

# ANÁLISIS DE EFICIENCIA EN LOS MERCADOS DE OPCIONES SOBRE ÍNDICES: UNA APROXIMACIÓN A LOS MERCADOS EMERGENTES

Daniel Loaiza\*

Juan Camilo Arbeláez Zapata†

## RESUMEN

Un mercado de capitales eficiente se caracteriza porque los precios de los activos reflejan los efectos de la información que se basa en eventos que ya han ocurrido y en eventos que el mercado espera vayan a ocurrir en el futuro (Fama, 1965). Aunque la hipótesis de eficiencia ha sido probada en múltiples mercados de opciones sobre índices, ésta se ha realizado principalmente en mercados desarrollados, y se ha basado más en el conteo de violaciones de esta hipótesis que en la estimación de rendimientos al usar estrategias que aprovechen ineficiencias del mercado y compararlos con aquellos rendimientos que ofrece el mercado. Se puede afirmar, por tanto, que son pocos los estudios que estiman los rendimientos de estrategias con opciones sobre índices para evaluar la eficiencia del mercado, y aquellos que lo hacen sólo los evalúan con base en una estrategia

---

\* Candidato a MSc en Finanzas, Universidad EAFIT, Medellín, Colombia. Ingeniero de Sistemas, Universidad EAFIT, Medellín, Colombia (2005). Miembro del grupo de investigación Finanzas y Banca (GIFYB), Universidad EAFIT. Correo Electrónico: dloaizap@eafit.edu.co

† MSc in Strategic Project Management European, Heriot Watt University, Edinburgh, UK (2011). MSc en Finanzas, Universidad EAFIT, Medellín, Colombia (2007). Ingeniero Administrador, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia (2003). Miembro del grupo de investigación Finanzas y Banca (GIFYB), Universidad EAFIT. Correo Electrónico: jarbela1@eafit.edu.co

en particular como lo es el caso del uso de straddles. Ante estos antecedentes, este estudio propone una metodología para la realización de pruebas de eficiencia en mercados emergentes como los latinoamericanos, mediante la evaluación dinámica de estrategias con opciones, que se basa en las expectativas de volatilidad del activo subyacente para el tiempo que la estrategia óptima de inversión haya sido definida. El estudio permite además realizar una comparación de los resultados de la prueba de eficiencia para un mercado emergente con aquellos obtenidos en un mercado desarrollado de opciones sobre índices. En última instancia, se ofrecen algunas recomendaciones para cuando sea posible probar la eficiencia de un futuro mercado de opciones sobre el índice COLCAP en el caso colombiano.

### **ABSTRACT**

An efficient capital market is characterized because asset prices reflect the effects of information based on events that have already occurred and on events that the market expects will happen in the future (Fama, 1965). Although the hypothesis of efficiency has been proven in multiple index options markets, it has been conducted mainly in developed markets, and has relied more on the count of violations than on the estimation of returns which are obtained when strategies are implemented to take advantage of market inefficiencies and its comparison with the returns of the market. This study proposes a methodology, based on dynamic programming, for testing the efficiency in emerging markets such as Latin-Americans, and allows a comparison of the test results on a developed market of index options. At the end some recommendations are done to undertake an efficiency test in the future COLCAP index options market in Colombia.

## Introducción

El concepto de “mercado de capitales eficiente” fue introducido en la literatura por Fama (1965), quien lo definió como aquel mercado en el cual existe un gran número de competidores activos que son racionales y buscan maximizar sus beneficios tratando de predecir los valores futuros de activos individuales, y donde la información actual está disponible para todos los participantes. En un mercado eficiente los participantes llevan a una situación en la que, en algún momento del tiempo, los precios actuales de los activos individuales reflejan los efectos de la información basada en eventos que ya han ocurrido y en eventos que el mercado espera que vayan a ocurrir en el futuro. Fama (1965) resume lo anterior afirmando que en un mercado eficiente el precio actual de un activo será un buen estimador de su valor intrínseco.

La hipótesis presentada por Fama (1965) ha sido probada en diversos mercados de activos financieros, dentro de los cuales cabe mencionar los mercados de opciones financieras. Las primeras pruebas de eficiencia en el mercado de opciones fueron realizadas por Black & Scholes (1972) y Finnerty (1978), quienes realizaron sus estudios en el mercado de opciones del New York Stock Exchange. A partir de estos primeros estudios se han desarrollado múltiples aproximaciones para probar la eficiencia de mercados de opciones sobre acciones, divisas e índices bursátiles. Particularmente, en el caso de opciones sobre índices bursátiles, cabe señalar estudios como los de Brunetti & Torricelli (2005, 2007) y Cassese & Guidolin (2006) quienes prueban la eficiencia en el mercado de opciones sobre el índice de acciones italiano Mib30. Doidge & Wei (1998) realizan la prueba del mercado de opciones sobre el índice Toronto35, Ackert & Tian (2000) lo hacen en el mercado de opciones sobre el índice S&P500, mientras que Claessen & Mitnik (2002) efectúan su estudio en opciones sobre el índice alemán DAX.

En general, los estudios anteriores han sido realizados en mercados de opciones desarrollados. Mientras que en el caso de la realización de pruebas de eficiencia en mercados de opciones emergentes, cabe mencionar un estudio realizado por

Sehgal & Vijayakumar (2009) en el mercado de opciones sobre el índice S&P CNX Nifty de la India.

De acuerdo con Brunetti & Torricelli (2007), son dos las aproximaciones más relevantes a considerar en el momento de evaluar la eficiencia de los mercados sobre opciones. La primera de ellas corresponde a pruebas basadas en el análisis conjunto de los mercados de opciones y sus activos subyacentes. Estas pruebas consisten en evaluar las violaciones existentes a las relaciones de arbitrajes de precios (Ackert y Tian 2000), tal como es el caso de las condiciones de paridad *put-call*. Mientras que la segunda aproximación se caracteriza por realizar la prueba de la existencia de oportunidades de arbitraje dentro del mismo mercado de opciones. De esta forma se evalúan las estrategias de arbitraje utilizando solamente opciones, lo cual consiste en la construcción de estrategias como los *box* y *butterfly spreads*. En ambas aproximaciones es de esperarse que si se obtienen rendimientos, al implementar las estrategias de arbitraje, que son estadísticamente significativos por encima de los rendimientos del mercado será posible argumentar que dicho mercado no es eficiente.

En general, estos estudios realizan pruebas del mercado de opciones mediante el conteo de las violaciones a la hipótesis de eficiencia. Son pocos los estudios, como el caso de Doidge & Wei (1998), que presentan una estimación de los posibles retornos que se obtendrían al aprovechar las ineficiencias identificadas. Este estudio es uno de los pocos que evalúan las estrategias con opciones para probar la eficiencia del mercado, aunque lo hace utilizando una sola estrategia como los straddles. Sin embargo, ninguno de los estudios que utilizan la segunda aproximación propuesta por Brunetti & Torricelli (2007), realiza una evaluación y selección de las estrategias óptimas de negociación con opciones a implementar, dadas las condiciones del mercado, en lugar de definir una sola estrategia para la realización de la prueba de eficiencia del mercado.

Es de anotar que los resultados de pruebas de eficiencia difieren dependiendo del momento y del mercado en que se han realizado estos estudios. Algunos de estos demuestran un no cumplimiento de la hipótesis de eficiencia como es el caso de

Finnerty (1978), Cassese & Guidolin (1999), Ackert & Tian (2000) y Sehgal & Vijayakumar (2009). Mientras que otros apoyan el cumplimiento de esta hipótesis como ocurre con Claessen & Mittnik (2002), Brunetti & Torricelli (2007) y Doidge & Wei (1998).

Otro aspecto a considerar en estos estudios es que en su mayoría prueban la eficiencia del mercado de opciones en mercados desarrollados. Sin embargo, para el caso de los mercados emergentes, y especialmente en los mercados de opciones de los países latinoamericanos, este tema no ha sido muy estudiado aún.

Ante la situación planteada con anterioridad, este trabajo propone realizar una prueba de eficiencia en un mercado emergente latinoamericano de opciones sobre índices, como el mercado de opciones sobre el IBOVESPA en Brasil, mediante la evaluación dinámica de estrategias con opciones con base en las expectativas de volatilidad del activo subyacente para el tiempo que se defina una estrategia óptima. Esta prueba se basa en la aproximación, propuesta por Brunetti & Torricelli (2007), que consiste en probar la existencia de oportunidades de arbitraje dentro del mismo mercado de opciones. Se pretende, además, comparar los resultados de las pruebas de eficiencia en el mercado de opciones sobre el IBOVESPA con los resultados de dicha prueba en el mercado de opciones sobre el S&P500 en Estados Unidos.

