



FACULTAD DE CIENCIAS CONTABLES, ECONÓMICAS Y FINANCIERAS
ESCUELA PROFESIONAL DE ECONOMÍA

**MODELO DE PROYECCIÓN PARA LA CURVA DE
RENDIMIENTO DE LOS BONOS SOBERANOS PERUANOS
2006-2016**

**PRESENTADA POR
DANIEL MANUEL CORBETTO GALDOS**

**ASESOR
SANTIAGO MONTENEGRO CANARIO**

**TESIS
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE ECONOMISTA**

LIMA – PERÚ

2019



CC BY

Reconocimiento

El autor permite a otros distribuir y transformar (traducir, adaptar o compilar) a partir de esta obra, incluso con fines comerciales, siempre que sea reconocida la autoría de la creación original

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



**FACULTAD DE CIENCIAS CONTABLES, ECONÓMICAS Y FINANCIERAS
ESCUELA PROFESIONAL DE ECONOMÍA**

**MODELO DE PROYECCION PARA LA CURVA DE RENDIMIENTOS
DE LOS BONOS SOBERANOS PERUANOS 2006 - 2016**

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE ECONOMISTA

PRESENTADO POR:

DANIEL MANUEL CORBETTO GALDOS

LIMA – PERÚ

2019

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación
a mi familia, a mis profesores
y compañeros de universidad.

Portada	i
Dedicatoria.....	ii
ÍNDICE.....	iii
RESUMEN – ABSTRACT.....	v
INTRODUCCIÓN.....	vii
CAPITULO I MARCO TEÓRICO	
1.1 Antecedentes de la Investigación.....	1
1.2 Bases Teóricas.....	2
1.2.1 Modelos de Estructura Dinámicos de tasas de interés.....	2
1.2.2 Modelo de Vasicek.....	3
1.2.3 Modelo de Cox – Ingersoll – Rox (CIR).....	7
1.2.4 Modelos Paramétricos de tasas de interés.....	8
1.2.5 Modelo de Nelson – Siegel	9
1.2.6 Modelo de Nelson – Siegel – Svensson.....	10
1.2.7 Modelo Dinámico de Nelson – Siegel.....	11
1.3 Términos Técnicos.....	12
CAPITULO II HIPOTESIS Y VARIABLES	
2.1 Formulación de Hipótesis.....	13
2.1.1 Hipótesis Principal.....	13
2.1.2 Hipótesis Secundaria.....	13
2.2 Variables y definición Operaciones.....	14
2.2.1 Variables Independientes.....	14
2.2.1 Variables dependientes.....	14
CAPITULO III METODOLOGÍA	
3.1 Diseño Metodológico.....	14
3.1.1 Tipo de Investigación.....	14
3.2 Diseño Muestral.....	15
3.3 Técnicas de Recolección de datos.....	16
3.4 Técnicas estadísticas para el procesamiento de la información.....	17
3.5 Aspectos Éticos.....	17
CAPITULO IV RESULTADOS	18
CAPITULO V DISCUSION.....	49
CONCLUSIONES	50

RECOMENDACIONES.....	51
FUENTES DE INFORMACIÓN.....	52
ANEXOS.....	54

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo de investigación fue generar un modelo paramétrico que permita realizar proyecciones de la curva de rendimientos soberana Peruana en Soles, para el periodo comprendido entre los años 2006 y 2016, utilizando la metodología de Nelson & Siegel Dinámico.

La elección de un modelo paramétrico, por sobre los modelos univariados de primera generación (Vasicek, Cox – Ingerson – Roll), se sustenta en la flexibilidad que ofrecen para la caracterización de las curvas de rendimiento y en la posibilidad de implementarlo en mercado de baja liquidez, como es el caso peruano.

Los resultados obtenidos fueron contrastados con los datos observados, mostrándose un alto poder de predicción del modelo estimado, explicado en un poder de predicción de 91% en promedio, principalmente para los tramos cortos de la curva de rendimiento, donde el poder de predicción llega hasta picos de 97%. Debido a los resultados obtenidos, se valida el modelo estimado para la utilización en la toma de decisiones financieras tanto en el caso Peruano como en otros mercados que tengan características similares a este tipo de mercados.

Palabras claves: Mercado de Capitales, Renta Fija, Curva de Rendimientos, Nelson – Siegel.

ABSTRACT

The aim of this research project has been to provide a parametric model, using Nelson & Siegel methodology, in order to project the Sovereign Yield Curve of Peruvian Bonds in local currency, for the period between the years 2006 y 2016.

The choice of a Parametric Model, over the first generation univariate models (Vasicek, Cox – Ingerson – Roll), it's sustained on the flexibility they offer for the characterization of yield curves, and in the possibility of implementing it in a illiquidity market, like the Peruvian.

The obtained results were contrasted with the observed data, showing a high explanatory power in the estimated model in 91% in average, mostly for the short term of the yield curve, with an explanatory power with spikes of 97%. Due to the results obtained, the estimated model is validated for use in making financial decisions, both in the Peruvian case and in other markets that have similar characteristics to this type of markets.

Keywords: Capital Markets, Fixed Income, Yield Curve, Nelson – Siegel.

INTRODUCCION

La curva de rendimientos soberana es la representación gráfica de la relación existente entre las tasas de interés y el tiempo al vencimiento de los Bonos Soberanos emitidos por el Gobierno Central del Perú. Estos instrumentos representan uno de los principales mecanismos con el cual se fondean los gobiernos y tienen características de libre de riesgo de crédito, cuando son emitidos en moneda local.

En el contexto retador en el que se encuentra el trabajo de investigación (Post crisis financiera 2008), con tasas de interés deprimidas, y una marcada reducción en el nivel de volatilidad en los mercados financieros, toma mayor relevancia la necesidad de afinar la proyección de la curva de rendimientos, para poder optimizar la toma de decisiones financieras.

Ante esta problemática, el presente trabajo busca elaborar un modelo para la proyección de la curva de rendimiento soberana en Soles, elaborado con metodología paramétrica de Nelson & Siegel, utilizando información comprendida entre los periodos del 2006 al 2016, con el fin, de proveer un modelo para optimizar la toma de decisiones financieras en el mercado peruano. Es importante señalar que en una realidad como la peruana, donde el sistema bancario domina el mercado de capitales, la liquidez de este último es un limitante para el análisis.

El presente trabajo de investigación se define como no experimental, con un enfoque cuantitativo (Variable dependiente: Tasas de interés), tomando como muestra la información de las Curvas Cupón Cero en Soles (CUSO), publicada por la SBS, con frecuencia mensual, para los periodos comprendidos entre enero 2006 y mayo 2016.

En el primer capítulo, se presenta de las diferentes teorías financieras realizadas con respecto a la descripción de la curva de rendimiento y su dinámica, en el

segundo capítulo, se presenta la metodología utilizada para la parametrización del modelo, y la delimitación histórica empleada.

En el tercer capítulo, se exhibe los resultados obtenidos con el modelo empleado, además de contrastar estos resultados con información observada. También se realiza un análisis de estos resultados, y las desviaciones encontradas con la realidad, en el cuarto capítulo, se presentan las conclusiones y recomendaciones del trabajo de investigación, finalmente se presenta la bibliografía utilizada, así como la matriz de consistencia que forma parte del presente trabajo de investigación.

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes de la Investigación

Pereda, J. (2010). *Estimación de la curva de rendimiento cupón cero para el Perú y su uso para el análisis monetario*. En este trabajo, el autor realiza estimaciones para la curva de rendimientos en soles, utilizando 2 modelos: El modelo de Nelson & Siegel, y el modelo de Svenson, que como veremos más adelante es una extensión del primero. El autor concluye que el modelo de Svenson tiene el mejor ajuste en comparación con el modelo de Nelson & Siegel, sin embargo, es más inestable cuando el mercado no es muy líquido (Falta de precios para los distintos vencimientos) y/o profundos (ausencia de emisiones en los distintos vencimientos). Estas características, son propias del mercado de capitales peruano, por lo cual concluye que el modelo Nelson & Siegel es preferible.

Schlesinger, A. (2006). *Estimación de la Estructura de Tasas de Interés Reales, de los instrumentos de Renta Fija en Chile*. El autor realiza una comparación entre los resultados obtenidos para la estimación entre los modelos de Nelson & Siegel, Svenson y de Splines (Función de polinomios). Concluye que el método paramétrico con el menor error de estimación es el de Nelson & Siegel. Sin embargo cuando al modelo Splines se le aplica una función de Smooth (Función que penaliza la variabilidad del curva, “suavizando” los resultado), esta resulta superior al modelo de Nelson & Siegel. En el presente trabajo de investigación, no se ha incorporado el modelo de Splines, dentro del análisis, por carecer de una base teórica para su aplicación.

1.2 Bases Teóricas

1.2.1 Modelos de Estructura Dinámicos de tasas de interés.

También denominados como modelos de primera generación. Se caracterizan entre otras cosas, por ser modelos univariados, es decir, solo existe una única variable explicativa para la dinámica de las tasas de interés, y por poseer una estructura para la evolución de las tasas de interés como un proceso continuo.

Estos modelos en general pueden ser representados por la ecuación (1):

$$dr_t = a(r_t, t)dt + b(r_t, t)dw_t \quad (1)$$

De manera adicional, estos procesos se fundamentan en 2 supuestos:

- Existe un proceso que gobierna la dinámica de la tasa de interés de Corto Plazo. Este proceso es la parte determinística (dt) del modelo, el cual variará conforme pase el tiempo.
- La dinámica de la tasa de interés, es además modelada por un proceso estocástico¹ (dw_t), que es la caracterización de un Movimiento Browniano², con una distribución de Probabilidades del Mundo Real³. Este proceso estocástico, trata de identificar la relación acerca de la aversión al riesgo de los inversionistas.

Como se detallará a continuación, existen 2 modelos dentro de este grupo: El modelo de Vasicek de 1977 y el modelo de Cox-Ingersoll- Roll (CIR) de 1985.

¹ Proceso Aleatorio.

² Proceso Aleatorio de trayectoria continua y de incrementos independientes. Fue observado por primera vez en partículas microscópicas en fluidos.

³ Distribución de probabilidades que levantan el supuesto de que los individuos sean neutralmente adversos al riesgo. A diferencia de la distribución de probabilidad de riesgo neutral, que se utiliza para valorar activos o medir riesgo.

1.2.2 Modelo de Vasicek:

Este modelo fue ideado por Oldřich Alfons Vašíček, matemático y analista cuantitativo, de nacionalidad Checa. La primera aparición de este modelo, fue en un paper publicado por el “*Journal of Financial Economics*” en 1977.

El modelo asume un proceso de Ornstein – Uhlenbeck⁴, para la dinámica de la curva de rendimientos. Esto implica la existencia de un proceso de reversión a la media⁵ de las tasas de interés.

Vasicek representa la dinámica de las tasas de interés de la siguiente manera:

$$dr_t = \kappa(\bar{r} - r_t)dt + \sigma dw_t \quad (2)$$

Dónde:

- \bar{r} = Es la tasa de interés de largo plazo. A la cual ha de revertir la de corto plazo.
- r_t = