



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUTO DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE SOCIOECONOMÍA, ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA

ECONOMÍA

LA COBERTURA CRUZADA DE SORGO GRANO EN MÉXICO: ANÁLISIS DE CAUSALIDAD Y COINTEGRACIÓN

HERIBERTO MARTÍNEZ OJEDA

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MEXICO

2015

La presente tesis titulada: "LA COBERTURA CRUZADA DE SORGO GRANO EN MÉXICO: ANÁLISIS DE CAUSALIDAD Y COINTEGRACIÓN" realizada por el alumno: HERIBERTO MARTINEZ OJEDA, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS

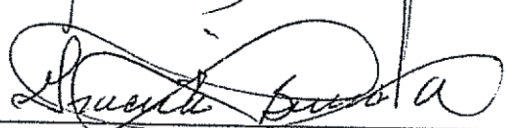
SOCIOECONOMÍA ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA - ECONOMÍA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO


DR. MA DEL CARMEN LOPEZ REYNA

ASESOR


DRA. GRACIELA M. BUENO AGUILAR

COA

ASESOR


DR. JOSÉ SATURNINO MORA FLORES

ISO

ASESOR


DR. MARCOS PORTILLO VÁZQUEZ

UACCT

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Noviembre de 2015.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo económico brindado en la realización de mis estudios de postgrado.

Al Colegio de Postgraduados por la oportunidad brindada en esta carrera hacia el éxito profesional.

A mi consejo particular conformado por la Dra. Ma. Del Carmen López Reyna; Dra. Graciela M. Bueno Aguilar; Dr. Saturnino Mora Flores; y Dr. Marcos Portillo Vázquez, quienes me han orientado, apoyado y corregido en mi labor científica con un interés y entrega que han sobrepasado todas mis expectativas.

A mis padres

LA COBERTURA CRUZADA DE SORGO GRANO EN MÉXICO: ANALISIS DE CAUSALIDAD Y COINTEGRACIÓN

Heriberto Martínez Ojeda, MC.

Colegio de Postgraduados, 2015

RESUMEN

La cobertura de precios de sorgo grano en México se basa en la compra de opciones *call* y *put* sobre contratos de futuros de maíz amarillo en la Bolsa de Chicago; a esta forma de cobertura se le denomina cobertura cruzada. El sorgo grano es el segundo producto agrícola con cobertura de precios en Bolsa después del maíz en México. La eficiencia de la cobertura se analiza por causalidad de acuerdo con Granger en el modelo de Vector Autoregresivo y por Cointegración con base en la metodología de Johansen. Se analizaron las variables precio libre a bordo (LAB) de sorgo grano en México, el precio futuro de maíz amarillo número dos y el tipo de cambio oficial. En todos los casos, resultaron positivas las pruebas de causalidad de Granger en la dirección precios futuros maíz amarillo a precios LAB de sorgo grano. El análisis de cointegración resulto positivo la existencia de al menos una ecuación de cointegración en los mercados de Irapuato y Morelia. Los resultados permiten concluir que la cobertura cruzada de sorgo grano es eficiente, puesto que las tendencias de las variables analizadas a pesar de no ser estacionarias, convergen en el largo plazo. La velocidad de ajuste del equilibrio de largo plazo fue de 0.29 y 0.32 para los mercados de Irapuato y Morelia, respectivamente.

Palabra clave: *cobertura de precio, riesgo de base, convergencia, integración de mercados.*

**CROSS HEDGING OF SORGHUM GRAIN IN MEXICO:
CAUSALITY AND COINTEGRATION ANALISYS**

Heriberto Martínez Ojeda, MC.

Colegio de Postgraduados, 2015

ABSTRACT

Cross hedging grain sorghum prices in Mexico is based on the purchase of *call* and *put* options on futures contracts for yellow corn on the Chicago Mercantile Exchange; this form of hedging is called cross hedging. Grain sorghum is the second agricultural product with prices hedging on the futures market after prices of corn in Mexico. The hedge effectiveness is analyzed by Granger causality according to the Vector Autoregressive model and the cointegration using the Johansen methodology. The variables free on board (FOB) of grain sorghum in Mexico, the yellow corn future price number two and the official exchange rate were analyzed. In all cases, the Granger causality tests were positive in the direction yellow corn future prices to FOB grain sorghum prices. Cointegration analysis were positive the existence of at least one cointegrating equation in Morelia and Irapuato markets. The results suggest that cross hedging grain sorghum is efficient, since the trends of the variables analyzed despite not being stationary, hedging in the long term is. The speed of adjustment of long-term equilibrium was 0.29 and 0.32 for Morelia and Irapuato markets respectively.

Palabras clave: price hedging, basis risk, convergence, market integration.

CONTENIDO

	Página
AGRADECIMIENTOS.....	iii
DEDICATORIA	iv
RESUMEN.....	v
ABSTRACT.....	vi
CONTENIDO.....	vii
LISTA DE CUADROS	x
LISTA DE FIGURAS.....	xi
CAPITULO I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Planteamiento del problema	3
1.1.1. <i>Las coberturas de sorgo operadas por ASERCA</i>	3
1.2. Objetivos	8
1.2.1. <i>Objetivos específicos</i>	8
1.3. Hipótesis	8
1.4. Metodología.....	8
1.5. Revisión de literatura	9
CAPÍTULO II. MARCO GENERAL DEL ESTUDIO.....	11
2.1. Estadísticas internacionales.....	11
2.1.1. <i>Producción mundial</i>	11
2.1.2. <i>Consumo mundial</i>	14

2.1.3. <i>Importaciones y exportaciones</i>	15
2.1.4. <i>Precios internacionales</i>	18
2.2. Superficie sembrada, cosechada, y siniestrada	19
2.3. Volumen de producción y rendimientos	20
2.3.1. <i>El precio medio rural y el valor de la producción</i>	22
CAPÍTULO III. MARCO TEÓRICO	24
3.1. Mercados de futuros y opciones.....	24
3.1.1. <i>El contrato de futuros</i>	25
3.1.2. <i>Las opciones</i>	27
3.1.3. <i>Convergencia del precio de futuros con el precio de físicos</i>	29
3.1.4. <i>La base</i>	30
3.2. Procesos integrados y raíz unitaria en las series económicas	31
3.2.1. <i>Prueba de raíz unitaria</i>	32
3.3. Análisis de cointegración.....	34
3.4. Cointegración y tendencias comunes	37
3.5. Prueba de cointegración: la metodología de Johansen	38
3.5.1. <i>Raíces características, rango, y cointegración</i>	38
3.5.2. <i>Corrección de error y pruebas ADL</i>	46
3.5.3. <i>Cointegración con exogeneidad débil</i>	48
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	52
4.1. Estacionariedad.....	54

4.2. Riesgo de Base	56
4.3. Causalidad	57
4.4. Cointegración	58
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	63
5.1. Conclusiones.....	63
5.2. Recomendaciones	64
LITERATURA CITADA	65
ANEXOS	69

LISTA DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Colocación de cobertura de precios por producto y tipo de opción	6
Cuadro 2. Histórico de rendimientos por país (ton/ha).....	13
Cuadro 3. Principales exportadores mundiales	16
Cuadro 4. Países importadores (millones de toneladas)	17
Cuadro 5. Estadísticas descriptivas de las variables	52
Cuadro 6. Estacionariedad: prueba Dickey-Fuller Aumentada	55
Cuadro 7. Coeficientes de correlación entre maíz y sorgo en diferentes mercados	56
Cuadro 8. Resultado de la prueba de causalidad de Granger	58
Cuadro 9. Resultado prueba de cointegración de Johansen: traza y máximo eigenvalor	59

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Número de contratos colocados en Bolsa por producto.....	4
Figura 2. Diagrama de apertura y cierre de coberturas de precios utilizando las opciones de la Bolsa de Futuros de Chicago de Estados Unidos	5
Figura 3. Volumen promedio de los principales productores de sorgo 2000-2013	11
Figura 4. Producción mundial de sorgo grano 2000-2013.....	12
Figura 5. Precio del sorgo amarillo no. 2 en Golfo de México (US\$/ton).....	18
Figura 6. Histórico de superficie sembrada y cosechada.	19
Figura 7. Estacionalidad de la producción anual riego y temporal (2000-2012).....	21
Figura 8. Histórico de producción y rendimientos por régimen de humedad	22
Figura 9. Valores reales de la producción y precio medio rural	23
Figura 10. Principales participantes en el mercado de futuros	26
Figura 11. Beneficios obtenidos de una opción de compra call europea	27
Figura 12. Beneficios obtenidos de una opción de venta put europea.....	28

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN

El sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) es el quinto cereal más importante del mundo después del trigo, el arroz, el maíz y la cebada (López *et al.*, 2011). Aproximadamente el 90 por ciento de la superficie dedicada al cultivo del sorgo se encuentra en países en desarrollo, principalmente en África y Asia. Se cultiva básicamente en zonas agroecológicas caracterizadas por la escasez de precipitaciones y por la sequía, zonas en su mayor parte inadecuadas para la producción de otros cereales si no es posible recurrir al riego (FAO, 1997).

El sorgo grano cuenta con una gran variedad de usos incluyendo los alimentos para el consumo humano, alimento para el ganado y aplicaciones industriales tales como la producción de etanol; una proporción del 50% del consumo se destina al sector pecuario y el resto, para el consumo humano y la industria. El uso en la alimentación humana ha ido en aumento gracias a los beneficios proporcionados por ser libre de gluten para las personas con enfermedad celíaca (Smith y Frederiksen, 2000).

En México como en EE.UU la importancia de este grano se concentra en el sector pecuario (FIRA, 2014). Estos países mantienen una estrecha relación en cuanto al comercio del sorgo grano; EE.UU es el mayor exportador mundial con promedio del setenta por ciento del volumen comercializado a nivel global y México es el principal destino de sus ventas. (FAOSTAT, 2014).

La demanda de la industria de los alimentos balanceados en México tiene una mayor preferencia por el sorgo grano, en cambio, los productores pecuarios en EE.UU. tienen mayor inclinación por el maíz amarillo (FIRA, 2014). Esto se puede ver en cuanto al volumen de producción de estos granos en México; el volumen de producción de sorgo

equivale a cuatro veces la producción de maíz amarillo (SIACON, 2014). Además, se puede atribuir su preferencia a que el sorgo presenta ventaja comparativa natural en la producción, por su alta tolerancia a las sequías.

El análisis económico de las principales variables de la producción y del mercado, permite conocer la situación nacional. Así por ejemplo, en el periodo 2007-2014, en términos nominales, el precio medio rural del sorgo grano creció 3.09 por ciento anual, mientras que los precios reales se contrajeron a razón de 6.28 por ciento anual. Consecuentemente, esto se refleja en el valor de la producción; el valor nominal en 2007 fue de \$11,935 millones de pesos y en el 2014 de \$19,984 millones: un crecimiento medio anual de 7.64 por ciento, en tanto su valor real se redujo a una tasa anual de 2.14 por ciento. Estos movimientos, si se analizan junto con el crecimiento de la producción de 0.28% anual en el mismo periodo deja en claro que los movimientos de los precios al productor han afectado el valor de sus ingresos (SIACON, 2014).

La presente investigación muestra la relación de equilibrio de largo plazo y los efectos contemporáneos que tienen las variables tipo de cambio y precio futuro sobre los precios de mercado nacional de sorgo grano. El objetivo fue evaluar la afectividad de la cobertura cruzada de precio de sorgo grano en México durante el periodo 2007-2014. La hipótesis planteada supone que esta política es eficiente dada la alta correlación que presenta estos productos agrícolas en virtud de que son bienes sustitutos. El estudio del mercado del sorgo se justifica en la medida que se busca ampliar el conocimiento sobre el tema de las coberturas de precios que realiza ASERCA, en vista de que es el segundo producto más apoyado (Figura 1) por esta institución y segundo en importancia dentro de los granos producidos en México.

1.1. Planteamiento del problema

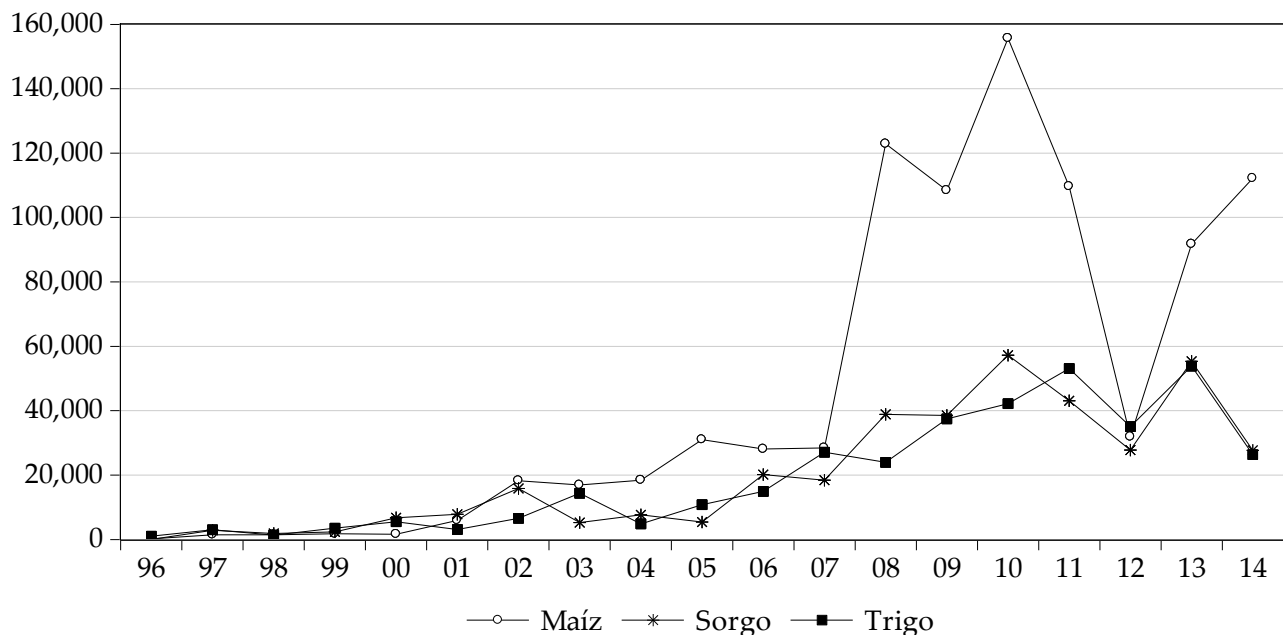
Una forma de poner en contexto la importancia del sorgo grano en México, es ubicar su posición dentro de la superficie sembrada de los cultivos cíclicos; estos cultivos en el año 2014 fueron el maíz grano con 7.426 millones de hectáreas, el sorgo grano con 2.078 millones y el frijol con 1.773 millones, los cuales en conjunto abarcaron el 71.74 por ciento de la superficie total sembrada en ese año agrícola. Con respecto al sorgo grano, la superficie cosechada en el año 2014 fue 2.014 millones de hectáreas (una reducción del 3.11 por ciento de la superficie sembrada), como consecuencia de las siniestros ocurridos en su mayoría durante la temporada de primavera-verano en el estado de Tamaulipas. Esto no aminoró la producción, puesto que se registró un volumen de 3.749 millones de toneladas en primavera-verano y 4.645 millones en otoño-invierno; 8.394 millones de toneladas en total (cantidad record histórica en la producción nacional). Las entidades federativas de Tamaulipas, Guanajuato, Sinaloa y Michoacán fueron quienes produjeron el 81 por ciento de la producción nacional (SIACON, 2014).

1.1.1. Las coberturas de sorgo operadas por ASERCA

A partir de los años noventa, la política agrícola en México transitó hacia la apertura comercial. Como consecuencia de la eliminación de los precios de garantía en 1989, a partir de 1990 se suprimió el permiso previo de importación para sorgo grano, lo que provocó problemas para la comercialización de las cosechas nacionales, considerando que los precios internacionales cotizaban por debajo de los nacionales; incluso los industriales presionaban los precios internos a la baja realizando importaciones. Por tal motivo, un año más tarde, con la creación de ASERCA en el año de 1991, se establecieron los precios de concertación, entendidos como los precios acordados por los agentes que intervienen en la producción y comercialización del sorgo con el fin de

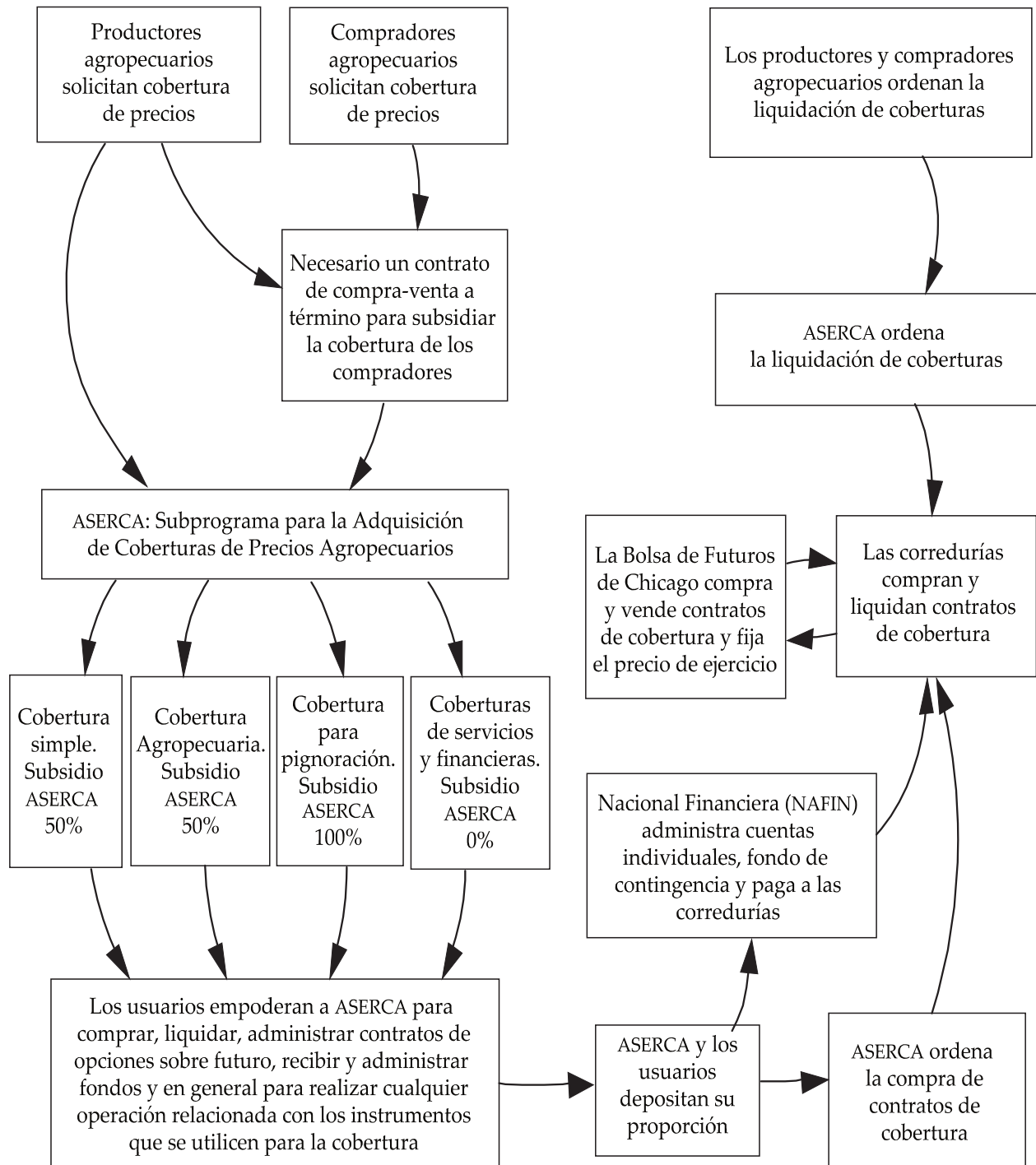
garantizar un ingreso mínimo al productor. Estos, fungían como precios piso a pagar por los compradores (Barreiro, 1997). Sin embargo, esta política duró hasta el año 1996, puesto que fue difícil asegurar a los productores el beneficio de dichos precios. Por tal motivo, ASERCA a partir de 1996 inició la aplicación de precios de indiferencia, los cuales se formulaban con base en el precio internacional y el costo de internación en la zona de consumo. Estos se regionalizan en el país, y se alinean con los vigentes en el mercado internacional (Galarza, 2003). Como una nueva medida para mitigar las fluctuaciones de precios del sorgo, ASERCA colocó el primer contrato de opción “put” sobre futuros de maíz amarillo número 2 en la CBOT en mayo de 1996. En este caso, se buscaba proteger 127 toneladas de sorgo grano mexicano contra la caída del precio (Ochoa, 2011).

Figura 1. Número de contratos colocados en Bolsa por producto



Fuente: Elaboración propia con datos de ASERCA (2014; 2013; 2012) y Ochoa (2011).

Figura 2. Diagrama de apertura y cierre de coberturas de precios utilizando las opciones de la Bolsa de Futuros de Chicago de Estados Unidos



Fuente: Godínez y Fuentes (2008)

La cobertura de precios de sorgo grano en México ha sido sustancial entre el grupo de commodities con cobertura de precios en el mercado de futuros con la implementación de los precios de indiferencia en el año 1996. Como lo señala Farías (2004) “el Programa de Coberturas de ASERCA es con mucho el esquema de administración de riesgos de precios de commodities agropecuarios más importante de América Latina, no solo por el volumen de contratos, sino por ser el único que utiliza subsidios para el pago de la prima”. Esto es evidente si se analiza los números de contratos colocados por producto y el impacto presupuestal para ASERCA en el año 2014 (Cuadro 1).

Cuadro 1. Colocación de cobertura de precios por producto y tipo de opción 2014

Producto	Número de Contratos			Volumen (toneladas)		Costo (pesos)		
	Call	Put	Total	Apoyado	Comercializado	ASERCA	Participante	Total
Maíz	48,492	63,668	112,160	14,244,993	9,025,810	1,718,964	798,812	2,517,776
Café	-	4,118	4,118	70,006	70,006	709,748	13,735	723,483
Trigo	14,403	11,935	26,338	3,584,022	2,269,100	470,850	217,219	688,069
Sorgo	8,243	19,436	27,679	3,515,399	2,726,690	451,904	155,272	607,176
Algodón	2,007	3,872	5,879	133,336	133,336	168,293	29,733	198,026
Soya	64	1,346	1,410	191,870	183,160	49,112	3,021	52,133
Cebada	116	-	116	15,785	15,785	2,433	432	2,864
Arroz	148	58	206	18,688	18,688	1,834	635	2,468
Ganado porcino	4	-	4	0	70	0	130	130
Total	73,477	104,433	177,910	21,774,172	14,442,650	3,573,138	1,218,987	4,792,125

Fuente: ASERCA (2014).

La estrategia utilizada por ASERCA en los últimos años ha sido la cobertura del precio del sorgo grano mediante las cotizaciones de futuros de maíz amarillo no. 2. La suma acumulada de contratos colocados en el periodo 1996-2014 es de 1,828,017, de los cuales, el maíz acapara el 48 por ciento de estos, el sorgo el 21 y el trigo el 20; los tres principales

que abarcan el 90 por ciento de la operaciones de cobertura de ASERCA (ASERCA, 2014; 2013; 2012; Ochoa, 2011).

En el año 2014 con el subsidio de ASERCA en el marco del Programa de Comercialización y Desarrollo de Mercados, en su componente Incentivos a la Comercialización, se colocaron en la Bolsa de Chicago y Nueva York (Intercontinental Exchange –ICE–), 177,910 contratos de opciones sobre futuros, de los cuales 73,477 correspondieron a opciones “*call*” y 104,433 a opciones “*put*”, lo que permitió apoyar un volumen total de 14.442 millones de toneladas de granos (maíz, sorgo y café), cereales (trigo, arroz y cebada), algodón y soya, beneficiando a un universo total de 184,131 participantes. Estas operaciones representaron un impacto presupuestal para ASERCA, de aproximadamente \$3,573.138 millones y de \$1,219.3 millones para los participantes (Cuadro 1). Tan solo para el sorgo, el segundo grano más apoyado en México, representó cerca del 20% del presupuesto asignado por ASERCA para la cobertura de riesgos de precios (ASERCA, 2014).

Lo dicho hasta aquí permite plantear algunas preguntas que motivan el estudio este tema de investigación. ¿Es eficiente la alternativa de cobertura de riesgos de sorgo grano empleada por ASERCA cuando se realiza a través de un commodity distinto? Dada las condiciones de estacionalidad de la producción nacional ¿siempre es la alternativa óptima de mitigación de riesgos de precios del sorgo? ¿Qué relación guardan las variables precios de físicos y futuros en el mercado de físicos del sorgo grano en México? Estas son algunas de las interrogantes que se busca resolver en el presente análisis.

1.2. Objetivos

Evaluar la efectividad de la cobertura de precios al productor en cinco zonas geográficas en México que se realiza vía el precio de futuros del maíz amarillo no. 2 y el efecto que tiene el tipo de cambio sobre los precios en el mercado nacional.

1.2.1. Objetivos específicos

1. Determinar si el precio futuro y el tipo de cambio son predictores eficientes de los precios de sorgo grano en México
2. Evaluar si el precio futuro y el tipo de cambio tienen efecto contemporáneo y de largo plazo sobre los precios LAB de sorgo grano en México.

1.3. Hipótesis

La política de cobertura de precios de sorgo grano es eficiente en las distintas zonas productoras en México dada la alta correlación que presentan con los precios de futuros del maíz amarillo no. 2 y la tasa de cambio oficial.

1.4. Metodología

Conocer la relación existente entre los precios de contado del sorgo grano y los precios de futuros de maíz amarillo no. 2 es crucial para el análisis de efectividad de la cobertura de precios del sorgo grano en México. En primer lugar se realizará un análisis descriptivo de los datos, posteriormente, a través del modelo VAR (Vector Autoregresivo) tradicional se realizan las pruebas de hipótesis que permiten evaluar la

causalidad en el sentido Granger entre las variables analizadas. Así mismo, como parte de la metodología de Johansen, previo al análisis de cointegración se realizan las pruebas de estacionariedad, en seguida la prueba de cointegración de Johansen, y en los casos que resulte significativas se estimará la relación de equilibrio de largo plazo entre las variables mediante el Modelo de Corrección de Error (MCE) con base en la metodología de Johansen.

1.5. Revisión de literatura

Una referencia metodológica de la evaluación empírica de política de precios es la que realizó [García \(2011\)](#) sobre el precio del maíz en distintas centrales de abasto en México. En ese trabajo el autor prueba la hipótesis de existencia de cointegración entre las variables precio físico del maíz, precio futuro del maíz y tipo de cambio. Su conclusión principal fue que las coberturas de precios de maíz operadas por ASERCA son eficientes.

Para llevar a cabo lo anterior, el autor analizó las variables mencionadas en dos pasos. Primero determinó la existencia de raíz unitaria en las series de tiempo a través de la prueba de Dickey y Fuller Aumentada. En segundo lugar aplicó el análisis de cointegración de Johansen (1991-1995) para determinar en qué sentido alguna variable tiene efecto sobre otra. Sus resultados principales reflejaron lo que suponía la hipótesis: 1) en la mayoría de los mercados analizados —con excepción de Chiapas y Michoacán— el precio de futuros afecta en el sentido de Granger a los precios de físicos; 2) con la excepción del mercado del Estado de México, no existe evidencia estadística de efecto reversible en el sentido de Granger de los precios de físicos sobre el precio de futuros; 3) los valores de las pruebas de la *traza* y del *máximo* eigenvalor del análisis de

cointegración de [Johansen \(1988\)](#) indica que existe al menos una ecuación o vector de cointegración para los modelos de Sinaloa, Jalisco, Estado de México, Chiapas, Guanajuato y Tamaulipas y; 4) es eficiente el uso de los futuros de maíz para cubrir los precios de físicos en México.

El trabajo realizado por [Echánove \(2012\)](#), se avocó en analizar el programa de cobertura de riesgos denominado agricultura por contrato en el caso del sorgo en México. Entre sus principales hallazgos encontró que si bien dicho programa ofrece importantes ventajas para los participantes, es sumamente vulnerable por los incumplimientos de contratos motivados por los efectos adversos del clima, la relación de precios relativos (precios internacionales vs precios en el mercado libre) y la evolución del tipo de cambio. Los incumplimientos ocurren tanto por parte de productores como de empresas consumidoras de granos, y se refieren a los volúmenes de estos bienes que fueron contratados pero no entregados por los productores a sus organizaciones o a las empresas consumidoras, tanto por motivos de desastres climáticos (sequías, heladas, etc.), como por desvíos intencionales de granos hacia el mercado libre, cuando los precios en éste son mayores a los precios de contrato. Así mismo, las empresas incumplen los contratos cuando las modificaciones en el tipo de cambio peso mexicano-dólar estadounidense al que tienen que pagar los granos no les favorecen.

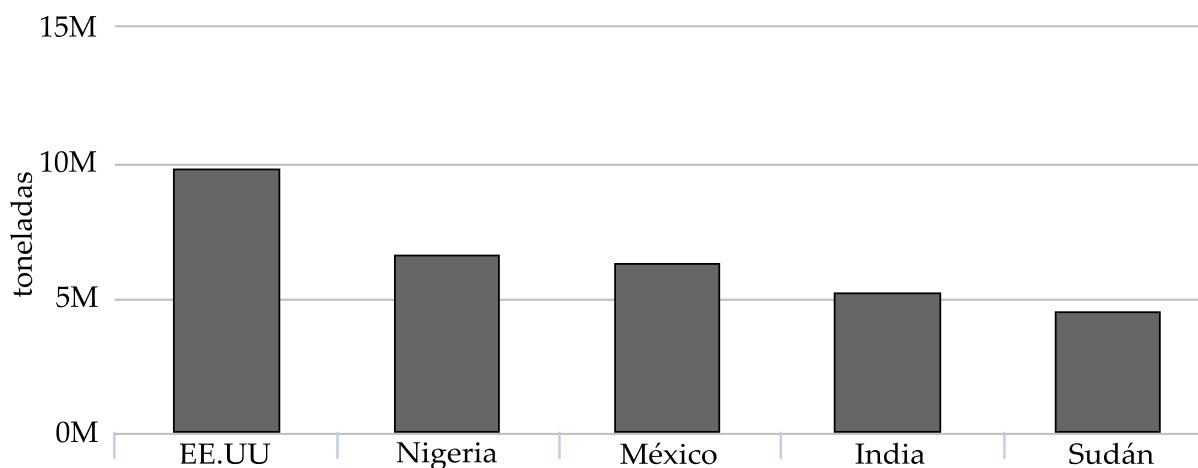
CAPÍTULO II. MARCO GENERAL DEL ESTUDIO

2.1. Estadísticas internacionales

2.1.1. Producción mundial

La producción mundial de sorgo alcanzó en el año 2013 un volumen de 62.295 millones de toneladas. Por el volumen de producción, los diez países importantes aportaron el 76.92% de ese total, siendo los seis principales EE.UU con el 16%, Nigeria con 11%, México el 10%, India el 8% y Sudan y Etiopia con el 7%, respectivamente. Así mismo, de acuerdo con información de la FAO, los países mencionados han aportado en promedio el 59% de la producción mundial en los últimos 14 años, entre ellos, se destaca la participación de México (en tercer lugar después de Nigeria y Estados Unidos) con un promedio de 6.263 millones de toneladas anuales (FAOSTAT, 2014).

Figura 3. Volumen promedio de los principales productores de sorgo 2000-2013



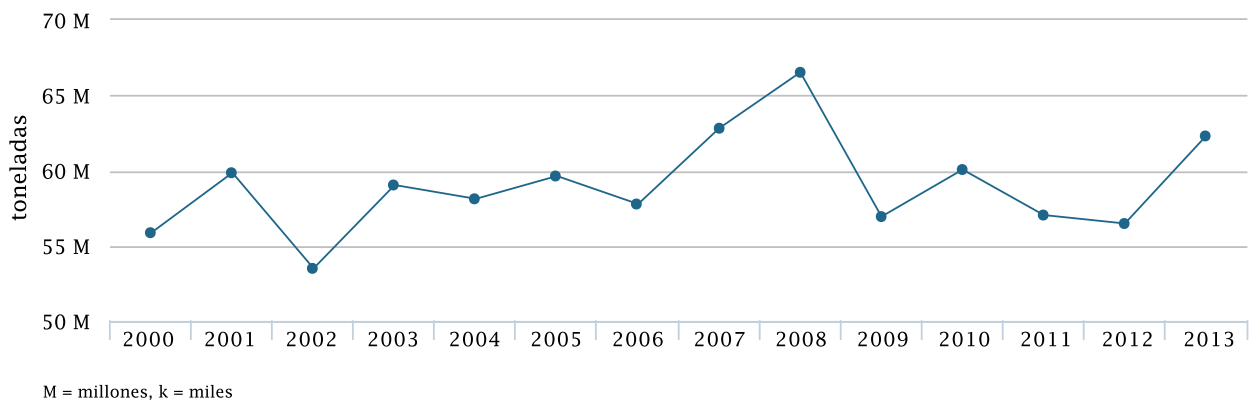
M = millones, k = miles

Fuente: FAOSTAT (2014).

La producción no ha presentado una dinámica de crecimiento sustancial en el periodo 2000-2013, puesto que solamente refleja un crecimiento medio anual de 0.39%, impulsado por ligeros incrementos en los rendimientos promedio. Si bien, tampoco se ha reflejado un crecimiento importante en el rendimiento pues en el periodo analizado solamente crecieron el 0.69% en promedio, mientras que la superficie cosechada cayó ligeramente en 0.30% (Figura 4).

Pese a la drástica reducción en su producción durante 2011 y 2012, EE.UU. continúa siendo el principal productor de sorgo grano en el mundo. Durante los años mencionados, la producción de sorgo en este país representó el 9.5 y 11.1 por ciento del total mundial, respectivamente (FAOSTAT, 2014). Para el año 2013 la producción estadounidense de sorgo fue de 9.881 millones de toneladas (15.9 por ciento del total mundial). Cabe señalar que en Estados Unidos algunos agricultores cultivan sorgo como una alternativa en época de sequía, ya que este cultivo es más tolerante a la escasez de agua y requiere menos insumos que el maíz. En ese país se reporta producción de sorgo en 14 estados. Sin embargo, tres cuartas partes de la producción de sorgo grano de ese país se concentran en dos estados: Kansas y Texas (FIRA, 2014).

Figura 4. Producción mundial de sorgo grano 2000-2013



Fuente: FAOSTAT (2014).

La producción mundial en el año 2008 fue un record histórico, dado que se produjeron 66.524 millones de toneladas. En este año se destacó la participación de EE.UU. con una producción de 11.998 millones de toneladas, Nigeria 9.318 y México en tercer lugar con 6.610 (Figura 4).

Los rendimientos en la producción de sorgo grano se han incrementado a un ritmo lento en los últimos años. El volumen por hectárea promedio mundial pasó de 1.34 toneladas por hectárea en 2000 a 1.47 toneladas por hectárea en 2013, es decir, creció a una tasa media anual de 0.71 por ciento (FIRA, 2014).

Cuadro 2. Histórico de rendimientos por país (ton/ha)

Año	Argentina	EE.UU.	México	Australia	Brasil	Etiopía	Promedio	Nigeria	India	Sudán
2000	4.78	3.82	3.10	2.55	1.78	1.07	1.34	1.16	0.77	0.61
2001	5.07	3.76	3.12	2.46	1.63	1.11	1.36	1.16	0.82	0.75
2002	5.09	3.18	3.44	2.20	2.31	0.97	1.33	1.16	0.77	0.59
2003	4.56	3.31	3.84	2.74	2.24	1.36	1.37	1.32	0.70	0.74
2004	5.19	4.37	3.49	2.66	1.99	1.37	1.46	1.39	0.80	0.71
2005	4.67	4.30	3.50	2.52	2.11	1.48	1.41	1.42	0.85	0.66
2006	4.71	3.52	3.64	2.09	2.13	1.58	1.34	1.42	0.84	0.67
2007	4.74	4.60	3.49	4.02	2.36	1.73	1.54	1.35	1.00	0.77
2008	3.69	4.08	3.74	3.51	2.29	1.69	1.48	1.49	0.96	0.58
2009	4.83	4.35	3.87	3.03	2.33	1.84	1.41	1.27	0.89	0.63
2010	4.40	4.51	3.84	3.06	2.83	2.09	1.49	1.25	0.99	0.47
2011	4.20	3.43	3.82	3.40	2.82	2.05	1.31	0.97	0.95	0.63
2012	4.48	3.13	3.76	3.44	2.62	2.11	1.52	1.25	0.84	1.10
2013	4.20	3.74	3.62	2.25	2.82	2.35	1.47	1.30	0.89	0.40
TCMA*	-0.99%	-0.16%	1.20%	-0.96%	3.60%	6.24%	0.71%	0.88%	1.12%	-3.19%

*Tasa de Crecimiento Medio Anual

Fuente: SAGARPA (2012).

En cuanto a la tendencia en los rendimientos por país, destaca Etiopía, donde la producción por unidad de superficie creció a una tasa media anual de 6.24 por ciento entre los ciclos 2000y 2013. Le siguen en crecimiento record Brasil y México con un promedio de 3.6 y 1.2 por ciento, respectivamente. Por el contrario, los rendimientos decrecieron en Sudán 3.19 por ciento anual, en Estados Unidos 0.16 y Argentina y Australia experimentaron una reducción del orden de 1.0 punto porcentual durante el periodo mencionado ([Cuadro 2](#)).

Entre los principales países productores de sorgo se identifica una clara segmentación por nivel de productividad. Por un lado, países de África y Asia, tales como Sudán, India y Nigeria, reportan rendimientos inferiores al promedio mundial. Lo anterior, ante el uso de sistemas de producción tradicional, producción de subsistencia y en pequeña escala. Por otro lado, en países como Argentina, Estados Unidos, México y Australia los rendimientos son sustancialmente superiores al promedio mundial. En estos países se cuenta con producción mecanizada y se utiliza una mayor cantidad de insumos. Coincidentemente, en los países con menores rendimientos, el sorgo es utilizado para alimentación humana, mientras que en los países en donde el sorgo se usa como forraje para el ganado se han logrado mayores niveles de productividad ([FIRA, 2014](#)).

2.1.2. Consumo mundial

Al igual que en el caso de la producción, una importante proporción del consumo global de sorgo se concentra en pocos países. México es el principal país consumidor de sorgo, y durante el 2013 tuvo el 12.2 por ciento del consumo mundial. A nivel global, el 51.6 por ciento del consumo tuvo lugar en sólo cinco países, mismos que en orden de importancia son México, China, Nigeria, India y Etiopía. En años recientes destaca el

crecimiento en el consumo de sorgo en China, impulsado por la fuerte demanda de granos forrajeros para abastecer a la industria pecuaria (FIRA, 2014).

El maíz es el principal sustituto de sorgo en la alimentación del ganado. El almidón y la proteína en el sorgo son más difíciles de digerir para los animales que las de maíz, dando una ventaja a este último en el uso como forraje. Sin embargo, se están llevando a cabo investigaciones para desarrollar métodos de procesamiento que permiten a los animales digerir el sorgo con mayor facilidad, lo que podría incidir en un mayor grado de sustitución entre ambos cereales (FIRA, 2014).

En el hemisferio occidental, al igual que en China, Japón y Australia, el sorgo grano es uno de los principales ingredientes en las raciones alimenticias de cerdos, aves de corral y ganado bovino. El sorgo también se cultiva para uso de forraje en verde. Por ejemplo, en el norte de la India es una práctica común alimentar a los animales con sorgo verde o ensilado. Por otro lado, el sorgo dulce se utiliza de forma limitada en la producción de jarabe de sorgo y 'azúcar moreno' (azúcar sin refinar) en la India y, recientemente, ha ganado importancia en la producción de etanol (FIRA, 2014).

2.1.3. Importaciones y exportaciones

Las exportaciones de sorgo en el mundo están lideradas por EE.UU. con ventas promedio en el exterior de 4.71 millones de toneladas anuales, aportación que representa el 70% del comercio internacional que son del orden de 6.718 millones de toneladas anuales. El segundo lugar lo ocupa Argentina con el 14.0%, y el tercer puesto lo ocupa Australia cuya venta en el exterior es de 8% en promedio al año (Cuadro 3).

En 2012 se exportaron al mercado internacional 6.516 millones de toneladas, de las cuales EE.UU. exportó el 30% del total, Argentina el 42% y Australia el 19 por ciento.

Por el lado de las importaciones, las estadísticas de la FAO reportan que México ha comprado en el mercado internacional en promedio 3.028 millones de toneladas; en los años 2000-2002 importó un promedio de 4.963 millones de toneladas. A partir del año 2003, se tiene una reducción drástica en el volumen importado. Para el caso del periodo completo, las importaciones han caído a una tasa media anual de 8.7%. Así mismo, uno de los consumidores de sorgo grano del mercado internacional es Japón con un volumen de importación anual de 1.544 millones de toneladas, quien de igual modo ha experimentado una reducción en sus compras a una tasa media anual de 2.66% en el periodo 2000-2013 (Cuadro 4).

Cuadro 3. Principales exportadores mundiales

País	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Media
USA	6.577	6.188	5.557	5.004	4.585	4.644	4.710	5.704	5.306	3.751	3.878	3.363	1.961	4.710
Argentina	0.770	0.440	0.413	0.647	0.192	0.323	0.219	1.072	1.179	1.051	1.660	1.848	2.717	0.964
Australia	0.814	0.771	0.398	0.037	0.545	0.210	0.153	0.038	0.596	1.202	0.297	0.706	1.270	0.541
Francia	0.229	0.220	0.208	0.209	0.082	0.101	0.129	0.074	0.081	0.083	0.100	0.073	0.089	0.129
Otros	0.108	0.111	0.107	0.473	0.382	0.174	0.159	0.932	0.858	0.408	0.383	0.285	0.479	0.374
Total	8.498	7.729	6.684	6.369	5.787	5.452	5.370	7.820	8.019	6.494	6.318	6.275	6.516	6.718

Fuente: Elaboración propia con datos de [FAOSTAT \(2014\)](#).

Por el lado de la demanda internacional de sorgo, tradicionalmente México era el principal importador de grano. Sin embargo, cifras de USDA muestran que en los ciclos 2013-2014 y 2014-2015 la participación de México en las importaciones globales se redujo sustancialmente. Una mayor producción doméstica de sorgo y maíz, aunado a un incremento en las importaciones de maíz son factores que pueden explicar este comportamiento. Asimismo, destaca el incremento en las importaciones de China, que

se ha convertido en el principal importador de sorgo en los últimos dos ciclos comerciales (FIRA, 2014).

Cuadro 4. Países importadores (millones de toneladas)

País	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Media
México	5.142	5.032	4.717	3.381	3.159	3.020	2.625	1.878	1.553	2.497	2.253	2.380	1.726	3.028
Japón	2.178	1.908	1.775	1.490	1.411	1.403	1.354	1.234	1.123	1.751	1.593	1.396	1.576	1.553
EU	0.242	0.010	0.044	0.836	0.698	0.207	0.329	3.043	3.408	0.031	0.367	0.614	0.104	0.764
Chile	0.064	0.050	0.062	0.043	0.072	0.068	0.065	0.131	0.313	0.537	0.625	0.636	0.597	0.251
Colombia	0.004	0.006	0.008	0.069	0.025	0.000	0.000	0.067	0.142	0.191	0.168	0.471	0.629	0.137
China	0.038	0.038	0.049	0.071	0.056	0.085	0.067	0.059	0.055	0.086	0.153	0.098	0.185	0.080
Etiopía	0.007	0.009	0.010	0.024	0.005	0.003	0.001	0.016	0.253	0.269	0.352	0.053	0.026	0.079
Israel	0.206	0.060	0.028	0.126	0.047	0.057	0.053	0.088	0.072	0.062	0.063	0.060	0.027	0.073
Otros	1.233	0.935	0.619	0.576	0.823	1.005	1.253	0.985	1.838	1.248	1.209	1.096	1.131	1.073
Total	9.114	8.046	7.312	6.618	6.296	5.849	5.748	7.502	8.759	6.672	6.783	6.806	6.002	7.039

Fuente: Elaboración propia con datos de FAOSTAT (2014).

Los principales países importadores de sorgo grano han reducido sus compras en el mercado exterior. Al observar las estadísticas de los principales importadores de sorgo grano se puede notar que han surgido nuevos consumidores, tales como China, Chile y Colombia (USDA, 2015).

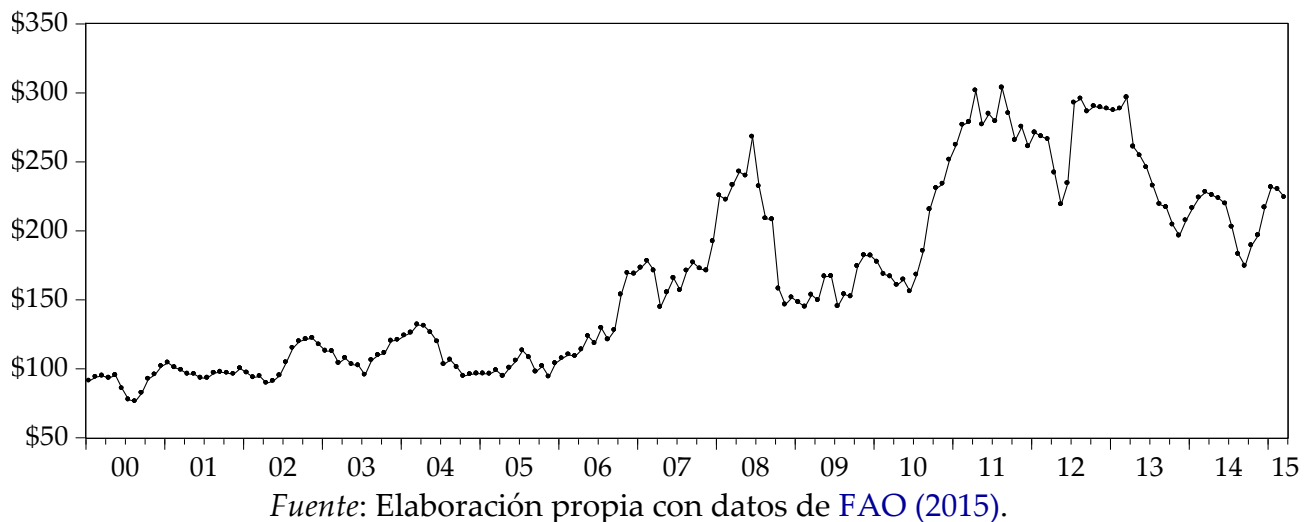
Diversos analistas coinciden en que el incremento en las importaciones de China se debe a que los productores de alimentos balanceados en ese país, buscando una alternativa más barata, han preferido el sorgo importado como sustituto del maíz producido localmente. Lo anterior, ante la política de precios mínimos que el gobierno Chino ha

establecido con la finalidad de incentivar la producción de maíz, lo que ha encarecido el producto local (FIRA, 2014).

2.1.4. Precios internacionales

El precio del sorgo en Estados Unidos ha reportado una alta volatilidad en años recientes. Los altos precios que se observaron durante 2011 y 2012 se asocian a una considerable reducción en la producción de sorgo en ese país, la cual fue parte de las afectaciones de una fuerte sequía. En particular, la producción de sorgo en EE.UU. durante el ciclo 2011-2012 fue de 5.447 millones de toneladas, lo que representa una reducción de 37.96% con respecto al nivel de producción del ciclo anterior. Ante este escenario, los precios del sorgo en el Golfo de México alcanzaron un máximo de 303.57 dólares por tonelada en agosto de 2011 (FIRA, 2014).

Figura 5. Precio del sorgo amarillo no. 2 en Golfo de México (US\$/ton)



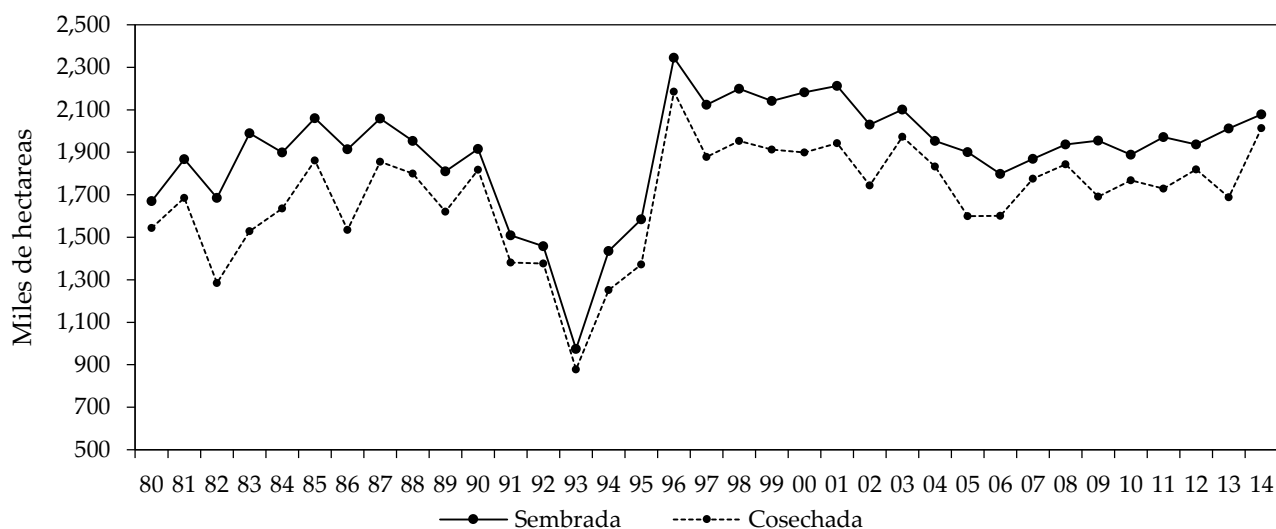
Para el ciclo 2013-2014 la producción de sorgo en EE.UU. alcanzó 9.881 millones de toneladas. El incremento en la producción de éste y otros granos forrajeros derivado de

buenas condiciones climatológicas, se ha visto reflejado en la cotización del cereal. Así, desde mediados de 2013 se reporta una marcada tendencia a la baja en el precio. Durante octubre de 2014 la cotización del sorgo promedió US\$152.4 por tonelada, es decir, 46.6 por ciento menos en relación con el precio promedio de octubre de 2012 (Figura 5).

2.2. Superficie sembrada, cosechada, y siniestrada

La importancia del cultivo de sorgo grano en México se puede destacar por la superficie sembrada. Así por ejemplo, para el año 2014 esta fue de 2,078,497 hectáreas, que en términos porcentuales represento el 13.22% de la superficie total destinada a los cultivos cíclicos. Además, ocupó el segundo lugar –después del maíz grano– en cuanto a la superficie sembrada de estos cultivos (SIACON, 2014).

Figura 6. Histórico de superficie sembrada y cosechada.



Fuente: Elaboración propia con datos de SIACON (2014).

La información histórica de la superficie sembrada revela que ha crecido a una tasa media anual del 0.64%, a pesar de que en el año 1993 tuvo una caída sustancial. Mientras que antes de 1993 se sembraban en promedio 1.83 millones de hectáreas, para el año mencionado la superficie sembrada cayó en 47%, debido a que muchos productores sustituyeron su producción por el maíz, en razón de la mayor productividad y los mejores precios que presentó este grano. Las áreas de mayor sustitución fueron las de riego, que como se sabe, son las más rentables. Sin embargo, después de drástica caída, se registró una tendencia creciente hasta alcanzar 2.344 millones de hectáreas en 1996, la mayor superficie sembrada en toda la historia del cultivo (Galarza, 2003).

En cuanto a la superficie siniestrada, el promedio ha sido del 11% durante el periodo 1980-2014, a pesar de que en el año 1996 casi una cuarta parte de la superficie sembrada tuvo pérdidas: principalmente en los estados de Guanajuato, Sinaloa, Michoacán y Tamaulipas en los cuales se registraron 27%, 20%, 14% y 9% de la superficie total siniestrada, respectivamente (SIACON, 2014).

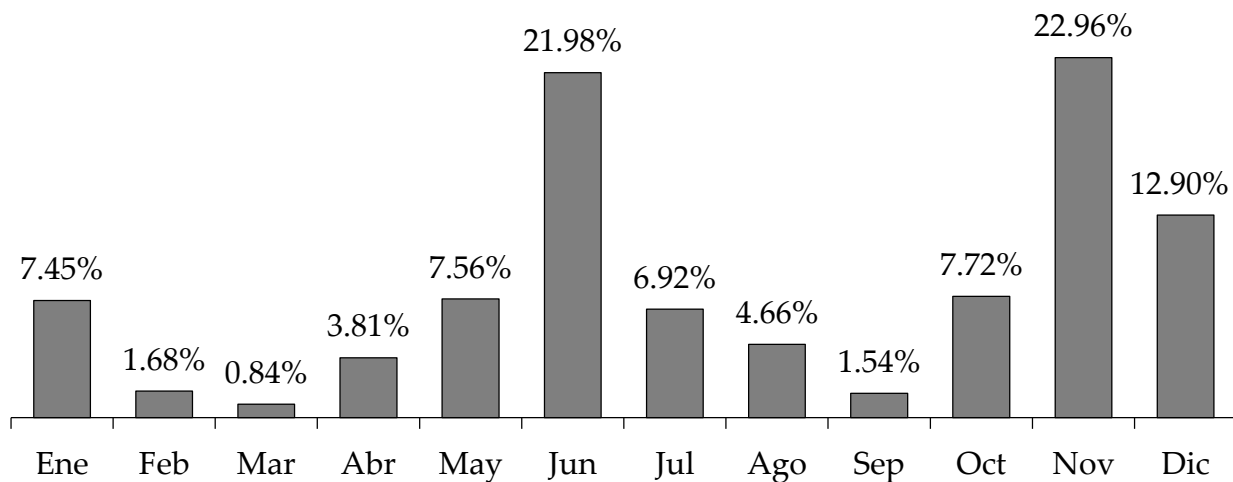
2.3. Volumen de producción y rendimientos

La producción de sorgo grano en México se caracteriza por que se distinguen dos ciclos agrícolas importantes: el ciclo Otoño-Invierno y el Primavera-Verano. El primero se caracteriza por que la mayor parte de la cosecha se obtiene en los meses de junio y julio mientras que en el segundo caso, la cosecha se concentra en los meses de noviembre y diciembre (Figura 7).

La información sobre la producción a nivel municipal del año 2014 indica que fueron cinco los principales productores de sorgo en el ciclo Otoño-Invierno; a saber, los

municipios de San Fernando, Río Bravo, Matamoros, Reynosa y Valle Hermoso quienes aportaron el 59.3% de la producción. Por el volumen obtenido, los municipios de Angostura y Ahome del estado de Sinaloa produjeron el 9.5% y Méndez del estado de Tamaulipas aportó el 3.8% de la producción. Los ocho municipios mencionados acumularon el 72.33% de la producción nacional del ciclo agrícola citado (SIACON, 2014).

Figura 7. Estacionalidad de la producción anual riego y temporal (2000-2012)



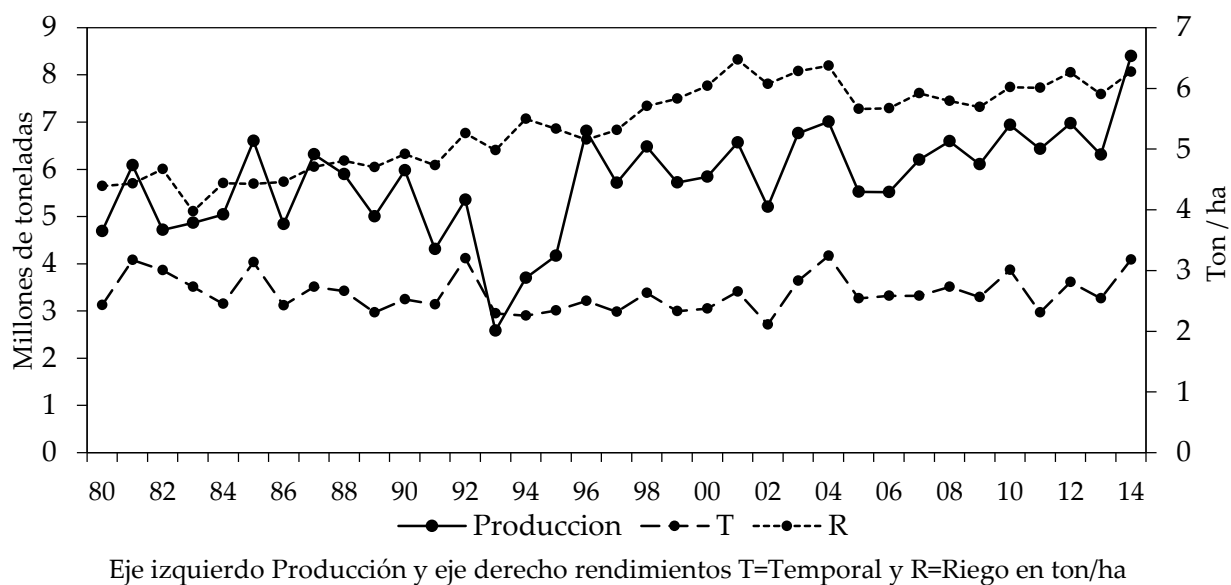
Fuente: Elaboración propia con datos de SIAP (2014).

