mayor en la regla de decisión óptima.

Es importante aclarar que no se intentará generar un pronóstico de precios real, pero se desarrollará un modelo de precios para usar de input en el programa y como base para hacer un análisis del desempeño de la regla óptima. En una situación real, la predicción debería hacerse a partir de fuentes de información del momento.

Como primer solución a este problema, se asumirá que el productor no toma parte en el mercado a término. De esta manera se podrá concentrar sobre la capacidad de acopio como herramienta principal para la optimización de la estrategia comercial. Esta simplificación en el modelo no es en tan alejada de la realidad, ya que como se vio anteriormente, solo un 30% de la producción nacional de granos es comercializada a través de estos mercados en el país.

La regla de decisión óptima se obtendrá a partir de un modelo resuelto mediante la programación dinámica estocástica.

2.2 REGLAS DE DECISIÓN

La regla de decisión de un productor debe ser formulada teniendo en cuenta su objetivo del plan de comercialización respecto a precio y riesgo.

Mejoramiento del precio. El objetivo básico debería ser poder cubrir costos de producción, transporte, acopio y financieros. Según el grado de tolerancia al riesgo, puede haber otros objetivos, como vender al mejor precio posible en la temporada de acopio, vender a un cierto precio aceptable o simplemente vender al precio de cosecha para evitar riesgos y costos relacionados con el acopio.

Reducción del riesgo precio. Un productor puede priorizar la reducción del riesgo antes que el mejoramiento del precio. Por ejemplo, en el mercado a término, el productor puede utilizar opciones put, limitando las caídas en el precio pero dejando la posibilidad de aprovechar aumentos. También puede entrar en contratos de futuros y forwards, pero estos contratos también limitan las posibles ganancias.

Puede resultar bastante difícil encontrar un equilibrio entre estos dos objetivos, en especial en un mercado con tanta variabilidad.

Factores que afectan las reglas de decisión

Para establecer el objetivo, un productor puede verse influenciado por alguno de los siguientes factores.

Tolerancia al riesgo. Este factor puede variar según el individuo, pero habrá aquellos que prefieran fuertemente evitar los riesgos, y aquellos que prefieran asumir riesgos y tener la posibilidad de obtener mejores resultados. Este factor es personal de cada uno, ya que dependerá de preferencias personales y de lo que cada uno percibe como riesgoso.

Situación financiera. La tolerancia al riesgo y objetivos de la comercialización de los productores dependerá también de su situación con respecto a pago de deudas, pago de insumos y obligaciones impositivas.

Conocimiento de las herramientas de comercialización. Como se vio anteriormente, existen dos grandes fuentes de estas herramientas, los acopiadores y los corredores de granos. A través de los acopiadores, el productor puede vender “a fijar” para esperar a mejores precios, o vender “a precio” para asegurar un ingreso. Este tipo de herramientas son preferidas por aquellos productores que no están acostumbrados o no tienen conocimientos sobre el mercado de futuros y opciones. En un estudio realizado por la Universidad Nacional de Rosario, se encontró que entre los que realizan sus ventas directamente a través de corredores, un 81% tenía un grado de información considerado alto. Entre los que vendieron por acopio o cooperativa, solo un 47% resultó tener un grado de información alto. Otra conclusión de este estudio es que aquellos que eligieron a los acopiadores valoran mucho más los factores de

comodidad, seguridad y confianza que los que vendieron en forma directa. Además de las diferentes herramientas que ofrezcan, también deben considerarse diferencias en costos de comisión, acondicionamiento de grano y transporte que pueden existir. En general, la venta directa insume menores costos.

Disponibilidad de espacio de acopio. Si no se cuenta con la posibilidad de almacenar en campo, se debe recurrir al acopio comercial, que es en general mucho más caro y puede afectar a las estrategias de comercialización. Si ya se tiene espacio en el propio campo, lo que se consideraría un costo hundido, entonces la alternativa de acopio se vuelve mucho más atractiva.

Alternativas

En esta sección se enumeran algunas reglas de decisión subóptimas que pueden llegar a tener los productores. Estas reglas serán usadas para compararlas con la regla de decisión óptima obtenida.

Ventas parejas. Como compromiso entre los objetivos de mejorar el precio de venta y reducir los costos, se puede decidir vender la misma cantidad de granos en cada mes de la temporada de acopio. Esta sería una regla conservativa, ya que por un lado se aseguraría ingresos pero también se aseguraría llegar a vender algo en el mes con el máximo precio. La duración del período de acopio también puede ser estipulada de antemano por el productor.

Ventas Históricas. Se podría optar también por usar los precios históricos como referencia para el futuro. Por ejemplo, como se vio anteriormente, si durante los últimos 17 años se hubiera vendido siempre en enero, se hubiera hecho la mayor ganancia entre todos los otros meses. Un productor podría elegir vender en el mes de enero siempre.

2.3 PROGRAMACIÓN DINÁMICA

La Programación Dinámica es un método usado para resolver problemas de optimización y especialmente aquellos que resultan muy grandes para resolver mediante otros métodos. El método se basa en dividir el problema en subproblemas más pequeños, resolver cada uno de manera óptima y finalmente obtener una solución óptima al problema original usando las soluciones óptimas parciales. El problema se divide y se resuelve comenzando desde atrás, es decir partiendo del final del problema. De esta manera, un problema grande e inmanejable se puede transformar en varios pequeños y manejables.

Mediante este método, un problema con duración T se divide en diferentes etapas de decisión de menor duración. La etapa t es la cantidad de tiempo que transcurre desde el inicio del problema, y en cada una de estas etapas se requiere una decisión.

Cada situación en la que se puede encontrar el problema se describe en un estado. Un estado contiene la información sobre el problema que se necesita en cualquier etapa para tomar una decisión óptima. Es así que cada etapa se relaciona con una cierta cantidad de etapas futuras con diferentes estados.

En un problema determinístico, el estado de la etapa siguiente se determina por la decisión tomada en el estado actual. Sin embargo, en los problemas estocásticos, la decisión tomada en una etapa sólo indica la distribución de probabilidad del estado en la etapa siguiente.

Es importante remarcar en este punto que para tomar la decisión óptima en cada etapa, no se necesita conocer los estados de las etapas anteriores o las decisiones tomadas previamente. Las decisiones futuras solo dependen del estado actual. Esto se conoce como el Principio de la Optimalidad de Bellman.

Se debe definir también una secuencia de funciones de valor, $V_1(s)$, $V_2(s)$, ..., $V_T(s)$, donde s representa el estado del sistema en los tiempos i de 1 a t . $V_T(s)$ se define como el costo o la recompensa obtenida en el estado s en la última etapa T . Los valores V_i de las etapas anteriores y las decisiones óptimas a_s , se pueden encontrar trabajando hacia atrás, usando una ecuación de recursión conocida como la ecuación de Bellman. Para un problema de maximización, esta ecuación se representa como:

$$V_t(s) = \max_{a_s} \{R(s, a_s) + V(s')\} \quad (2.2)$$

Comenzando por $V_T(s)$, que debe ser previamente definido, se calcula mediante esta recursión el valor de cada estado de la etapa anterior, es decir todos los $V_{T-1}(s)$. Para cada $V_{T-1}(s)$ habrá una acción óptima que permita llegar al siguiente estado con la mayor recompensa R posible. Luego se utiliza la recursión para obtener los V_{T-2} junto con la decisión óptima para cada estado de la etapa. Se continúa de este modo hasta

haber calculado $V_1(s)$ y la decisión óptima cuando se está en la etapa $i=1$ y en el estado s . Este valor obtenido es el valor de la solución óptima del problema original.

Las decisiones óptimas y los valores de las etapas sucesivas se pueden encontrar avanzando desde el comienzo. Se comienza en un estado s de la primera etapa y se elige la decisión óptima previamente determinada. Esto lleva a algún estado s' en la etapa 2 y su correspondiente $V_2(s')$. En la etapa 2, se elige la decisión óptima que lleva al valor $V_3(s)$. Se continúa de esta manera hasta obtener la decisión óptima y el valor V_i para cada etapa.

Para los problemas determinísticos, una especificación del estado actual y la decisión actual es suficiente para determinar con certeza el estado de la etapa siguiente y los costos o recompensas por haber tomado esa decisión. Sin embargo, en muchas aplicaciones, como la de este proyecto, es más adecuado suponer que el estado y los costos o recompensas de la etapa siguiente son variables aleatorias cuyos valores no se conocen hasta después de haber tomado la decisión en la etapa anterior. En estos problemas, el objetivo es maximizar la recompensa esperada en un determinado horizonte de tiempo.

La probabilidad de que se llegue a un cierto estado a partir de otro en la etapa anterior, mediante una cierta decisión se conoce como la probabilidad de transición. La ecuación de recursión debe por lo tanto modificarse para incluir estas probabilidades. Para un problema de maximización,

$$V_t(s) = \max_{a_s} \{R(s, a_s) + E[V(s')]\} \quad (2.3)$$

En esta recursión, $V_t(s)$ es la recompensa máxima esperada que se puede obtener en la etapa t . Este es el valor esperado máximo que se puede obtener llevando a cabo la acción a_s , de entre todas las acciones o decisiones posibles. La probabilidad $P(s'|s, a_s, t)$, es la probabilidad de que el estado siguiente sea s' , dado que el estado actual en la etapa t es s , y se lleva a cabo la acción a_s . La recursión se lleva a cabo de manera similar al problema determinístico, comenzando por el final del problema y terminando en la primera etapa. Para cada etapa y estado se tendrá una acción a_s , que es la que maximizará la recompensa esperada desde esa etapa hasta el final del problema.

Esta formulación puede mejorarse incorporando una tasa de descuento para tener en cuenta el valor de las recompensas en el tiempo. Tienen mayor valor las utilidades presentes que las futuras. Para una tasa de descuento $\beta < 1$, un valor V_{t+1} en la etapa $t+1$ equivale a $\beta * V_{t+1}$ en la etapa t . Se puede modificar la ecuación de recursión para incluir este concepto.

$$V_t(s) = \max_{a_s} \{R(s, a_s) + \beta E[V(s')]\} \quad (2.4)$$

A pesar de la eficiencia de este método, y su aplicación en problemas grandes, existe una importante limitación llamada la Maldición de la Dimensión. A medida que el tamaño del problema incrementa, el conjunto de estados y acciones crece y se dificulta mucho la resolución computacionalmente, requiriendo un tiempo excesivo de cálculo. Por esto es necesario limitar el espacio de estados y acciones en medida de lo posible y establecer un compromiso entre la validez y la complejidad del modelo.

2.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En este problema se intenta encontrar las decisiones óptimas que debe tomar un agricultor con respecto a la comercialización de su producción para maximizar el ingreso esperado. Al momento de la cosecha, el productor tiene la posibilidad de comercializar la producción en ese mismo momento, o bien puede decidir almacenar todo o una parte de ella, con la esperanza de que en el futuro los precios sean mejores. Este es un problema claramente estocástico, ya que existe una incertidumbre respecto a la evolución de los precios y se basa en las predicciones propias de quien toma la decisión.

Entre las variables que puede manejar el productor se encuentran la cantidad producida, los costos de acopio, la capacidad máxima de acopio, los costos de transporte, que pueden variar a lo largo de la temporada de acopio (en general el precio del transporte aumenta en la época de cosecha por la alta demanda), la tasa de interés o el valor que le da al dinero en el tiempo y los precios de los futuros y opciones si es que decide entrar en alguno de estos contratos.

Modelización

Este problema tiene distintas etapas de decisión en el tiempo. La primera decisión se realiza al momento de la cosecha y, si se decide acopiar, continuamente se tendrá que tomar una decisión de vender o seguir acopiando. Para este problema, por lo tanto, se deberá elaborar un modelo dinámico en el cual se requiere decisiones sucesivas a lo largo de los períodos de tiempo.

Para cada decisión tomada por el productor, no se conoce con certeza el valor de la función objetivo, por lo que el modelo será un modelo estocástico.

Es necesario en esta instancia identificar las entradas y salidas del modelo.

Entradas:

- Precio actual
- Distribución probabilística de la evolución de los precios
- Nivel de stock
- Mes del año
- Costo de acopiar

- Costo de transporte
- Tasa de descuento del productor

Como salidas se espera obtener una regla de decisión óptima y el resultado esperado por llevar a cabo esa política de decisiones.

Función objetivo

La función objetivo está dada por la ecuación de Bellman, que maximiza la recompensa esperada y descontada por un factor β para cada estado y cada etapa. La función objetivo se formula de la siguiente manera:

$$V_t(s) = \max_{a_s} \left\{ R(s, a_s) + \beta \sum_{s'} P(s'|s, R(s)) V(s') \right\} \quad (2.5)$$

2.5 MODELO CONCEPTUAL

Supuestos y simplificaciones

En este tipo de problemas resueltos mediante la programación dinámica, las simplificaciones se hacen en general con el objetivo de no tener un espacio de estados excesivamente grande y caer en la maldición de la dimensión.

En este proyecto se toman los siguientes supuestos:

- En un año hay solo 12 etapas de decisión. En la realidad, las decisiones de venta pueden realizarse diariamente.
- Hay solo 9 niveles de stock posibles y 31 precios posibles.
- Los precios siguen una evolución dada. La incertidumbre está acotada a un error distribuido normalmente.
- El productor elige siempre la silobolsa como método de acopio.
- El costo de transporte aumenta en la época de cosecha.
- Se ignoran comisiones por comercialización, y costos de acondicionamiento del grano.
- Se asume una distancia del campo al punto de venta de 100 km.
- En la realidad, existe una gran incertidumbre respecto a la cantidad a cosechar en el año y más aún de años posteriores. En este problema esto se simplifica y se asume que la cantidad cosechada es conocida y no es una variable estocástica.
- No se toma en cuenta la inflación ni cambios en el tipo de cambio.
- Como se estableció en los objetivos, no se consideran futuros y opciones como parte de la estrategia.
- El productor hace la cosecha completa en el mes de abril.
- Ante la incertidumbre, el productor tiene el criterio del valor esperado. Es decir, elige la opción que le brinde la recompensa esperada más grande.

Variables

Las variables que se usan para este modelo son:

- *Precio*. Representa un precio promedio mensual de soja en US\$/ton.
- *Cantidad de soja producida*. Se toma una variable adimensional y constante para todos los años de 200 unidades.
- *Mes*. Como en el modelo se tendrá en cuenta la estacionalidad de precios, es necesario incluir una variable que indique el mes.
- *Costo de acopio*. Se asume que el productor almacena su producción en el mismo campo, en silobolsas. El costo para el caso estándar es de 2,5 US\$/unidad. Este se paga una sola vez, al comienzo de la temporada de acopio, e incluye la bolsa en sí y el servicio de embutado. Este costo puede variar

considerablemente entre productores con distintas estructuras de costos, por lo que sería interesante analizar la sensibilidad con respecto a este parámetro.

- *Costo de transporte.* El costo de transporte para una distancia de 100 km. es de alrededor de 24 US\$/ton (tarifario CATAC 2012). Para incluir en el modelo los efectos de la variabilidad de este parámetro, se establece que en abril el costo es de 26,4 US\$/ton (+5%) y en los demás meses de 22,8 US\$/ton (-5%).
- *Tasa de descuento.* La tasa de descuento dependerá del costo de oportunidad y la estructura de financiamiento de cada productor. Por lo tanto, se tomará un caso base de 10%, pero se considerará también otras tasas para analizar la sensibilidad.

Variables de decisión

En este problema, las variables de decisión son la cantidad de grano vendida y la cantidad en stock.

Restricciones

Restricciones de acopio

Debido a que se asume que el productor acopia en silobolsas, se establece un plazo máximo para el período de acopio de 12 meses. Es decir, todo lo que haya como stock inicial en abril debe ser vendido obligatoriamente.

Restricciones de Stock

El stock es reducido por las ventas y aumentado por la cosecha en el mes de abril. No se permiten comportamientos especulativos, en donde se podría comprar mercadería en el medio de la temporada de acopio. Se establece una capacidad máxima de acopio de 200 unidades (toda la cosecha).

La cantidad vendida tiene que ser menor al stock inicial de cada mes para los meses de no cosecha. Para el mes de abril, la venta puede ser 200 unidades mayor, lo que corresponde a la nueva cosecha.

Función de utilidad

Ante la incertidumbre, un tomador de decisiones deberá elegir entre alternativas en base a un criterio de decisión. Algunos criterios comunes son el maximin, en el cual se intenta minimizar el peor resultado posible, el maximax, en el que se intenta maximizar el mejor resultado posible y el arrepentimiento minimax, en el que se intenta reducir al máximo el costo de oportunidad. Para este problema, sin embargo, se ha decidido utilizar el criterio del valor esperado, representado en la ecuación de Bellman. En este criterio, la mejor alternativa es la que produzca el mayor valor esperado. Por ejemplo, si se tiene la posibilidad de ganar 100\$ con una probabilidad de 1/80, y de ganar 0\$ con una probabilidad de 79/80, el valor esperado sería de \$1,25.

Entre esta apuesta y otra donde haya una recompensa segura de 1\$, por este criterio se elegiría la apuesta anterior, solo por tener un valor esperado mayor. Sin embargo, puede haber personas que prefieran la segunda opción por tratarse de un resultado seguro, que la anterior por ser demasiado riesgosa. Esto indica la necesidad de adecuar el criterio de decisión a la tolerancia al riesgo del tomador de decisiones.