Teniendo en cuenta que, hasta la fecha de realización de este estudio, aún no se negocian contratos de opciones en el mercado estandarizado colombiano de derivados, se espera que a futuro esta metodología pueda ser replicable. Esto se puede lograr en la medida que se evidencie un mayor desarrollo del mercado de derivados en el país, específicamente para el caso de opciones sobre el índice COLCAP.

El presente trabajo se divide en cuatro secciones que permiten desarrollar los objetivos planteados inicialmente. La primera sección corresponde a una descripción detallada de los datos utilizados para efectuar las pruebas de

eficiencia en los mercados de opciones. En la segunda sección se ofrece una descripción de la metodología utilizada para la ejecución de la prueba de eficiencia de los mercados de opciones sobre el IBOVESPA y el S&P500, la cual se realiza mediante el uso de programación dinámica en la selección de estrategias óptimas de negociación con opciones. La tercera sección muestra los resultados empíricos obtenidos al aplicar estas pruebas de eficiencia. Y por último, se presentan las conclusiones obtenidas en el estudio y se ofrecen algunas recomendaciones para cuando sea posible probar la eficiencia de un futuro mercado de opciones sobre el índice COLCAP en el caso colombiano.

## **1. Descripción y análisis de los datos**

La evaluación de eficiencias en los mercados latinoamericanos de opciones sobre índices se pretendía realizar en tres posibles mercados: Brasil, México y Argentina. De estos mercados se observó que el más desarrollado era el de Brasil, y que tanto México como Argentina no ofrecían la liquidez e historia necesaria para lograr los objetivos planteados en este trabajo. El caso colombiano no es posible analizarlo puesto que aún no se negocian opciones sobre el índice COLCAP en el mercado organizado de derivados. Para el análisis sobre los mercados desarrollados, se utiliza como referencia el mercado de opciones sobre el índice S&P 500 en Estados Unidos.

En el caso de Brasil se utilizan datos de precios de cierre y volúmenes correspondientes al total de 273 opciones call sobre el índice BOVESPA que fueron negociadas entre el 2 de Enero de 2009 y el 11 de Marzo de 2011. Cabe anotar que en este mercado no se negocian aún opciones put. En el caso del mercado de opciones sobre el índice S&P500 se utilizan los precios de cierre y los volúmenes negociados de 2669 opciones call para el mismo período de tiempo. Aunque en este mercado se negocian también opciones put, se ha decidido utilizar solamente las opciones call para la estructuración de estrategias de negociación,

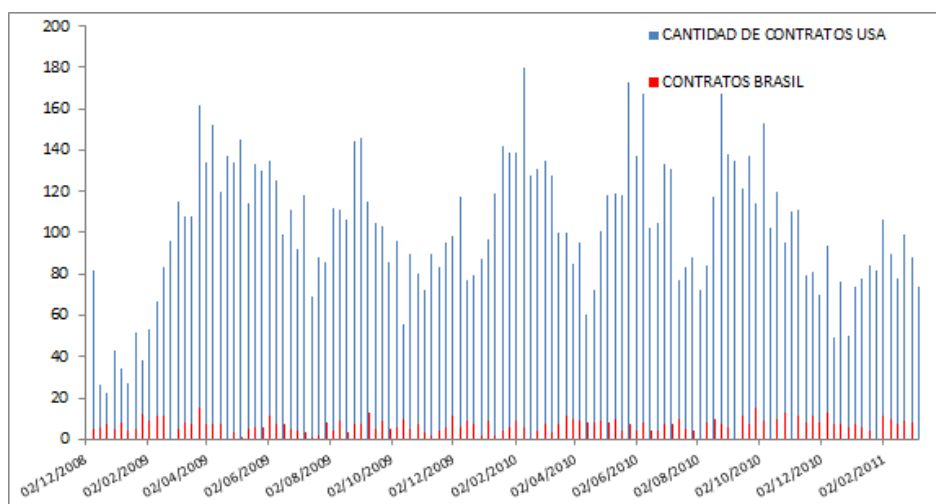
pues esto permite hacer comparable el estudio de este mercado con el de las opciones sobre el BOVESPA en Brasil.

Los datos se obtuvieron a través de la plataforma de información *Bloomberg*. Sin embargo, aunque la base de datos conserva el total de las opciones que han sido negociadas históricamente, la información de los *tickers* disponible en esta plataforma corresponde sólo a las opciones que aún se encuentran vigentes para su negociación en el momento en que se realiza la búsqueda. Por tal motivo, se hizo necesario construir los *tickers* de las opciones que ya se habían vencido para así obtener esta información. En el caso de las opciones sobre el índice BOVESPA, la información de los *tickers* de las opciones fue suministrada por el área de *International Business Development* de BM&F Bovespa. Estos *tickers* contienen toda la información correspondiente al precio de ejercicio y las fechas de vencimiento de las opciones. Por su parte, para el caso de las opciones sobre el índice S&P500 se hizo necesario realizar un algoritmo que permitiera deducir estos *tickers*. Este procedimiento consistió en tomar la serie del índice S&P500 y estimar los precios de Ejercicio (Strike) con una variación de 5 puntos entre uno y otro, dentro de un intervalo de 3% por encima y por debajo del precio Spot vigente para cada día.

Cabe anotar que dentro de los datos utilizados en el estudio no se incluyeron los precios *Bid* y *Ask*. Es importante usar los precios Bid y Ask especialmente para el cálculo de los costos de transacción en las estrategias de negociación con opciones. Sin embargo, se encontraron dificultades para el manejo del volumen de información debido a ciertas restricciones que ofrecía la plataforma Bloomberg en cuanto al volumen de datos que pueden ser obtenidos. Por tal motivo en este estudio sólo se utilizan precios de cierre de las opciones.

Una comparación previa entre los datos de precios de cierre de las opciones call, tanto sobre el índice BOVESPA como sobre el índice S&P500, ofrece dos diferencias importantes. La primera corresponde a que el mercado de opciones sobre el índice BOVESPA presenta una menor liquidez que la del mercado sobre el índice S&P500. Lo anterior encuentra argumentos en la existencia de días en

los cuales no existe negociación de opciones sobre el índice BOVESPA, lo cual no pasa con las opciones sobre el S&P500. La segunda diferencia se refiere a que en el mercado de opciones sobre el BOVESPA se negocian principalmente opciones que se encuentran muy lejos del dinero, es decir, su precio de ejercicio no es cercano al precio Spot del índice, lo que no ocurre en el caso de las opciones sobre el S&P500. En la gráfica No.1 se puede observar el volumen de contratos de opciones call sobre índices que se negociaron durante el período de muestra en Estados Unidos y en Brasil tal como se observa, el volumen de opciones negociadas sobre el índice S&P500 es muy alto comparado con las opciones sobre el BOVESPA.



Gráfica No. 1. Comparativo de la cantidad de contratos de opciones negociados en Brasil y Estados Unidos

## 2. Metodología para la prueba de eficiencia de los mercados

La metodología para realizar la prueba de eficiencia de los mercados de opciones sobre los índices BOVESPA (Brasil) y S&P500 (Estados Unidos) se basa, principalmente, en las metodologías establecidas en los estudios de Doidge & Wei (1998) y Ackert & Tian (2000). Doidge & Wei (1998) examinan la eficiencia en el mercado de opciones sobre el índice accionario Toronto 35. Para ello calculan precios de *straddles* y, utilizando diferentes estimaciones de volatilidad dentro del modelo Black-Scholes (1973), encuentran que al incluir los costos de transacción

la posibilidad de obtener utilidades libres de riesgo desaparece. Esto indica cierta eficiencia en el mercado de opciones sobre el índice Toronto 35 respecto al uso de estrategias de straddles. Por su parte, Ackert & Tian (2000), examinan la eficiencia del índice S&P500 usando relaciones teóricas de valoración bajo el principio de no arbitraje. Estos autores encuentran frecuentes y sustanciales violaciones en la estrategia de negociación con opciones *Box Spread* al incluir costos de transacción.

A diferencia de los estudios enunciados, este trabajo pretende evaluar la eficiencia del mercado de opciones mediante la implementación de la estrategia óptima disponible para el mercado, en lugar de evaluar esta eficiencia con una sola estrategia de opciones que no necesariamente es la más óptima para invertir, tal como es el caso de *straddles* (Doidge & Wei, 1998) o *Box Spread* (Ackert & Tian, 2000). Esta determinación de la estrategia óptima se obtiene gracias a la implementación de programación dinámica, la cual es una técnica matemática para resolver ciertos problemas de decisión que son secuenciales (Howard, 1966). En otras palabras, la programación dinámica es un enfoque general para la solución de problemas en los que es necesario tomar decisiones en etapas sucesivas. **Las decisiones tomadas en una etapa condicionan la evolución futura del sistema, afectando las situaciones en las que el sistema se encontrará en el futuro (denominadas estados), y a las decisiones que se plantearán en el futuro (Quesada y Vergara, 2006).** A diferencia de la programación lineal, el modelado de problemas de programación dinámica no sigue una forma estándar. Así, para cada problema será necesario especificar cada uno de los componentes que caracterizan un problema de programación dinámica. (Quesada y Vergara, 2006). **Siendo así la mayor ventaja de la programación dinámica con respecto a la programación lineal, la flexibilidad para proponer soluciones personalizadas para resolver los problemas.**

Para que un problema pueda ser resuelto con la técnica de programación dinámica, debe cumplir con ciertas características (Goic, 2005):

- **Naturaleza secuencial de las decisiones:** El problema puede ser dividido en etapas.
- **Cada etapa tiene un número de estados asociados a ella.**
- **La decisión óptima de cada etapa depende solo del estado actual y no de las decisiones anteriores.**
- **La decisión tomada en una etapa determina cual será el estado de la etapa siguiente.**

Las estrategias implementadas en la programación dinámica son: *Call Spread Comprado, Call Spread Vendido, Call Ratio Spread, Ratio Call Spread, Spread Mariposa y Mariposa Vendida*. (Ver gráficas en el Anexo I).

La metodología para la realización de la prueba de eficiencia en el mercado de opciones sobre índices se divide en tres etapas: inicialmente se realizan estimaciones de las volatilidades sobre el activo subyacente como es el caso de la volatilidad econométrica y de la volatilidad implícita. La segunda parte desarrolla la selección de las estrategias con opciones basadas en la estimación de la volatilidad. Y por último, se evalúa la prueba de eficiencia del mercado mediante el cálculo de las rentabilidades obtenidas por las estrategias seleccionadas y su posterior comparación con el rendimiento del mercado durante el mismo período.

### **2.1. Primera parte: Estimación de volatilidades sobre el activo subyacente**

Inicialmente, en esta parte de la metodología se realiza el cálculo de las volatilidades econométrica y la volatilidad implícita<sup>‡</sup> tanto sobre el índice BOVESPA como sobre el índice S&P500. Para la estimación de la volatilidad econométrica diaria se utiliza un modelo tipo GARCH (1,1) bajo el criterio de selección de máxima verosimilitud, tal como lo hacen Doidge & Wei (1998). Para cada estimación de la volatilidad econométrica se utiliza una muestra móvil de 252 datos que corresponden a los datos disponibles un año hacia atrás respecto al día

---

<sup>‡</sup> La volatilidad implícita se calcula utilizando la fórmula propuesta por Black & Scholes para opciones sobre índices (1973).

en que se realiza esta estimación. Por su parte, el cálculo de la volatilidad implícita se efectúa mediante el cálculo de un promedio ponderado por volumen de las volatilidades implícitas de las opciones que se encuentran disponibles para negociación, en adelante se define como PPVI. La forma de cálculo del PPVI se presenta en la Ecuación No.1 y se efectúa con base en la estimación de volatilidad implícita que realizan Sehgal & Vijayakumar (2009).

$$PPVI = \sum_{i=1}^n W_{ik} \sigma_{ik} \quad (\text{Ecuación No. 1})$$

Donde:

PPVI: Promedio Ponderado de volatilidades implícitas.

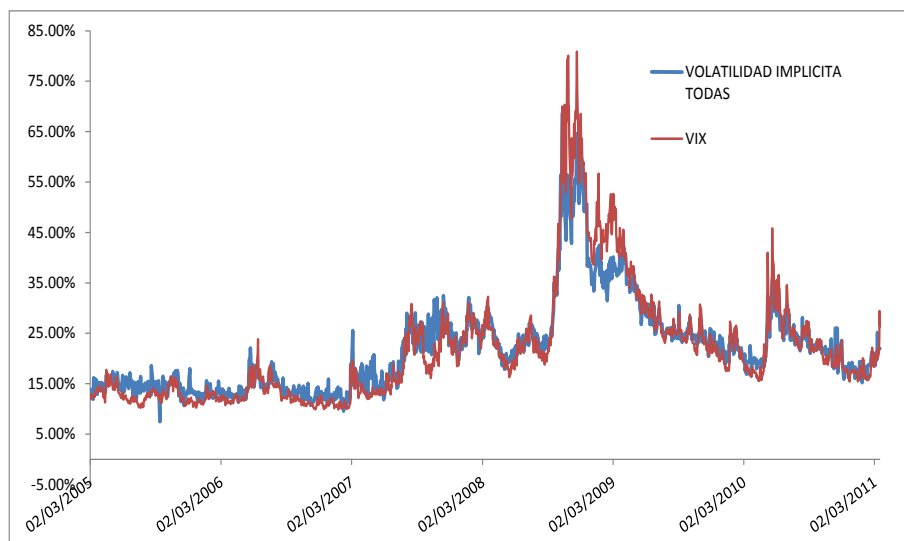
$K$ : Precio de Ejercicio de las opciones

$W_{ik}$ : Porcentaje de contratos negociados en el día  $i$  al precio de ejercicio  $K$ .

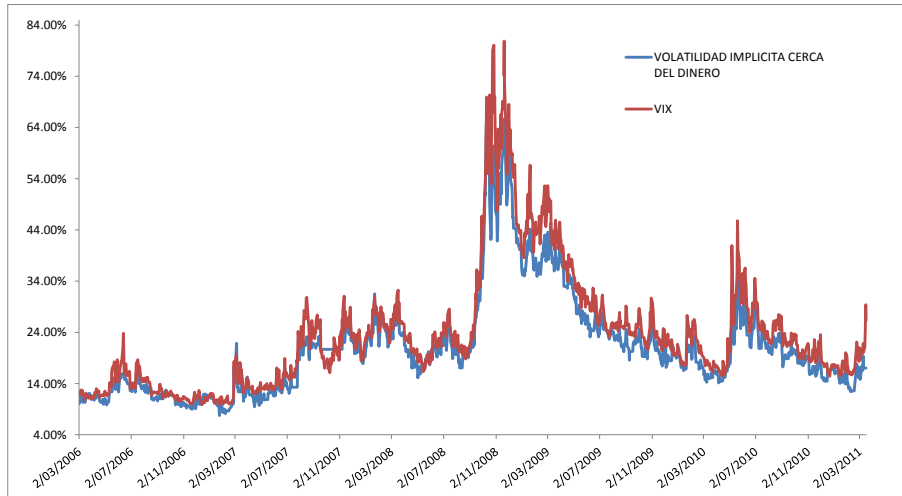
$\sigma_{ik}$ : volatilidad implícita al precio de ejercicio  $K$  en el día  $i$ .

Se recomienda utilizar el PPVI como una buena aproximación en la estimación de la volatilidad implícita de todo el mercado de opciones sobre el índice BOVESPA, mientras que en el caso del índice S&P500, esta estimación no es necesaria ya que se puede utilizar el índice de volatilidad implícita publicado este mercado que se conoce como VIX. La recomendación de utilizar el PPVI para el mercado de opciones sobre el índice BOVESPA se establece ya que en este mercado no existe todavía una estimación de un índice que mida su volatilidad implícita, y las condiciones del mercado no permiten calcularlo con la misma metodología que se utiliza para el VIX en EEUU. Aplicar la metodología de cálculo del VIX en Brasil no es posible debido a la necesidad de utilizar opciones put y call que se encuentren muy cerca al dinero, lo cual no ocurre con las opciones sobre el BOVESPA pues la mayoría de estas poseen precios de ejercicio lejanos al spot, y además en este mercado no existe oferta de opciones put.

Una forma de verificar la buena aproximación que se puede obtener como estimador de la volatilidad implícita del mercado al usar la ecuación del PPVI, consiste en realizar este cálculo para el mercado de opciones sobre el S&P500 y comparar sus resultados con el índice VIX publicado. En la gráficas No.2 y No.3, se puede ver que tanto la PPVI calculada con todas las opciones disponibles del mercado o sólo con las opciones cerca al dinero presentan un buen ajuste al índice VIX. La buena aproximación que tienen ambos cálculos se debe a que las opciones cerca del dinero en este mercado presentan un mayor volumen de negociación y por tanto tienen una mayor ponderación en el cálculo del PPVI. De esta manera, aunque en el mercado de opciones sobre el BOVESPA no existe un índice de volatilidad implícita, el uso del PPVI aparece como una buena aproximación para realizar su cálculo.



Gráfica No.2. Estimación de la volatilidad implícita del S&P500 por promedio ponderado con todas las opciones versus VIX



Gráfica No.3. Estimación de la volatilidad implícita del S&P500 por promedio ponderado con las opciones que se encuentran cerca del dinero versus VIX

Al realizar el cálculo del PPVI para las opciones sobre el BOVESPA en Brasil se obtiene una volatilidad implícita promedio mensual del 9.10% durante el período de la muestra, mientras que para el caso del mercado de opciones sobre el S&P500 el promedio mensual de la volatilidad es inferior al del BOVESPA y corresponde a un 3.95%. (Ver Tabla No.1).

Tabla No.1. Volatilidad implícita promedio estimada para el BOVESPA en Brasil versus el S&P500 para EEUU (2 de Enero de 2009 al 11 de Marzo de 2011)

VOLATILIDAD IMPLÍCITA (PPVI) MENSUAL BRASIL	VOLATILIDAD IMPLÍCITA (VIX) MENSUAL ESTADOS UNIDOS
9.10%	3.95%

**2.2. Segunda parte: Selección de estrategias con opciones basadas en la estimación de la volatilidad**

Las estimaciones de volatilidad econométrica con GARCH (1,1) y PPVI para el mercado, son predictores de la volatilidad que se utiliza para la identificación de las oportunidades de inversión y la posterior construcción de diferentes estrategias óptimas de negociación con opciones. Esta comparación se realiza entre estas predicciones de volatilidad y la volatilidad implícita correspondiente a cada una de las opciones disponibles en el mercado.

Teniendo en cuenta la presencia de las “sonrisas de volatilidad” en el mercado, se espera que las volatilidades implícitas de las opciones sobre el mismo activo subyacente y con el mismo vencimiento sean diferentes. Por ejemplo, se espera que las opciones “en el dinero” tengan una volatilidad implícita inferior respecto a las opciones “dentro del dinero” y “fuera del dinero”. Sin embargo, dadas las limitaciones que se presentan en el mercado de opciones sobre el BOVESPA en Brasil, no será posible tener en cuenta el efecto de estas sonrisas de volatilidad en la selección de las estrategias con opciones basadas en volatilidad.

Se espera que la opción esté sobrevalorada si la volatilidad estimada mediante GARCH (1,1) o PPVI es inferior a la volatilidad implícita de esta opción. Por otro lado, si las volatilidades estimadas son superiores a la implícita en una opción, se esperarí una subvaloración de esta opción en el mercado.

Después de establecer la sub o sobrevaloración de las opciones disponibles en el mercado, se define un horizonte temporal de inversión correspondiente a 7 días. Se parte de que se tiene una liquidez de 1,000 unidades monetarias al inicio de la aplicación de la estrategia. Así se compra el número de contratos de opciones posibles, dada su disponibilidad, y se vende el número de opciones que implique la estrategia.

Se evalúan estrategias con opciones que se basen en las expectativas de aumento o disminución de la volatilidad, que incluyan la compra de las opciones subvaloradas y la venta de las opciones sobrevaloradas. La selección de la estrategia dependerá de si la predicción es mayor o menor a la volatilidad actual del subyacente que corresponde a la volatilidad implícita propia de la opción. Si la predicción de volatilidad por GARCH (1,1) o PPVI es mayor a la volatilidad actual del subyacente, se selecciona solo estrategias del tipo que esperan un aumento en la volatilidad o viceversa.

Del tipo de estrategias a elegir, dadas las expectativas del mercado, la estrategia óptima para invertir en el horizonte de 7 días será aquella que presente una mayor razón ganancia máxima esperada sobre pérdida máxima esperada. Se espera, por

tanto, que para seleccionar la estrategia esta razón sea mayor que 1 (Ver Ecuación No.2)

**Razón selección estrategia óptima = (Ganancia Máxima / Pérdida Máxima)**

(Ecuación No. 2)

Si la pérdida esperada de la estrategia no es negativa, es decir, si no hay pérdida esperada, es porque se presenta una oportunidad de arbitraje en ese día. Por lo tanto, ésta sería la estrategia óptima a utilizar por encima de aquella que tenga la razón ganancia máxima / pérdida máxima con el mayor valor. Esta estrategia se seguirá implementando siempre y cuando las opciones a comprar continúen subvaloradas y las opciones a vender sigan sobrevaloradas al día siguiente después de tomar la decisión de inversión.

Una opción implicada en la estrategia óptima se compra si sigue estando subvalorada en el momento de su ejecución, y se vende en dicho período, si continúa sobrevalorada respecto al pronóstico de volatilidad. Al construir una estrategia, se toman posiciones cortas siempre y cuando se hayan tomado todas las posiciones largas necesarias para construir la estrategia. Esto se debe a que si en la estrategia prevalecen posiciones cortas es posible que se obtengan pérdidas ilimitadas dado que las estrategias sólo es posible construirlas con opciones tipo *Call*.

Para evaluar las estrategias en este mercado es necesario diferenciar 2 tipos de pruebas: *ex post* y *ex ante*. Para la prueba *ex post* se asume que una estrategia con opciones puede ser ejecutada al mismo precio al que se identifica la oportunidad de negociación. Por otro lado, la prueba *ex ante* sugiere que la estrategia se ejecuta con los precios siguientes disponibles después de haberse identificado dicha estrategia. En este trabajo, se utilizan pruebas *ex ante* debido a que estas se ajustan más a la realidad de los mercados de opciones.

En la prueba *ex ante* se identifican las opciones para la construcción de una estrategia utilizando los precios de cierre siguientes que se encuentran disponibles en el mercado. Si no es posible negociar alguna de las opciones, que hacen parte

de la estrategia, se busca ejecutarla en la fecha siguiente, siempre y cuando esta negociación se encuentre dentro de los próximos 7 días al inicio de la estrategia. Al finalizar estos 7 días se procede a liquidar todas las posiciones de la estrategia. Ante esta situación es posible que algunas estrategias no se realicen completamente por falta de liquidez en el mercado. En caso de que existan opciones que no puedan ser liquidadas en ese momento se procede a liquidar al siguiente precio disponible. Si las opciones que componen la estrategia vencen antes del período de 7 días, se procede a considerar el ejercicio de las posiciones largas y a responder o no por las posiciones cortas. Es decir, no existe en este caso liquidación por diferencias.

Este procedimiento se sigue realizando, mediante el uso de programación dinámica, durante todo el período de la prueba. Para un mayor entendimiento del algoritmo que se utiliza para la toma de decisiones en la negociación con opciones, en el Anexo III se presenta un diagrama de flujo que explica el proceso que se sigue para la selección de estrategias óptimas, tal como se ha descrito en esta sección.

### **2.3. Tercera parte: Pruebas de Eficiencia del Mercado**

Para la realización de las pruebas de eficiencia del mercado se realizan dos aproximaciones tanto para el BOVESPA en Brasil como el S&P500 en EEUU. Estas pruebas se detallan a continuación:

**Primera prueba:** Consiste en una comparación de los rendimientos obtenidos con las estrategias óptimas que se negociaron, utilizando como criterio la volatilidad econométrica GARCH (1,1), y con los rendimientos obtenidos usando el criterio de la volatilidad implícita del mercado, es decir, PPVI para Brasil y VIX para EEUU. Dentro de estas estrategias se supone el uso de un capital inicial correspondiente a 1000 unidades monetarias. En esta prueba, se espera una ineficiencia en el mercado siempre y cuando los rendimientos obtenidos con las estrategias óptimas seleccionadas bajo el criterio de volatilidad econométrica sean

superiores a los obtenidos en aquellas seleccionadas con base en la volatilidad implícita.

**Segunda Prueba:** Se calculan los retornos semanales para las estrategias, con un capital inicial en cada período de 1000 unidades monetarias. Se realiza una regresión de estos retornos respecto a los rendimientos del índice (BOVESPA o S&P500) para evaluar la posibilidad de que los retornos de las estrategias no posean un riesgo sistemático y, por tanto, puedan generarse utilidades por encima del mercado que sean libres de riesgo. Se espera que la existencia de utilidades libres de riesgo en estas estrategias de negociación sea una muestra de ineficiencia en el mercado.

El promedio diario de beneficios de las estrategias con opciones se analiza para determinar si sus retornos están correlacionados con los retornos del mercado subyacente, y si son significativamente diferentes de cero. Una correlación cercana a cero significará que los beneficios en la negociación con opciones no poseen algún riesgo sistemático y pueden, por tanto, ser considerados como retornos libres de riesgo. La existencia de retornos libres de riesgo implica la ineficiencia en el mercado de opciones. Al obtener rentabilidades ya sea con estrategias de opciones o invirtiendo en el índice, para poder hacer comparables estos dos tipos de inversiones, se hace necesario medir el riesgo en el cual se incurrió para realizar dichas rentabilidades, por lo cual se propone una razón que compare la rentabilidad versus el riesgo propio de la inversión.

### **3. Resultados empíricos**

Los resultados obtenidos al utilizar los datos de precios de cierre y volúmenes de las opciones en los mercados de Brasil y EEUU, y al aplicar la metodología propuesta en este trabajo, mediante el uso de programación dinámica, se presentan en la presente sección. En esta sección se presentan los resultados obtenidos en el análisis de los diferentes predictores de volatilidad, en segunda

instancia se analizan los resultados provenientes de implementar la metodología propuesta y sus posteriores pruebas de eficiencias.

### 3.1. Predicción de volatilidad

Inicialmente, se realiza una comparación de la capacidad de pronóstico de diferentes estimaciones de volatilidad sobre los índices BOVESPA y S&P500. Para ello se evalúan las estimaciones por volatilidad histórica, volatilidad econométrica con GARCH (1,1), y volatilidad implícita con PPVI y VIX (sólo para el caso de S&P500). El poder de pronóstico en estas estimaciones se evalúa mediante la comparación de estas respecto a la volatilidad real en un período de 7 días que corresponde a la duración de la estrategia de inversión. Esta comparación en los pronósticos se realiza mediante el cálculo de los indicadores *MAE (Mean Average Error)*, *MAPE (Mean Absolute Percentage Error)* y *RMSE (Root Mean Square Error)*. En la Tabla No.2, se presentan los resultados para el mercado de Brasil sobre el índice BOVESPA y en la Tabla No.3 se presentan estos resultados para el índice S&P500 en Estados Unidos.

Tabla No.2. Evaluación Estadística de los Pronósticos de Volatilidad sobre el índice BOVESPA (Brasil)

Evaluación Estadística de los Pronósticos de Volatilidad sobre índice BOVESPA			
Pronóstico	MAE	MAPE %	RMSE
Volatilidad Histórica	0.0209	28.21%	0.0277
GARCH(1,1)	0.0219	32.16%	0.0271
PPVI OD	0.0239	38.41%	0.0284
PPVI CD	0.0309	47.60%	0.0372
MAE: Mean Absolute Error			
MAPE: Mean Absolute Percent Error			
RMSE: Root Mean Square Error			
CD: con opciones cerca al dinero			
OD: con todas las opciones disponibles			

Tabla No.3. Evaluación Estadística de los Pronósticos de Volatilidad sobre el índice S&P500 (Estados Unidos)

Evaluación Estadística de los Pronósticos de Volatilidad de USA			
Pronóstico	MAE	MAPE %	RMSE
Volatilidad Histórica	0.0659	33.26%	0.1037
GARCH(1,1)	0.0658	27.56%	0.1154
Volatilidad Implícita	0.0571	30.16%	0.0939
VIX	0.0655	10.31%	0.0369
MAE: Mean Absolute Error			
MAPE: Mean Absolute Percent Error			
RMSE: Root Mean Square Error			

De esta primera aproximación, se observa que en el mercado de Brasil, las estimaciones por volatilidad histórica y econométrica presentan una mejor capacidad de pronóstico que la ofrecida por la volatilidad implícita en las opciones sobre el índice BOVESPA (Ver Tabla No.2). Lo anterior sugiere una posible ineficiencia de este mercado de opciones, ya que se espera que sea posible tener mejores estimaciones de volatilidad al usar información histórica del índice BOVESPA que la estimación implícita ofrecida por el mercado mediante la valoración de las opciones sobre el índice que se encuentran en negociación. Para el caso del mercado de opciones sobre el índice S&P500, las estimaciones de volatilidad ofrecidas por la volatilidad implícita presentan el mejor pronóstico respecto a las demás estimaciones. Lo anterior sirve de indicio para argumentar una mayor eficiencia en el mercado de opciones sobre el S&P500 (Ver Tabla No.3).

Si se realiza una comparación entre los pronósticos de volatilidad de ambos índices se observa que para el índice BOVESPA los errores en general (*MAE* y *RMSE*) son menores que para el índice S&P500. En el caso de la volatilidad histórica y econométrica, podría deberse a la composición de dichos índices, ya que se esperaría que hubiese más dificultad en la predicción de la volatilidad de un índice compuesto por una mayor cantidad de acciones como es el caso del S&P500.

En el caso del PPVI, se observa que sigue siendo menor el error en la predicción para el BOVESPA que para el S&P500. Esto podría explicarse dado que para el cálculo del PPVI en Brasil se utiliza la totalidad de las opciones, mientras que para

el mercado de EEUU se utilizan solo las opciones *Call*. Por lo tanto, en el mercado de EEUU se deja una gran porción de opciones sin considerar que son las opciones *Puts*, lo que puede estar influenciando en que se tenga una mejor predicción con el PPVI en Brasil que en EEUU. Sin embargo, como se mostró gráficamente en un apartado anterior, la tendencia del PPVI en EEUU es similar a la del VIX, aunque exista un error de ajuste (Ver gráficas No.2 y No.3).

### 3.2. Pruebas de eficiencia de los mercados de opciones sobre índices

#### Primera prueba de eficiencia:

Esta prueba consiste en comparar los rendimientos obtenidos con las estrategias óptimas que se negociaron con los rendimientos obtenidos con los índices. Inicialmente se evalúan el número de estrategias exitosas de estas estrategias, es decir, aquellas que generaron rentabilidades positivas. En segunda instancia, se analiza la relación rentabilidad/riesgo obtenidos al implementar estas estrategias.

En la Tabla No.4, se presenta el número de veces en que las estrategias con opciones seleccionadas fueron exitosas dependiendo del criterio de decisión, y se comparan con el número de veces en que haber invertido en el índice haya sido exitoso.

Tabla No.4. Estrategias Exitosas versus inversiones en el índice exitosas

Rentabilidad versus Riesgo		
Predictor	Estrategias Exitosas	Inversiones en el índice exitosas
VIX USA	35	48
GARCH(1,1) USA	16	21
PPVI Brasil	9	12
GARCH(1,1) Brasil	7	3

En EEUU, las inversiones en el índice fueron, en general, más exitosas que las inversiones en las estrategias con opciones utilizando tanto el VIX como el GARCH (1,1) como predicción de la volatilidad. Esto sugiere que para un inversionista hubiese sido mejor invertir directamente en el índice S&P500 que en

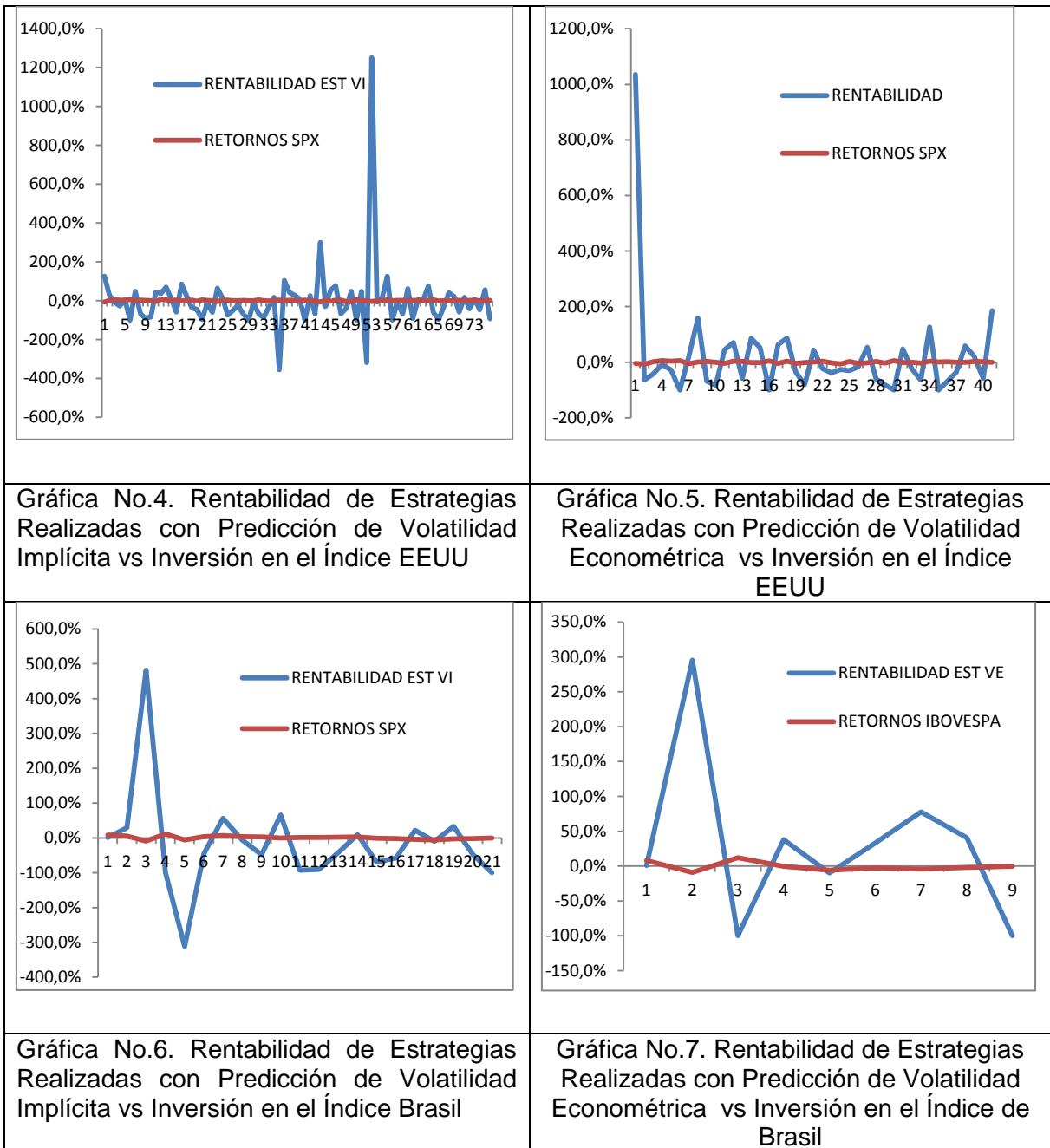
estrategias óptimas con opciones durante el tiempo de la muestra. Si se comparan el número de estrategias exitosas entre las predicciones del VIX y GARCH(1,1), fueron de 35 y 16 respectivamente. Lo anterior sugiere, que es posible tener mejores resultados al invertir en estrategias con opciones con base en la volatilidad implícita (VIX) que mediante estimaciones econométricas de probabilidad. Lo anterior sugiere la existencia de eficiencia en el mercado de opciones sobre el S&P500, debido a que es posible obtener mejores resultados con base en la información suministrada con el mercado que con predicciones econométricas que se basan en información histórica.

En el mercado Brasileiro las inversiones en el índice BOVESPA, en general, fueron más exitosas que las inversiones en las estrategias con opciones utilizando el PPVI como predicción, sin embargo, el número de estrategias exitosas es mayor que el de las inversiones en el índice al utilizar el GARCH(1,1) como predicción de la volatilidad. Cabe aclarar que el número de veces en que fue óptimo invertir en estrategias con opciones no es suficiente para realizar conclusiones, ya que este fue menor a 30 observaciones. Esto se explica por la baja liquidez que tiene este mercado lo cual dificulta la realización efectiva de las estrategias de inversión con opciones.

El conteo de las inversiones exitosas, que resultaron de la implementación de las estrategias óptimas de inversión con opciones con base en los predictores de volatilidad, comienza a dar indicios de la eficiencia o no de estos mercados de opciones. Sin embargo, se hace necesario analizar los rendimientos que se obtendrían al aplicar dichas estrategias, durante el período de la muestra.

En las gráficas No.4, 5, 6 y 7, se presentan las rentabilidades obtenidas al implementar las estrategias óptimas con opciones sobre el S&P500 y el BOVESPA, al utilizar criterios de volatilidad implícita y econométrica. Inicialmente se observa una mayor variabilidad de las rentabilidades obtenidas mediante las estrategias con opciones que con el índice. Esta variabilidad puede ser tan grande que es posible observar retornos de más del 1000% en el caso de las estrategias con opciones sobre el S&P500, o de más del 500% en estrategias con opciones

sobre el índice BOVESPA. Una explicación de estos retornos excesivos se explica en el Anexo II.



Como se puede ver en estas gráficas, existe una mayor volatilidad en los retornos de las estrategias con opciones respecto a los obtenidos al invertir directamente en el índice dentro de un intervalo de duración de 7 días entre el inicio y fin de

cada estrategia. Estas diferencias permiten determinar que no sea posible realizar una comparación directa entre estos niveles de rentabilidades, ya que el nivel de riesgo al cual se expone un inversionista al tomar estrategias con opciones es muy alto si se compara con invertir directamente en el índice. Por tal motivo se hace necesario evaluar una razón que relacione la rentabilidad con el riesgo, medido como la desviación estándar, para así tener un mejor argumento en la determinación de la eficiencia de estos mercados.

En la Tabla No.5 se realiza el cálculo del ratio de rentabilidad/riesgo para las estrategias con opciones, y para el índice del mercado durante el tiempo en que se realizaron estas inversiones.

Tabla No.5. Comparación Rentabilidad versus Riesgo

Rentabilidad versus Riesgo						
Predictor	Rentabilidad Estrategias	Riesgo Estrategias	Rentabilidad / Riesgo	Rentabilidad Índice	Riesgo Índice	Rentabilidad / Riesgo Índice
VIX USA	-0.13%	169.41%	(0.00)	0.61%	2.67%	0.23
GARCH(1,1) USA	18.43%	178.28%	0.10	-0.08%	3.45%	(0.02)
PPVI Brasil	-15.37%	139.29%	(0.11)	0.82%	5.05%	0.16
GARCH(1,1) Brasil	30.70%	116.85%	0.26	-0.51%	6.67%	(0.08)

Tanto en el mercado de EEUU como en el de Brasil, la rentabilidad que se obtiene con las estrategias utilizando volatilidad implícita como predictor no justifica el riesgo que se toma ya que la razón rentabilidad/riesgo es negativa e igual a -0.001 para el S&P500 y -0.11 para el BOVESPA. Si estas razones se comparan con la obtenida al invertir directamente en los índices, los resultados son inferiores pues para los índices los resultados son de 0.23 para el S&P500 y 0.16 para el BOVESPA. Sin embargo, en el caso de las estrategias óptimas implementadas con base en la estimación de volatilidad por GARCH (1,1) se obtiene una mejor razón rentabilidad/riesgo de 0.10 para el S&P500 y 0.26 para Brasil, mientras que en el índice es negativa e igual a -0.02 y -0.08 respectivamente.

Como resultado del análisis de esta primera prueba de eficiencia, en el mercado de opciones sobre el S&P500 no es posible determinar si el mercado es eficiente o no. Se puede sugerir cierta eficiencia del mercado, dado que el número de

estrategias exitosas al utilizar como criterio la información suministrada por el mercado, mediante el VIX, es mayor al número de resultados exitosos que el de las estrategias desarrolladas con base en la estimación econométrica, sin embargo estos resultados son inferiores al número de eventos exitosos que se obtendrían al invertir en el mercado directamente. Contrario a lo anterior, cuando se analiza la razón rentabilidad/riesgo para este mercado se observa que se obtiene una mejor razón con base en la estimación GARCH(1,1) en lugar del VIX, lo cual sugiere ineficiencia de este mercado. Esta inconsistencia puede ser explicada porque el VIX incluye tanto opciones call y put para su cálculo, mientras que la selección de las estrategias con opciones se seleccionan sólo con base en opciones call, esta falta de información en la selección de estrategias puede llevar a concluir que este mercado sea ineficiente. Otra posible explicación de esta ineficiencia en el mercado se encuentra en la no consideración de costos de transacción.

En el caso del mercado de opciones sobre el índice BOVESPA en Brasil, se obtienen mejores resultados al tomar decisiones de inversión en opciones utilizando el criterio GARCH (1,1) como estimador de la volatilidad, tanto en número de estrategias exitosas por encima del número del mercado; además de los resultados de la razón rentabilidad/riesgo. Esto sugiere la existencia de ineficiencia en el mercado de opciones sobre el índice BOVESPA; aunque es necesario aclarar que, debido a la baja liquidez de este mercado, el número de observaciones que se obtuvieron mediante la aplicación de estrategias exitosas no es alto (inferior a 30), y por tanto, no se pueden tener conclusiones definitivas.

## Segunda prueba de eficiencia:

La segunda prueba de eficiencia del mercado de opciones consiste en realizar una una regresión de los rendimientos de las estrategias con opciones, como variable dependiente, y de los rendimientos del índice (BOVESPA o S&P500) como variables independientes. Esta regresión busca evaluar la posibilidad de que los retornos de las estrategias no posean un riesgo sistemático y, por tanto, es posible obtener utilidades por encima del mercado que sean libres de riesgo. Se espera que la existencia de utilidades libres de riesgo en estas estrategias de negociación sea una muestra de ineficiencia en el mercado.

En la Tabla No.6 se presentan los resultados correspondientes a estas regresiones.

Tabla No.6. Resultados de las regresiones de los predictores

RENTABILIDAD ESTRATEGIAS versus ÍNDICE					
Predicción	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.	R <sup>2</sup>
PPVI USA	-21.1620	6.9593	-3.0408	0.0033	0.1111
GARCH(1,1) USA	-11.4906	8.0692	-1.4240	0.1624	0.0494
PPVI BRASIL	-6.8336	6.1334	-1.1142	0.2791	0.0613
GARCH(1,1) BRASIL	-13.3435	98.4878	-0.1355	0.9143	0.0180

En el caso del índice S&P500 en EEUU, al realizar la regresión de los retornos obtenidos bajo el criterio de la PPVI se observa un p-value inferior a 0.05, lo que sugiere un rechazo de la hipótesis nula, y por tanto, se espera que la rentabilidad de las estrategias con opciones dependa de la rentabilidad obtenida en el índice S&P500 para el período en que se realizaron estas inversiones. Por otro lado, según la regresión GARCH (1,1) en EEUU, la rentabilidad de las estrategias no depende de la rentabilidad de las inversiones en el índice utilizando la volatilidad econométrica como predicción. Lo anterior muestra que la posibilidad de obtener rentabilidades por encima de las del mercado si se utiliza la estimación de volatilidad econométrica, lo que sugiere, ineficiencia de este mercado, sino se consideran costos de transacción.

En cuanto a la regresiones de los retornos de las estrategias seleccionadas con base en el PPVI y en el GARCH (1,1) en Brasil respecto a los rendimientos del índice BOVESPA, el p-valor es superior al 0.05 y, por tanto, no es posible rechazar la hipótesis nula lo que sugiere que existe independencia entre estos rendimientos respecto a los del índice. Lo anterior sugiere la existencia de un mercado de opciones ineficiente para las opciones sobre el índice BOVESPA, al no incluirse costos de transacción.

Los resultados de esta prueba permiten ratificar los obtenidos en la primera prueba de eficiencia que se realiza en esta sección.

#### **4. Conclusiones**

En el mercado de opciones sobre el S&P500 en EEUU, al implementar la metodología propuesta en este estudio, no es posible concluir si existe o no eficiencia de este mercado. Esta conclusión se obtiene debido a que al hacer diferentes pruebas los resultados no fueron consistentes entre la eficiencia o no del mercado. Este resultado es contrario al obtenido por Ackert & Tian (2000) el cual apoya la hipótesis de eficiencia del mercado de opciones sobre el S&P500. Sin embargo, existen diferencias entre estos estudios que pueden explicar estos resultados. Dentro de estas diferencias cabe mencionar el hecho que en este estudio se evaluaron diferentes estrategias con opciones mientras que Ackert & Tian (2000) sólo evalúan los Box Spreads; otra diferencia corresponde a que estos autores consideran costos de transacción, mientras que en este estudio no se consideran debido a las dificultades en el manejo de un gran volumen de información que fueron explicadas en la descripción y análisis de datos; y una última diferencia radica en que en este estudio sólo se evalúan estrategias con opciones call, con el fin de ser comparable con el mercado de Brasil, dejando a un lado las opciones put cuyo volumen de negociación corresponde casi a la mitad del total transado en este mercado.

Sin embargo, en el caso del mercado de opciones sobre el índice BOVESPA en Brasil, es posible concluir ineficiencia de este mercado, dados los resultados obtenidos en las dos pruebas que se realizaron en este estudio. Cabe aclarar que se presentaron dificultades para el análisis de la eficiencia en este mercado como la falta de liquidez y el hecho que las opciones que presentan mayor volumen de negociación tienen precios de ejercicios que se encuentran muy lejos del precio spot del índice. En Colombia queda abierta la posibilidad de realizar una prueba de eficiencia cuando en dicho mercado se empiecen a negociar opciones sobre el índice COLCAP en el mercado estandarizado, con el suficiente volumen para poder realizar estrategias con opciones. En este momento se ha dado un gran paso al poder disponer de un ETF que replica el COLCAP. Sin embargo, se espera que en el país al inicio de las negociaciones de contratos de opciones sobre el índice se presente poca liquidez, lo cual podría dificultar la realización de estrategias y al igual que en Brasil, presentarse negociaciones de opciones lejos del dinero. Asimismo, por ser Colombia un país emergente, la volatilidad del mercado puede ser mayor que la de un mercado más desarrollado como el de EEUU.

Este estudio ha sido una primera aproximación de comparar la hipótesis de eficiencia en un mercado emergente y un mercado desarrollado, al usar una selección óptima de estrategias de inversión con opciones sobre índices mediante el uso de programación dinámica. En un futuro se espera realizar un nuevo estudio que incluya costos de transacción, mediante la incorporación de precios Bid y Ask, además de poder utilizar estrategias que incluyan opciones call y put en los mercados de opciones sobre índices en Latinoamérica. Para lograr esto, se necesita un mayor desarrollo de estos mercados, en cuanto a mayores volúmenes de negociación, lo que garantice una mayor liquidez al momento de implementar las estrategias escogidas.

## REFERENCIAS

Ackert, L. & Tian, Y. (2000). Evidence on the efficiency in index options markets. *Economic Review, Federal Reserve Bank of Atlanta*. 85 (1), 40-52.

Fama, E. (1965). Random walks in stock market prices. *Financial Analysts Journal*, 21 (5), 55-59.

Black, F. & Scholes, M. (1972). The valuation of option contracts and a test of market efficiency. *Journal of Finance* , 27 (1), 399-417.

Black, F. & Scholes, M. (1973). The pricing of options and corporate liabilities. *Journal of Political Economy*, 81 (3), 637-654.

Finnerty, J. (1978). The Chicago Board Options Exchange and market efficiency. *Journal of Financial and Quantitative Analysis* , 13 (1), 29-38.

Brunetti, M. & Torricelli, C. (2005). Put-call parity and cross-markets efficiency in the index options market: evidence from the Italian market. *International Review of Financial Analysis*. 14 (5), 508-532.

Brunetti, M. & Torricelli, C. (2007). The internal and cross market efficiency in index option markets: an investigation of the Italian market. *Applied Financial Economics*. 17 (1), 25-33.

Cassese, G. & Guidolin, M. (2006). Modelling the implied volatility surface: Does market efficiency matter?: An application to MIB30 index options. *International Review of Financial Analysis*. 15 (2), 145-178.

Claessen, H. & Mittnik, S. (2002). Forecasting stock market volatility and the informational efficiency of the DAX-index options market. *European Journal of Finance*. 8 (3), 302-321.

Doidge, C. & Wei, J. (1998). Volatility forecasting and the efficiency of the Toronto 35 index options market. *Canadian Journal of Administrative Sciences*. 15 (1), 28-38.

Goic, Marcel F. (2005). Programación Dinámica. Universidad de Chile, Santiago – Chile. 1-9.

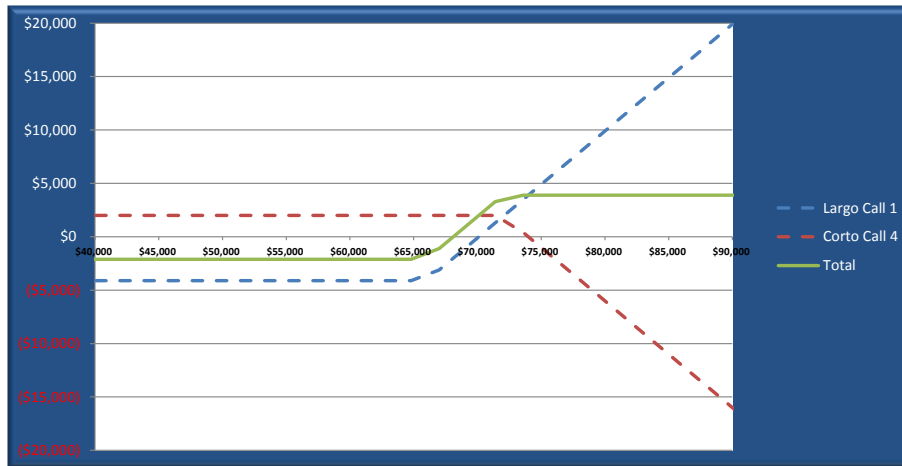
Howard, R. (1966). Dynamic Programming. *Management Science*. 12 (5), 317-348.

Quesada, Víctor Manuel y Vergara, Juan Carlos. (2006). Análisis Cuantitativo con WINQSB, Universidad de Cartagena, Colombia. 1-156.

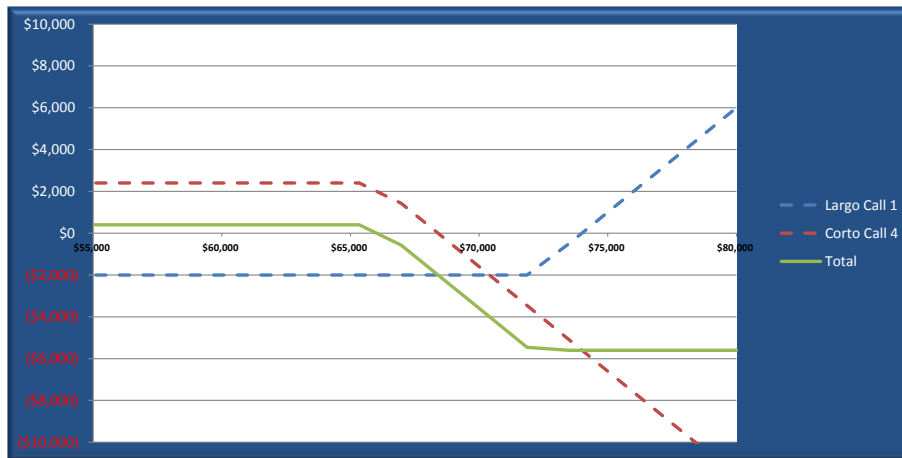
Sehgal, S. & Vijayakumar, N. (2009). Test of pricing efficiency of the indian index options market. *International Journal of Business and Society*. 10 (1), 74-86.

**Anexo I. Estrategias de inversión con opciones utilizadas en el estudio**

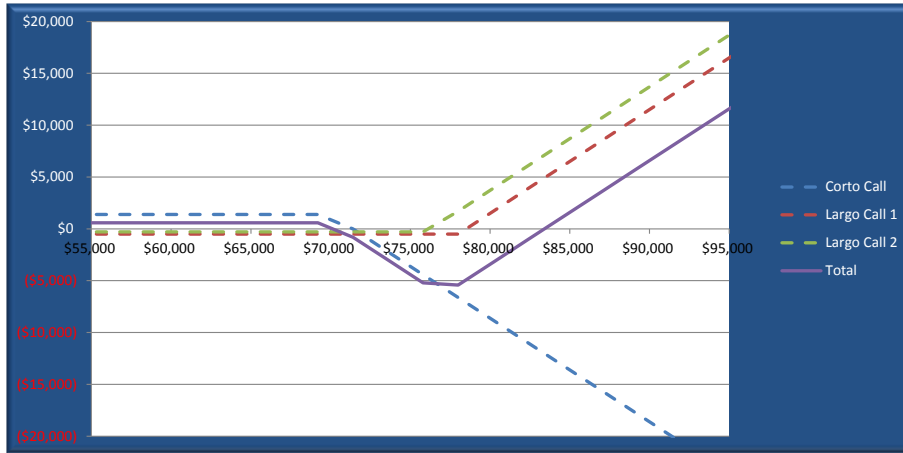
**CALL SPREAD COMPRADO**



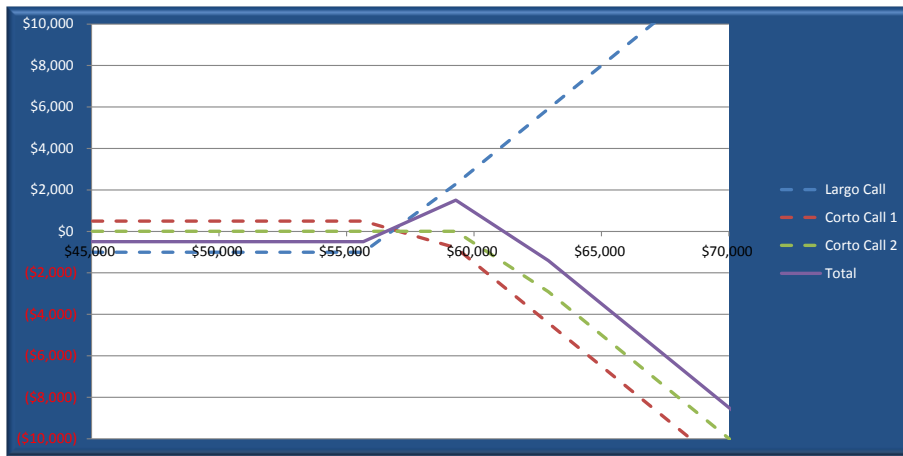
**CALL SPREAD VENDIDO**



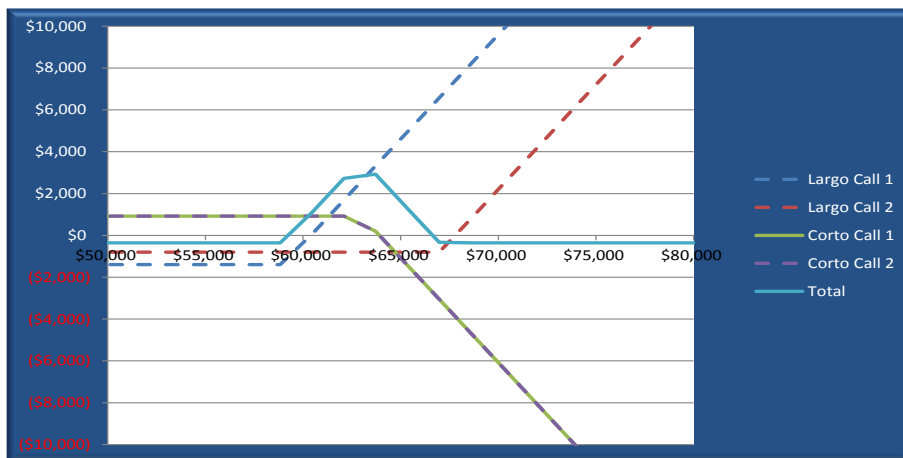
**CALL RATIO SPREAD**



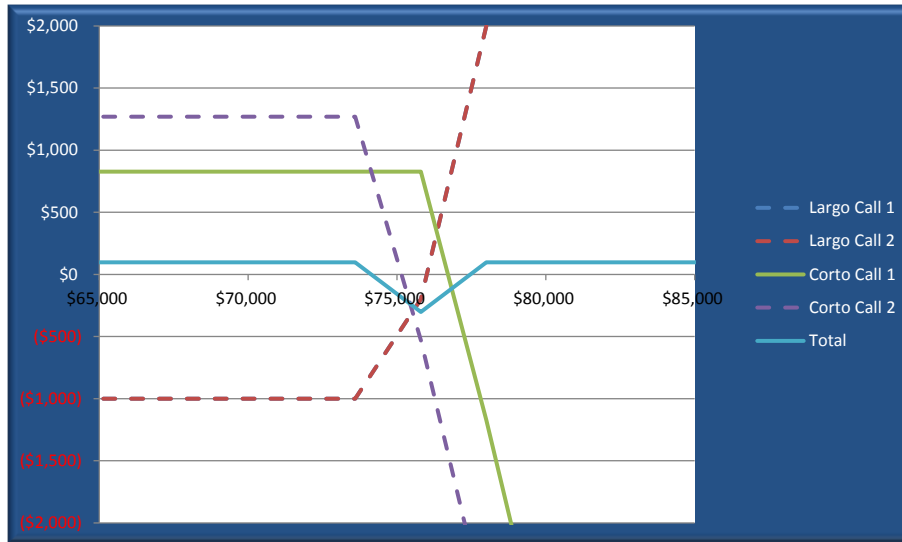
**RATIO CALL SPREAD**



**SPREAD MARIPOSA**



## MARIPOSA VENDIDA



### Anexo II. Análisis de rendimientos excesivos al implementar estrategias de inversión de opciones

#### Detalle de transacción extraordinaria EEUU

<b>CAPITAL INICIAL</b>	1000						
<b>TOMA DE POSICIÓN</b>							
SPOT	1079					PREDICCIÓN VOLATILIDAD	26.24%
<b>POSICION LARGA</b>							
<b>CONTRATO</b>	<b>PRECIO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>FECHA</b>	<b>VALOR</b>	<b>VOLATILIDAD IMPLICITA</b>	<b>LEJOS DEL DINERO</b>	
SPX US 09/18/10 C1190 Index	0.7	1,429	16/08/2010	1000	17.58%	110.62	
<b>POSICION CORTA</b>							
<b>CONTRATO</b>	<b>PRECIO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>FECHA</b>	<b>VALOR</b>	<b>VOLATILIDAD IMPLICITA</b>	<b>LEJOS DEL DINERO</b>	
SPX US 09/18/10 C975 Index	108	1,429	16/08/2010	154,332	28.84%	104.38	
<b>CIERRE DE POSICION</b>							
SPOT	1072						
<b>POSICION LARGA</b>							
<b>CONTRATO</b>	<b>PRECIO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>FECHA</b>	<b>VALOR</b>	<b>VOLATILIDAD IMPLICITA</b>	<b>LEJOS DEL DINERO</b>	
SPX US 09/18/10 C1190 Index	0.2	1,429	20/08/2010	286	17.80%	118.31	
<b>POSICION CORTA</b>							
<b>CONTRATO</b>	<b>PRECIO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>FECHA</b>	<b>VALOR</b>	<b>VOLATILIDAD IMPLICITA</b>	<b>LEJOS DEL DINERO</b>	
SPX US 09/18/10 C975 Index	98.75	1,429	40410	141,114	30.79%	96.69	

→ SUB VALORADA

→ SOBRE VALORADA

## Resultados de la estrategia

<b>UTILIDAD POSICION LARGA</b>
-715
<b>UTILIDAD POSICION CORTA</b>
13,218
<b>UTILIDAD TOTAL</b>
13,504
<b>RENTABILIDAD</b>
1250%

En este caso se obtuvo una rentabilidad de 1250%, partiendo de tomar posiciones largas en un contrato muy subvalorado con respecto a la predicción de volatilidad y tomado posiciones cortas en un contrato muy sobrevalorado con respecto a dicha predicción.

### Anexo III. Diagrama de Flujo para construcción de estrategias con opciones