Los registros históricos de producción han crecido a tasa anual del 1.73% con una caída drástica del volumen en el año de 1993, a pesar de esto, se han producido un promedio de 5.749 millones de toneladas anuales en el periodo 1980-2014 (Figura 8).

En el caso particular del año 2014, la producción nacional fue del 8.394 millones de toneladas, con destacada participación de los estados de Tamaulipas (40.04%), Guanajuato (18.11%), Sinaloa (13.99%) y Michoacán (9.02%) que en conjunto aportaron el 81.16% del total precitado (SIACON, 2014).

En relación con los rendimientos de sorgo, es necesario distinguir entre dos regímenes de humedad. Los volúmenes obtenidos por hectárea en el régimen de riego fueron en promedio nacional de 5.38 ton/ha mientras que en el temporal se obtuvieron 2.63 ton/ha. En el año 2014 en particular, las tres entidades que registraron rendimientos por arriba del promedio nacional en régimen de riego fueron Querétaro con 9.53 ton/ha, Guanajuato 8.96 ton/ha y Aguascalientes 8.0 ton/ha. De la misma forma, en el régimen de temporal, las entidades de Jalisco, México y Michoacán han tenido un rendimiento de 6.44, 5.37 y 4.86 ton/ha, respectivamente (SIACON, 2014).

Figura 8. Histórico de producción y rendimientos por régimen de humedad



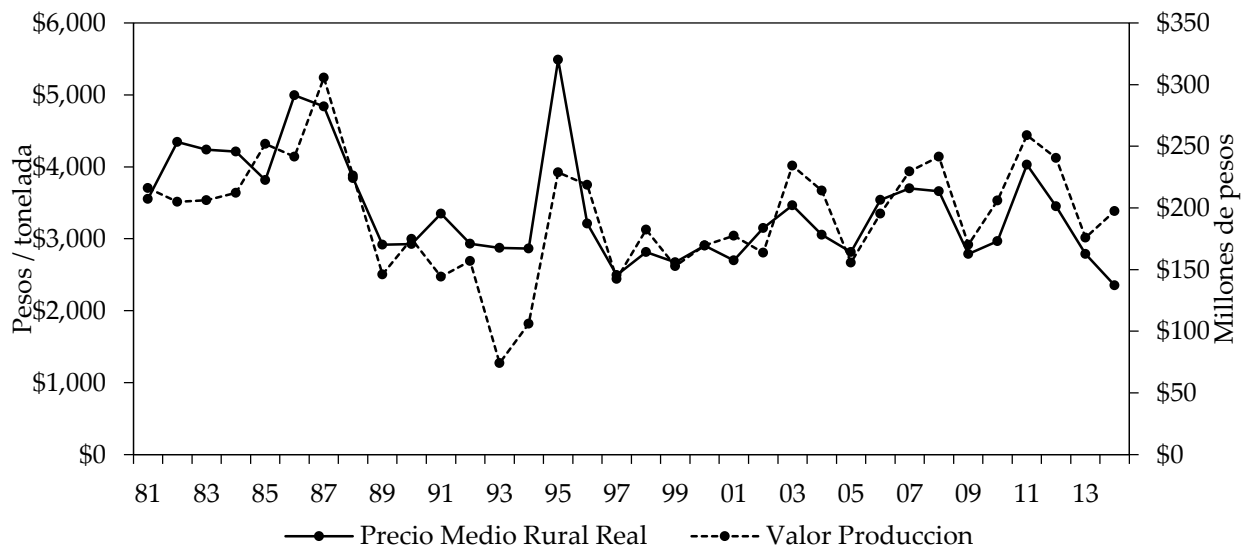
Fuente: Elaboración propia con datos de SIACON (2014).

2.3.1. El precio medio rural y el valor de la producción

Los valores en términos reales del valor de la producción y los precios reales no se han movido mucho a lo largo de los años desde 1981. La tasa de movimiento de los precios reales ha caído a una tasa anual de 1.24 por ciento, mientras que el valor de la

producción ha experimentado una caída ligeramente menor de 0.28 por ciento anual. Estos mismos valores, en los últimos ocho años es que los precios medios rurales reales han caído a tasa anual del 6.28 contra una caída menos drástica del valor de la producción real de 2.14 anual (Figura 9).

Figura 9. Valores reales de la producción y precio medio rural



Fuente: Elaboración propia con datos de SIACON (2014)

CAPÍTULO III. MARCO TEÓRICO

3.1. Mercados de futuros y opciones

La eliminación de la política de precios de garantía de los principales granos y oleaginosas en México permitió la transición hacia una economía de más libre mercado. El mercado del sorgo nacional comenzó a experimentar las variaciones de los precios internacionales a partir del año 1995, que fue cuando se comenzaron a utilizar los precios de indiferencia en las principales zonas productoras. Para determinar los precios de sorgo en zonas de consumo en el país, se tomaban como referencia los precios de futuros de maíz amarillo calidad número 2 de la Bolsa de Chicago (Barreiro, 1997).

Las diferencias entre los mercados de físicos y de futuros, es que en el primero se compran y venden títulos no tangibles sobre bienes o producto tangibles; en el segundo, se comercializan bienes estrictamente tangibles como granos y oleaginosas, frutas, hortalizas, productos pecuarios, metales, entre otros. Cada uno de los mercados tiene características que los distinguen entre sí.

Los mercados de futuros surgieron como alternativa para la administración de riesgos ante la volatilidad de los precios de materias primas, y sus participantes se pueden clasificar en dos grandes grupos: los coberturistas y los especuladores. Un ejemplo que representa el primer grupo son los productores agrícolas y ganaderos, quienes acuden al mercado para cubrirse ante las caídas de los precios de sus productos agrícolas o pecuarios; o bien podría ser para cubrirse ante los elevados precios de sus materias primas para la producción o de insumos agrícolas. Asimismo, existen los comerciantes y acopiadores que se protegen contra las variaciones de los precios entre los tiempos que compran y venden los productos que comercializan. La industria de alimentos

balanceados también acude a este mercado para mitigar los riesgos de precios en las materias primas, así como importadores y exportadores (CME Group, 2014).

Por su parte los especuladores proporcionan la liquidez necesaria al mercado de futuros para que los distintos coberturistas encuentren fácilmente su contraparte en él. Estos participantes se benefician por las diferencias de precios que prevalecen en el mercado en lapsos de tiempo bastante cortos. Al realizar predicción sobre los precios futuros facilitan a los coberturistas la entrada y salida eficientemente; haciendo que los títulos presenten alta liquidez (CME, 2014).

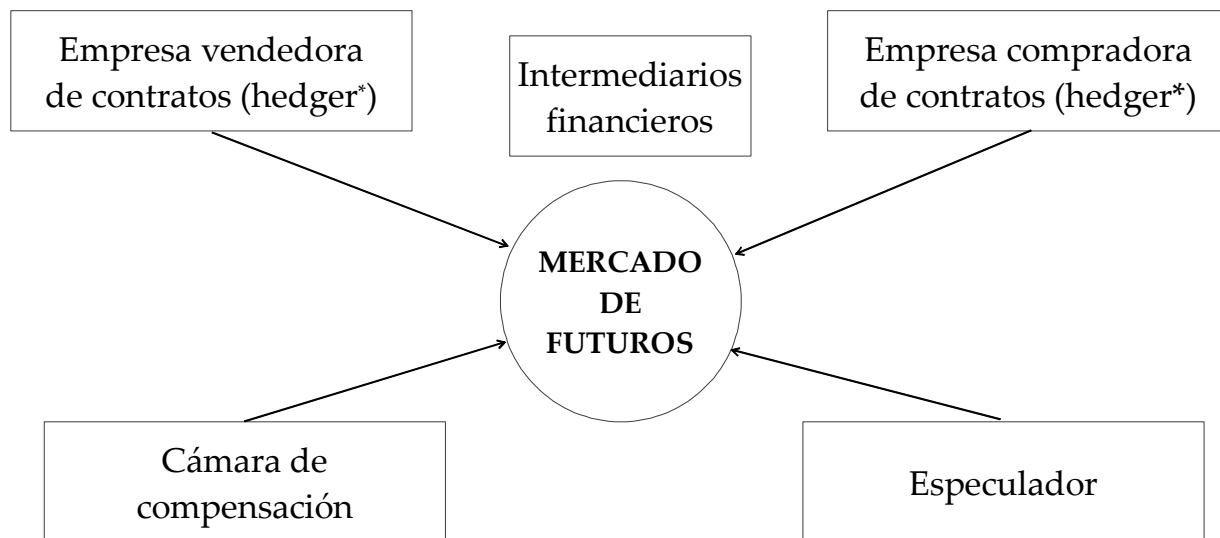
3.1.1. El contrato de futuros

Un contrato de futuros consiste en un instrumento subyacente que representa el compromiso entre dos partes para comprar-vender un bien denominado *commodity* bajo las condiciones estándares de entrega de cantidad, calidad, lugar, fecha de entrega en un futuro determinado llamado fecha de vencimiento; excepto el precio, el cual se descubre durante el periodo de vigencia del contrato y que se determina por las fuerzas de la oferta (oferta de venta) y la demanda (oferta de compra). Este proceso de descubrimiento de precios ocurre a través de un sistema de negociación electrónica de la bolsa o mediante subasta abierta en el piso de operaciones de una bolsa de materias primas regulada (CME, 2014; De Lara, 2008).

En el proceso de contratación de títulos en la bolsa de futuros, el contratista debe depositar un monto inicial de dinero a efecto de que la cámara de compensación pueda garantizar que la transacción se cumpla. El depósito realizado se denomina "*margin*" y este funciona como fondos que sirven para compensar los movimientos adversos en los precios. En caso de que los fondos se agoten, la cámara de compensación realiza una

“llamada de margen” para que el tenedor del título realice una aportación adicional. Si el tenedor incumple con la llamada de margen, la cámara solicita la liquidación de todas las posiciones en el mercado pertenecientes al cliente incumplido (De Lara, 2008).

Figura 10. Principales participantes en el mercado de futuros



*Hedger: ejecuta una operación de cobertura de riesgos.

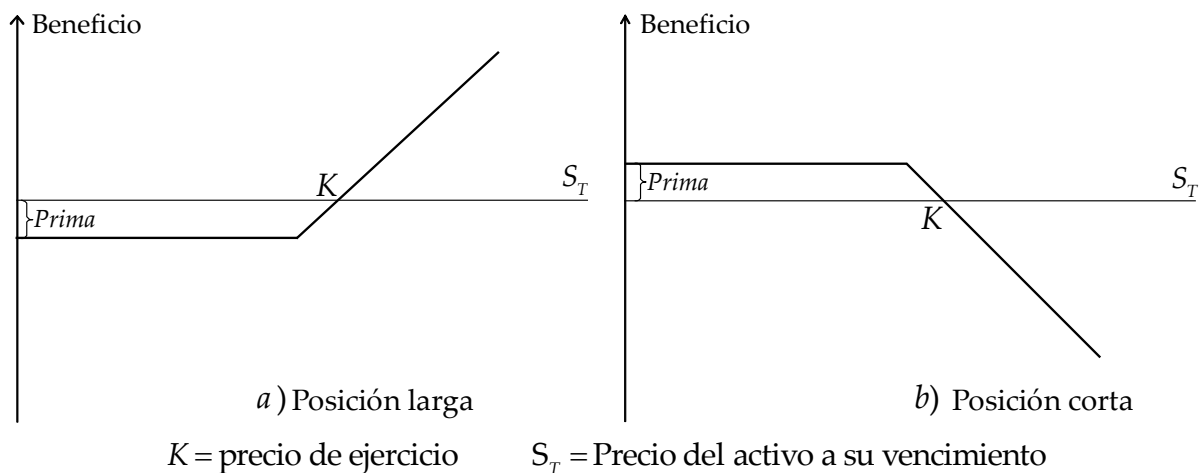
Fuente: De Lara (2008).

La gran mayoría de los contratos de futuros efectuados en bolsa no llegan a la entrega en el vencimiento. La razón es que los comerciantes cierran sus posiciones antes de la fecha de expiración especificada en el contrato. En este caso, cerrar una posición implica realizar una posición contraria a la que se tiene en el mercado de futuros. Por ejemplo, si un coberturista compró (toma una posición corta) un contrato de futuros de maíz de 5,000 bushels en enero con fecha de vencimiento en septiembre, puede cerrar su posición mediante la venta (tomar una posición larga) de un contrato de 5,000 bushel de maíz amarillo calidad número dos (Hull, 2009).

3.1.2. Las opciones

Las opciones sobre futuro son contratos legales entre compradores y vendedores que dan al comprador de la opción el derecho, más no la obligación de comprar o vender un activo subyacente a un precio de ejercicio o *strike*, en una fecha futura de vencimiento, a cambio del pago de una cantidad de dinero denominado prima. Dependiendo de la posición que tenga el coberturista en el mercado de físicos realizará la compra de determinado tipo de cobertura. Existen dos tipos de opciones de compra (opción *call*) y dos de venta (opción *put*). También existen las opciones americanas y las europeas, distinción que no tiene que ver con la ubicación geográfica. Las opciones americanas pueden ser ejercidas en cualquier momento de su vida hasta su fecha de vencimiento, en tanto que las opciones europeas pueden ser ejercidas únicamente en su fecha de vencimiento (Hull, 2009; De Lara, 2008). Por cuestiones de simplicidad se hará énfasis en las opciones europeas.

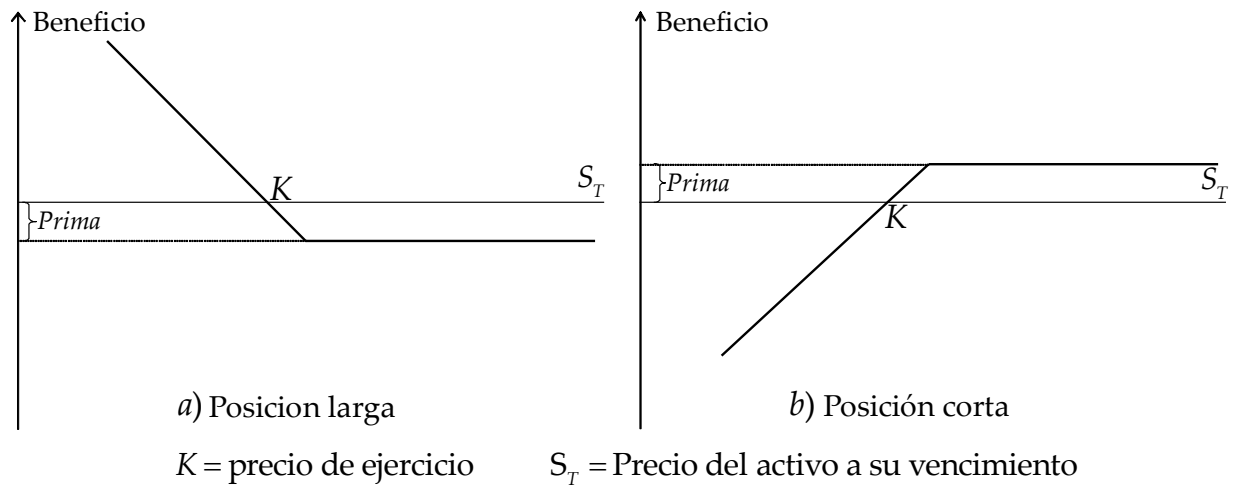
Figura 11. Beneficios obtenidos de una opción de compra *call* europea



Fuente: Hull (2009).

Hay dos partes distintivas en todo contrato de opciones sobre futuros. Una primera es la que se refiere al coberturista que compra la opción (posición larga), el cual como se ha dicho, podrá ejercer la opción dependiendo del valor de ésta al vencimiento. La otra parte lo conforma el inversionista que emite o suscribe la opción (posición corta). Este último recibe el correspondiente de la prima que paga el comprador de la opción al efectuarse el contrato. La Figura 11 y Figura 12 muestran las distintas posiciones y los beneficios potenciales para el caso de las opciones europeas.

Figura 12. Beneficios obtenidos de una opción de venta *put* europea



Fuente: Hull (2009).

En la Figura 11, los beneficios del tenedor de la opción de compra son ilimitados, en tanto los precios futuros suban, mientras que las pérdidas se limitan al valor de la prima en caso contrario. Dicho de otro modo, si es K el precio de ejercicio y S_T es el precio final del activo subyacente, el beneficio obtenido de una posición larga en una opción de compra europea es de

$$\text{máx}\{S_T - K, 0\} \tag{1}$$

y se ejercerá la opción si $S_T > K$, y no ejercerá en caso de que $S_T \leq K$. De manera análoga, el beneficio de un inversionista con posición corta de una opción de compra es de

$$-\max\{S_T - K, 0\} = \min\{K - S_T, 0\}. \quad (2)$$

Por otro lado, en la Figura 12 el beneficio para el tenedor de una posición larga en una opción de venta europea es de

$$\max\{K - S_T, 0\}, \quad (3)$$

y el beneficio para el tenedor de una posición corta en una opción de venta europea es de

$$-\max\{K - S_T, 0\} = \min\{S_T - K, 0\}. \quad (4)$$

3.1.3. Convergencia del precio de futuros con el precio de físicos

El principio de la operación de las coberturas es que los precios de futuros convergen con los precios de contado. Al vencimiento de un contrato, el precio de futuros es igual o está muy cerca a la cotización del activo subyacente en el mercado de físicos. Esto se debe a la oportunidad de arbitraje que presenta el mercado de futuros. Si fuera el caso que en el periodo de entrega de un contrato los precios están por arriba con relación al precio spot, un agente puede vender en corto en futuros, comprar el activo en físicos y realizar la entrega. Este proceso de arbitraje genera una utilidad equivalente al monto en que la cotización de futuros excede al precio spot; al hacerlo, el precio tenderá a bajar (Hull, 2009).

Puede suceder lo contrario, durante el periodo de entrega de un contrato los precios de futuros coticen por abajo con relación al precio spot. La operación es similar, una

empresa interesada en adquirir la materia prima realizará una compra de futuros y esperará a que se realice la entrega, contribuyendo de esta forma a que los precios suban y se acerquen al precio spot (Hull, 2009).

3.1.4. La base

La base en una situación de cobertura de precios de un determinado activo subyacente refleja el diferencial entre el precio spot S_T en el mercado de físicos y el precio de futuros F_T en un momento dado T del periodo del contrato. En términos de lo que señala Hull (2009) la base en una situación de cobertura es como sigue:

$$Base_T = S_T - F_T \quad (5)$$

“Básicamente, el precio de contado local de un producto básico es el precio de futuros ajustado por determinadas variables, tales como flete, manejo, almacenamiento y calidad, así como también por los factores de oferta y demanda locales. La diferencia de precio entre el precio de contado y el precio de futuros puede ser pequeña o considerable, y es posible que los dos precios no siempre varíen en la misma cantidad” (CME, 2014).