Un productor de granos debe tomar decisiones en un marco de incertidumbre. Al acopiar, se hace una apuesta a que suba el precio del commodity, y esta apuesta tiene un riesgo asociado. En el futuro los precios pueden bajar o no subir lo suficiente para cubrir los gastos de acopio y las expectativas representadas en la tasa de descuento.

Un productor que ignore este riesgo simplemente esperaría a lo que considere el mejor momento para vender toda su producción al mismo tiempo. Un productor que quisiera minimizar estos riesgos podría vender su producción de a partes a lo largo del tiempo, por un lado garantizándose un cierto ingreso pero también dejando algo de stock por si el precio sube.

Evidentemente las decisiones de los productores dependen de su grado de aversión al riesgo. Un productor que prefiera un ingreso seguro antes que apostar a que siga subiendo el precio es un productor **adverso al riesgo**. Un productor que ignore los riesgos es **neutral al riesgo**.

Tomar en cuenta estas preferencias en el modelo serviría para explicar por qué algunos productores realizan ventas parciales a lo largo de la temporada de acopio. Este comportamiento se puede introducir en el modelo mediante una función de utilidad cóncava, como puede verse en el siguiente ejemplo para un productor de soja: Se asume un precio actual de 200\$/ton y un stock de 50 toneladas. El productor puede vender toda la producción al precio actual, o apostar a que suba el precio. Las probabilidades de precios futuros son las siguientes:

Precio futuro	185	200	215	230
Probabilidad	0,17	0,5	0,29	0,04

Tabla 2.1 Ejemplo de probabilidades de transición a los precios futuros.

Claramente hay una tendencia a la suba, ya que hay un 33% de probabilidad de que el precio suba, contra un 17% de que baje. El precio quedará igual con un 50% de probabilidad.

Vender toda la producción hoy generaría un resultado de $200\$/\text{ton} \times 50 \text{ ton} = 10.000\$$. El productor tiene la posibilidad de entrar en una apuesta a que suba el precio. Para calcular el resultado esperado, se asume una tasa de descuento del 15% anual, o 1,17% mensual.

$$E(\text{Apuesta}) = 50 \text{ ton} \times (185 \times 0,17 + 200 \times 0,5 + 215 \times 0,29 + 230 \times 0,04) \times \frac{1}{1+r} = 10.032,5 \$$$

El valor esperado de la apuesta es mayor al resultado que se puede conseguir vendiendo hoy. Un productor neutral al riesgo preferiría seguir acopiando y esperar al próximo período. Sin embargo, un productor adverso al riesgo podría preferir asegurarse un ingreso antes de tomar la apuesta. Este comportamiento se observa al usar una función de utilidad cóncava, como por ejemplo la siguiente:

$$U(\pi_t) = \frac{\pi_t^{(1-R)}}{1-R} \quad (2.6)$$

Donde π_t es la recompensa y R el grado de aversión al riesgo. Cuanto más grande R, más lineal es la función y por lo tanto más neutral al riesgo el comportamiento. Para este ejemplo, se toma un $R = 0,5$.

Para el primer caso de venta en el mismo período,

$$U(10.000\$) = 200\$$$

Para el caso de la apuesta es necesario calcular la nueva utilidad para cada estado futuro.

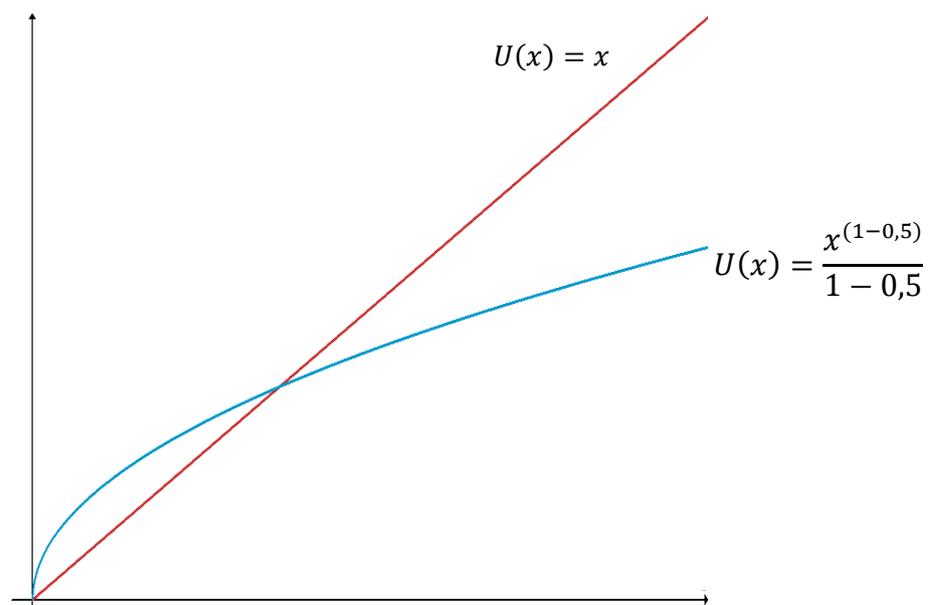


Figura 2.1 Función de utilidad cóncava.

$$U(50 \times 185) = 192,4\$$$

$$U(50 \times 200) = 200,0\$$$

$$U(50 \times 215) = 207,4\$$$

$$U(50 \times 230) = 214,5\$$$

$$E(\text{Apuesta}) = (192,4 \times 0,17 + 200 \times 0,5 + 207,4 \times 0,29 + 214,5 \times 0,04) \times \frac{1}{1+r} = 199,08\$$$

Al aplicar la función de utilidad, el resultado esperado de la apuesta es menor al resultado del ingreso asegurado. Por lo tanto, un productor adverso al riesgo (con $R=0,5$) preferirá vender las 50 ton hoy y asegurarse 10.000\$.

En este ejemplo, el productor comienza a preferir el ingreso asegurado a partir de un $R = 0,2$ en adelante, a medida que la función se hace más cóncava. El hecho de tener una función de utilidad con una variable R permite realizar análisis de sensibilidad de las decisiones con respecto al grado de aversión al riesgo.

En el modelo a desarrollar, se espera que una función de utilidad con R bajo (comportamiento neutral al riesgo) lleve a una regla de vender todo en el mes con mayor precio esperado y nada en el resto del año. Una función de utilidad con R alto (comportamiento adverso al riesgo) modela el incentivo a esparcir las ventas a lo largo de la temporada de acopio. De todas maneras, si los precios suben lo suficiente, se vendería toda la producción, y si bajan lo suficiente, no se vendería nada. A rangos de precios intermedios, productores adversos al riesgo venderían de a partes.

Se utilizará la misma función anterior, conocida como Constant Relative Risk Aversion para distintos valores de R . Ya que la función no está definida para el caso de $R=1$, se aproxima con un $R=0,99$.

2.6 MODELO DE DATOS

Para la aplicación de la programación dinámica, es necesario contar con las probabilidades de transición entre estados. Como se verá más adelante, estas probabilidades dependen solo de las transiciones de precios. Es decir que se debe buscar, para cada estado de precio posible, la probabilidad de que pase a todos los demás estados. Para esto se debe contar con un modelo de precios a partir del cual se puedan inferir estas probabilidades.

De acuerdo al objetivo planteado, para esto se busca un modelo que represente los componentes de una situación real, especialmente en lo referido a la estacionalidad y la aleatoriedad. De ninguna manera se intenta producir un modelo de predicción real. Un modelo de predicción real debería estar basado en información del momento, como perspectivas de producción y demanda, precios de futuros y tendencias esperadas de la base, entre otros. No sería conveniente basarse sólo en datos de precios históricos, ya que el pasado no contiene suficiente información para predecir el futuro en estos casos de alta variabilidad.

Se decide entonces usar un modelo de autoregresión, por su simplicidad tanto para formular como para aplicar, y por su capacidad de representar las características requeridas. Estos modelos son comúnmente utilizados en procesos aleatorios para predecir outputs basándose en outputs anteriores. Un modelo de autoregresión (AR) general podría plantearse de la siguiente manera:

$$X_t = c + \sum_{i=1}^p \varphi_i X_{t-i} + \varepsilon_t \quad (2.7)$$

Donde los valores φ_i son los parámetros del modelo, c una constante, y ε_t el error.

Para explicar la estacionalidad, se agregó una variable binaria, o variable *dummy* que toma solo dos valores posibles, 1 y 0. El objetivo es que esta variable afecte en el modelo sólo en los meses indicados, donde tomaría el valor de 1.

Para elaborar el modelo, se usaron como datos los precios históricos de la soja en US\$/ton con entrega en Rosario cotizados en MATBA. Se hizo un promedio mensual de la serie, ya que la variable precio del modelo se define como el precio promedio del mes. Como el componente estacional es algo importante para el modelo, se decidió tener en cuenta los datos a partir de 1998, ya que como se explicó anteriormente, recién a partir de ese año se empezó a notar la estacionalidad que hay en el precio de la soja.

Como variables posibles se tomaron p_{t-1} y p_{t-2} , es decir los promedios mensuales de los dos meses anteriores. Como variables binarias se propuso una para cada mes, y cuatro variables binarias de cosecha. Una para los meses marzo y abril, otra para los meses abril y mayo, otra para mayo y junio y una última para el trimestre marzo, abril

y mayo. Se utilizó el software ETS para evaluar todos los modelos posibles a partir de las variables propuestas. Se eligió el modelo más adecuado a partir de los distintos indicadores y la simplicidad, o cantidad de variables del modelo.

Se obtuvo como resultado el siguiente modelo.

$$p_t = 0,9632p_{t-1} - 7,6900D + 8,6989 \quad (2.8)$$

Donde D es la variable binaria, que representa al mes de abril. Es decir, toma el valor de 1 cuando el mes es abril y el valor 0 en todos los demás meses.

Para este modelo se obtuvieron los siguientes indicadores:

Multicolinealidad. El determinante de la matriz de correlaciones determina la colinealidad que tiene el modelo. Es un valor entre 0 y 1, y se descartaron los modelos con DET menor a 0,1.

$$DET = 0,9994$$

CP/P. Este indicador representa en qué medida al modelo le faltan variables importantes. Un valor muy alto indica que al modelo le faltan variables. Un valor de 1 es óptimo.

$$CP/P = 1,00$$

R². Coeficiente de determinación. Este representa la variabilidad total de la variable dependiente respecto a la explicada por el modelo. Se consideraron valores por encima de 0,9 solamente.

$$R^2 = 0,9189$$

Nivel de significación. Se busca que todos los coeficientes de la regresión sean significativos. El valor α establece el nivel de significación. Cuanto más bajo, más seguridad de que sea significativo.

Coeficiente	α
Coeficiente de p_{t-1}	0,0000
Coeficiente de D	0,0861

Tabla 2.2 Nivel de significación de cada coeficiente.

El coeficiente de D tiene un valor un poco alto, de 8,61%. En general se suelen descartar aquellos que tengan un valor mayor a 5%. Sin embargo, en este caso se acepta ya que no se exige un modelo con poder predictivo, sino simplemente una representación de lo que podría ser una evolución del precio de soja.

Una vez obtenido el modelo, se pasó a estimar el componente de error. El promedio de los errores es de 0,00 US\$/ton y el desvío es de 15,87 US\$/ton. A continuación se muestra un histograma del error.

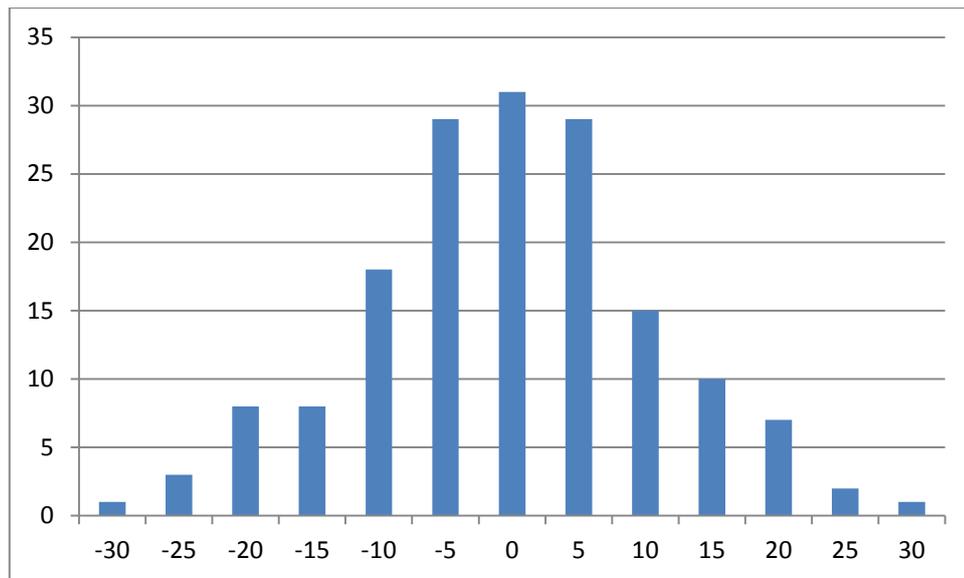


Figura 2.1 Histograma del error.

Observando el gráfico puede inferirse de que se trata de una distribución aproximadamente normal, y así se lo asumió para calcular las transiciones de probabilidad.

2.7 MODELO OPERACIONAL

Para elaborar el programa, en primer lugar se debe separar el problema en etapas. Para este modelo, se tomará un tiempo total T de 9 años, dividido en 108 etapas donde cada una representa un mes. Las decisiones se toman al final de cada etapa.

Espacio de estados

Se debe definir un espacio que contenga a todos los estados del problema. Muchas de las variables del problema son continuas, como el tiempo o las cantidades vendidas, ya que el productor puede decidir vender en cualquier momento del mes, por cualquier cantidad e inclusive hacer más de una venta por mes. A pesar de esto, para usar la programación dinámica es necesario crear un conjunto o espacio de estados discreto. Cada estado contiene tres informaciones que son necesarias para tomar la decisión:

- Stock actual
- Precio actual
- Mes

Se asume que el nivel de stock s_t puede tomar uno de 9 valores, $s_t \in \{0;25;50;\dots;200\}$ representando unidades de peso del grano.

Con respecto al precio, los límites del espacio se obtuvieron observando la serie histórica. Para los precios entre enero de 1998 a la actualidad, el máximo promedio mensual fue de 362 US\$/ton y el mínimo de 131 US\$/ton. Se tomó como límite inferior el precio de 140 US\$ y como límite superior el precio de 350 US\$.

Cada precio del espacio representa el punto medio de un intervalo de precios. Por ejemplo, si se establece un intervalo de 15 US\$, un precio de 200 US\$ en el espacio representa a todos los precios entre 92,5 US\$ y 207,5 US\$. El precio límite inferior (140 US\$) representaría los precios entre 0 y 147,5 US\$, mientras que el precio límite superior (350 US\$) representaría los precios entre 242,5 US\$ y cualquier precio mayor.

Es por esto que la cantidad de precios intermedios determina a su vez los intervalos entre precios. Para facilitar el proceso de cálculo, conviene reducir el tamaño de los espacios, por lo que se buscaría tener pocos precios con intervalos grandes. Sin embargo, también es conveniente tener muchos precios e intervalos pequeños para que el modelo no pierda sensibilidad y pueda representar los cambios de precios de la manera más cercana a la realidad posible. Se establece un intervalo de precios de 7 US\$ para que el efecto estacionario quede bien representado, ya que la caída de precios es de -7,69 US\$/ton en cada mes de abril. En consecuencia, se cuenta con 31 precios desde 140 US\$ a 350 US\$.

La variable mes puede tomar uno de 12 valores, representando cada mes del año. Es necesario incluir esta variable por dos razones. La primera es que en el mes de cosecha

se debe indicar una entrada en el stock y permitir una venta mayor al stock actual. La otra razón es por el hecho de que se elaboró un modelo de precios que incluye la estacionalidad, por lo que es necesario tener el componente mes para determinar las distintas probabilidades de transición.

Para finalizar, a partir de estos espacios se construye el espacio de estados. Como se mencionó, cada estado contiene información de stock, mes y precio. Al haber 9 estados de stock, 12 estados de mes y 31 de precio, habrá en total 3348 estados.

Espacio de Acciones

El espacio de acciones contiene un número finito de acciones o decisiones a_s posibles para cada estado s . Las decisiones son las posibles cantidades que pueden venderse, que dependen del estado porque hace falta conocer el nivel de stock.

Entonces, para por ejemplo un estado con nivel de stock 200 unidades, el espacio de acciones se define como $a_s \in \{0;25;50;\dots;200\}$. En abril, debido a la cosecha de 200 unidades, el espacio de acciones se expande, $a_s \in \{0;25;50;\dots;400\}$ (para todos los s en las etapas de abril).

Probabilidades de transición

La probabilidad de transición de un estado a otro depende de las probabilidades de transición de cada uno de los componentes de ese estado (stock, precio, mes). La transición de un stock a otro depende de la producción obtenida en ese mes y de las ventas realizadas. No se consideran en este problema posibles pérdidas por calidad ya que son pequeñas comparado con los posibles cambios en los stocks. No hay en este caso un elemento de incertidumbre, porque el stock del próximo período seguirá la restricción ya mencionada siempre. En cuanto a la transición de un mes a otro evidentemente tampoco hay lugar para la incertidumbre. La única transición con incertidumbre es la correspondiente a precio, y a partir de esta se calcula la probabilidad de cada transición s a s' .

Es necesario aclarar que esta probabilidad no depende de la decisión tomada. La evolución de los precios es totalmente ajena a las decisiones del productor. Esto lleva a que en la ecuación de Bellman $\sum_{s'} P(s'|s, R(s)) V(s') = \sum_{s'} P(s'|s) V(s')$.

La probabilidad de transición del precio está relacionada a los pronósticos ya que llevan información de la tendencia. Por ejemplo, si para un precio P_t la probabilidad de que P_{t+1} sea mayor a P_t es mayor a 0,5, entonces se está indicando una tendencia alcista de precio. Por lo contrario, si la probabilidad es menor a 0,5, entonces la tendencia es a la baja. La matriz de probabilidades de un estado a otro puede ser definida entonces a partir de los pronósticos de precios. Como se dijo anteriormente, estos pueden bien ser subjetivos del propio productor, dejando la posibilidad de

estudiar los resultados a partir de distintos escenarios propuestos de precios, traducidos a cambios en la matriz de probabilidades de transición.

Para un caso estándar, en este trabajo se utilizará el modelo de autoregresión obtenido. Se toma el supuesto de que la distribución del error es Normal con media 0 y desvío 15 US\$. Se debe calcular la probabilidad de transición de cada par de precios del espacio de precios. A partir de un precio p_t , se evalúa un p_{t+1} a partir de la ecuación de regresión $p_{t+1} = \alpha p_t + \beta D + \gamma$ encontrada. Este valor p_{t+1} es el precio del estado t+1 esperado, pero existe incertidumbre introducida por el error e .

Ya que en la ecuación de autoregresión hay un componente de estacionalidad, debe hacerse dos matrices de probabilidad de transición, una para las transiciones hacia un mes de no cosecha, y otra para las transiciones hacia el mes de cosecha, en donde la variable binaria toma el valor 1.

Para el caso de $D=0$, para obtener la probabilidad de transición $P_{1,2}$ para un cierto par de precios $\{p_1, p_2\}$, se siguen los siguientes pasos de cálculo:

1. $p_2 = \alpha p_1 + \beta D + \gamma$
2. $P_{max}(p_2 < p_{2MAX}) = P(e \sim N(0, \sigma) < p_{2MAX} - \alpha p_1 - \beta HD - \gamma)$
3. $P_{min}(p_2 > p_{2MIN}) = P(e \sim N(0, \sigma) > p_{2MIN} - \alpha p_1 - \beta HD - \gamma)$
4. $P_{1,2} = P_{max} - P_{min}$

Donde $D = 0$ si es para la matriz de transiciones hacia meses de no cosecha y $D = 1$ si es hacia el mes de cosecha. p_{2MAX} y p_{2MIN} son los límites superior e inferior del intervalo del cual p_2 es la media.

La siguiente tabla muestra una porción de la matriz de probabilidades de transición. Cada número de la tabla representa la probabilidad de que se pase del precio de la fila al precio de la columna. Por ejemplo, hay un 0,158 de probabilidad de que de un precio de 252 US\$/ton se pase a un precio de 245 US\$/ton en el estado siguiente. La suma de los valores de cada fila es igual a 1.

P	224	231	238	245	252	259	266	273	280	287	294	301	308
252	0,037	0,073	0,118	0,158	0,175	0,159	0,120	0,074	0,038	0,016	0,006	0,000	0,000
259	0,016	0,038	0,075	0,120	0,159	0,175	0,158	0,118	0,073	0,037	0,016	0,005	0,000
266	0,006	0,017	0,039	0,076	0,121	0,160	0,174	0,157	0,117	0,072	0,036	0,015	0,005

Tabla 2.3 Sección de matriz de probabilidades de transición hacia mes de no cosecha.

Como puede observarse, para cada estado de precio, con mayor probabilidad el próximo precio será ese mismo precio, y esto es así en toda la matriz completa. Esta probabilidad está alrededor de 0,174 en precios medios, como los representados en la tabla anterior. Para los precios de los extremos, la probabilidad es más alta porque los intervalos son más grandes, ya que toman todos los precios por debajo y por encima

del espacio de precios. Por ejemplo, para un precio de 140 US\$/ton, la probabilidad de que el próximo precio sea el mismo es de 0,49. En el otro extremo, para el precio de 350 US\$/ton esta probabilidad es de 0,51.

Otra observación es que la tendencia esperada depende del nivel de precios. Para precios bajos, hay más probabilidad de que suba el precio de que baje. Por ejemplo, para un precio de 154 US\$/ton, la probabilidad de que el precio quede igual o suba es de 0,66. Por otro lado, para precios más altos la tendencia es a la baja. Para un precio de 336 US\$/ton, la probabilidad de que el precio se mantenga o baje es de 0,64.

Si se comparan ambas matrices obtenidas, se puede observar, como es esperado, que la matriz de transiciones hacia un mes de cosecha tiene una tendencia a la baja más pronunciada que la otra matriz. Es decir, para cada estado de precio, es menor la probabilidad de que suba el precio, y por consiguiente mayor la probabilidad de que baje. Esto es lo que introduce la estacionalidad al modelo.

Codificación

Para desarrollar esta aplicación se eligió utilizar el programa Excel, dado que tiene la capacidad suficiente para soportar esta cantidad de datos y realizar los cálculos requeridos. Además, es un programa estable, fácil de usar y con mucha información publicada sobre su funcionamiento. El Excel también permite la utilización de macros para realizar los cálculos mediante un lenguaje simple e intuitivo.

Para la codificación del problema se siguen las siguientes etapas:

1. Se establecen todas las transacciones posibles entre estados s a s' . Una transición es posible cuando:
 - El mes de s' es el mes siguiente al de s .
 - El stock de s' es igual o menos al de s cuando el mes de s' no es abril.

Si el mes de s' es abril, por ser el mes de la cosecha está permitido que el stock de s' sea mayor al stock de s .

No hay restricciones en los cambios de precios. Es decir, desde un precio cualquiera se permite la transición a cualquier otro precio.

Sin restricciones habría $3348 \times 3348 = 11.209.104$ pares de estados. Con las restricciones, esto se reduce a 553.536 pares.

2. Se calcula la probabilidad de transición de cada par de estados, dada por la probabilidad de transición de los precios. Muchas de estas probabilidades son cero, las cuales se eliminan, dejando un número de 207.936 pares.

Se trabaja sobre estas transiciones restantes en la programación dinámica.

Estas transiciones de estado restantes representan un año. Dentro de cada año hay 12 etapas, y como se decidió trabajar con 9 años, hay en total 108 etapas. En el Excel se harán tres corridas de 36 etapas (o 3 años) cada una.

El programa se arma en tres secciones, o tablas diferentes. En cada sección se calcula una parte distinta de la ecuación de Bellman.

$$\text{Ecuación de Bellman: } V_t(s) = \max_{a_s} \{R(s, a_s) + \beta \sum_{s'} P(s'|s, R(s)) V(s')\}$$

En la primera sección se obtiene:

$$R(s, a_s) + \beta P(s'|s, R(s)) V(s')$$

Para todos los pares s-s' y para todos los a_s.

En la segunda sección se obtiene:

$$R(s, a_s) + \beta \sum_{s'} P(s'|s, R(s)) V(s')$$

Para todos los s y a_s.

En base a esto, en la tercera sección se elige, para cada s, el a_s que maximiza la ecuación anterior. Por último, se calcula la ecuación de Bellman:

$$V_t(s) = \max_{a_s} \left\{ R(s, a_s) + \beta \sum_{s'} P(s'|s, R(s)) V(s') \right\}$$

A continuación se describe cómo se realizan los cálculos en cada sección.

Primera Sección

1. Se establece de antemano para cada corrida:
 - Nivel de aversión al riesgo R.
 - Tasa de interés i anual y mensual.
 - Costo de acopio c_a.
2. Se listan las transiciones de estados (B y C) y en columnas separadas se escriben el número de etapa (A), el stock de s (D), el stock de s' (E), el mes de s (F), el precio de s (G) y la probabilidad de transición (K). Estos datos servirán para calcular, en otras columnas, la cantidad vendida, el costo de transporte y el costo de acopio.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
t	s	s'	Stock s	Stock s'	Mes	Precio	Venta	CT	CA	Prob
...

Tabla 2.4 Sección de la primera tabla del programa.

La venta se calcula como stock de s – stock de s' cuando el mes no es abril y como stock de s + 200 – stock de s' cuando el mes es abril.

El cálculo del costo de acopio depende del tipo de acopio elegido. Para el caso estándar de acopio con silobolsa, esta columna se calcula como el c_a * stock de s' si el mes es abril y como 0 en todos los otros meses.

El costo de transporte, como se estableció, depende del mes, y se calcula multiplicando el costo unitario por la cantidad vendida.

3. Columna L. Recompensa como Precio * Venta – Costo Acopio a la derecha de la columna Probabilidad. El valor de la recompensa calculada claramente puede resultar negativo (caso son ventas en mes 4). Para la función de utilidad, el valor debe ser positivo, por lo que se suma a la recompensa una constante tal que el mínimo sea 0. Es decir, se suma la constante s_{\max} * costo de acopio a todas las recompensas en una columna llamada R*. Cabe aclarar que esto no tiene ninguna implicancia en las decisiones a tomar ya que lo único que se ha hecho es “correr” la función hacia la izquierda.
4. Columna M. Se busca el valor de V_{t+1} en una tabla cuya construcción se describe posteriormente, es decir se busca el valor de s' de la etapa $t+1$. Por ejemplo, en la etapa 60 (mes 12) y $s=12$ se busca el valor de $s=1$ en la etapa 61. Claramente, para poder hacer esto se necesita comenzar a calcular los valores a partir de la última etapa. Recordar que los valores de la etapa siguiente a la última se establecen en cero para todos los s' . El valor V_{t+1} buscado se multiplica por el factor $\beta = 1/(1+i_{\text{mensual}})$.
5. Columna N. Es simplemente el valor V_t , que se obtiene sumando la columna de R (columna L) y la columna de βV_{t+1} (columna M).
6. Columna O. Valor transformado con la función de utilidad. Se transforma la suma de $R^* + \beta V_{t+1}$ (columna N).
7. Columna P. Multiplicación de la probabilidad de la transición de esa fila (columna K) con el valor el valor transformado por la función de utilidad (columna O).
8. Columna Q. Esta última columna es la multiplicación de la probabilidad (columna K) con el valor $R + \beta V_{t+1}$ (columna N).

Segunda sección

En esta sección se realiza la suma $\sum_{s'} P(s'|s, R(s)) V(s')$ para cada nivel de ventas de cada estado de cada etapa. Esta tabla tiene 5 columnas. Las primeras tres indican la etapa, el estado y el nivel de ventas (acción) respectivamente. Recordar que el nivel de ventas puede alcanzar 400 (caso en que haya 200 unidades en stock en abril y no se hagan ventas).

La siguiente columna hace la suma en la columna P de la tabla anterior. Suma sólo los valores con la etapa, estado y nivel de ventas correspondiente a la fila.

La columna restante hace lo mismo pero sumando los valores no transformados por la función de utilidad (columna Q). Las decisiones se hacen en base a los valores

transformados de la columna anterior. Esta columna se calcula solamente para tener el valor no transformado de la primera etapa V1 al final de programa.

A la derecha de esta columna se hace un cálculo auxiliar para chequear que la suma s esté haciendo correctamente. En esta columna se suman las probabilidades para cada nivel de ventas por estado y etapa. Si no hay errores, en esta columna debería haber solo unos y ceros.

t	s	Venta	Argumento Transformado	Argumento no Transformado	Chequeo
...

Tabla 2.5 Sección de la segunda tabla del programa.

Tercera sección

La tercera y última sección es donde se calculan los $V_t(s)$, los valores para cada estado y etapa.

Consta de 5 columnas en donde las primeras dos indican la etapa y el estado. En la tercera se establece el valor transformado máximo por estado y etapa de los calculados en la sección anterior. Es decir, se elige, de entre todas las acciones posibles, el valor máximo por etapa y estado. En la columna siguiente se escribe el valor no transformado correspondiente al recién calculado. Es importante aclarar que la acción a elegir surge del máximo de los valores transformados y no de los transformados que se calculan para que pueda ser encontrada en la primera sección para calcular βV_{t+1} (este V_{t+1} no es transformado) para poder tener al final el valor $V_1(s)$. La última columna de esta sección busca el nivel de ventas correspondiente al máximo V_t . Es decir, representa la decisión óptima para cada estado de cada etapa.

De esta sección salen los V_t para calcular los βV_{t+1} en la primera sección. Es así que se interconectan las tres secciones. En esta misma sección, se debe tener además escritos los V109, que son todos iguales a cero.

t	s	V(s) transformados	V(s) no transformados	Venta*
...

Tabla 2.6 Sección de la tercera tabla del programa.

Resultados

Para cada corrida, se guardan los V_t y las decisiones óptimas para todos los estados y para las doce primeras etapas (primer año). De esta manera se puede buscar por mes, stock y precio cuál es la decisión óptima de venta.

En el Excel, estos se guardan en una planilla aparte, donde los resultados se pegan automáticamente al finalizar el programa.

Macro

Se elaboró un macro para resolver este programa que simplemente establece el orden de cálculo de cada columna de las tres secciones. El código puede resumirse en los siguientes pasos:

1. Se establecen los parámetros R , i y c_a que son buscados en la planilla de resultados.
2. Se actualizan algunas celda que necesitan estos parámetros, como la que calcula la tasa de interés mensual y el factor de descuento β .
3. Se establece en cero todas las columnas de cálculo de la planilla. Esto se hace para borrar los números calculados en alguna corrida anterior.
4. Se actualiza la columna de cálculo del c_a a partir del valor establecido.
5. Como se dijo anteriormente, las 108 etapas son calculadas en tres partes. En primer lugar, las etapas 108-73, luego 72-37 y por último 36-1. En este paso se establece en qué ronda se está (empezando por la 1) y se recalculan las tres columnas que indican la etapa. Hay una columna tal por sección. Cada ronda tendrá 36 pasos de cálculo, uno por cada etapa.
6. En primer lugar, se debe saber de qué mes se trata, ya que como se dijo anteriormente, en la primera sección la cantidad de filas depende de si el mes es abril u otro. En este paso se establece el número de filas que deben calcularse en la primera sección.
7. Se calculan las siguientes columnas con la cantidad de filas ya establecidas en este orden:
 - a) βV_{t+1}
 - b) R
 - c) $R + 200 \cdot c_A$
 - d) $R + \beta V_{t+1}$
 - e) $U(R + \beta V_{t+1})$
 - f) $P_{S;S'} \cdot U(R + \beta V_{t+1})$
 - g) $P_{S;S'} \cdot (R + \beta V_{t+1})$
 - h) $\sum P_{S;S'} \cdot U(R + \beta V_{t+1})$
 - i) $\sum P_{S;S'} \cdot (R + \beta V_{t+1})$
 - j) $\max\{\sum P_{S;S'} \cdot U(R + \beta V_{t+1})\}$
 - k) $\sum P_{S;S'} \cdot (R + \beta V_{t+1})$
 - l) a_S
8. Se actualizan las constantes utilizada en el paso 6.
9. Si el programa se encuentra en la primera o segunda ronda, se debe guardar el valor de la primera etapa para ser utilizado en la siguiente ronda. Por ejemplo, en la primera ronda se calculan las etapas 73-108. Los V_{73} (no por estado) son

requeridos para la etapa 72, cuando se quiere calcular el βV_{t+1} . En este paso se guardan los valores de la etapa 73 en la ronda uno, y los de la etapa 37 en la ronda dos.

10. Una vez pasadas las tres rondas, el programa finaliza. Se copian los resultados y se pegan en la planilla "Resultados".

11. Se repite el programa para todos los R, i, c_a requeridos.

(Diagrama del programa)

Plan de Resultados

Para analizar y comparar distintas reglas de decisión óptimas, se realizan 12 distintas corridas con los siguientes inputs:

Corrida	R	c_A	i
1	0,0001	2,5	10%
2	0,0001	2,5	5%
3	0,0001	2,5	15%
4	0,0001	1,5	10 %
5	0,0001	3,5	10 %
6	0,5	2,5	10 %
7	0,99	2,5	10 %
8	1,25	2,5	10 %
9	1,5	2,5	10 %
10	1,75	2,5	10 %
11	2	2,5	10 %
12	2,5	2,5	10 %

Tabla 2.7 Plan de resultados.

La primera corrida se trata del caso base, a partir del cual se harán comparaciones. Las corridas 2 y 3 se realizan para analizar la sensibilidad a los cambios en la tasa de interés, con costo de acopio base. Por otro lado, las 4 y 5 son para observar el comportamiento ante cambios en el costo de acopio. Todas las demás corridas se hacen con la tasa de interés y costo de acopio base, pero modificando el grado de aversión al riesgo R. Se hace esto para obtener resultados de sensibilidad a partir de cambios en esta variable. A valores de R mayores a 2,5 la curva de utilidad se hace casi horizontal muy rápido y las diferencias entre valores a elegir son demasiado pequeñas como para tenerlas en cuenta.

Es interesante realizar un análisis de sensibilidad con las variables de costo de acopio y tasa de interés ya que en la existen en la realidad diferencias de estos parámetros entre distintos productores. En general, los grandes productores tienen costos de

acopio menores. Si utilizan silobolsas, pueden usar bolsas de gran capacidad, reduciendo los costos unitarios. Además, pueden contar con máquinas embudadoras y extractoras propias mientras que los productores pequeños suelen tercerizar estos servicios a un costo final mayor. Con respecto a la tasa de interés, en general los grandes productores pueden acceder a tasas menores que los pequeños productores. Las diferencias en las tolerancias al riesgo también pueden asociarse al tamaño de los productores. El grado de aversión al riesgo puede asociarse a la pérdida máxima permitida por el productor. Productores más grandes, con mejor respaldo financiero, podrían llegar a permitir una mayor proporción de pérdidas, y por lo tanto tener un grado de aversión al riesgo menor. En cambio, productores pequeños dependen más de las ventas de su cosecha como única fuente de ingreso, sin respaldo financiero, y tienden a ser más adversos al riesgo (mayor R).

2.8 RESULTADOS

Para cada uno de los 12 casos planteados, se obtiene una regla de decisión óptima que indica la cantidad que debe venderse según el mes, precio y stock actuales. Este programa se hizo con un horizonte de 9 años, y la regla de decisión varía según el año, ya que hacia los últimos años se tiende a vender mayor cantidad de granos para aumentar la función objetivo porque el valor de los estados siguientes son cada vez menores. Los resultados que querían obtenerse son solamente los correspondientes al primer año.

Se comenzó por los casos con $R=0,0001$, es decir con comportamiento neutral al riesgo. En este caso, como se esperaba, las decisiones son de vender todo o nada. Para cada mes y nivel de stock se tendrá entonces un precio de corte, a partir del cual se vende todo lo que haya en stock. Por debajo de ese valor, la regla indica que se debe esperar.

En el mes de abril, recordar que todo lo que haya en stock debe ser vendido. Para estos granos, el precio de corte sería 0. Sin embargo, el precio de corte de abril se considera como aquel a partir del cual se vende toda la cosecha y se decide no acopiar. La siguiente tabla muestra el precio de corte óptimo para el caso base ($i=0,1$; $ca=2,5$) y stock inicial de 200 unidades según el mes.

Mes	Precio de Corte
1	203
2	196
3	0
4	224
5	217
6	217
7	210
8	210
9	210
10	210
11	203
12	203

Tabla 2.8 Precios de corte para caso $R=0,0001$; $i=10\%$; $ca = 2,5$ US\$/ton.

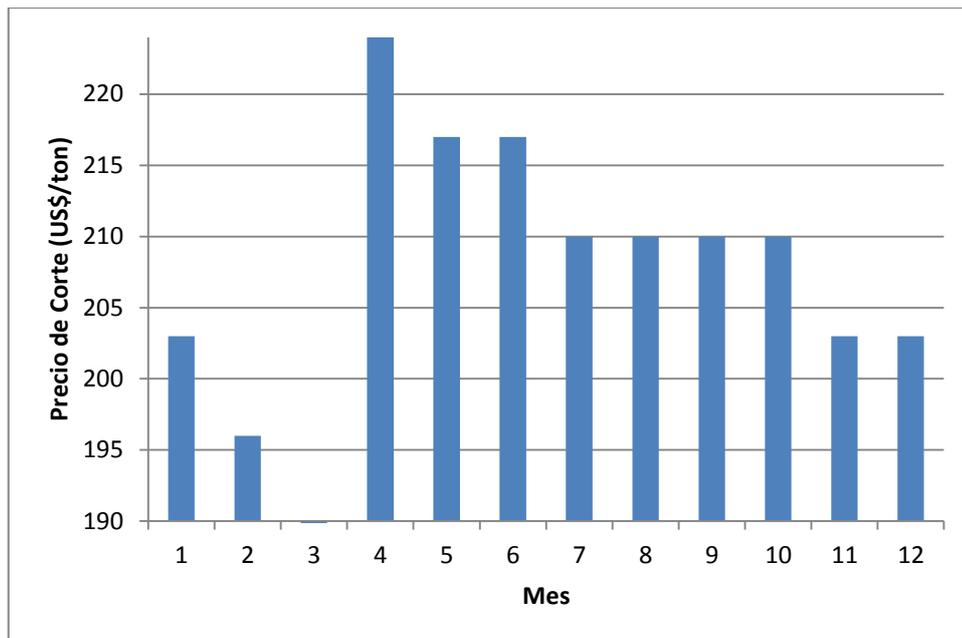


Figura 2.3 Evolución del precio de corte óptimo a través de la temporada de acopio.

Como puede observarse, el precio de corte disminuye a lo largo del período de acopio. En el mes de cosecha, abril, el precio de corte es de 224 US\$/ton. En el mes siguiente, el precio disminuye a 210 US\$/ton, y continúa así hasta el mes de octubre. En noviembre, el precio de corte baja a 203 US\$/ton, y vuelve a bajar en febrero, a unos 196 US\$/ton. Un precio de corte alto significa que se está dispuesto a esperar a un precio mayor al actual. Cuando todavía faltan muchos meses, esto es aceptable, ya que la probabilidad es más alta de que esto ocurra. A medida que van faltando menos meses para la próxima cosecha, bajan las expectativas de aumento de precio, y se está dispuesto a vender a un precio menor. Es interesante observar lo que ocurre en el mes de marzo, donde el precio de corte es 0 US\$/ton. Es decir, la decisión óptima es de vender toda la producción en marzo, sin importar el precio. Esto es así debido a que marzo es la última oportunidad de vender antes de la cosecha, donde cae el precio y es obligatorio vender. Aunque en este modelo existe la posibilidad de que aumente el precio de marzo a abril, esta es demasiado baja y se prefiere vender todo inclusive siendo neutral al riesgo.

El precio de corte es sensible a los parámetros de tasa de interés y costo de acopio. En la siguiente tabla se muestra el caso base comparado con un caso de tasa de interés baja ($i=0,05$) y una tasa de interés alta ($i=0,15$). Se saltean algunos meses para facilitar la lectura.

Mes	Tasa de interés i		
	5%	10%	15%
4	245	224	210
6	231	217	203
8	224	210	203
10	224	210	196
12	217	203	189
2	210	196	182
3	0	0	0

Tabla 2.9 Precios de corte para casos con distinta tasa de descuento.

Con tasas de interés más altas, el precio de corte disminuye. Una tasa de interés alta causa un mayor costo de oportunidad de mantener el grano almacenado, haciendo que sea más conveniente vender que acopiar, y bajando el precio de corte. Con una tasa de interés baja, el costo de oportunidad es bajo, se valoran más los resultados futuros y es más conveniente esperar, por lo que el precio de corte es mayor. No se observan cambios respecto al patrón de los precios de corte a lo largo de la temporada de acopio.

En cuanto al costo de acopio, este afecta a la regla de una manera muy distinta, como puede verse en la siguiente tabla, en donde se muestra el caso base y un caso con costo de acopio bajo (1,5) y uno alto (2,5)

Mes	Costo de Acopio (US\$/ton)		
	1,5	2,5	3,5
4	245	224	217
6	217	217	217
8	210	210	210
10	210	210	210
12	203	203	203
2	196	196	196
3	0	0	0

Tabla 2.10 Precios de corte para casos con distintos costos de acopio.

Como el costo de acopio solo entra en juego en el mes de abril, donde debe decidirse si incurrir en este costo o no, el único precio de corte afectado es el de ese mes. En los otros meses, se trata de un costo hundido, y las decisiones se hacen independientemente de lo que haya pasado. Concentrándose en el mes de abril, puede observarse como disminuye el precio de corte con costos mayores, y como disminuye con costos menores. Esto es intuitivo, ya que si el costo es alto, el

almacenaje se vuelve poco atractivo y tiene menos valor el hecho de esperar para vender en el futuro, haciendo que se desee vender a partir de precios menores.

Con respecto a los casos con aversión al riesgo, no existe un precio de corte ya que no hay situaciones de vender todo o nada. En estos casos, a veces es óptimo vender sólo una parte del stock para asegurarse un ingreso en vez de no vender nada y esperar. Sin embargo, podría definirse un precio de corte por debajo del cual se vende una parte del stock, pero a partir del cual se vende todo el stock. En la siguiente tabla podemos ver este precio para distintos grados de aversión al riesgo, o distintos valores de R, para el caso base ($i=0,1$; $ca=2,5$).

Mes	Aversión al riesgo (R)			
	0,0001	0,5	0,99	2,5
1	203	196	196	189
2	196	196	189	182
3	0	0	0	0
4	224	224	224	224
5	217	217	210	210
6	217	210	210	210
7	210	210	210	210
8	210	210	210	203
9	210	210	210	203
10	210	203	203	203
11	203	203	203	196
12	203	203	196	196

Tabla 2.11 Precios de corte para casos con distinta aversión al riesgo y parámetros base.

Se observa en esta tabla que este “precio de corte” disminuye a medida que aumenta el grado de aversión al riesgo. Esto es esperable, ya que a valores de R altos se comienza a priorizar la venta actual y la apuesta de encontrar mejores precios comienza a ser menos atractiva. A pesar de esto, en los meses de abril y julio no se observan diferencias. Esto podría ser debido a que todavía se está muy al comienzo de la temporada de acopio, e incluso con grado de aversión altos, se sigue apostando a una suba de precios.

Para el mes de julio, en el caso de comportamiento neutral al riesgo el precio de corte es de 210 US\$/ton. Sin embargo, para una aversión al riesgo mayor, la regla óptima indica que se debe vender más a un precio menor. En el siguiente gráfico se observa la acción óptima para el mes de Julio, precio de 203 US\$/ton y stock de 200 unidades en función del valor de R.

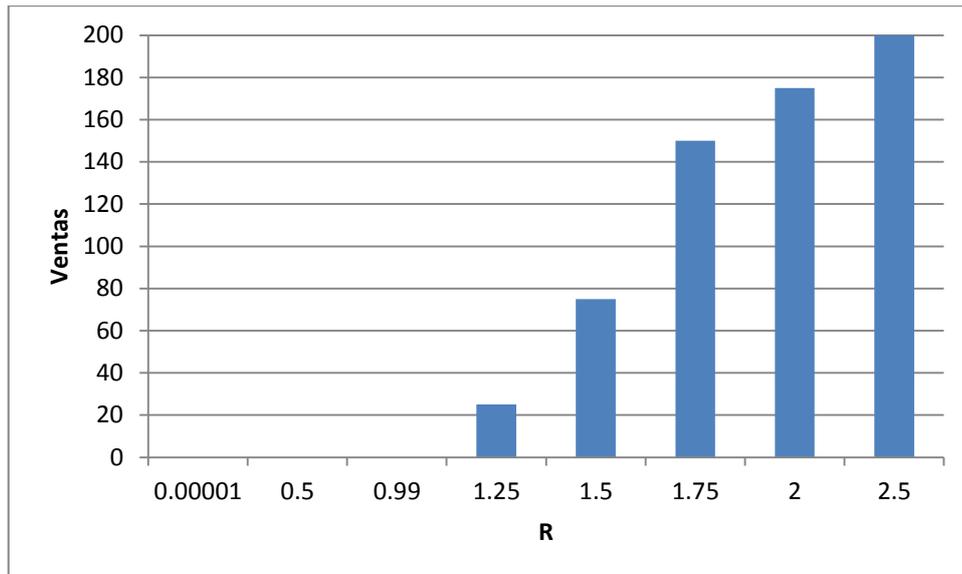


Figura 2.4 Ventas óptimas según el grado de aversión al riesgo para el caso base con un precio de 203 US\$/ton y 200 unidades en stock.

Con R bajo la decisión óptima es no vender nada a este precio (el precio de corte es justo el siguiente precio, 210 US\$/ton). Con un valor de R de 1,25 la decisión es de vender 25 unidades. A medida que el valor de R crece, la venta es cada vez mayor. A un R de 2,5, la regla indica que se debe vender todo el stock al precio 203 US\$/ton. Esta es otra manera de ver cómo el grado de aversión al riesgo aumenta las cantidades a vender a precios menores. En este caso puede observarse cómo lo hace progresivamente.

Otra manera interesante de analizar el efecto de la aversión al riesgo es observando los cambios en la decisión óptima según el mes. Como se explicó anteriormente, en los primeros meses después de la cosecha se tiende a vender menos por el hecho de que todavía hay tiempo para que los precios aumenten. A un grado de aversión al riesgo mayor, se empezará a vender más temprano. El siguiente gráfico muestra el nivel de ventas óptimo para distintos valores de R a lo largo de los primeros meses de la temporada de acopio, para un precio de 203 US\$/ton y 200 unidades de stock inicial.

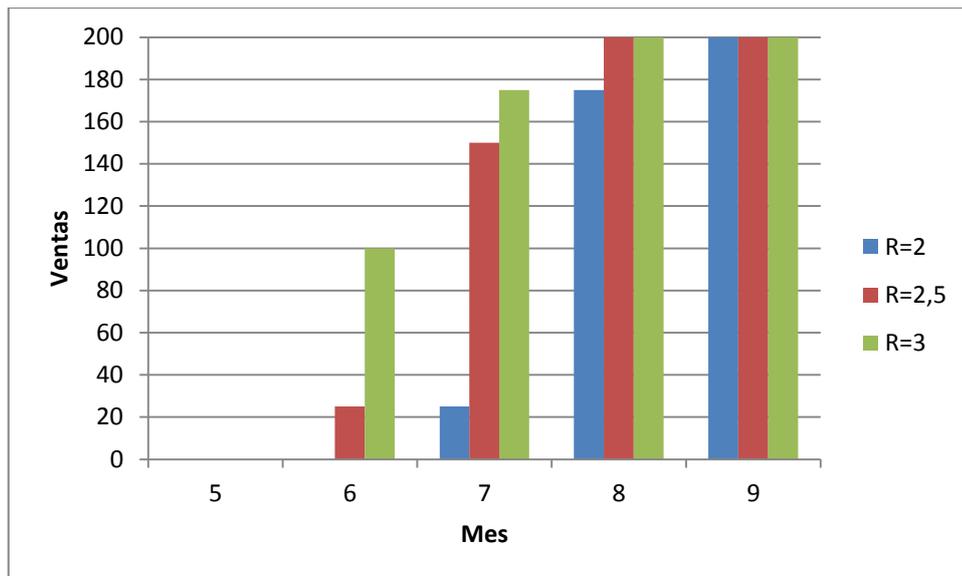


Figura 2.5 Ventas óptimas según el mes para reglas de decisión con distintos grados de aversión al riesgo.

En el caso neutral al riesgo recién se vende todo el stock en noviembre (no mostrado en el diagrama). A un valor de R alto (R=3), con un precio de 203 US\$/ton en el mes de junio ya es óptimo vender 100 unidades. Se venden 175 unidades en julio y en agosto ya se vende todo el stock. Cuanto mayor el grado de aversión al riesgo, más temprano se comienza a vender el stock, al menos de a partes.

Una última manera de ver este efecto es observando los cambios en las ventas óptimas en función del precio para distintos valores de R. En el siguiente gráfico se muestran las ventas óptimas para los precios entre 175 y 189 US\$/ton para valores de R entre 1,25 y 2,5 en el mes de febrero.

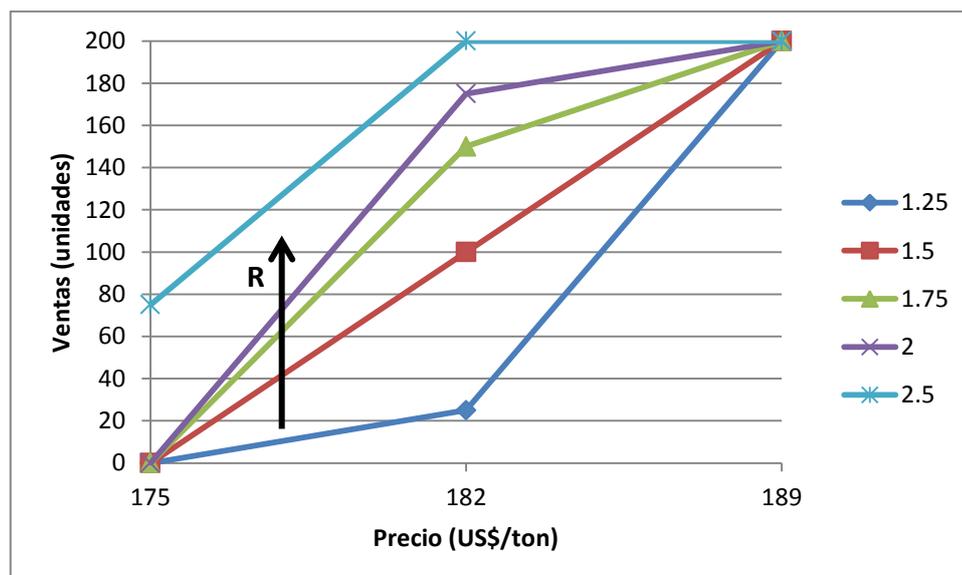


Figura 2.6 Ventas óptimas según el precio actual para reglas de decisión con distintos grados de aversión al riesgo.

Nuevamente se observa cómo a niveles de R más altos se tiende a vender mayor cantidad del stock.

A continuación puede verse el resultado de la aplicación de reglas de decisión con distinto R para la comercialización de granos de un cierto año. Se toma un precio inicial de 140 US\$/ton para el mes de abril y se toma una evolución de precios aleatoriamente. Los resultados están descontados a una tasa de 10% anual.

		R=0,0001		R=0,99		R=2,5	
Mes	Precio	Venta (u)	Venta (US\$)	Venta (u)	Venta (US\$)	Venta (u)	Venta (US\$)
4	140	0	-\$ 496	0	-\$ 496	0	-\$ 496
5	154	0	\$ 0	0	\$ 0	0	\$ 0
6	161	0	\$ 0	0	\$ 0	0	\$ 0
7	168	0	\$ 0	0	\$ 0	0	\$ 0
8	154	0	\$ 0	0	\$ 0	0	\$ 0
9	182	0	\$ 0	0	\$ 0	0	\$ 0
10	182	0	\$ 0	0	\$ 0	0	\$ 0
11	175	0	\$ 0	0	\$ 0	0	\$ 0
12	189	0	\$ 0	0	\$ 0	175	\$ 27,078
1	196	0	\$ 0	200	\$ 31,995	25	\$ 3,999
2	203	200	\$ 33,025	0	\$ 0	0	\$ 0
3	210	0	\$ 0	0	\$ 0	0	\$ 0
		Resultado	\$ 32,529	Resultado	\$ 31,499	Resultado	\$ 30,582

Tabla 2.12 Decisiones óptimas de tres estrategias distintas en una evolución de precios dada.

En el primer mes, como el precio es muy bajo, para las tres reglas la decisión óptima es de acopiar las 200 unidades, incurriendo en la inversión en la silobolsa y el servicio de embutido. En el caso neutral al riesgo, la venta se realiza recién en febrero, cuando el precio llega a 203 US\$/ton. En un caso más conservativo de R=0,99, la venta se realiza un mes antes con un precio menor. Para el caso más adverso al riesgo, se vende una parte del stock a un precio bajo, de 189 US\$/ton para asegurarse ese ingreso, y se termina de vender en el próximo mes.

En este ejemplo, se nota como el resultado empeora a medida que aumenta R. Sin embargo, no puede verse el beneficio de ser más adverso al riesgo con respecto a la disminución de la variación del resultado esperado. Para comparar distintas alternativas según resultado esperado y variación del resultado esperado (riesgo), en la próxima sección se realiza una simulación de los precios.

Todos estos resultados demuestran que cuando el productor es adverso al riesgo, las ventas parciales pueden ser parte de una decisión óptima. Cuanto más temprano se

tiende a vender la mercadería y cuanto más se divide la venta entre todos los meses, más adverso al riesgo se es.

2.9 DESEMPEÑO DE LA REGLA DE DECISIÓN ÓPTIMA

El desempeño de la regla de decisión se evaluará según el cumplimiento del objetivo planteado, que es aumentar el ingreso esperado y, en los casos con aversión al riesgo, limitar la variabilidad de este ingreso esperado.

Se decide comparar la regla óptima con las otras reglas alternativas planteadas anteriormente a través de una simulación. En esta simulación se plantea un horizonte de 1 año. Por cada corrida, a partir de un cierto precio inicial, se deben establecer los siguientes 11 precios aleatoriamente. Para esto, se genera un número aleatorio entre 0 y 1 que representa una probabilidad de transición acumulada. A partir del precio anterior y el aleatorio generado, se busca en una tabla de probabilidades de transición acumuladas el precio del mes siguiente. Esto se realiza para todos los meses del año, en cada una de las corridas.

Se estableció el número de corridas en 1.000 para todos los casos, a partir del requerimiento de que el Half Width no supere en ningún caso el 1,5% de la media. Se hizo una primera estimación del desvío estándar y las medias en 400 corridas. Tomando un nivel de confianza del 5% ($Z=1,96$), se calculó el número de corridas con la fórmula 2.9, dando en el peor caso un número justo por debajo de 1.000.

$$N = \left(\frac{Z_{\left(\frac{\alpha}{2}\right)} \times S}{HW} \right)^2 \quad (2.9)$$

En la siguiente tabla se muestran los resultados de la simulación, tomando como factor de desempeño la media y el desvío de las corridas de cada estrategia. La columna "Relación" muestra la relación promedio de cada una de las 1.000 relaciones entre la regla óptima con $R=0,0001$ y la opción de sin acopio. Se introduce esta variable para poder obtener la diferencia entre estas dos estrategias en términos de porcentaje.

Precio inicial	Factor de desempeño	Estrategias						
		Relación	Regla Óptima (R=0,0001)	Regla Óptima (R=0,99)	Regla Óptima (R=2,5)	Sin Acopio	Ventas Parejas	Siempre Enero
140	Media	1,34	30.204	30.172	30.082	22.540	27.383	29.650
	Desvío	0,24	5.400	5.172	4.667	0	3.538	5.943
147	Media	1,29	30.829	30.528	30.440	23.929	27.936	29.734
	Desvío	0,23	5.406	5.094	4.661	0	3.486	5.692
154	Media	1,21	30.589	30.409	30.210	25.318	28.434	30.167
	Desvío	0,22	5.694	5.391	4.876	0	3.635	5.970
161	Media	1,19	31.774	31.682	31.416	26.707	29.566	31.189
	Desvío	0,21	5.606	5.310	4.773	0	4.097	6.309
168	Media	1,14	32.116	31.970	31.960	28.096	30.304	31.440
	Desvío	0,19	5.400	5.077	4.566	0	4.006	6.743
175	Media	1,11	32.828	32.802	32.625	29.485	31.257	32.226
	Desvío	0,18	5.420	5.090	4.678	0	4.308	6.886
182	Media	1,09	33.552	33.528	33.472	30.874	32.615	33.692
	Desvío	0,17	5.279	4.938	4.411	0	4.592	7.145
189	Media	1,07	34.531	34.377	34.300	32.263	33.405	34.059
	Desvío	0,16	5.067	4.705	4.224	0	4.606	7.339
196	Media	1,06	35.767	35.553	35.384	33.652	34.670	34.872
	Desvío	0,14	4.645	4.144	3.856	0	4.610	7.174
203	Media	1,04	36.369	36.148	36.125	35.041	35.692	35.690
	Desvío	0,13	4.674	4.223	3.825	0	4.910	7.513
210	Media	1,02	37.153	37.057	37.029	36.430	36.564	36.668
	Desvío	0,12	4.391	3.829	3.562	0	4.992	7.743
217	Media	1,01	38.375	38.266	37.818	37.818	37.576	37.383
	Desvío	0,10	3.813	3.456	0	0	4.878	7.434
224	Media	1,00	39.207	39.207	39.207	39.207	38.807	38.395
	Desvío	0,00	0	0	0	0	4.866	7.766

Tabla 2.13 Resultados de una simulación para distintos precios iniciales y reglas de decisión. Se representa la media y el desvío de los resultados obtenidos en cada caso.

La alternativa de no acopiar es la menos riesgosa, ya que una vez que se conoce el precio, el ingreso es seguro. No se considera en este caso el riesgo por arrepentimiento de no haber vendido al mejor precio de la temporada. A precios bajos, esta estrategia da resultados muy inferiores a la regla óptima. Para el caso de precio inicial de 140 US\$/ton, la estrategia óptima con comportamiento neutral al riesgo es 34% mayor. A precios iniciales mayores, la diferencia entre estas estrategias

se reduce, ya que las perspectivas de aumento de precio disminuyen, y el acopio se vuelve cada vez menos atractivo. Luego de alcanzado el precio de corte de 224 US\$/ton, los resultados de ambas alternativas son exactamente iguales, ya que la decisión óptima pasa a ser justamente no acopiar y vender todo. Los valores del desvío se reducen porque cada vez se tiende a acopiar por menos tiempo, estando expuesto a menores variaciones en el precio. A precios iniciales altos, es más probable que el precio de corte sea alcanzado a los pocos meses.

Para comparar los resultados de estas dos estrategias se realizó un test de hipótesis de dos muestras para todos los casos. A continuación se muestra el cálculo para el caso de precio inicial de 140 US\$/ton, siendo μ_1 la media de la estrategia óptima y μ_2 la media de la estrategia de no acopiar y tomando un nivel de significación del 5%.

$$H_0) \mu_1 - \mu_2 \leq \mu_0$$

$$\mu_0 = 0$$

$$CR: \bar{X} \geq \bar{X}_C$$

$$\bar{X}_C = Z_{0,95} \frac{\sqrt{S_1^2 + S_2^2}}{\sqrt{N}} = 1,6449 \frac{\sqrt{5400^2 + 0}}{\sqrt{1000}} = 281$$

$$\bar{X} = 30204 - 22540 = 7664$$

Como $\bar{X} \geq \bar{X}_C$, se rechaza la hipótesis nula y se puede afirmar, con probabilidad de equivocarse del 5%, que la estrategia óptima es mejor que la estrategia de no acopiar. Se rechaza la hipótesis nula en todos los casos.

La regla de decisión óptima con $R=0,0001$ es la que produce los resultados más altos en todos los casos pero también es la que conlleva el mayor riesgo, excepto a partir del precio de corte donde el riesgo directamente se elimina.

Con respecto a las decisiones óptimas con mayores grados de aversión al riesgo, se observa, como es esperado, que a mayores valores de R el resultado esperado es menor. Esto es a causa de la diversificación de las ventas, que hace que se venda a precios menores. Sin embargo, se verifica el hecho de que estas decisiones logran bajar el riesgo, como puede verse en los distintos desvíos estándares. Cuanto mayor el grado de aversión al riesgo, mayor es la diversificación de las ventas, menor el resultado esperado, pero también menor la exposición al riesgo.

La regla de decisión de ventas parejas efectivamente cumple con el objetivo de reducir el riesgo si se lo compara con la regla óptima, al menos en los casos con precio inicial bajo, pero también reduce demasiado el resultado esperado, inclusive menor a las reglas óptimas con R alto. Esto indica que una estrategia intermedia puede resultar más adecuada para un productor adverso al riesgo.

La estrategia de vender siempre en enero, basada en los datos históricos, produce resultados muy aceptables, cercanos a los óptimos pero a un riesgo muy superior. Al

ser una estrategia estática que no se adecua a las perspectivas de cada año, se obtienen resultados muy volátiles, y posiblemente en muchos casos los mejores entre todas las estrategias. Sin embargo, si se analiza en base al promedio, esta estrategia no parece ser tanto más atractiva que las otras alternativas.

En conclusión, para este modelo de precios propuesto, las decisiones óptimas encontradas son dominantes por sobre las otras estrategias propuestas, en términos de resultado esperado y riesgo. Sin embargo, la estrategia a utilizar sigue siendo decisión de los objetivos de cada productor. Un productor con tolerancia nula al riesgo podría seguir prefiriendo vender su producción en abril, a pesar del alto costo de oportunidad que podría tener.

2.10 CONCLUSIÓN

Este estudio demuestra cómo el acopio tiene un rol fundamental en las estrategias de comercialización de los productores, ya que a través de él pueden cumplirse los objetivos de maximización de ingresos y minimización de riesgos.

Cabe destacar una vez más la importancia de la predicción del precio, que es el input principal para elaborar la estrategia más adecuada para cada productor. A partir de los resultados obtenidos, puede decirse que para aplicaciones reales no haría falta un pronóstico de precios demasiado preciso para niveles de precio alto, ya que a esos niveles la decisión óptima es vender todo. En cambio, la calidad del pronóstico debe ser alta para niveles de precio bajo, ya que es ahí donde se realizan las decisiones de venta.

Se pudo analizar además el rol de factores como costo de acopio, tasa de descuento y grado de aversión al riesgo en la formulación de la regla de decisión. La gran cantidad de factores a tener en cuenta implica que las decisiones serán muy diferentes de productor a productor. Los productores más pequeños en general tienen costos y tasas superiores, por lo que ven reducidos sus ingresos y es óptimo vender a precios menores. Por lo contrario, productores grandes con costos y tasas bajas, pueden acceder a mayores ingresos, y la regla óptima indica vender a precios de corte superiores.

Se confirmó la hipótesis de que la diversificación de las ventas reduce el riesgo precio, pero que una estrategia de ventas parejas puede estar muy alejada de la estrategia óptima en términos de maximización del resultado. En cuanto a la decisión de no acopiar, se ve un ingreso promedio mucho menor a las otras estrategias.

Los pequeños productores tienden a tener un grado mayor de aversión al riesgo, llevándolos a vender su cosecha de a partes a lo largo del año. Por lo contrario, los productores grandes tienen menos aversión al riesgo, y más posibilidades financieras para esperar y vender su producción entera en cuanto se supere un cierto umbral. Estos resultados confirman este comportamiento.

Otra conclusión importante es que con precios altos en el momento de la cosecha, el acopio se vuelve menos riesgoso, pero los resultados esperables son más parecidos a la estrategia de no acopiar.

Como se planteó anteriormente, el objetivo de este estudio no era formular la decisión óptima de ningún productor particular para ninguna situación particular, sino demostrar cómo podría construirse una estrategia, qué factores deben tenerse en cuenta, qué efectos tienen estos factores y cómo adecuar una estrategia a los objetivos de precio y riesgo.

3 ARBITRAJE

Desde un punto de vista teórico, la existencia de una oportunidad de arbitraje contradice los supuestos de un mercado eficiente. El precio de un activo debería reflejar una situación libre de arbitraje, ya que si una situación tal surgiera, el mercado mismo modificaría el precio para eliminarla. De esta manera, el arbitraje garantiza el cumplimiento de la “Regla de un Precio”, que establece que un mismo activo debe comercializarse al mismo precio en todos los mercados. Si el precio del activo es diferente en dos mercados distintos, habrá operadores que comprarían el activo en el mercado barato y la venderían en el mercado caro. Esta sería una operación de arbitraje. La compra barata y la venta cara continúa hasta que los precios lleguen a un equilibrio.

El arbitraje también iguala el precio de activos con el mismo flujo de fondos y establece el precio de activos con flujos de fondos futuros conocidos.

En teoría, para aprovechar el arbitraje, no se requiere capital y no conlleva riesgos, por lo que vale la pena estar pendiente para encontrar estas oportunidades. En este capítulo se estudiarán las posibilidades de arbitraje con futuros de soja en Argentina en función de las estructuras de costos de los productores.

3.1 ARBITRAJE CON FUTUROS

Con respecto a los commodities, pueden existir posibilidades de arbitraje en el mercado de futuros.

En los casos donde haya una gran oferta del activo, el precio del futuro representa el valor futuro esperado del subyacente descontado a una tasa libre de riesgo. Alguna desviación de este precio teórico brinda una oportunidad libre de riesgo para hacer una ganancia. Entonces, el valor del futuro debería ser:

$$F(t) = S(t) \cdot (1 + r)^{(T-t)} \quad (3.1)$$

Donde $F(t)$ es el precio del futuro en un momento t , $S(t)$ es el precio del activo subyacente en el mismo momento t , y T es el tiempo de maduración del contrato.

En la práctica existen dos tasas de interés diferentes para tomar un préstamo y para invertir, las tasa activa y pasiva respectivamente. Esto se contradice con los supuestos del modelo anterior y genera dos precios distintos, uno para cada tasa. El precio del futuro teórico se debería encontrar dentro de esta banda, conocida como la banda de arbitraje. Con una tasa activa i_a mayor a la tasa pasiva i_p , los límites superior e inferior de esta banda pueden calcularse de la siguiente manera:

$$F_{t \text{ sup}} = S_t \cdot (1 + i_a)^{(T-t)} \quad (3.2)$$

$$F_{t \text{ inf}} = S_t \cdot (1 + i_p)^{(T-t)} \quad (3.3)$$

Es necesario notar que en este modelo el precio del futuro no depende de las expectativas de lo que pasará con el precio del commodity en el tiempo, sino sólo en el precio actual. La oportunidad de arbitraje existe cuando el precio del futuro en el mercado se encuentra por fuera de la banda, es decir, cuando es mayor al precio superior teórico o menor al precio inferior teórico.

Además de las tasa de interés diferenciadas, existen otras imperfecciones como costos de transacción, costos de transporte, comisiones a corredores de granos, márgenes de operación y costos de acopio. Estos factores ensanchan la banda, reduciendo las oportunidades de arbitraje. Otro supuesto que puede no ser cierto en la realidad es que el commodity no sea perecedero, y que pueda ser acopiado por el período de maduración del futuro.

Como los costos mencionados varían de productor a productor, la franja de arbitraje es en realidad propia de cada uno, por lo que no todos tienen las mismas oportunidades. Como se verá, los que en general pueden aprovechar esto son los grandes actores que tienen costos unitarios más reducidos e inclusive mejores tasas de interés.

3.2 OPERACIÓN

Para aprovechar las oportunidades de arbitraje, la operación dependerá de si el precio del futuro real está por encima del máximo o por debajo del mínimo de la banda de arbitraje.

Los precios spot y de futuros que son utilizados en los mercados a término implican la entrega de la mercadería en un lugar específico. En el caso de la soja, los precios de ROFEX y MATBA son ambos con entrega en la ciudad de Rosario. Es por esto que, si uno tiene el campo o silo alejado de la ciudad, se debe tener en cuenta el costo de transporte.

Futuro Caro

Cuando el precio del futuro es mayor al límite superior, se realiza la siguiente operación:

1. Tomar un préstamo a tasa activa i_a .
2. Usar el préstamo para comprar el activo físico a monto S_0 . Costo de transporte c_T y de comisión c_S .
3. Entrar en un contrato de venta a futuro a F_0 con maduración T (posición short) y costos de la comisión c_F y margen de operación m .
4. Almacenar el activo a un cierto costo de acopio c_A .
5. Transcurrido el plazo, vender el commodity al precio pactado y cancelar el préstamo. Costo de transporte c_T .

En este caso se debe tener espacio libre para poder almacenar el grano comprado. Un acopiador con espacio libre podría aprovechar esta situación incurriendo en un costo de acopio marginal. Consideramos en este ejemplo que si se decide realizar la operación, no se está perdiendo una posibilidad de alquilar el servicio a un productor. En la realidad, esto podría ser el caso si se está en el medio de la temporada de acopio, ya que sería poco probable que alguien requiera el servicio de acopio en esa época.

Otro factor que debe considerarse es el gasto bancario, que incluye todas las tasas que deben pagarse al tomar el préstamo.

La siguiente tabla muestra el flujo de fondos de la operación.

	t=0
Compra soja	$-S_0(1 + T) - c_T$
Contrato Futuro	$-F_0c_C - m$
Préstamo	$P = (S_0(1 + T) + c_T + F_0c_C + m)/(1 - gb)$
Gasto Bancario	$-P \cdot gb$
Flujo de Fondos	0

	t=T
Costo de Acopio	$-c_A$
Cancelación del Préstamo	$-P \cdot (1 + i_a)^T$
Venta Futuro	$F_0 + m - c_T$
Flujo de Fondos	$F_0 - P \cdot (1 + i_a)^T - c_A + m - c_T$

Tabla 3.1 Operación futuro caro.

Para que el flujo de fondos sea positivo,

$$F_0 > (S_0(1 + T) + c_T + F_0c_C + m)/(1 - gb) \cdot (1 + i_a)^T + c_A - m + c_T \quad (3.4)$$

El lado derecho es el límite superior de la franja de arbitraje.

A continuación se muestra un ejemplo para un futuro de Noviembre. Se establecen los parámetros de la siguiente manera:

Costo Acopio Mensual	0,1 US\$/ton
Costo Comisión Commodity	1,0%
Transporte	0
Comisión Futuros	0,3%
Margen de Operación	12 US\$/ton
Gasto Bancario	2%
Tipo de cambio (venta BN)	3,101
Tasa activa mensual	1,55%

Se toman valores reales del 17/07/2007. El futuro de Noviembre 2007 cotizó a 659,89 \$/ton, mientras que el precio spot cotizó a 589,19 \$/ton. Se anula el costo de transporte para el ejemplo. El tipo de cambio y la tasa activa mensual son los publicados por el Banco Nación para el 17/07/2007.

17/07/2007

- Compra soja: $-S_0(1 + T) = -589,19(1 + 0,01) = -595,0$ US\$/ton
- Contrato futuro: $-F_0c_C - m = -659,89 * 0,003 - 12 * 3,101 = -39,2$ US\$/ton
- Préstamo: $P = \frac{(S_0(1+T)+CT+F_0c_C+m)}{1-gb} = \frac{595,1+39,2}{1-0,02} = 643,9$ US\$/ton
- Gasto bancario: $-P \cdot gb = -643,9 * 0,02 = -9,7$ US\$/ton
- Flujo de Fondos: $-595,0 - 39,2 - 9,7 + 643,9 = 0$ US\$/ton

23/11/2007

- Meses: 4,3
- Costo de acopio: $-0,1 * 4,3 * 3,101 = -1,3$ US\$/ton
- Cancelación del préstamo: $-P \cdot (1 + i_a)^T = -643,9 * (1 + 0,0155)^{4,3} = -688,0$ US\$/ton
- Venta del futuro: $F_0 + m - CT = 659,9 + 12 * 3,101 = 697,1$ US\$/ton
- Flujo de Fondos: $-1,72$ US\$/ton $-688,0$ US\$/ton $+ 697,1$ US\$/ton = $7,8$ US\$/ton

En conclusión, se pudo haber obtenido en la expiración un ingreso de 7,8 US\$/ton si se aprovechaba esta oportunidad de arbitraje.

Futuro Barato

Para el caso en que el precio del futuro sea menor al límite inferior, se requiere contar previamente con el commodity acopiado. En este caso se realiza la siguiente operación:

1. Vender el commodity en el mercado spot, incurriendo en un costo de transporte c_T .
2. Invertir la utilidad a una tasa i_p .
3. Entrar en un contrato de compra a futuro a F_0 por un plazo T (posición *long*) y costos de la comisión c_C y margen de operación.
4. Transcurrido el plazo, recuperar lo invertido para reponer el stock al precio pactado.

	t=0
Venta soja	$S_0(1 - T) - c_T$
Contrato Futuro	$-F_0c_C - m$
Inversión	$-(S_0(1 - T) - c_T - F_0c_C - m)/(1 + gb)$
Gasto Bancario	$-I \cdot gb$
Flujo de Fondos	0

	t=T
Ahorro costo de Acopio	c_A
Recupero inversión	$I \cdot (1 + i_p)^T$
Compra Futuro	$-F_0 + m - c_T$
Flujo de Fondos	$-F_0 + m - c_T + (S_0(1 - T) - c_T - F_0c_C - m)/(1 + gb) \cdot (1 + i_p)^T + c_A$

Tabla 3.2 Operación futuro barato.

En este caso es necesario tener la posibilidad de tomar prestado el grano que se debe vender. Si se tratara de un productor que ya tiene el grano, esta operación no sería de arbitraje, sino una simple cobertura con futuros. Quien podría aprovechar esta situación es un acopiador, ya que ellos tienen en sus silos granos que no son suyos, ya que si fueron vendidos “a fijar” todavía no fueron pagados. El acopiador puede, sin embargo, disponer de ellos. Tiene dos alternativas. Una es dejar el commodity en el silo hasta que el productor decida cobrar, y la otra es vender el grano, ahorrar los costos de acopio que tenga (aunque los siga cobrando al productor), invertir lo ganado, y finalmente volver a comprar el grano. Todo esto sin riesgos.

Para que el flujo de fondos sea positivo

$$F_0 < (S_0(1 - T) - c_T - F_0c_C - m)/(1 + gb) \cdot (1 + i_p)^T + c_A + m - c_T \quad (3.5)$$

El lado derecho es el límite inferior de la franja de arbitraje.

A continuación se muestra un ejemplo para un futuro de Mayo. Se establecen los parámetros de la siguiente manera:

Costo Acopio Mensual	0,1 US\$/ton
Costo Comisión Commodity	1,0%
Transporte	12 US\$/ton (50 km.)
Comisión Futuros	0,4%
Margen de Operación	12
Gasto Bancario	2%
Tipo de cambio (venta BN)	3,934
Tasa pasiva mensual	0,70%

Se toman valores reales del 20/07/2010. El futuro de Noviembre 2011 cotizó a 913,87 \$/ton, mientras que el precio spot cotizó a 991,37 \$/ton.

20/07/2010

$$\text{Venta Soja: } S_0(1 - T) - c_T = 991,37 * (1 - 0,01) - 12 * 3,934 = 934,2$$

$$\text{Contrato Futuro: } -F_0c_C - m = 913,87 * 0,004 - 12 * 3,934 = -50,9 \text{ US$/ton}$$

$$\text{Inversión: } -(S_0(1 - T) - c_T - F_0c_C - m)/(1 + gb) = -\frac{934,2 - 50,86}{1 + 0,02} = -866,0 \text{ US$/ton}$$

$$\text{Gasto Bancario: } -866,0 * 0,02 = -17,3 \text{ US$/ton}$$

$$\text{Flujo de Fondos: } 934,2 - 50,9 - 866,0 - 17,3 = 0 \text{ US$/ton}$$

23/5/2011

Meses: 10,2

$$\text{Ahorro costo de acopio: } 0,1 * 10,2 * 3,934 = 4,0 \text{ US$/ton}$$

$$\text{Recupero inversión: } I/(1 + gb)(1 + i_p)^T = 866,0 * (1 + 0,007)^{10,2} = 930,0 \text{ US$/ton}$$

$$\text{Compra futuro: } -F_0 + m - c_T = -913,9 + 12 * 3,934 - 12 * 3,934 = -913,9 \text{ US$/ton}$$

$$\text{Flujo de fondos: } 4,0 + 930,0 - 913,9 = 20,1 \text{ US$/ton}$$

Se obtendría en la expiración un ingreso de 20,1 US\$/ton.

En vez de comparar precios spot con precios de futuros, otro tipo de arbitraje al que se podría acceder es aprovechando diferencias de precios entre futuros de distintas fechas de expiración.

3.3 OPORTUNIDADES DE ARBITRAJE

Debido a la gran oferta de soja en la Argentina, podría ser posible aprovecharse de estas situaciones. En esta sección se investiga las oportunidades que hubo en los últimos años y con qué costos hubiera sido posible hacer una ganancia.

El análisis se realiza en base a futuros del Mercado a Término de Buenos Aires (MATBA). Los contratos son por 100 toneladas, con destino puerto de Rosario únicamente. Se opera permanentemente a lo largo de los 18 meses del tiempo de maduración del futuro. El último día de comercialización es el día hábil previo a los últimos 5 días hábiles del mes de entrega pactado. Los contratos son en dólares y el margen de operación es de 12 US\$/ton.

Se consideran para el análisis los precios diarios desde el 1/1/2004 al 15/7/2012. Se realizó el estudio para futuros de mayo y enero. La única restricción es que no se permite el almacenamiento por más de 12 meses para simplificar la operación. En la práctica, sin embargo, esto sería posible cambiando el grano físico antes de que comience a perder calidad.

En cuanto a los parámetros, se establecieron los siguientes como caso base:

Costo Acopio Mensual	0,1 US\$/ton
Costo Transacción	1,0%
Transporte	12 US\$/ton (50 km.)
Comisión Futuros	0,4%
Margen de Operación	12 US\$/contrato
Gasto Bancario	2%

Par el tipo de cambio venta y las tasas de interés activa y pasiva, se utilizaron las series históricas del Banco Nación.

Con respecto a los futuros de mayo, de los 1929 casos posibles, se identificaron 320 oportunidades de arbitraje, de los cuales todos fueron correspondientes a casos de futuro barato. Claramente, el futuro de mayo tiene una tendencia mucho mayor a ser barato que caro. Esto puede ser explicado por el hecho de que mayo es justo el mes después de la cosecha, y la época del año con la mayor cantidad ofertada. El precio del futuro, representando el consenso del mercado sobre el valor futuro del precio spot, es por lo tanto bajo. Esto es claramente un incentivo del mercado a deshacerse del commodity. Con una estructura de costos adecuada, puede llegar a haber bastantes oportunidades de arbitraje con este futuro.

Cabe notar en este caso que cuanto más alto es el costo de acopio que se pueda ahorrar, más atractiva será esta operación. Esto por supuesto no significa que conviene tener costos de acopio mayores, sino que la alternativa de arbitraje será más conveniente que no hacer nada y seguir pagando los costos de acopio.

El siguiente diagrama muestra la sensibilidad del a cantidad de oportunidades de arbitraje según cambios porcentuales en cada uno de los parámetros.

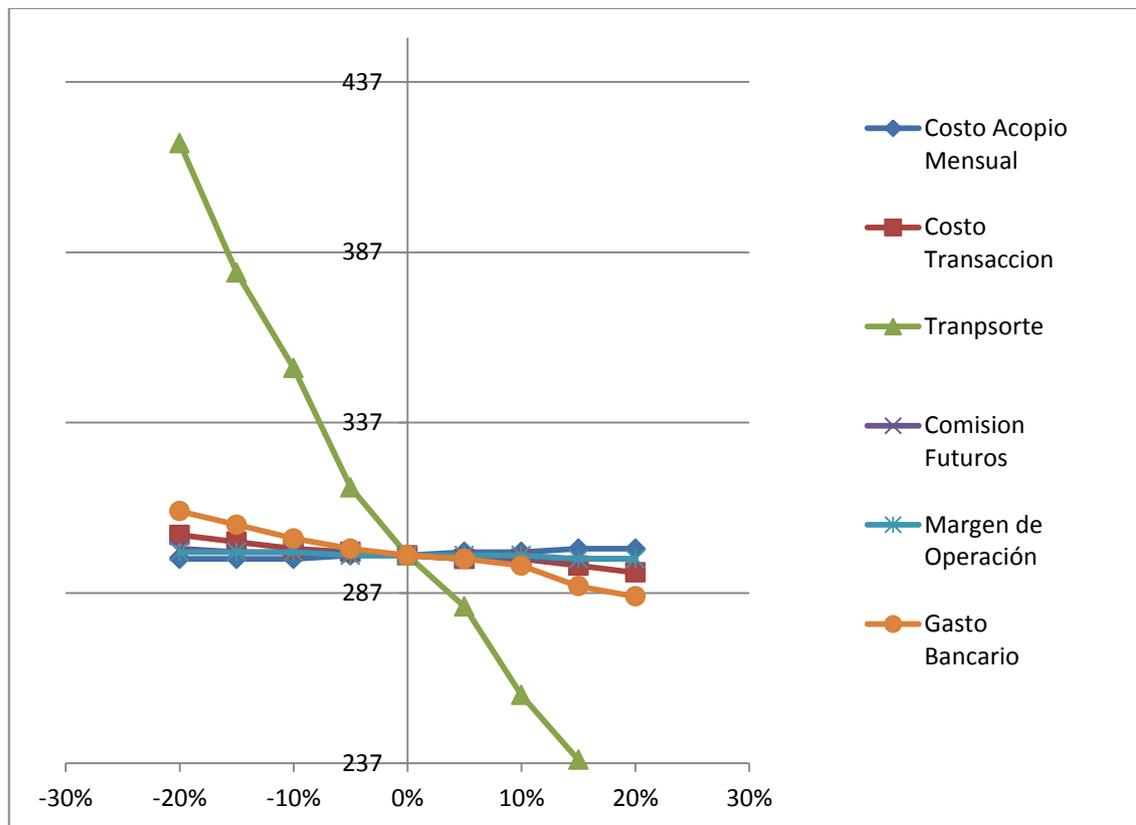


Figura 3.1 Casos de arbitraje de futuros de mayo según variaciones porcentuales en los parámetros.

Los cambios porcentuales en el transporte son claramente los que más afectan el número de oportunidades de arbitraje. Este parámetro es en realidad el que más variaciones puede presentar, ya que depende de factores como la época del año y el costo del combustible. Esto también demuestra cómo la distancia al mercado tiene grandes implicancias respecto al arbitraje. Como se puede observar, los aumentos en los factores tienden a reducir las oportunidades, excepto en el caso del costo de acopio, que como se explicó, representa en este caso los ahorros posibles.

Para los futuros de enero, de los 1009 casos posibles, no se pudo identificar ningún caso con los parámetros base. Asumiendo un costo de transporte nulo, que podría ser el caso para un acopiador radicado en la misma ciudad de Rosario, se identificaron solamente dos oportunidades de arbitraje que corresponden a futuros caros. Esto es lógico considerando que estos meses se encuentran en plena temporada de acopio, en donde el commodity es cada vez más escaso, y los precios futuros se estiman más altos.

Estas diferencias en la cantidad de posibilidades de arbitraje pueden ser explicadas por el hecho de que en los meses de acopio, donde la oferta es escasa, el precio del futuro

es determinado principalmente por las reglas del mercado eficiente y por estas mismas operaciones de arbitraje. Cada oportunidad mínima es aprovechada por algún arbitrajista. Por el contrario, para el mes de mayo tienen mayor prioridad las fuerzas de oferta y demanda del grano según las perspectivas de la cosecha. En estos casos, el precio de futuro tiende a no seguir tanto el valor teórico presentado anteriormente, aumentando las oportunidades para los arbitrajistas.

Los casos en donde surgieron las oportunidades de arbitraje pueden encontrarse en el anexo.

3.4 RIESGOS

En general, este tipo de operaciones no conlleva riesgos por el hecho de que depende solamente de los precios actuales del commodity y del futuro. Es decir, el ingreso está asegurado sin importar las variaciones de los parámetros en el futuro.

Sin embargo, pueden surgir riesgos de otros tipos:

- Variaciones en el día. Debido a la dificultad de hacer las operaciones al mismo tiempo exacto, uno queda expuesto a la variabilidad de los precios en el día.
- Pérdidas de calidad. El grano puede perder calidad mientras está acopiado.

3.5 AUMENTAR LAS OPORTUNIDADES DE ARBITRAJE

Para tener mayores posibilidades de arbitrar, un productor o acopiador debería realizar modificaciones en su sistema de operaciones y de costos. Básicamente, será necesario tener menores costos de acopio y transporte, acceso a mejores tasas de interés y contacto con corredores que cobren menor comisión. En esta sección se describirá brevemente algunas de las estrategias para lograr mejores condiciones en estos ítems.

Costos de Acopio

Grandes acopiadores podrían considerar en realidad un costo de acopio nulo a la hora de evaluar una alternativa con precio de futuro caro. Si un acopiador tiene espacio libre en su silo, y decide hacer una compra para arbitrar, sus costos prácticamente no aumentarían si ya tuviera granos almacenados. Considerando esto, se pueden aumentar considerablemente las oportunidades.

Es necesario recordar en este punto que para el caso de futuro barato, en el que se vende la mercadería y se ahorran los costos de acopio, la cantidad de oportunidades de acopio aumentan a precios de acopio más caro. Esto es así ya que si el ahorro es considerable, es más conveniente deshacerse del grano y arbitrar.

Si se trata de un acopiador más pequeño, con costos unitarios mayores, pueden verse reducidas considerablemente estas posibilidades.

Costos de Transporte

Como se ha visto, las posibilidades de acopio son extremadamente sensibles al costo de transporte. Acopiadores más cercanos al punto de venta tienen muchas más posibilidades de aprovechar esta situación. En el país, solo se comercializan futuros de soja para entrega a Rosario, lo que hace que tengan mayores oportunidades los acopiadores ubicados en las inmediaciones de esta ciudad.

También tienen mayores oportunidades aquellos que tengan capacidad de transporte propio, y no deban contratar un flete, que seguramente será más caro, especialmente para distancias cortas. Si la única opción es contratando, se reducen significativamente las posibilidades y más aún si es época de cosecha, donde los costos aumentan. Como estas operaciones se establecen con a veces varios meses de antelación, habría que estudiar si es posible contratar fletes con descuentos por la anticipación.

Si se cuenta con camiones propios, es necesario identificar los rubros que componen el costo total y su incidencia. Según la Federación Argentina de Entidades Empresarias del Autotransporte de Cargas (FADEEAC), los rubros principales son el combustible y el personal, cada uno con alrededor de un 30% de incidencia en el costo total. Otros rubros importantes son reparaciones (10%) y neumáticos (5%). El resto se compone de seguros, costo de patentes, gastos generales y administrativos, lubricantes y peajes. Según el mismo organismo, el componente con mayor aumento en el último año fue el de combustible, con un 53% de aumento (mayo 2011 a mayo 2012). El costo de personal tuvo un aumento del 25%, mientras que el costo total aumentó en un 34%.

Dado que el costo de personal es difícil de regular por parte del empleador, el combustible es la variable más importante para intentar reducir el costo de transporte. Como se mencionó anteriormente, puede reducirse la distancia de transporte para disminuir el consumo de combustible. También, debería considerarse invertir en camiones más eficientes, ya que el ahorro en combustible puede ser mayor al costo adicional. Una opción que usan algunos grandes transportistas es comprar biodiesel para mezclar con gasoil y de esta manera reducir costos. Estando cerca de Rosario pueden encontrarse numerosos productores de este combustible.

También puede considerarse usar otro medio, como la barcaza o el ferrocarril. Esto dependerá de la ubicación geográfica de los silos, ya que se debe estar cerca de un puerto o estación. Los costos de estos medios son considerablemente menores que con el camión para distancias y cantidades de grano grandes. Puede no ser conveniente para distancias muy cortas y poca cantidad de grano.

Comisiones

Las comisiones son impuestas por los corredores de granos y operadores de futuros. Un gran acopiador, por la enorme cantidad de granos que comercializa, podría beneficiarse de tasas menores, además de conocer distintas maneras para reducir los costos de comercialización.

Con respecto a la venta del grano, se podría optar por hacer ventas directas, sin ningún intermediario, siempre y cuando se mantenga el precio spot de pizarra. Lo mismo es aplicable para las compras de grano. A través de la venta directa puede reducirse la comisión en alrededor de 1 punto porcentual².

Financiación

Para reducir las tasas de interés podría optarse por fuentes de financiación alternativas. En general, como se ha dicho, grandes acopiadores y productores pueden tener acceso a menores tasas de interés. Para agentes pequeños es más complicado modificar esta variable.

Forwards

Una última posibilidad es entrar en contratos forwards en vez de futuros. Estos contratos se establecen directamente entre las partes. Además de evitar costos de comisión, esto da la posibilidad de negociar precios mejores que aumenten el beneficio del arbitraje. Sin embargo, no existen garantías con esta alternativa, ya que no son respaldadas por una institución, y la operación pasa a ser más riesgosa.

3.6 CONCLUSIÓN

Las operaciones de arbitraje son una posibilidad para generar ingresos sin riesgos a través del almacenaje de granos. Según el análisis hecho, las franjas de arbitraje para parámetros de costo y tasas comunes son anchas, dejando pocas posibilidades para la mayoría de los agentes. Para realmente sacar provecho, es necesario contar con una estructura de operaciones y de financiación muy competitivas. Además, la ubicación con respecto al punto de venta es fundamental, ya que los costos de transporte tienen una gran incidencia. El esfuerzo necesario para realizar modificaciones y poder aumentar las oportunidades es tan grande que es poco factible para productores o acopiadores pequeños.

² Vender en forma directa implica un acuerdo de precios al margen de la bolsa de comercio. Si todos los productores hicieran esto, el mercado se vería muy afectado ya que la bolsa perdería la función de establecer un precio de referencia.

4 CONCLUSIÓN

Para este proyecto se había planteado analizar el rol del almacenaje en dos aplicaciones distintas. Para la primera, el almacenaje como medio para acceder a precios futuros mayores donde el objetivo era encontrar una regla de decisión óptima utilizando la programación dinámica estocástica. A través de esta regla, se confirmó que el acopio es una herramienta a partir de la cual un productor puede aumentar sus ingresos, y a partir de estrategias de ventas parciales, regular el riesgo al que está expuesto.

Con una aplicación a un productor de soja con almacenaje en silobolsa, se observa que un productor adverso al riesgo puede realizar ventas en el momento de la cosecha a precios bajos de manera óptima, con el objetivo de reducir el riesgo, aún si también reduce el ingreso esperado. También se analizó las diferencias de la regla óptima según el tamaño o estructura de costos y financiamiento de distintos productores. Por último, se comparó la estrategia obtenida con otras estrategias posibles a través de una simulación. La estrategia óptima resultó ser superior a la de vender siempre al comienzo de la temporada en términos de ingreso esperado, pero inferior en términos de riesgo. Cada productor puede encontrar una estrategia intermedia a partir de sus objetivos de ingreso, nivel de tolerancia al riesgo y estructura de costos y financiamiento.

En futuras investigaciones podrían considerarse los siguientes aspectos:

- Estudiar el desempeño de la regla de decisión óptima a partir de una proyección de precios para una temporada anterior y la evolución de precios que sucedió realmente.
- Hacer el estudio para otros granos.
- Estudiar el caso de productores de varios cultivos con capacidad de acopio limitada.
- Incorporar la utilización de futuros en la regla de decisión.
- Incorporar el efecto de impuestos.
- Estudiar las reglas de decisión desde el punto de vista de un acopiador. La rotación es importante y se está más expuesto al riesgo.
- Estudiar las reglas de decisión desde el punto de vista de un exportador. Entra en consideración el mercado internacional.
- Considerar la producción anual como variable estocástica.
- Estudiar el grado de aversión al riesgo de productores en el país.

La segunda aplicación del acopio es en el arbitraje de granos con futuros. El objetivo era estudiar las franjas de arbitraje de productores y acopiadores y evaluar la factibilidad de estas operaciones usando futuros de distintos meses de expiración. A partir de un conjunto de parámetros, se observó que las oportunidades en los últimos

años fueron pocas. Las oportunidades de arbitraje están reservadas para actores grandes y cercanos a los puntos de venta.

Para futuras investigaciones en esta aplicación, podría analizarse el arbitraje con futuros de distinto mes de expiración, en vez de con futuros y precios spot. Esto sería interesante para ver si en esos casos es más o menos factible el arbitraje con respecto al caso estudiado.

En resumen, en este proyecto se identifican dos aplicaciones del acopio y se confirma su rol fundamental en las estrategias de comercialización de granos como variable para aumentar ingresos y controlar riesgos. Otros factores importantes en la comercialización de granos, como el precio del grano y perspectivas de precio, cotizaciones de futuros, transporte y tasa de interés afectan tanto las reglas de decisiones y su desempeño como las posibilidades de aprovechar el arbitraje.

5 REFERENCIAS

Decisiones de comercialización

- Berg, E. 1987. A Sequential Decision Model to Determine Optimal Farm-Level Grain Marketing Policies. European Review of Agricultural Economics. Volumen 14. Páginas 91-116.
- Fackler, P. y Livingston, M. 2002. Optimal Storage by Crop Producers. American Journal of Agricultural Economics. Volumen 84, Número 3. Páginas 645-659.
- J. Lai, R. Myers y S. Hanson. 2003. Optimal On-Farm Grain Storage by Risk-Averse Farmers. Journal of Agricultural and Resource Economics. Volumen 28, Número 3. Páginas 558-579.
- Loy, J. P. 2008. Scientific Assistance in Grain Marketing Decisions. IAMO Forum 2008.
- O' Brien, D. M. 2000. Grain Marketing Plans for Farmers. Kansas State University.
- Rosa, A. 2000. Acopios: Cómo Obtener Ganancia ¿A Través de un Mayor Giro o Mayor Almacenamiento? ¿Cómo Pueden Utilizarse los Futuros y Opciones en esta Situación? Investigación Bolsa de Comercio de Rosario.
- Tronstad, R. y Taylor, C. 1991. Dynamically Optimal After-Tax Grain Storage, Cash Grain Sale, and Hedging Strategies. American Journal of Agricultural Economics. Volumen 73, Número 1. Páginas 75-88.

El precio de la soja y modelización

- Cabrini, S. 2007. Relaciones Espaciales en el Precio de Soja: Implicancia para Firmas de Argentina que Toman Coberturas de Precios en el Chicago Board of Trade. Reunión Anual de la Asociación Argentina de Economía Agraria.
- Lazzati, N. y Pacheco, J.M. 2003. Análisis de la Evolución del Componente Estacional del Precio de la Soja en Argentina, Implicancias para el Productor Agropecuario. Investigaciones Bolsa de Comercio de Rosario.
- García, R. 2006. Inferencia Estadística y Diseño de Experimentos. 734 páginas. Editorial Eudeba. ISBN 950-23-1295-3.

Programación Dinámica y Simulación

- Winston, W. L. 2004. Investigación de operaciones, aplicaciones y algoritmos, 4ª edición. 1418 páginas. Editorial Thomson. ISBN 970-686-362-1.

Información y datos

- S. Giancola, M. Salvador, M. Covacevich, G. Iturrioz. 2009. Análisis de la Cadena de Soja en la Argentina. Estudios Socioeconomicos de los Sistemas Agroalimentarios y Agroindustriales. Número 3. 117 páginas.
- Páginas web
 - Banco de la Nación Argentina <http://www.bna.com.ar/>
 - Bolsa de Comercio de Rosario www.bcr.com.ar/
 - CATAC www.catac.org.ar/
 - FADEEAC www.fadeeac.org.ar/

- MAGyP www.miniagri.com.ar/
- MATBA www.matba.com.ar/
- ROFEX www.rofex.com.ar/
- Sistema Integrado de Información Agropecuaria www.siaa.gov.ar

6 ANEXO

A continuación se muestran los casos en que se pudo haber arbitrado con los parámetros base para futuros de mayo. Solamente se muestran los casos de futuro barato. Los datos son de a partir de 2010 y representan 112 oportunidades.

Las primeras columnas muestran las cotizaciones de los futuros (Precio F) con el año de expiración (Año) y las de la soja (Precio S), el tipo de cambio y los meses restantes hasta la expiración del futuro. Luego se muestran las tasas activas y pasivas mensuales del Banco Nación. En las siguientes dos secciones de columnas se realizan por pasos los cálculos explicados en el capítulo de arbitraje, primero para el momento actual ($t=0$) y luego para el momento en la expiración ($t=T$). En las columnas FFO y FFT se calculan los flujos de fondos, que siempre son nulos en el caso de FFO y un número positivo en FFT.

Optimización de estrategias comerciales de productores de granos a través del acopio

Fecha	Año	Tasas		t=0						t=T						
		Precio F	Precio S	u\$s	Meses	Tasa a	Tasa p	Venta S	Inversión Bancario	Gasto Bancario	Compra F	FF0	Ahorro cA	Recupero dinero	Compra	FFT
04/01/2010	2010	932.8	1048.2	3.8	4.6	1.55%	0.74%	992.2	-924.4	-18.5	-49.3	0.0	4.8	956.0	-932.8	28.0
05/01/2010	2010	931.1	1050.4	3.8	4.5	1.55%	0.74%	994.3	-926.5	-18.5	-49.3	0.0	4.8	958.0	-931.1	31.6
06/01/2010	2010	933.5	1059.2	3.8	4.5	1.55%	0.74%	1002.9	-934.7	-18.7	-49.5	0.0	4.8	966.2	-933.5	37.6
07/01/2010	2010	907.4	1037.9	3.8	4.5	1.55%	0.74%	982.0	-914.6	-18.3	-49.2	0.0	4.6	945.2	-907.4	42.4
08/01/2010	2010	902.8	1029.3	3.8	4.4	1.55%	0.74%	973.4	-906.1	-18.1	-49.2	0.0	4.6	936.2	-902.8	38.0
11/01/2010	2010	898.0	1020.6	3.8	4.3	1.55%	0.74%	964.9	-897.8	-18.0	-49.1	0.0	4.4	926.9	-898.0	33.3
12/01/2010	2010	876.0	1007.3	3.8	4.3	1.55%	0.74%	951.7	-885.0	-17.7	-49.0	0.0	4.3	913.5	-876.0	41.8
13/01/2010	2010	886.6	1025.2	3.8	4.3	1.55%	0.74%	969.4	-902.2	-18.0	-49.1	0.0	4.4	931.0	-886.6	48.8
14/01/2010	2010	881.3	1027.1	3.8	4.2	1.55%	0.74%	971.3	-904.1	-18.1	-49.1	0.0	4.3	932.7	-881.3	55.8
15/01/2010	2010	874.1	1027.1	3.8	4.2	1.55%	0.74%	971.3	-904.1	-18.1	-49.1	0.0	4.3	932.5	-874.1	62.8
18/01/2010	2010	873.8	1029.5	3.8	4.1	1.55%	0.74%	973.6	-906.4	-18.1	-49.1	0.0	4.2	934.2	-873.8	64.7
19/01/2010	2010	869.7	1024.4	3.8	4.1	1.55%	0.74%	968.5	-901.4	-18.0	-49.1	0.0	4.2	928.8	-869.7	63.3
20/01/2010	2010	851.3	1019.5	3.8	4.0	1.55%	0.74%	963.6	-896.6	-17.9	-49.1	0.0	4.1	923.7	-851.3	76.5
21/01/2010	2010	854.5	1024.4	3.8	4.0	1.55%	0.74%	968.4	-901.3	-18.0	-49.1	0.0	4.1	928.2	-854.5	77.8
22/01/2010	2010	850.1	1027.9	3.8	4.0	1.55%	0.74%	971.9	-904.7	-18.1	-49.1	0.0	4.1	931.6	-850.1	85.6
25/01/2010	2010	844.9	1008.6	3.8	3.9	1.55%	0.74%	952.8	-886.1	-17.7	-49.1	0.0	3.9	911.7	-844.9	70.6
26/01/2010	2010	851.7	1010.7	3.8	3.8	1.55%	0.74%	954.8	-887.9	-17.8	-49.2	0.0	3.9	913.3	-851.7	65.6
27/01/2010	2010	837.9	991.6	3.8	3.8	1.55%	0.74%	936.0	-869.4	-17.4	-49.1	0.0	3.8	894.1	-837.9	60.0
28/01/2010	2010	842.1	989.1	3.8	3.8	1.55%	0.74%	933.4	-866.9	-17.3	-49.2	0.0	3.7	891.3	-842.1	52.9
29/01/2010	2010	839.5	993.3	3.8	3.7	1.55%	0.74%	937.3	-870.5	-17.4	-49.4	0.0	3.7	894.8	-839.5	59.0
01/02/2010	2010	834.7	985.9	3.8	3.6	1.55%	0.74%	930.0	-863.3	-17.3	-49.4	0.0	3.6	886.8	-834.7	55.6
02/02/2010	2010	843.8	977.2	3.8	3.6	1.55%	0.74%	921.4	-854.9	-17.1	-49.4	0.0	3.5	877.9	-843.8	37.6
03/02/2010	2010	832.7	966.2	3.8	3.6	1.55%	0.74%	910.5	-844.3	-16.9	-49.3	0.0	3.4	866.8	-832.7	37.5

Fecha	Año	Tasas				t=0				t=T						
		Precio F	Precio S	u\$s	Meses	Tasa a	Tasa p	Venta S	Inversión Bancario	Gasto Bancario	Compra F	FF0	Ahorro cA	Recupero dinero	Compra	FFT
04/02/2010	2010	829.7	960.3	3.8	3.5	1.55%	0.74%	904.6	-838.4	-16.8	-49.4	0.0	3.4	860.5	-829.7	34.2
05/02/2010	2010	828.3	948.5	3.8	3.5	1.55%	0.74%	892.9	-827.0	-16.5	-49.4	0.0	3.3	848.6	-828.3	23.6
08/02/2010	2010	845.0	969.9	3.8	3.4	1.55%	0.74%	914.1	-847.6	-17.0	-49.5	0.0	3.3	869.1	-845.0	27.4
09/02/2010	2010	844.3	970.4	3.8	3.4	1.55%	0.74%	914.5	-848.1	-17.0	-49.5	0.0	3.3	869.4	-844.3	28.3
10/02/2010	2010	848.3	977.1	3.8	3.3	1.55%	0.74%	921.2	-854.6	-17.1	-49.6	0.0	3.3	875.8	-848.3	30.8
11/02/2010	2010	850.1	977.9	3.9	3.3	1.55%	0.74%	921.9	-855.2	-17.1	-49.6	0.0	3.2	876.3	-850.1	29.4
12/02/2010	2010	850.2	977.0	3.9	3.3	1.55%	0.74%	921.0	-854.2	-17.1	-49.6	0.0	3.2	875.1	-850.2	28.1
15/02/2010	2010	851.1	978.5	3.9	3.2	1.55%	0.74%	922.4	-855.6	-17.1	-49.7	0.0	3.1	875.8	-851.1	27.7
16/02/2010	2010	870.5	989.3	3.9	3.1	1.55%	0.74%	933.1	-866.1	-17.3	-49.8	0.0	3.1	886.3	-870.5	18.9
17/02/2010	2010	860.3	979.4	3.9	3.1	1.55%	0.74%	923.4	-856.5	-17.1	-49.7	0.0	3.0	876.3	-860.3	19.1
18/02/2010	2010	858.4	979.9	3.9	3.1	1.55%	0.74%	923.8	-857.0	-17.1	-49.7	0.0	3.0	876.6	-858.4	21.2
19/02/2010	2010	856.9	968.4	3.9	3.0	1.55%	0.74%	912.4	-845.7	-16.9	-49.7	0.0	2.9	864.9	-856.9	10.9
22/02/2010	2010	869.2	973.5	3.9	2.9	1.55%	0.74%	917.4	-850.5	-17.0	-49.8	0.0	2.9	869.1	-869.2	2.8
06/07/2010	2011	881.4	937.3	3.9	10.7	1.55%	0.70%	880.7	-813.7	-16.3	-50.7	0.0	10.0	876.6	-881.4	5.2
07/07/2010	2011	895.0	959.2	3.9	10.7	1.55%	0.70%	902.4	-834.9	-16.7	-50.8	0.0	10.2	899.2	-895.0	14.4
08/07/2010	2011	902.8	969.7	3.9	10.6	1.55%	0.70%	912.7	-845.0	-16.9	-50.9	0.0	10.3	909.9	-902.8	17.5
12/07/2010	2011	901.3	979.3	3.9	10.5	1.55%	0.70%	922.3	-854.3	-17.1	-50.8	0.0	10.3	919.1	-901.3	28.1
13/07/2010	2011	901.7	982.7	3.9	10.5	1.55%	0.70%	925.7	-857.7	-17.2	-50.8	0.0	10.3	922.5	-901.7	31.2
14/07/2010	2011	911.9	989.0	3.9	10.4	1.55%	0.70%	931.9	-863.8	-17.3	-50.9	0.0	10.3	928.9	-911.9	27.3
15/07/2010	2011	926.7	999.5	3.9	10.4	1.55%	0.70%	942.3	-873.9	-17.5	-50.9	0.0	10.4	939.5	-926.7	23.2
16/07/2010	2011	924.5	997.3	3.9	10.4	1.55%	0.70%	940.1	-871.7	-17.4	-50.9	0.0	10.3	937.0	-924.5	22.8
19/07/2010	2011	912.9	989.7	3.9	10.3	1.55%	0.70%	932.5	-864.4	-17.3	-50.9	0.0	10.2	928.4	-912.9	25.7
20/07/2010	2011	913.9	991.4	3.9	10.2	1.55%	0.70%	934.2	-866.1	-17.3	-50.9	0.0	10.1	930.0	-913.9	26.3

Optimización de estrategias comerciales de productores de granos a través del acopio

Fecha	Año	Tasas				t=0				t=1						
		Precio F	Precio S	u\$s	Meses	Tasa a	Tasa p	Venta S	Inversión Bancario	Gasto Bancario	Compra F	FF0	Ahorro cA	Recupero dinero	Compra	FFT
21/07/2010	2011	924.5	1003.2	3.9	10.2	1.55%	0.70%	945.9	-877.5	-17.5	-50.9	0.0	10.2	942.1	-924.5	27.8
22/07/2010	2011	926.0	1006.6	3.9	10.2	1.55%	0.70%	949.3	-880.8	-17.6	-50.9	0.0	10.2	945.4	-926.0	29.7
23/07/2010	2011	927.7	1012.2	3.9	10.1	1.55%	0.70%	954.9	-886.3	-17.7	-50.9	0.0	10.3	951.1	-927.7	33.7
26/07/2010	2011	918.1	986.9	3.9	10.0	1.55%	0.70%	929.9	-861.8	-17.2	-50.9	0.0	9.9	924.1	-918.1	15.9
27/07/2010	2011	923.9	991.1	3.9	10.0	1.55%	0.70%	934.0	-865.8	-17.3	-50.9	0.0	9.9	928.2	-923.9	14.3
28/07/2010	2011	933.8	1003.4	3.9	10.0	1.55%	0.70%	946.2	-877.7	-17.6	-51.0	0.0	10.0	940.7	-933.8	16.9
29/07/2010	2011	939.4	1017.7	3.9	9.9	1.55%	0.70%	960.3	-891.5	-17.8	-51.0	0.0	10.1	955.3	-939.4	26.0
30/07/2010	2011	957.4	1036.2	3.9	9.9	1.55%	0.70%	978.6	-909.3	-18.2	-51.1	0.0	10.3	974.2	-957.4	27.0
02/08/2010	2011	965.2	1039.6	3.9	9.8	1.55%	0.70%	982.0	-912.6	-18.3	-51.1	0.0	10.2	977.0	-965.2	22.0
03/08/2010	2011	959.9	1026.8	3.9	9.8	1.55%	0.70%	969.3	-900.2	-18.0	-51.0	0.0	10.0	963.6	-959.9	13.7
04/08/2010	2011	969.5	1034.4	3.9	9.7	1.55%	0.70%	976.8	-907.6	-18.2	-51.1	0.0	10.1	971.2	-969.5	11.8
05/08/2010	2011	977.4	1042.2	3.9	9.7	1.55%	0.70%	984.6	-915.2	-18.3	-51.1	0.0	10.1	979.2	-977.4	11.9
06/08/2010	2011	969.2	1042.0	3.9	9.7	1.55%	0.70%	984.4	-915.0	-18.3	-51.1	0.0	10.1	978.7	-969.2	19.5
09/08/2010	2011	975.9	1043.9	3.9	9.6	1.55%	0.70%	986.3	-916.9	-18.3	-51.1	0.0	10.0	980.0	-975.9	14.1
10/08/2010	2011	963.6	1050.9	3.9	9.5	1.55%	0.70%	993.2	-923.7	-18.5	-51.1	0.0	10.0	987.1	-963.6	33.5
11/08/2010	2011	961.9	1044.5	3.9	9.5	1.55%	0.70%	986.8	-917.4	-18.3	-51.1	0.0	9.9	980.1	-961.9	28.2
12/08/2010	2011	976.6	1054.0	3.9	9.5	1.55%	0.70%	996.3	-926.7	-18.5	-51.1	0.0	10.0	989.8	-976.6	23.2
13/08/2010	2011	982.9	1061.9	3.9	9.4	1.55%	0.70%	1004.1	-934.3	-18.7	-51.1	0.0	10.0	997.7	-982.9	24.9
17/08/2010	2011	981.1	1062.2	3.9	9.3	1.55%	0.70%	1004.4	-934.5	-18.7	-51.1	0.0	9.9	997.0	-981.1	25.8
18/08/2010	2011	978.9	1050.9	3.9	9.3	1.55%	0.70%	993.2	-923.6	-18.5	-51.1	0.0	9.7	985.1	-978.9	16.0
19/08/2010	2011	970.1	1039.4	3.9	9.2	1.55%	0.70%	981.7	-912.4	-18.2	-51.1	0.0	9.6	972.9	-970.1	12.5
20/08/2010	2011	963.6	1039.6	3.9	9.2	1.55%	0.70%	982.0	-912.6	-18.3	-51.1	0.0	9.6	973.0	-963.6	18.9
23/08/2010	2011	968.6	1043.8	3.9	9.1	1.55%	0.70%	986.1	-916.7	-18.3	-51.1	0.0	9.5	976.6	-968.6	17.5

Fecha	Año	Tasas			t=0				t=T							
		Precio F	Precio S	u\$s	Meses	Tasa a	Tasa p	Venta S	Inversión	Gasto Bancario	Compra F	FF0	Ahorro cA	Recupero dinero	Compra	FFT
24/08/2010	2011	963.8	1032.8	3.9	9.1	1.55%	0.70%	975.2	-905.9	-18.1	-51.2	0.0	9.4	964.9	-963.8	10.5
25/08/2010	2011	962.6	1025.7	3.9	9.0	1.55%	0.70%	968.1	-898.9	-18.0	-51.2	0.0	9.3	957.3	-962.6	4.0
01/09/2010	2011	983.2	1044.8	4.0	8.8	1.55%	0.70%	986.9	-917.2	-18.3	-51.3	0.0	9.2	975.2	-983.2	1.2
06/09/2010	2011	1001.4	1064.9	3.9	8.6	1.55%	0.70%	1006.9	-936.8	-18.7	-51.3	0.0	9.2	994.9	-	2.7
07/09/2010	2011	1009.6	1073.6	3.9	8.6	1.55%	0.70%	1015.5	-945.2	-18.9	-51.4	0.0	9.2	1003.5	-	3.1
05/11/2010	2011	1249.9	1331.9	4.0	6.6	1.55%	0.62%	1271.1	-1194.7	-23.9	-52.5	0.0	8.8	1244.4	-	3.3
08/11/2010	2011	1251.5	1331.6	4.0	6.5	1.55%	0.62%	1270.7	-1194.2	-23.9	-52.6	0.0	8.7	1243.2	-	0.4
09/11/2010	2011	1290.8	1370.5	4.0	6.5	1.55%	0.62%	1309.2	-1231.9	-24.6	-52.7	0.0	8.9	1282.1	-	0.2
10/11/2010	2011	1297.2	1386.4	4.0	6.5	1.55%	0.62%	1325.0	-1247.3	-24.9	-52.7	0.0	9.0	1297.9	-	9.6
11/11/2010	2011	1298.7	1388.7	4.0	6.4	1.55%	0.62%	1327.3	-1249.5	-25.0	-52.7	0.0	8.9	1299.9	-	10.1
12/11/2010	2011	1260.1	1350.1	4.0	6.4	1.55%	0.62%	1289.0	-1212.1	-24.2	-52.6	0.0	8.6	1260.8	-	9.3
15/11/2010	2011	1266.4	1349.8	4.0	6.3	1.55%	0.62%	1288.7	-1211.7	-24.2	-52.7	0.0	8.5	1259.6	-	1.6
16/11/2010	2011	1227.7	1311.1	4.0	6.3	1.55%	0.62%	1250.3	-1174.2	-23.5	-52.6	0.0	8.2	1220.3	-	0.9
18/11/2010	2011	1223.7	1311.1	4.0	6.2	1.55%	0.62%	1250.3	-1174.2	-23.5	-52.6	0.0	8.1	1219.9	-	4.3
19/11/2010	2011	1193.1	1292.0	4.0	6.2	1.55%	0.62%	1231.4	-1155.9	-23.1	-52.4	0.0	8.0	1200.5	-	15.4
23/11/2010	2011	1217.7	1317.0	4.0	6.0	1.55%	0.62%	1256.2	-1180.1	-23.6	-52.5	0.0	7.9	1224.6	-	14.9
24/11/2010	2011	1235.2	1323.0	4.0	6.0	1.55%	0.62%	1262.1	-1185.8	-23.7	-52.6	0.0	7.9	1230.3	-	3.0
16/12/2010	2011	1287.5	1379.3	4.0	5.3	1.55%	0.62%	1317.8	-1240.2	-24.8	-52.9	0.0	7.3	1281.0	-	0.7
01/06/2012	2013	1323.9	1479.9	4.5	11.9	1.55%	0.62%	1411.4	-1326.0	-26.5	-58.9	0.0	17.6	1426.6	-	120.3
04/06/2012	2013	1332.4	1476.4	4.5	11.8	1.55%	0.62%	1408.0	-1322.5	-26.5	-59.0	0.0	17.4	1422.0	-	107.0
05/06/2012	2013	1338.5	1502.1	4.5	11.8	1.55%	0.62%	1433.3	-1347.2	-26.9	-59.2	0.0	17.7	1448.2	-	127.4
06/06/2012	2013	1353.3	1528.6	4.5	11.7	1.55%	0.62%	1459.4	-1372.6	-27.5	-59.4	0.0	17.9	1475.2	-	139.9
07/06/2012	2013	1376.6	1547.0	4.5	11.7	1.55%	0.62%	1477.7	-1390.6	-27.8	-59.3	0.0	18.1	1494.2	-	135.8

Fecha	Año	Precio		u\$s	Meses	Tasas		t=0					t=T			
		F	S			Tasa a	Tasa p	Venta S	Inversión	Gasto Bancario	Compra F	FF0	Ahorro cA	Recupero dinero	Compra	FFT
08/06/2012	2013	1361.5	1547.7	4.5	11.7	1.55%	0.62%	1478.4	-1391.3	-27.8	-59.3	0.0	18.1	1494.7	1361.5	151.2
11/06/2012	2013	1360.5	1544.6	4.5	11.6	1.55%	0.62%	1475.2	-1388.1	-27.8	-59.3	0.0	17.9	1490.4	1360.5	147.8
12/06/2012	2013	1358.7	1540.1	4.5	11.5	1.55%	0.62%	1470.8	-1383.8	-27.7	-59.3	0.0	17.8	1485.4	1358.7	144.5
13/06/2012	2013	1344.0	1513.8	4.5	11.5	1.55%	0.62%	1444.8	-1358.3	-27.2	-59.3	0.0	17.4	1457.8	1344.0	131.2
14/06/2012	2013	1336.4	1501.3	4.5	11.5	1.55%	0.62%	1432.4	-1346.2	-26.9	-59.3	0.0	17.2	1444.5	1336.4	125.3
15/06/2012	2013	1346.6	1501.7	4.5	11.4	1.55%	0.62%	1432.7	-1346.4	-26.9	-59.3	0.0	17.2	1444.4	1346.6	115.1
18/06/2012	2013	1363.5	1512.0	4.5	11.3	1.55%	0.62%	1442.9	-1356.3	-27.1	-59.5	0.0	17.1	1454.1	1363.5	107.8
19/06/2012	2013	1387.8	1544.5	4.5	11.3	1.55%	0.62%	1475.0	-1387.7	-27.8	-59.6	0.0	17.5	1487.5	1387.8	117.1
21/06/2012	2013	1381.7	1559.8	4.5	11.2	1.55%	0.62%	1490.1	-1402.4	-28.0	-59.6	0.0	17.5	1502.6	1381.7	138.5
22/06/2012	2013	1378.4	1583.7	4.5	11.2	1.55%	0.62%	1513.7	-1425.6	-28.5	-59.7	0.0	17.7	1527.1	1378.4	166.5
25/06/2012	2013	1399.3	1636.3	4.5	11.1	1.55%	0.62%	1565.8	-1476.5	-29.5	-59.8	0.0	18.2	1580.7	1399.3	199.6
26/06/2012	2013	1393.5	1639.7	4.5	11.1	1.55%	0.62%	1569.1	-1479.7	-29.6	-59.8	0.0	18.1	1583.8	1393.5	208.5
27/06/2012	2013	1393.8	1640.0	4.5	11.0	1.55%	0.62%	1569.4	-1480.0	-29.6	-59.8	0.0	18.1	1583.9	1393.8	208.2
28/06/2012	2013	1395.3	1641.8	4.5	11.0	1.55%	0.62%	1571.2	-1481.7	-29.6	-59.9	0.0	18.1	1585.3	1395.3	208.0
29/06/2012	2013	1410.2	1665.9	4.5	11.0	1.55%	0.62%	1595.0	-1504.9	-30.1	-60.0	0.0	18.3	1609.8	1410.2	217.9
02/07/2012	2013	1411.8	1674.3	4.5	10.9	1.55%	0.62%	1603.2	-1513.0	-30.3	-59.9	0.0	18.2	1617.5	1411.8	223.9
03/07/2012	2013	1432.2	1710.5	4.5	10.8	1.55%	0.62%	1639.0	-1548.1	-31.0	-60.0	0.0	18.5	1654.6	1432.2	241.0
04/07/2012	2013	1432.3	1711.2	4.5	10.8	1.55%	0.62%	1639.8	-1548.7	-31.0	-60.1	0.0	18.5	1655.0	1432.3	241.2
05/07/2012	2013	1462.3	1744.1	4.5	10.8	1.55%	0.62%	1672.2	-1580.4	-31.6	-60.2	0.0	18.8	1688.5	1462.3	245.0
06/07/2012	2013	1457.1	1732.4	4.5	10.7	1.55%	0.62%	1660.6	-1569.0	-31.4	-60.2	0.0	18.6	1676.0	1457.1	237.5