Dependiendo de si el precio spot se mueve por arriba del precio futuro se dice que la base es positiva, de otro modo, si el precio se mueve por debajo del precio futuro, la base resulta negativa. Ahora, si el precio spot crece a una tasa mayor con respecto a la tendencia del precio futuro se dice que la base se fortalece, en caso contrario, la base se debilita.

El riesgo en la base es considerablemente menor que el riesgo en los cambios de precios, pero el comportamiento de la base puede tener un gran impacto sobre el

funcionamiento de una cobertura. Una base más fuerte de lo esperado beneficiaría al que tiene una cobertura de venta, mientras que una base más débil es ventajosa para el que tiene una cobertura de compra (Rojas y Abreu, 2008).

Aunque el comprador de futuros no puede beneficiarse de cambios favorables en los precios, está protegido contra cambios desfavorables en el mercado. Una base más fuerte de lo esperado beneficiaría al que tiene una cobertura de venta, mientras que una base más débil es ventajosa para el que tiene una cobertura de compra. Sin embargo, no solo es importante considerar el nivel de la base sino su volatilidad. Entre más variable es la base, menos eficiente es la cobertura para minimizar el riesgo (Rojas y Abreu, 2008).

3.2. Procesos integrados y raíz unitaria en las series económicas

A menudo, cuando se analizan series económicas se encuentra que estas variables son procesos no estacionarios (Greene, 2012). Ante tal situación, al momento de hacer inferencia el modelo arrojará ciertas características que pueden indicar un problema de especificación: se observa un coeficiente de determinación R^2 (o \bar{R}^2 ajustado) cercanos a la unidad; valores altos de los estadísticos de t y F , y valor cercano a cero del estadístico de Durbin-Watson (Granger y Newbold, 1974). En este contexto, la prueba de estacionariedad es necesaria para detectar la existencia de tendencia en la serie.

Un mecanismo eficiente para eliminar la tendencia de una serie (ya sea estocástica, determinística o ambas) es aplicando las primeras diferencias a las series económicas. Dado que estas medidas han probado ser exitosas para tratar este problema en muchas series económicas se ha generado una terminología específica para comprender su metodología.

Un proceso estocástico no estacionario que puede volverse estacionario aplicando primera diferencia se dice que es integrado de orden uno ($I(1)$). De manera más general, el proceso generador de datos se dice que es integrado de orden d ($I(d)$) si la serie se tiene que diferenciar d veces para que el proceso se convierta en estacionario o asintóticamente estacionario. Así, el *operador de diferencias* se denota por Δ (es decir, $\Delta = 1 - L$ así para una serie de tiempo o proceso estocástico y_t se tiene $\Delta y_t = y_t - y_{t-1}$), este proceso y_t se dice $I(d)$ o $y_t \sim I(d)$, si $\Delta^d y_t$ es estacionario, mientras $\Delta^{d-1} y_t$ aun no sea estacionario. Un proceso estacionario y_t a veces se le llama $I(0)$. Y un proceso $I(d)$ con $d \geq 1$ a menudo se le llama *proceso de raíz unitaria*, o se dice que tiene *raíz unitaria*. Por supuesto, no siempre será sencillo saber el orden de integración del proceso generador de datos de la serie económica solamente analizando las gráficas, autocorrelaciones, correlaciones parciales, o las densidades espectrales estimadas de las series y su versión diferenciada (Lutkepohl y Kratzing, 2004).

3.2.1. Prueba de raíz unitaria

Conforme a lo definido por Gujarati y Porter (2010), una forma de probar la presencia de raíz unitaria en las series de tiempo es la que parte del modelo de regresión

$$Y_t = \rho Y_{t-1} + u_t \quad (6)$$

el cual supone que las innovaciones u_t representan un proceso ruido blanco que cumple con los supuestos clásicos de la regresión, es decir, tiene media cero, varianza constante y las innovaciones representadas por u_t no presentan correlación serial. En tanto no se cumplan estos supuestos, probablemente la serie Y_t presenta raíz unitaria. El valor absoluto de ρ debe ser menor a la unidad para demostrar que la serie no presenta raíz

unitaria. Si sucede que ρ es en efecto la unidad 1, es probable que la serie sea no estacionaria. Sucede también que en este caso la varianza es no estacionaria.

Para realizar la prueba estadística sobre la existencia de raíz unitaria en una serie de tiempo, existen diferentes metodologías, entre las más sencillas está el análisis gráfico de la serie y el análisis de la función de autocorrelación y correlograma, como el primer paso para una prueba más robusta. Una prueba más formal es la *prueba tau* que descubrió Dickey y Fuller; esta prueba se realiza sobre una transformación que se deriva del modelo (6) al restar sobre cada lado de la ecuación Y_{t-1} como sigue:

$$\begin{aligned} Y_t - Y_{t-1} &= \rho Y_{t-1} - Y_{t-1} + u_t \\ &= (\rho - 1)Y_{t-1} + u_t \\ \Delta Y_t &= \delta Y_{t-1} + u_t \end{aligned} \tag{7}$$

donde $\delta = (\rho - 1)$ y Δ es el operador de diferencias definido en párrafos anteriores. En este caso, el modelo supone que las innovaciones u_t no presentan correlación serial, sin embargo, esto no siempre se cumple al analizar las series económicas. Por tal razón, Dickey y Fuller desarrollaron una forma aumentada del modelo (7) que corrige esta situación. La transformación del modelo (7) mediante la adición de valores rezagos del termino de error permite corregir este problema. En este caso, se estima la siguiente regresión:

$$\Delta Y_t = \beta_1 + \beta_2 t + \delta Y_{t-1} + \sum_{i=1}^m \alpha_i \Delta Y_{t-i} + \varepsilon_t \tag{8}$$

donde ε_t es un término de error puro de ruido blanco y donde $\Delta Y_{t-1} = (Y_{t-1} - Y_{t-2})$, $\Delta Y_{t-2} = (Y_{t-2} - Y_{t-3})$, etc. La estimación del modelo (8) y la realización de la prueba de hipótesis sobre el coeficiente δ permite concluir si la variable económica presenta o no raíz unitaria.

Se estima el modelo (8) sobre cada uno de los modelos siguientes:

$$Y_t \text{ es una caminata aleatoria} \quad \Delta Y_t = \delta Y_{t-1} + \sum_{i=1}^m \alpha_i \Delta Y_{t-i} + \varepsilon_t \quad (9)$$

$$Y_t \text{ es una caminata aleatoria con deriva} \quad \Delta Y_t = \beta_1 + \delta Y_{t-1} + \sum_{i=1}^m \alpha_i \Delta Y_{t-i} + \varepsilon_t \quad (10)$$

Y_t es una caminata aleatoria con deriva alrededor de una tendencia determinística

$$\Delta Y_t = \beta_1 + \beta_2 t + \delta Y_{t-1} + \sum_{i=1}^m \alpha_i \Delta Y_{t-i} + \varepsilon_t \quad (11)$$

La prueba Dickey-Fuller Aumentada (DFA) consiste en probar el siguiente juego de hipótesis para cada uno de los casos anteriores:

$$\begin{aligned} H_0 : \delta = 0 \text{ existe raiz unitaria o la series es no estacionaria} \\ H_1 : \delta < 0 \text{ la serie de tiempo es estacionaria} \end{aligned} \quad (12)$$

3.3. Análisis de cointegración

Conforme lo expone [Enders \(2015\)](#), el análisis de cointegración supone un conjunto de variables en equilibrio de largo plazo

$$\beta_1 x_{1t} + \beta_2 x_{2t} + \dots + \beta_n x_{nt} = 0. \quad (13)$$

Siendo β y x_t los vectores $(\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n)$ y $(x_{1t}, x_{2t}, \dots, x_{nt})$, el sistema se encuentra en equilibrio de largo plazo cuando $\beta x_t = 0$. La desviación del equilibrio de largo plazo –llamado el error de equilibrio– es e_t , así que

$$e_t = \beta x_t. \quad (14)$$

Si el equilibrio es significativo, puede ser el caso que el error de equilibrio es un proceso estacionario. Cointegración no requiere que la relación de largo plazo sea generada por las fuerzas del mercado o por las reglas de comportamiento de los individuos. En

términos de Engle y Granger (1987), la relación de equilibrio puede ser causal, de comportamiento, o simplemente una relación de forma reducida entre variable que presentan una tendencia similar. Este mismo autor proporciona la siguiente definición de cointegración:

Los componentes del vector $(x_{1t}, x_{2t}, \dots, x_{nt})'$ se dice que están cointegrados de orden d, b , denotado por $x_t \sim CI(d, b)$ si

1. Todos los componentes de x_t son integrados de orden d .
2. Existe un vector $\beta = (\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n)$ tal que la combinación lineal $\beta x_t = \beta_1 x_{1t} + \beta_2 x_{2t} + \dots + \beta_n x_{nt}$ es integrada de orden $(d-b)$ donde $b > 0$. Note que el vector β es llamado el **vector cointegrante**.

Existen cuatro puntos que son importantes de mencionar de la definición:

1. Cointegración típicamente se refiere a combinaciones *lineales* de variables no estacionarias. Teóricamente, es muy posible que existan relaciones de largo plazo no lineales entre un conjunto de variables integradas. Además note que el vector de cointegración no es único. Si $(\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n)$ es un vector cointegrante, entonces para algún valor no nulo de λ , $(\lambda\beta_1, \lambda\beta_2, \dots, \lambda\beta_n)$ también es un vector cointegrante. Típicamente, una de las variables se usa para *normalizar* el vector cointegrante fijando sus valores a la unidad. Para normalizar el vector cointegrante con respecto a x_{1t} , simplemente se selecciona $\lambda = 1/\beta_1$.
2. De la definición original de Engle y Granger, cointegración se refiere a las variables que son integradas del mismo orden. Desde luego, esto no implica

que todas las variables están cointegradas; usualmente, un conjunto de variables $I(d)$ no está cointegrada. La falta de cointegración no implica equilibrio de largo plazo entre las variables, por tanto las variables pueden moverse hacia direcciones arbitrarias y lejos una de otra. Si dos variables son integradas de diferente orden, estas no pueden estar cointegradas.

Sin embargo, es posible encontrar relaciones de equilibrio entre un grupo de variables que están integradas en distinto orden. Supóngase que x_{1t} y x_{2t} son $I(2)$ y que otra variable en consideración es $I(1)$. Como tal, no puede haber una relación de cointegración entre x_{1t} (o x_{2t}) y x_{3t} . No obstante, si x_{1t} y x_{2t} están $CI(2,1)$, existe una combinación lineal de la forma $\beta_1 x_{1t} + \beta_2 x_{2t}$ la cual es $I(1)$. Es posible que esta combinación de x_{1t} y x_{2t} esta cointegrada con las variables $I(1)$. Granger y Lee (1990) usan el termino multicointegración para referirse a este tipo de circunstancia.

3. Quizás existan más de un vector cointegrante independiente para un conjunto de variables $I(1)$. El número de vectores cointegrante es llamado **rango cointegrante** de x_t .
4. La mayoría de la literatura sobre cointegración se centra en el caso del que cada variable contiene una simple raíz unitaria. La razón es que la regresión tradicional o análisis de series de tiempo aplica cuando las variables son $I(0)$ y pocas variables económicas son integradas de un orden mayor que la unidad. Cuando no es ambiguo, muchos autores usan el término *cointegración* para referirse al caso en el cual las variables son $CI(1,1)$.

3.4. Cointegración y tendencias comunes

La observación de [Stock y Watson \(1988\)](#) de que variables cointegradas comparten una tendencia estocástica común provee una manera muy útil para entender las relaciones de cointegración. Para una exposición sencilla, supóngase el caso en el cual el vector x_t contiene solamente dos variables de modo que $x_t = (y_t, z_t)'$. Ignorando términos cíclicos y estacionales, se puede escribir cada variable como un proceso aleatorio más un componente irregular (no necesariamente un ruido blanco):

$$y_t = \mu_{yt} + e_{yt} \quad (15)$$

$$z_t = \mu_{zt} + e_{zt} \quad (16)$$

donde

μ_{it} = un proceso aleatorio representando la tendencia estocástica en la variable i .

e_{it} = el componente estacionario (irregular) de la variable i .

Si $\{y_t\}$ y $\{z_t\}$ están cointegradas de orden (1,1), deben existir valores no nulos de β_1 y β_2 para la cual la combinación lineal $\beta_1 y_t + \beta_2 z_t$ es estacionaria. Considere la suma

$$\begin{aligned} \beta_1 y_t + \beta_2 z_t &= \beta_1 (\mu_{yt} + e_{yt}) + \beta_2 (\mu_{zt} + e_{zt}) \\ &= (\beta_1 \mu_{yt} + \beta_2 \mu_{zt}) + (\beta_1 e_{yt} + \beta_2 e_{zt}) \end{aligned} \quad (17)$$

Para que $\beta_1 y_t + \beta_2 z_t$ sea estacionario, el término $(\beta_1 \mu_{yt} + \beta_2 \mu_{zt})$ debe desaparecer. Después de todo, si cualquiera de las dos tendencias aparece en (17), la combinación lineal $\beta_1 y_t + \beta_2 z_t$ también presentara una tendencia. Dado que el segundo término en paréntesis es estacionario, la condición necesaria y suficiente para que $\{y_t\}$ y $\{z_t\}$ sea $CI(1,1)$ es

$$(\beta_1 \mu_{yt} + \beta_2 \mu_{zt}) = 0 \quad (18)$$

Claramente, μ_{yt} y μ_{zt} son variables cuyos valores continuaran cambiando a través del tiempo. Si se excluye que ambos β_1 y β_2 sean igual a cero, resulta que (18) vale para todo t si y sólo si

$$\mu_{yt} = -\beta_2 \mu_{zt} / \beta_1 \quad (19)$$

Para valores no nulos de β_1 y β_2 , la única manera de asegurar la igualdad es que las tendencias estocásticas sean *idénticas* a un escalar. Por lo tanto, hasta el escalar $-\beta_2/\beta_1$, dos $I(1)$ procesos estocásticos $\{y_t\}$ y $\{z_t\}$ deben tener la misma tendencia estocástica si están cointegradas de orden (1,1).

3.5. Prueba de cointegración: la metodología de Johansen

Existen tres formas importantes para probar la existencia de cointegración. La primera se debe a Engle-Granger, cuya metodología busca determinar si los residuales de la relación de equilibrio son estacionarios. La segunda metodología es la propuesta por Johansen (1988), la cual consiste en determinar el rango de la matriz Π y el método de corrección de error, que examina la velocidad de ajuste de los coeficientes. En el análisis se empleara la metodología de Johansen.

3.5.1. Raíces características, rango, y cointegración

De acuerdo con Enders (2015), la metodología implementada por Engle y Granger (1987), es relativamente sencilla de implementar, sin embargo, presenta diversos defectos. La estimación de la regresión de equilibrio de largo plazo requiere que el investigador coloque una variable del lado izquierdo y utilice las otras como regresoras.

Por ejemplo, en el caso de dos variables, es posible correr la prueba de cointegración de Engle-Granger usando los residuales de cualquiera de las siguientes dos regresiones de “equilibrio”:

$$y_t = \beta_{10} + \beta_{11}z_t + e_{1t} \quad (20)$$

o

$$z_t = \beta_{20} + \beta_{21}y_t + e_{2t} \quad (21)$$

A medida que el tamaño de muestra crece infinitamente, la teoría asintótica indica que la prueba de raíz unitaria en la secuencia $\{e_{1t}\}$ llega a ser equivalente a la prueba de raíz unitaria en la secuencia $\{e_{2t}\}$. Desafortunadamente, las propiedades de muestras grandes de la cual se deriva este resultado quizás no sea aplicable para los tamaños de muestra usualmente disponible para los economistas. En la práctica es posible encontrar que una regresión indique que las variables esta cointegradas, mientras que invirtiendo el orden indique que no hay cointegración. Esta es una característica indeseable del procedimiento, porque la prueba de cointegración debería ser invariante de la elección de la variable para normalización. El problema se agrava obviamente al usar tres o más variables, debido a que cualquiera de las variables se puede seleccionar como la variable del lado izquierdo. Por otra parte, en pruebas con tres o más variables se sabe que puede haber más de un vector de cointegración. El método no tiene ningún procedimiento sistemático para la estimación independiente de los múltiples vectores de cointegración.

Otro defecto del procedimiento de Engle-Granger es que se basa en un estimador de dos pasos. La primera etapa es generar la serie residual $\{\hat{e}_t\}$ y el segundo paso utiliza estos errores generados para estimar una regresión de la forma $\Delta\hat{e}_t = a_1\hat{e}_{t-1} + \dots$. Por lo tanto, el coeficiente a_1 se obtiene mediante la estimación de una regresión usando los residuos de otra regresión. Así, cualquier error introducido por el investigador en el Paso 1 se lleva

en el Paso 2. Afortunadamente, varios métodos se han desarrollado que evitar estos problemas.

Por otra parte, los estimadores de máxima verosimilitud de [Johansen \(1988\)](#), y [Stock y Watson \(1988\)](#), eluden el uso de los estimadores de dos etapas y pueden estimar y probar la presencia de múltiples vectores de cointegración. Además, estas pruebas permiten al investigador probar versiones restringidas del vector(s) de cointegración y la velocidad de ajuste de los parámetros. A menudo, se quiere determinar si es posible verificar una teoría mediante pruebas de restricciones a las magnitudes de los coeficientes estimados.

El procedimiento de [Johansen \(1988\)](#), se basa en gran medida en la relación entre el rango de una matriz y sus raíces características. Una explicación intuitiva de la metodología de Johansen se puede ver como una generalización multivariante de la prueba de raíz unitaria de Dickey–Fuller. En el caso univariante, es posible ver la estacionariedad de $\{y_t\}$ como dependiente de la magnitud de a_1 ; esto es,

$$y_t = a_1 y_{t-1} + \varepsilon_t \quad (22)$$

o

$$\Delta y_t = (a_1 - 1) y_{t-1} + \varepsilon_t \quad (23)$$

Si $(a_1 - 1) = 0$, el proceso $\{y_t\}$ tiene raíz unitaria. Descartando el caso en el cual $\{y_t\}$ es explosivo, si $(a_1 - 1) \neq 0$ se puede concluir que la secuencia $\{y_t\}$ es estacionaria. Las tablas de Dickey–Fuller proveen estadísticos apropiados para probar formalmente la hipótesis nula de que $(a_1 - 1) = 0$. Ahora, considérese la simple generalización del modelo (23) para n variables; sea

$$x_t = A_1 x_{t-1} + \varepsilon_t \quad (24)$$

de modo que

$$\begin{aligned} \Delta x_t &= A_1 x_{t-1} - x_{t-1} + \varepsilon_t \\ &= (A_1 - I) x_{t-1} + \varepsilon_t \\ &= \Pi x_{t-1} + \varepsilon_t \end{aligned} \quad (25)$$

donde x_t y ε_t son vectores de dimensión $(n \times 1)$; A_1 una matriz $(n \times n)$; I una matriz identidad $(n \times n)$; y Π es definido como $(A_1 - I)$.

El rango de $(A_1 - I)$ es igual al número de vectores cointegrantes. Por analogía al caso univariado, si $(A_1 - I)$ consiste en todos ceros –tal que el rango $(\Pi) = 0$ – todas las secuencias $\{x_{it}\}$ son procesos de raíz unitaria. Puesto que no hay combinación lineal de los procesos $\{x_{it}\}$ que sea estacionaria, las variables no están cointegradas. Si se descartan raíces características que son mayores que la unidad, y si el rango $(\Pi) = n$, la ecuación (25) representa un sistema convergente de ecuaciones en diferencias, de modo que todas las variables son estacionarias.

Hay varias maneras de generalizar la expresión (25). La ecuación se puede modificar fácilmente para permitir la presencia de un término deriva; simplemente sea

$$\Delta x_t = A_0 + \Pi x_{t-1} + \varepsilon_t \quad (26)$$

donde A_0 es un vector de constantes $(a_{10}, a_{20}, \dots, a_{n0})'$ de dimensión $(n \times 1)$.

El efecto de la inclusión de los distintos a_{i0} es permitir la posibilidad de una tendencia lineal de tiempo en el proceso de generación de datos. Incluir el término de deriva será apropiado si las variables exhiben una tendencia a aumentar o disminuir. Aquí, el rango de Π puede ser visto como el número de relaciones cointegrantes existentes en los

datos "sin tendencia". En el largo plazo se debe cumplir que $\Pi x_{t-1} = 0$ para que cada secuencia $\{\Delta x_{it}\}$ tenga un valor esperado de a_{i0} . La agregación de todos esos cambios sobre t produce la expresión determinista $a_{i0}t$.

Una manera de incluir una constante en las relaciones de cointegración es restringir los valores de los diversos a_{i0} . Por ejemplo, si el rango(Π) = 1, las filas de Π pueden diferir solamente por un escalar, de modo que es posible escribir cada secuencia $\{\Delta x_{it}\}$ en (26)

$$\begin{aligned}\Delta x_{1t} &= \Pi_{11}x_{1t-1} + \Pi_{12}x_{2t-1} + \dots + \Pi_{1n}x_{nt-1} + a_{10} + \varepsilon_{1t} \\ \Delta x_{2t} &= s_2(\Pi_{11}x_{1t-1} + \Pi_{12}x_{2t-1} + \dots + \Pi_{1n}x_{nt-1}) + a_{20} + \varepsilon_{2t} \\ &\vdots \\ \Delta x_{nt} &= s_n(\Pi_{11}x_{1t-1} + \Pi_{12}x_{2t-1} + \dots + \Pi_{1n}x_{nt-1}) + a_{n0} + \varepsilon_{nt}\end{aligned}\tag{27}$$

donde s_i son escalares tal que $s_i \Pi_{1j} = \Pi_{ij}$.

Si los a_{i0} pueden restringirse de manera que $a_{i0} = s_i a_{10}$, resulta que todas las secuencias $\{\Delta x_{it}\}$ se pueden escribir con una constante incluida en el vector de cointegración:

$$\begin{aligned}\Delta x_{1t} &= (\Pi_{11}x_{1t-1} + \Pi_{12}x_{2t-1} + \dots + \Pi_{1n}x_{nt-1} + a_{10}) + \varepsilon_{1t} \\ \Delta x_{2t} &= s_2(\Pi_{11}x_{1t-1} + \Pi_{12}x_{2t-1} + \dots + \Pi_{1n}x_{nt-1} + a_{10}) + \varepsilon_{2t} \\ &\vdots \\ \Delta x_{nt} &= s_n(\Pi_{11}x_{1t-1} + \Pi_{12}x_{2t-1} + \dots + \Pi_{1n}x_{nt-1} + a_{10}) + \varepsilon_{nt}\end{aligned}\tag{28}$$

o de forma compacta

$$\Delta x_t = \Pi^* x_{t-1}^* + \varepsilon_t\tag{29}$$

donde

$$\begin{aligned}
x_t &= (x_{1t}, x_{2t}, \dots, x_{nt})' \\
x_{t-1}^* &= (x_{1t-1}, x_{2t-1}, \dots, x_{nt-1}, 1)' \\
\Pi^* &= \begin{bmatrix} \Pi_{11} & \Pi_{12} & \dots & \Pi_{1n} & a_{10} \\ \Pi_{21} & \Pi_{22} & \dots & \Pi_{2n} & a_{20} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \Pi_{n1} & \Pi_{n2} & \dots & \Pi_{nn} & a_{n0} \end{bmatrix}
\end{aligned} \tag{30}$$

La característica interesante de (29) es que la tendencia lineal se purga del sistema. En esencia, los diversos a_{i0} se han modificado de una manera tal que la solución general para cada $\{x_{it}\}$ no contiene una tendencia en el tiempo. La solución al conjunto de ecuaciones en diferencias representadas por (29) es tal que se espera que todos los Δx_{it} sean igual a cero cuando $\Pi_{11}x_{1t-1} + \Pi_{12}x_{2t-1} + \dots + \Pi_{1n}x_{nt-1} + a_{10} = 0$.

Algunos econométricos prefieren incluir un término constante en el vector de cointegración, junto con un término deriva. Esto tiene sentido si las variables contienen una deriva y si la teoría económica sugiere que el vector de cointegración contiene una intercepción. Sin embargo, debe quedar claro que la intersección en el vector de cointegración no se identifica en la presencia de un término deriva. Después de todo, una cierta porción de la deriva sin restricciones siempre puede ser incluido en el vector de cointegración. En términos del ejemplo anterior, el sistema siempre se puede escribir como

$$\begin{aligned}
\Delta x_{1t} &= (\Pi_{11}x_{1t-1} + \Pi_{12}x_{2t-1} + \dots + \Pi_{1n}x_{nt-1} + b_{10}) + b_{11} + \varepsilon_{1t} \\
&\vdots \\
\Delta x_{nt} &= s_n(\Pi_{11}x_{1t-1} + \Pi_{12}x_{2t-1} + \dots + \Pi_{1n}x_{nt-1} + b_{10}) + b_{n1} + \varepsilon_{nt}
\end{aligned} \tag{31}$$

donde b_{i1} es definido como el valor que satisface $s_i b_{10} + b_{i1} = a_{i0}$.

Todo lo que se ha hecho es dividir a_{10} en dos partes y colocar una parte dentro de la relación de cointegración. Como tal, alguna estrategia de identificación es necesaria ya que la proporción de la deriva a incluir en el vector de cointegración es arbitraria. Sin embargo, lo mejor es evitar el uso de una tendencia como variable explicativa a menos que tenga una buena razón para incluirla en el modelo.

Al igual que con la prueba de Dickey-Fuller aumentada, el modelo multivariado también se puede generalizar para permitir un proceso autorregresivo de orden superior. Considere

$$x_t = A_1 x_{t-1} + A_2 x_{t-2} + \dots + A_p x_{t-p} + \varepsilon_t \quad (32)$$

donde $x_t = (x_{1t}, x_{2t}, \dots, x_{nt})'$ es un vector de dimensión $(n \times 1)$ y ε_t es un vector n -dimensional independiente e idénticamente distribuido con media cero y matriz de varianza Σ_ε .

La ecuación (32) se puede poner en una forma más manejable para sumar y restar $A_p x_{t-p+1}$ del lado derecho para obtener

$$x_t = A_1 x_{t-1} + A_2 x_{t-2} + A_3 x_{t-3} + \dots + A_{p-2} x_{t-p+2} + (A_{p-1} + A_p) x_{t-p+1} - A_p \Delta x_{t-p+1} + \varepsilon_t, \quad (33)$$

en seguida, suma y reste $(A_{p-1} + A_p) x_{t-p+2}$ para obtener

$$x_t = A_1 x_{t-1} + A_2 x_{t-2} + A_3 x_{t-3} + \dots - (A_{p-1} + A_p) \Delta x_{t-p+2} - A_p \Delta x_{t-p+1} + \varepsilon_t \quad (34)$$

Al igual que en la prueba de Dickey-Fuller aumentada, se puede seguir de esta manera para obtener

$$\Delta x_t = \Pi x_{t-1} + \sum_{i=1}^{p-1} \Pi_i \Delta x_{t-i} + \varepsilon_t \quad (35)$$

donde $\Pi = -\left(I - \sum_{i=1}^p A_i\right)$ y $\Pi_i = -\sum_{j=i+1}^p A_j$.

Una vez más, la característica clave a tener en cuenta en (35) es el rango de la matriz Π ; el rango de Π es igual al número de vectores de cointegración independientes. Está claro que si el $\text{rango}(\Pi)=0$, la matriz es nula y la ecuación (35) es el modelo VAR habitual en primeras diferencias. En cambio, si Π es de rango n , el proceso del vector es estacionario. En los casos intermedios, si $\text{rango}(\Pi)=1$, hay un solo vector de cointegración y la expresión Πx_{t-1} es el término de corrección de errores. Para los casos en los que $1 < \text{rango}(\Pi) < n$, existen múltiples vectores de cointegración.

El número de vectores de cointegración distintas puede obtenerse revisando la significancia de las raíces características de Π . Se sabe que el rango de una matriz es igual al número de sus raíces características diferentes de cero. Supongase que se obtuvo la matriz Π y se pide las n raíces características tales que $\lambda_1 > \lambda_2 > \dots > \lambda_n$. Si las variables x_t no están cointegradas, el rango de Π es cero y todas estas raíces características será igual a cero. Dado que $\ln(1) = 0$, cada una de las expresiones $\ln(1 - \lambda_i)$ será igual a cero si las variables no están cointegradas. Del mismo modo, si el rango de Π es la unidad, $0 < \lambda_i < 1$ por lo que la primera expresión $\ln(1 - \lambda_1)$ será negativo y todos los demás $\lambda_i = 0$ de manera que $\ln(1 - \lambda_2) = \ln(1 - \lambda_3) = \dots = \ln(1 - \lambda_n) = 0$.

En la práctica, se puede obtener sólo estimaciones de Π y sus raíces características. La prueba para el número de raíces características que son insignificamente diferente de la unidad puede ser llevada a cabo usando los siguientes dos pruebas estadísticas:

$$\lambda_{traza}(r) = -T \sum_{i=r+1}^n \ln(1 - \hat{\lambda}_i) \quad (36)$$

$$\lambda_{\max}(r, r+1) = -T \ln(1 - \hat{\lambda}_{r+1}) \quad (37)$$

donde $\hat{\lambda}_i =$ son valores estimados de la raíces características (llamadas también eigenvalores) obtenidos de la matriz Π estimada y T es el número de observaciones utilizables. Cuando los valores apropiados de r son claros, estas estadísticas se refieren simplemente λ_{traza} y λ_{max} .

La primera estadística prueba la hipótesis nula de que el número de vectores de cointegración distintas es menor que o igual a r contra una alternativa general. De la discusión anterior, debe quedar claro que λ_{traza} es igual a cero cuando todos los $\lambda_i = 0$. Cuanto más las raíces características estimadas son de cero, más negativo es $\ln(1 - \hat{\lambda}_i)$ y es más grande la estadística λ_{traza} . La segunda estadística prueba la hipótesis nula de que el número de vectores de cointegración es r frente a la alternativa de que los vectores cointegración son $r+1$. Una vez más, si el valor estimado de la raíz característica es cercano a cero, λ_{max} será pequeño.

3.5.2. Corrección de error y pruebas ADL

En el método de Engle-Granger es posible estimar la relación de equilibrio de largo plazo de una regresión de z_t en y_t o de una regresión de y_t en z_t . En el método de Johansen, todas las variables son tratadas de forma simétrica. Por lo tanto, cualquier método puede utilizarse en circunstancias en las que no se desea especificar explícitamente una variable "dependiente" y un conjunto de variables "independientes". Esto puede ser especialmente ventajoso si las variables se determinan en forma conjunta, y que no se está seguro de cómo desenredar la interdependencia entre ellas. Por ejemplo, en una prueba para la paridad de poder adquisitivo es probable que el tipo de cambio y los dos niveles de precios tienen fuertes efectos sobre la otra. En otras circunstancias, la selección de una variable dependiente y el conjunto de variables

independientes pueden ser claras. Como se discute en esta sección, hay beneficios potenciales que se tienen con la incorporación de dicha información en un modelo de cointegración. El punto de partida es precisar el significado econométrico del término "exógeno". Para comenzar con el caso más sencillo, supóngase que las variables z_t y y_t están cointegradas de orden (1,1) y que el modelo de corrección de errores (ECM) está representado por

$$\Delta y_t = \alpha_1(y_{t-1} - \beta z_{t-1}) + e_{1t} \quad (38)$$

$$\Delta z_t = \alpha_2(y_{t-1} - \beta z_{t-1}) + e_{2t} \quad (39)$$

Observe que (38) y (39) son en forma reducida y no en forma estructural. Con el fin de permitir la posibilidad de que los términos de error están correlacionados, se puede dejar que la relación entre los términos de error y los choques estructurales esté dada por

$$\begin{bmatrix} e_{1t} \\ e_{2t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} \\ c_{21} & c_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_{yt} \\ \varepsilon_{zt} \end{bmatrix} \quad (40)$$

donde ε_{yt} y ε_{zt} son las innovaciones estructurales en Δy_t y Δz_t , y los c_{ij} son coeficientes. Los shocks estructurales no están correlacionados cuando $E(\varepsilon_{yt}\varepsilon_{zt})=0$. Aun cuando $E(\varepsilon_{yt}\varepsilon_{zt})=0$, e_{1t} y e_{2t} generalmente estarán correlacionados si c_{12} y/o c_{21} difieren de cero.

Por ahora, supóngase que los valores de c_{ij} no se conocen. Sin embargo, siempre es posible construir una ortogonalización entre los dos vectores de tal manera que

$$e_{1t} = \rho e_{2t} + v_t \quad (41)$$

donde ρ es el coeficiente de la regresión de e_{1t} en e_{2t} y v_t es la innovación en e_{1t} que no está correlacionado con e_{2t} . Si se sustituye (39) y (41) en (38), se obtiene

$$\begin{aligned}\Delta y_t &= \alpha_1(y_{t-1} - \beta z_{t-1}) + \rho e_{2t} + v_t \\ &= \alpha_1(y_{t-1} - \beta z_{t-1}) + \rho[\Delta z_t - \alpha_2(y_{t-1} - \beta z_{t-1})] + v_t \\ &= (\alpha_1 - \rho\alpha_2)(y_{t-1} - \beta z_{t-1}) + \rho\Delta z_t + v_t\end{aligned}$$

Ahora, si se hace $\alpha = \alpha_1 - \rho\alpha_2$, se puede escribir

$$\Delta y_t = \alpha(y_{t-1} - \beta z_{t-1}) + \rho\Delta z_t + v_t \quad (42)$$

En general, no es apropiado estimar (42) directamente, ya que contiene las variables determinadas conjuntamente Δy_t y Δz_t . El problema general es que Δz_t estará correlacionada con el término de error v_t , de modo que hay un problema de simultaneidad. Como tal, el método de MCO no se puede utilizar para recuperar estimaciones significativas de los parámetros del modelo. Aunque el problema de simultaneidad se rectifica, hay un problema de identificación ya que α_1 y α_2 no pueden identificarse por separado de la estimación de MCO de α . Sin embargo, es posible especificar condiciones tales que los problemas de simultaneidad y de identificación desaparecen y que MCO sea una estrategia de estimación y prueba eficiente. Como se muestra a continuación, las dos condiciones son $\alpha_2 = 0$ (de manera que z_t no responde a la discrepancia de la relación de equilibrio de largo plazo) y $c_{21} = 0$ (de manera que z_t no responde a ε_{y_t}). Así, los dos supuestos requeridos son que z_t es débilmente exógeno y causalmente antes de y_t .

3.5.3. Cointegración con exogeneidad débil

Siguiendo a Engle *et al.* (1983), una variable x_{it} es débilmente exógena para el conjunto de parámetros P si la distribución marginal de x_{it} no contiene información útil para la realización de inferencia en P . En un sistema cointegrado, si una variable no responde a la discrepancia de la relación de equilibrio de largo plazo, es *débilmente exógena*. Por lo tanto, si la velocidad de ajuste de parámetro α_i es cero, la variable en cuestión es débilmente exógena. Para nuestros propósitos, la importancia práctica es que una variable débilmente exógena no experimenta el tipo de retroalimentación que hace necesario el uso de un VAR.

Para explicar, suponga que intenta estimar una ecuación como (42) utilizando MCO. Se puede usar un método de dos pasos, como la empleada en el procedimiento de Engle-Granger, y estimar la regresión y_t en z_t para obtener una estimación de β y luego formar la variable $y_{t-1} - \beta z_{t-1}$. Sin embargo, en este punto en el tiempo, la preferencia en la literatura es estimar la ecuación sin restricciones

$$\Delta y_t = \beta_1 y_{t-1} + \beta_2 z_{t-1} + \beta_3 \Delta z_t + v_t \quad (43)$$

donde de (42) los coeficientes estimados son tal que $\beta_1 = \alpha_1 - \rho\alpha_2$, $\beta_2 = (\alpha_1 - \rho\alpha_2)\beta$ y $\beta_3 = \rho$.

Dado que los coeficientes de (43) son irrestrictos, esta forma del modelo se le llama a menudo **autoregresivo de rezagos distribuidos** para distinguirlo del ECM en la forma (42).

Note que el valor de α_2 aparece en la estimación de β_1 y β_2 . Sin embargo, si z_t es débilmente exógena (es decir, si $\alpha_2 = 0$), sus coeficientes estimados deberían ser tal que

$\beta_1 = \alpha_1$, $\beta_2 = \alpha_1\beta$ y $\beta_3 = \rho$. Por lo tanto, se puede identificar α_1 , β y ρ de β_1 , β_2 y β_3 , dado que la estimación por MCO de (43) es equivalente a la estimación de la ecuación

$$\Delta y_t = \alpha_1 y_{t-1} - \alpha_1 \beta z_{t-1} + \rho \Delta z_t + v_t \quad (44)$$

A pesar de que la exogeneidad débil permite que el modelo sea identificado, todavía queda la cuestión de probar adecuadamente (44) por integración. Puesto que $\{y_t\}$ y $\{z_t\}$ son $I(1)$, la prueba estadística de la hipótesis nula $\beta_1 = 0$ y $\beta_2 = 0$ en (43) no son estándar y necesitan ser tabuladas. La forma habitual para la prueba de cointegración es utilizar el estadístico t para la hipótesis nula $\beta_1 = 0$ en (43). Después de todo, si $\beta_1 = 0$, no existe corrección de error de modo que y_t no está cointegrada con z_t . El valor crítico depende del número de regresoras $I(1)$ en el modelo (denotada por k), el tamaño de la muestra ajustada T^a , y la forma de los regresores determinísticos. Por ejemplo, si se tiene un tamaño de muestra ajustada con 100 observaciones y estima un modelo con intercepto ($d=1$) y dos variables débilmente exógenas ($k=3$), los valores críticos apropiados para probar la hipótesis nula $\beta_1 = 0$ son -4.181, -3.538, y -3.205 al 1, 5, y 10% de niveles de significancia respectivamente.

Si se compara (43) con (38), se puede ver el beneficio de emplear exogeneidad débil. Dado que las dos representaciones son equivalentes, e_{1t} se compone de Δz_t y v_t . Puesto que (43) tendrán una variación menor que el término de error en (38), los coeficientes de (43) se puede estimar con más precisión que los coeficientes de (38). Un segundo beneficio atribuido a la estimación de este modelo es que los coeficientes de y_{t-1} y z_{t-1} son sin restricciones. Como tal, la dinámica de corto plazo para Δy_t no son dictadas por la relación de equilibrio de largo plazo $y_{t-1} = \beta z_{t-1}$. En los enfoques de Engle-Granger y Johansen, el llamado **Factor de Restricción Común** obliga a los cambios a corto plazo en

Δy_t ser una proporción constante de la desviación del período anterior del equilibrio a largo plazo.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis se inicia con una descripción general de los datos. En la sección de anexos se presentan las gráficas de los datos utilizados en este estudio. La serie de datos comprende el lapso de enero 2007 a diciembre 2014. Los precios en las cinco zonas de producción principales en México son los precios libre a bordo (LAB), a nivel de piso de bodega y se cotizan en pesos por tonelada. Los precios mensuales de futuros se refieren a las cotizaciones de maíz amarillo en la bolsa de la CBOT, y se cotizan en dólares por tonelada métrica, así como el precio del sorgo amarillo no. 2 de exportación en golfo de EEUU.

Cuadro 5. Estadísticas descriptivas

Variable ¹	Media	Mínimo	Máximo	Desviación estándar	Coeficiente de variación
Precio futuros maíz amarillo no. 2	200.22	127.97	316.34	55.83	27.9%
Precio sorgo no. 2 Golfo México	216.28	144.63	303.57	48.64	22.5%
Precio LAB sorgo Irapuato	240.45	162.44	324.87	48.50	20.2%
Precio LAB sorgo Morelia	239.16	163.91	326.85	48.21	20.2%
Precio LAB sorgo Culiacán	242.50	149.88	359.96	52.37	21.6%
Precio LAB sorgo Ciudad Victoria	226.86	138.77	325.91	54.31	23.9%
Precio LAB sorgo Matamoros	217.89	138.77	308.68	51.97	23.9%
Precio LAB sorgo promedio nacional	246.96	176.34	338.45	50.12	20.3%
Base sorgo Irapuato	40.24	-29.45	97.74	24.47	60.8%
Base sorgo Morelia	38.94	-29.45	88.64	23.04	59.2%
Base sorgo Culiacán	42.28	-50.03	84.62	27.91	66.0%
Base sorgo Ciudad Victoria	26.64	-48.08	68.82	22.74	85.4%
Base sorgo Matamoros	17.67	-48.16	60.76	21.67	122.6%
Base sorgo Nacional	46.74	-20.36	83.84	19.50	41.7%

Fuente: Elaboración propia con datos de [GCMA \(2015\)](#); [USDA \(2015b\)](#); y [FAO \(2015\)](#).

¹ Se convirtieron los precios LAB de sorgo grano a dólares de EE.UU. con el tipo de cambio FIX promedio mensual publicado en el DOF.

El promedio histórico de precios futuros de maíz amarillo no. 2 es de 200.22 dólares por tonelada métrica, valor que comparado con los precios medios en las distintas zonas productoras en México es siempre menor; lo que indica que en promedio las bases regionales son positivas, y van de 17.67 hasta 46.74 dólares por tonelada métrica. La base positiva refleja precisamente los costos de transporte, financieros y de almacenamiento asociado a este producto.

En el Cuadro 5 se observa que la desviación estándar de los precios en cada uno de los mercados locales analizados va de 48.21 dólares como valor mínimo a 54.31 dólares máximos de variación mensual con respecto al promedio de 235.64 dólares por tonelada. Esto, en términos de porcentaje representa en promedio una variación mensual de 22 por ciento en relación con el valor promedio de las cotizaciones mensuales.

Se puede ver en el Cuadro 5 que existen diferencias importantes en valor de la base en los distintos mercados. De acuerdo con lo señalado por [Arias et al. \(2000\)](#), en condiciones de un mercado de futuros eficiente, la composición de la base se puede atribuir a dos aspectos: a) el primero, que representa un retorno por almacenamiento del producto, y; b) el segundo, se constituye como premio o descuento por la ubicación del producto subyacente. Este último se debe principalmente a los costos de transporte, a la disponibilidad y costo de almacenamiento, y las condiciones de oferta y demanda locales. Los productores deben comprender el comportamiento de dichas bases para la toma de decisiones de almacenamiento y venta de su cosecha.

Otro aspecto a considerar al momento de medir los cambios en los precios es la volatilidad. Como lo señala [Arias et al. \(2000\)](#), a mayores variaciones en la base, menos eficiente es la cobertura para minimizar el riesgo. Se desprende de los datos del Cuadro 5 que el coeficiente de variación de la base en los distintos mercados va de un valor

mínimo de 41.7 por ciento a nivel nacional, a 122.6 por ciento en el mercado de Matamoros. Un promedio entre los mercados locales de 72.6 por ciento.

Las variaciones en los precios es un indicador importante que influye significativamente en la decisión de realizar cobertura contra riesgos por cambios en los precios. Entre más volátiles sean los precios de contado, mayores beneficios se derivan de una cobertura. Lo contrario sucede con la variación de los precios futuros, ya que entre mayor sea la desviación estándar o el coeficiente de variación, menor sería la cobertura óptima a realizar (Arias *et al.*, 2000). El análisis muestra que en promedio el coeficiente de variación en los futuros es de 27.9 por ciento contra un promedio del mismo indicador en los mercados en México de 22.0 por ciento.

4.1. Estacionariedad

Los resultados de la prueba de Dickey-Fuller Aumentada para los precios en los distintos mercados y el tipo de cambio se presentan en el Cuadro 6. Para cada variable se prueba un juego de hipótesis comparando los tres modelos como se plantea en las ecuaciones (9), (10) y (11).

El valor del estadístico *Tau* (τ) bajo la hipótesis nula $H_0 : \delta = 0$ (existe raíz unitaria o la serie es no estacionaria), y de acuerdo con el tamaño muestral considerado (96 observaciones), en todos los casos no se rechaza la hipótesis nula. Con una probabilidad muy alta sobre el 5 por ciento de significancia, no se puede descartar que las series de precios y el tipo de cambio FIX son no estacionarias. Un análisis posterior de estas variables en primera diferencia se puede comprobar que todas son estacionarias. Por lo

tanto, cada una de estas variables son procesos integrados de orden igual a uno. Este resultado es importante, puesto que es necesario para el análisis de cointegración.

Cuadro 6. Estacionariedad: prueba Dickey-Fuller Aumentada

Variable	Modelo	Rho	Pr < Rho	Tau	Pr < Tau
Precio sorgo Irapuato	Ninguno	-0.17	0.6428	-0.29	0.5803
	Intercepto	-4.24	0.5048	-1.43	0.5640
	Intercepto y tendencia	-3.84	0.8921	-1.07	0.9286
Precio sorgo Morelia	Ninguno	-0.15	0.6467	-0.26	0.5904
	Intercepto	-4.21	0.5084	-1.44	0.5586
	Intercepto y tendencia	-3.54	0.9087	-0.99	0.9399
Precio sorgo Culiacán	Ninguno	-0.44	0.5823	-0.48	0.5026
	Intercepto	-9.88	0.1287	-2.17	0.2190
	Intercepto y tendencia	-10.95	0.3522	-2.15	0.5121
Precio sorgo Ciudad Victoria	Ninguno	-0.30	0.6124	-0.35	0.5545
	Intercepto	-6.97	0.2670	-1.87	0.3446
	Intercepto y tendencia	-7.24	0.6305	-1.67	0.7554
Precio sorgo Matamoros	Ninguno	-0.25	0.6250	-0.31	0.5730
	Intercepto	-6.31	0.3131	-1.79	0.3836
	Intercepto y tendencia	-6.85	0.6631	-1.63	0.7744
Precio sorgo promedio nacional	Ninguno	-0.07	0.6644	-0.13	0.6367
	Intercepto	-4.17	0.5128	-1.49	0.5335
	Intercepto y tendencia	-3.78	0.8952	-1.12	0.9204
Precio de sorgo FOB en golfo EEUU	Ninguno	-0.15	0.6462	-0.19	0.6160
	Intercepto	-7.36	0.2425	-1.93	0.3152
	Intercepto y tendencia	-8.95	0.4919	-2.02	0.5846
Futuros maíz amarillo CBOT	Ninguno	-0.52	0.5645	-0.51	0.4929
	Intercepto	-7.50	0.2343	-1.90	0.3313
	Intercepto y tendencia	-7.54	0.6052	-1.78	0.7071
Tipo de cambio FIX	Ninguno	0.24	0.7384	0.59	0.8422
	Intercepto	-10.81	0.1013	-2.11	0.2396
	Intercepto y tendencia	-19.32	0.0639	-2.93	0.1567

Fuente: Elaboración propia.

4.2. Riesgo de Base

Una cobertura no es efectiva si la diferencia entre los precios de futuros y los precios de contado no convergen paulatinamente al ritmo de los costos incidentales durante la vida del contrato de futuros (Arias *et al.*, 2000). El riesgo de base aparece cuando la diferencia entre los precios de contado y los precios de futuros se desvían de un precio base constante por mes. Por lo tanto, entre más alto sea este, menos posibilidades de cobertura existen contra variaciones de precios de un producto cualquiera. Implícito en el riesgo de la base están las variaciones inesperadas en los costos de mantener un producto almacenado hasta el momento de su entrega. Si este costo fuera fijo, no existiría el riesgo en la base y el óptimo de cobertura sería próximo al 100%.

Cuadro 7. Coeficientes de correlación entre maíz y sorgo en diferentes mercados

Mercados	Coeficiente de correlación
Precio sorgo Irapuato / Futuros maíz CBOT	0.90
Precio sorgo Morelia / Futuros maíz CBOT	0.91
Precio sorgo Culiacán / Futuros maíz CBOT	0.87
Precio sorgo Ciudad Victoria / Futuros maíz CBOT	0.92
Precio sorgo Matamoros / Futuros maíz CBOT	0.92
Precio sorgo Nacional / Futuros maíz CBOT	0.94
Futuros maíz CBOT / Sorgo en golfo EEUU	0.95
Precio sorgo Irapuato / Sorgo en golfo EEUU	0.87
Precio sorgo Morelia / Sorgo en golfo EEUU	0.88
Precio sorgo Culiacán / Sorgo en golfo EEUU	0.83
Precio sorgo Ciudad Victoria / Sorgo en golfo EEUU	0.87
Precio sorgo Matamoros / Sorgo en golfo EEUU	0.89
Precio sorgo Nacional / Sorgo en golfo EEUU	0.92

Fuente: Elaboración propia.

Una forma de evaluar las diferencias en el riesgo de base entre distintos productos y mercados es analizando los coeficientes de correlación que se reportan en el Cuadro 7. Entre más alta sea la correlación entre el mercado de futuros y de contado, menor es el riesgo de base y mayor sería el índice óptimo de cobertura contra riesgos (Arias *et al.*, 2000).

El Cuadro 7 manifiesta resultados interesantes sobre los mercados de contado de sorgo nacional y de futuros de maíz amarillo de la CBOT. Los movimientos de los precios futuros como los precios de físicos en México se dan en la misma dirección, debido a que existe una correlación de 91.0 por ciento, siendo los precios al productor en Culiacán los que se mueven 4.0 por ciento por debajo de la media, y el precio promedio nacional 3.0 por ciento superior a la media. Estos resultados suponen una alta integración del mercado nacional con los precios futuros internacionales. Del mismo modo, los precios nacionales presentan una alta correlación con los precios FOB en Golfo de los EE.UU. En promedio, un 88.0 por ciento de los movimientos de los precios FOB de sorgo en Golfo EE.UU. se reflejan en las principales zonas productoras en México.

4.3. Causalidad

Los resultados de la pruebas de causalidad en el sentido de Granger indican que, de acuerdo con los valores del estadístico F y los valores de probabilidad asociados, se rechaza la hipótesis nula de que los futuros no causan a los distintos precios LAB en México, con una significancia del 5.0%. En cambio, los valores de probabilidad son altos para la prueba de causalidad de Granger en la dirección precios LAB a precios futuros de maíz amarillo. Asimismo, el precio FOB de sorgo amarillo EE.UU. de exportación causa en el sentido de Granger a los precios locales en el mercado mexicano. Con una probabilidad menor al 0.05 se rechaza la hipótesis nula. Este resultado podría pensarse

obvio, en virtud de que los comercializadores mexicanos toman como referencia el precio internacional para la compra del sorgo a los productores; además de que los consumidores nacionales que lo importan, conocen los costos de internación. Siendo así, quienes influyen en la determinación de los precios que están dispuestos a ofrecer por el grano nacional.

Cuadro 8. Resultado de la prueba de causalidad de Granger

Hipótesis nula	Rezago	Estadístico <i>F</i>	Valor <i>p</i>
Futuro maíz → Precio sorgo LAB Irapuato	1	22.33	0.0000
Futuro maíz → Precio sorgo LAB Morelia	1	21.02	0.0000
Futuro maíz → Precio sorgo LAB Culiacán	2	5.21	0.0072
Futuro maíz → Precio sorgo LAB Ciudad Victoria	2	8.62	0.0004
Futuro maíz → Precio sorgo LAB Matamoros	2	9.34	0.0002
Futuro maíz → Precio sorgo LAB Nacional	1	7.75	0.0065
Precio sorgo golfo USA → precio LAB Irapuato	2	13.78	0.0000
Precio sorgo golfo USA → Precio sorgo LAB Morelia	2	13.79	0.0000
Precio sorgo golfo USA → Precio sorgo LAB Culiacán	2	7.44	0.0010
Precio sorgo golfo USA → Precio sorgo LAB Ciudad victoria	2	10.22	0.0001
Precio sorgo golfo USA → Precio sorgo LAB Matamoros	2	14.51	0.0000
Precio sorgo golfo USA → Precio sorgo LAB Nacional	2	11.29	0.0000

Fuente: Elaboración propia.

4.4. Cointegración

Previo del análisis de cointegración, se definió para cada uno de los modelos a estimar el número de rezagos óptimos a incluir. Para los precios al productor en Irapuato, Morelia

y el promedio Nacional se obtuvo un óptimo de rezagos de 1, mientras que para los mercados restantes; Culiacán, Ciudad Victoria y Matamoros el rezago óptimo fue 2.

Los resultados de análisis de cointegración de acuerdo con la metodología de Johansen aparecen en el Cuadro 9. Para cada uno de los mercados se prueba la hipótesis nula $H_0: \text{rango} = r$. Para el caso del estadístico de la traza la hipótesis alterna es $H_1: \text{rango} > r$, mientras que en el estadístico del máximo eigenvalor la alterna es $H_1: \text{rango} = r + 1$.

Cuadro 9. Resultado prueba de cointegración de Johansen: traza y máximo eigenvalor

Modelo	r	Eigenvalor	Traza*	Máximo eigenvalor**
Irapuato	0	0.2738	37.5112	30.3900
	1	0.0460	7.1212	4.4730
Morelia	0	0.2764	38.4133	30.7385
	1	0.0491	7.6749	4.7841
Culiacán	0	0.1808	27.6245	18.7435
	1	0.0583	8.881	5.6431
Ciudad Victoria	0	0.1642	26.2186	16.8612
	1	0.0639	9.3574	6.2054
Matamoros	0	0.1388	23.3934	14.0442
	1	0.0634	9.3492	6.1611
Nacional	0	0.1811	24.5874	18.9833
	1	0.0346	5.6041	3.3412

*Valores críticos al 5% 29.38 y 15.34 para r igual a 0 y 1 respectivamente.

**Valores críticos al 5% 20.97 y 14.07 para r igual a 0 y 1 respectivamente.

Fuente: Elaboración propia.

La prueba de cointegración de Johansen resultó positiva para los mercados de Irapuato y Morelia. Existen indicios suficientes sobre la existencia de una relación cointegrante entre los precios al productor de sorgo grano, el precio futuro de maíz y el tipo de cambio, por lo que sugiere integración entre el mercado nacional y el internacional entre estos distintos commodities. Este resultado no es sorprendente, puesto que se trata de productos sustitutos en la industria de los alimentos balanceados en México, se espera que los consumidores nacionales tomen decisiones sobre la sustitución entre uno y otro. Con fines de cobertura de precios, este resultado refuerza la efectividad de la administración de riesgos de precios del sorgo, dado que los precios internacionales de maíz y el precio del sorgo en México convergen estadísticamente (Cuadro 9).

Los valores del estadístico traza y máximo eigenvalor para los mercados de Irapuato y Morelia no rechaza la hipótesis nula de existencia de $r=1$ ecuaciones de cointegración. En particular, el estadístico traza no rechaza la nula frente al $r>2$, es decir, más de dos ecuaciones de cointegración. Asimismo, el estadístico máximo eigenvalor concluye en el no rechazo de la nula de $r=1$ ecuaciones de cointegración frente a la alterna de $r=2$ ecuaciones cointegrantes. Esto permite concluir al nivel de significancia del 5.0% que los precios LAB de sorgo grano en las zonas productoras de Irapuato y Morelia guardan una relación de equilibrio de largo plazo.

Por otro lado, en los mercados de Culiacán, Ciudad Victoria, Matamoros y a nivel nacional no existe evidencia estadística de que los precios LAB, futuros de maíz amarillo y el tipo de cambio oficial presenten relación de largo plazo. En todos los casos los valores del estadístico traza y máximo eigenvalor no superan los valores críticos de 29.38 y 20.97, respectivamente, con una significancia del 5.0%.

La existencia de cointegración supone que los precios analizados siguen una tendencia conjunta a largo plazo, a pesar de que en el corto plazo las discrepancias entre estos sean significativas. Los resultados obtenidos están en consonancia con lo que se denomina integración de mercados. Un indicador importante (no suficiente), sobre la integración que suponen el mercado de futuros y el tipo de cambio con el mercado nacional de sorgo grano, es el valor del coeficiente alfa en la ecuación del modelo de corrección de errores estimado.

La existencia de una ecuación de cointegración implica que aunque las series: precios físicos, futuros y tipo de cambio sean no estacionarias, sus trayectorias no pueden estar muy alejadas una de otra, esto admite, entonces, un margen constante de riesgo, y con ello, un mejor grado de efectividad de las coberturas para cubrir el riesgo ante las variaciones en los precios. En contra parte, entre menos se aproximen las trayectorias del precio físico, precio futuro y tipo de cambio, menos eficiente será una cobertura para minimizar el riesgo.

El análisis posterior de los mercados de Irapuato y Morelia mediante un modelo de corrección de error permite ver la existencia de una de las ecuaciones de cointegración en ambos casos, (45) y (46), respectivamente:

$$\begin{aligned} \Delta Ira = & -0.29119 \left[Ira_{t-1} - 11.25PF_{t-1} - 157.21TC_{t-1} + 1232.84 \right] \\ & + \alpha_{11} \Delta Ira_{t-1} + \alpha_{12} \Delta PF_{t-1} + \alpha_{13} \Delta TC_{t-1} \end{aligned} \quad (45)$$

$$\begin{aligned} \Delta Mor = & -0.32553 \left[Mor_{t-1} - 10.92PF_{t-1} - 160.92TC_{t-1} + 1220.79 \right] \\ & - \alpha_{11} \Delta Mor_{t-1} + \alpha_{12} \Delta PF_{t-1} + \alpha_{13} \Delta TC_{t-1} \end{aligned} \quad (46)$$

Los valores de $\alpha_{10} = -0.29119$ y $\alpha_{20} = -0.32553$ son los parámetros alfa que se refiere a la velocidad de ajuste del equilibrio de largo plazo. Estos deben ser negativos en signo y significativos en términos estadísticos e indica causalidad de largo plazo de las variables *FP* y *TC* hacia los precios LAB de Irapuato y Morelia respectivamente, mientras que los demás alfas α_{11} , α_{12} y α_{13} son los que causan a la variable X_1 en el corto plazo; estas pueden o no ser significativas, puesto que los desequilibrios de corto plazo inducidos por las variables *FP* y *TC* se corrigen en el largo plazo.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

La cobertura de precios de sorgo grano en México tanto para productores como consumidores (industriales) se realiza a través de las opciones sobre futuros de maíz amarillo número dos en la Bolsa de Chicago; este proceso se le denomina cobertura cruzada.

La evidencia estadística sugiere que los precios futuros y el precio libre a bordo del sorgo grano en México se mueven en la misma dirección dada la alta correlación que existe entre ellos.

Los precios futuros de maíz amarillo número dos son buenos predictores para la determinación de los precios de los mercados nacionales, puesto que junto al hecho de que se mueven en la misma dirección, tiene efecto en el sentido de Granger a los precios nacionales. Estos son resultados interesantes puesto que permiten inferir el hecho de que la cobertura cruzada de sorgo grano es eficiente en tanto el precio futuro sea un predictor eficiente de los precios nacionales.

El análisis de cointegración indica que los precios futuros, el tipo de cambio y los precios del mercado de Irapuato y Morelia evolucionan juntos pese a las discrepancias que se dan en el corto plazo (debido a las fuerzas de la oferta y la demanda).

Existe evidencia estadística de que los precios en estos mercados exhiben una relación de largo plazo que permite suponer la efectividad de la cobertura cruzada, puesto que supone que pese a que las discrepancias de corto plazo sean importantes, en el largo

plazo la integración de estos mercados es evidente y los precios convergen al equilibrio. La cointegración supone entonces un margen constante de riesgo para la cobertura.

5.2. Recomendaciones

Los resultados antes descritos corresponden a los datos que arrojaron una prueba positiva el análisis cointegración de Johansen. El análisis de los datos en diferencias para los casos en que no resultó positiva la existencia de uno o más vectores cointegrantes, es necesario.

LITERATURA CITADA

- Arias, J., Brorsen, W. & Harri, A., 2000. Optimal hedging under nonlinear borrowing cost, progressive tax rates, and liquidity constraints. *The Journal of Futures Markets*, 20(4), pp.375-396.
- ASERCA (Agencia de Servicios a la Comercialización y Desarrollo de Mercados Agropecuarios), 2014. *Incentivos a la Comercialización: Informe de Resultados al Cuarto Trimestre*, Available at:
<http://www.aserca.gob.mx/riesgos/trimestrales/Documents/2014/Informecuartotrimestre 2014.pdf>.
- ASERCA (Agencia de Servicios a la Comercialización y Desarrollo de Mercados Agropecuarios), 2013. *Incentivos a la Comercialización: Informe de Resultados al Cuarto Trimestre*, Available at:
<http://www.aserca.gob.mx/riesgos/trimestrales/Documents/2013/INFORME AL CUARTO TRIMESTRE 2013.pdf>.
- ASERCA (Agencia de Servicios a la Comercialización y Desarrollo de Mercados Agropecuarios), 2012. *Incentivos a la Comercialización: Informe de Resultados al Cuarto Trimestre*, Available at:
http://www.aserca.gob.mx/riesgos/trimestrales/Documents/2012/informe_al_cuarto_trimestre_2012_3.pdf.
- BANXICO (Banco de México), 2014. Tipo de cambio para solventar obligaciones denominadas en dólares de los EE.UU.A., pagaderas en la República Mexicana. Available at: <http://www.banxico.org.mx/dyn/portal-mercado-cambiario/index.html> [Accedido junio 6, 2015].
- Barreiro, M., 1997. El sorgo Mexicano: Entre la autosuficiencia y la dependencia externa. *Claridades Agropecuarias*, pp.1-36. Available at:
<http://www.infoaserca.gob.mx/claridades/marcos.asp?numero=46>.
- CME (Chicago Mercantile Exchange), 2014. *Guía de auto estudio sobre Cobertura con Futuros y Opciones de Granos y Oleaginosas*, Chicago, Illinois. Available at:
https://www.cmegroup.com/trading/agricultural/files/AC216_GrainOilseed_Hedging_Guide_SPN.PDF.

- Echánove-Huacuja, F., 2012. Subsidios gubernamentales para riesgos de mercado en granos: El caso del sorgo en México. *Geographicalia*, (61), pp.47-66.
- Enders, W., 2015. *Applied Econometric Time Series* 4th ed., New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Engle, R.F. & Granger, C.W.J., 1987. Co-integration and Error Correction: Representation, Estimation, and Testing. *Econometrica*, 55(2), pp.251-76. Available at: <http://ideas.repec.org/a/econ/emetrp/v55y1987i2p251-76.html>.
- Engle, R.F., Hendry, D.F. & Richard, J.-F., 1983. Exogeneity. *Econometrica*, 51(2), pp.277-304. Available at: <http://www.jstor.org/stable/1911990>.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), 2015. Food Price Monitoring and Analysis Tool. *Online*. Available at: <http://www.fao.org/giews/pricetool/> [Accedido mayo 15, 2015].
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), 1997. La Economía del Sorgo y del Mijo en el Mundo: Hechos, Tendencias y Perspectivas. Available at: <http://www.fao.org/docrep/w1808s/w1808s00.htm#Contents> [Accedido junio 12, 2015].
- FAOSTAT (Food and Agriculture Organization of the United Nations - Statistics Division), 2014. Dirección de estadística: Cantidades de producción por país. *Online*. Available at: <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/S> [Accedido abril 24, 2015].
- Farías, J.R., 2004. El potencial de los programas de ASERCA como garantías financieras en el sector agropecuario Mexicano. *Claridades Agropecuarias*, (127), pp.18-21. Available at: <http://www.infoaserca.gob.mx/claridades/marcos.asp?numero=127>.
- FIRA (Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura), 2014. *Panorama Agroalimentario: Sorgo 2014*, Morelia, Mich.
- Galarza, J.M., 2003. *Situación actual y perspectivas de la producción de sorgo en México 1992-2004*, Mexico D.F. Available at: http://www.campomexicano.gob.mx/portal_siap/Integracion/EstadisticaDerivada/ComercioExterior/Estudios/Perspectivas/sorgo92-04.pdf.
- García, J.J., 2011. *Eficiencia de la política de cobertura de precios de maíz en México*. Colegio de Postgraduados.

- GCMA (Grupo Consultor de Mercados Agrícolas), 2015. Grupo Consultor de Mercados Agrícolas. Available at: <http://www.gcma.com.mx/> [Accedido abril 30, 2015].
- Godínez, J.A. & Fuentes, N.A., 2008. Las condiciones económicas para operar un mercado de futuros de maíz blanco en México. *Investigación Económica*, 67(264), pp.15-37. Available at: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=60126401>.
- Granger, C.W.J. & Lee, T., 1990. Multicointegration'. in Rhodes G. F. and Fomby T. B. *Advances in Econometrics*, 8, pp.71-84.
- Granger, C.W.J. & Newbold, P., 1974. Spurious regressions in Econometrics. *Journal of Econometrics*, 2, pp.111-120.
- Greene, W.H., 2012. *Econometric Analysis* 7th ed., Edinburgh Gate, Harlow: Pearson Education.
- Gujarati, D.N. & Porter, D.C., 2010. *Econometría* 5ta ed., Mexico D.F.: McGraw Hill.
- Hull, J.A., 2009. *Introducción a los mercados de futuros y opciones* 6ta ed., Mexico D.F.: Pearson Education.
- Johansen, S., 1988. Statistical analysis of cointegration vectors. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 12, pp.231-254.
- De Lara, H.A., 2008. *Medición y control de riesgos financieros* 3ra ed., Mexico D.F.: Limusa.
- López, N.C., Tique, M.M. & Pérez, L.S., 2011. Contribución al estudio del sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) para nutrición humana. *Perspectivas en Nutrición Humana*, 13, pp.33-44.
- Lutkepohl, H. & Kratzing, M., 2004. *Applied time series econometrics* 1st ed., New York: Cambridge University Press.
- Ochoa, R., 2011. Cobertura de precios de productos agropecuarios. *Claridades Agropecuarias*, (220), pp.3-16. Available at: <http://www.infoserca.gob.mx/claridades/revistas/220/ca220-3.pdf>.
- Rojas, D. & Abreu, J.L., 2008. Mercado de futuros, alternativa de protección de precios para los industriales transformadores del grano de trigo en México. *Daena: International Journal of Good Conscience*, 3(2), pp.105-144. Available at: [http://www.spentamexico.org/v3-n2/3\(2\)105-144.pdf](http://www.spentamexico.org/v3-n2/3(2)105-144.pdf).

- SAGARPA, 2012. *Estudio de gran visión y factibilidad económica y financiera para el desarrollo de infraestructura de almacenamiento y distribución de granos y oleaginosas para el mediano y largo plazo a nivel nacional.*, Mexico D.F. Available at:
http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/Documents/Estudios_promercado/GRANOS.pdf.
- SIACON (Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta), 2014. Estadísticas Nacionales. Available at:
<http://www.siap.gob.mx/optestadisticasiacon2012parcialsiacon-zip/> [Accedido junio 12, 2015].
- SIAP, 2014. Estacionalidad de la Producción. *Estacionalidad Año Calendario*. Available at:
<http://www.siap.gob.mx/estacionalidad-por-ano-agricola/> [Accedido mayo 11, 2015].
- Smith, C.W. & Frederiksen, R.A., 2000. *Sorghum: Origin, history, technology, and production*, New York: John Wiley Publishers.
- Stock, J.H. & Watson, M.W., 1988. Variable Trends in Economic Time Series. *Journal of Economic Perspectives*, 2(3), pp.147-174.
- USDA (United States Department of Agriculture), 2015a. *Grain: World Markets and Trade*, Available at:
<http://apps.fas.usda.gov/psdonline/psdReport.aspx?hidReportRetrievalName=World+Sorghum+Trade&hidReportRetrievalID=460&hidReportRetrievalTemplateID=7>.
- USDA (United States Department of Agriculture), 2015b. Season-Average Price Forecasts. *Economic Research Service*. Available at: <http://www.ers.usda.gov/data-products/season-average-price-forecasts.aspx> [Accedido septiembre 3, 2015].

ANEXOS

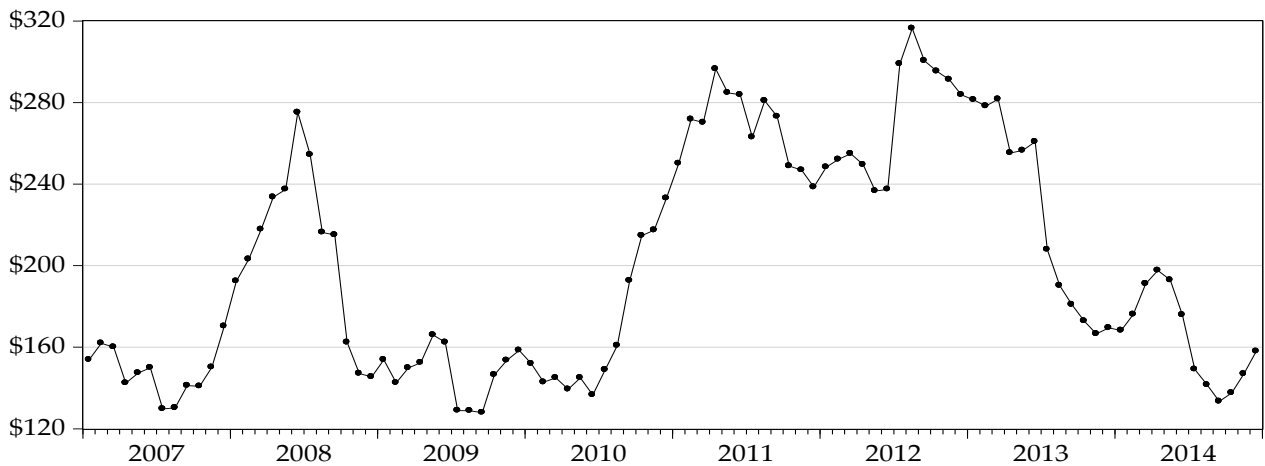
A. Valores críticos Dickey-Fuller t y F al 1% y 5% para la prueba de raíz unitaria

Tamaño de la muestra	t_{nc}		t_c		t_{ct}		F^+		F^\times	
	1%	5%	1%	5%	1%	5%	1%	5%	1%	5%
25	-2.66	-1.95	-3.75	-3.00	-4.38	-3.60	10.61	7.24	8.21	5.68
50	-2.62	-1.95	-3.58	-2.93	-4.15	-3.50	9.31	6.73	7.02	5.13
100	-2.60	-1.95	-3.51	-2.89	-4.04	-3.45	8.73	6.49	6.50	4.88
250	-2.58	-1.95	-3.46	-2.88	-3.99	-3.43	8.43	6.34	6.22	4.75
500	-2.58	-1.95	-3.44	-2.87	-3.98	-3.42	8.34	6.30	6.15	4.71
∞	-2.58	-1.95	-3.43	-2.86	-3.96	-3.41	8.27	6.25	6.09	4.68

nc : sin termino constante, c : con termino constante, ct : con termino constante y tendencia estocástica, $+$: los valores críticos de F cuando en (3.9) los términos constantes y δ son simultáneamente igual a cero y, \times : los valores críticos F cuando en (3.9) el término constante, tendencia y δ son simultáneamente igual a cero

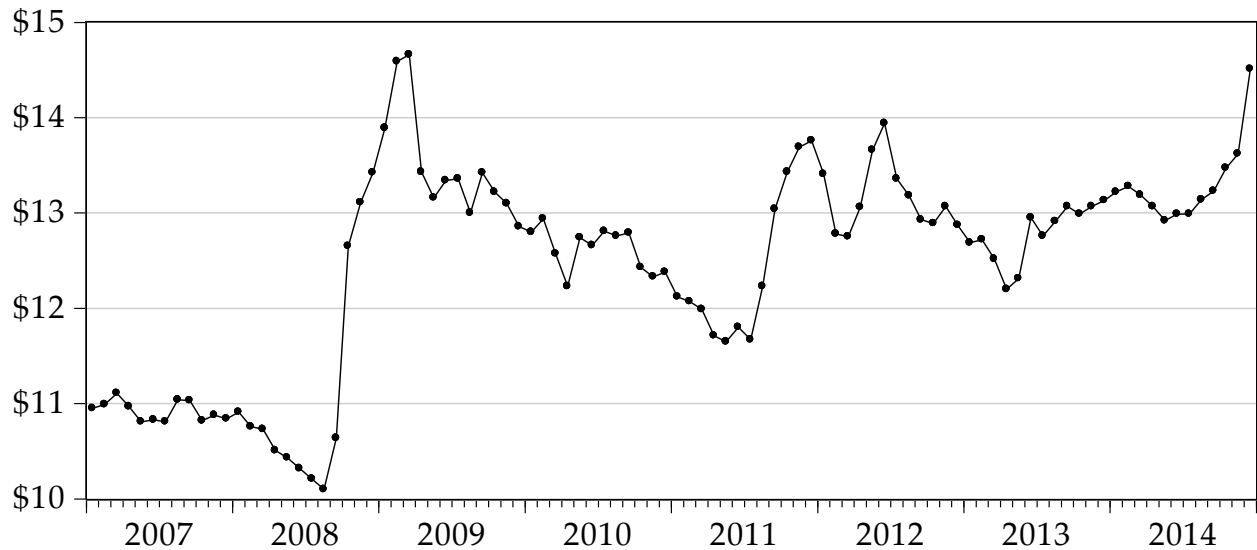
Fuente: Gujarati y Porter (2010).

B. Precio futuros de maíz amarillo #2 en la Bolsa de Chicago (US\$/Ton)



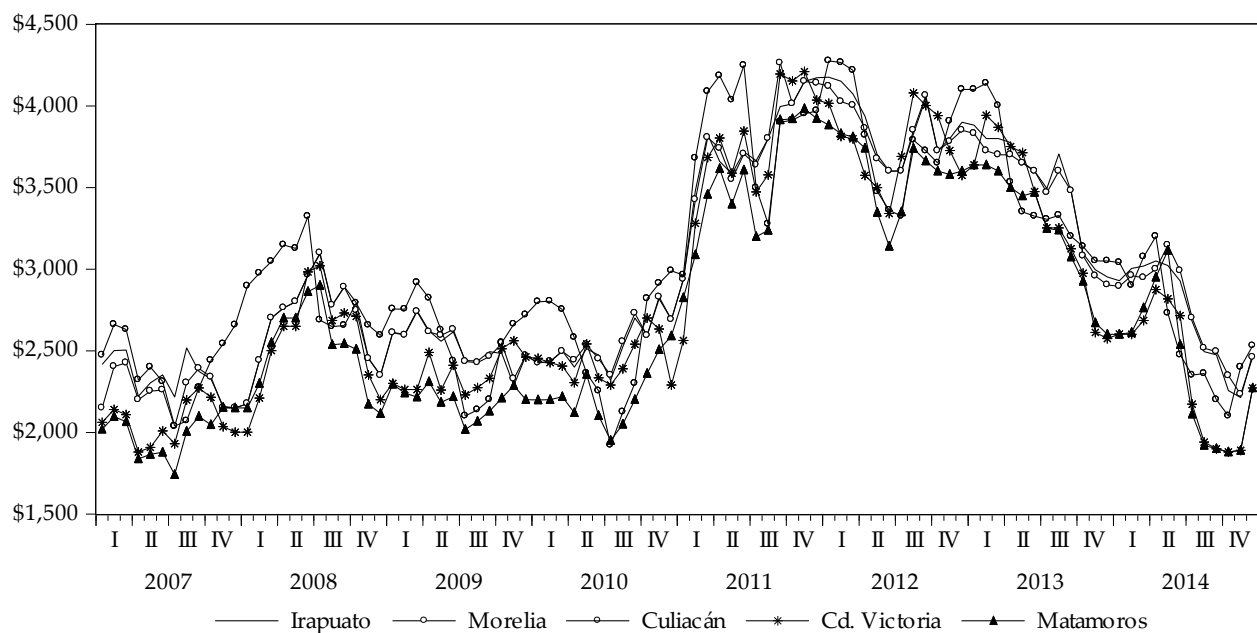
Fuente: Elaboración propia con datos de USDA (2015b).

C. Tipo de cambio FIX mensual (MX\$/US\$)



Fuente: Elaboración propia con información de [BANXICO \(2014\)](#).

D. Precios sorgo y maíz en diferentes mercados



Fuente: Elaboración propia con datos de [GCMA \(2015\)](#); [FAO \(2015\)](#); y [USDA \(2015b\)](#).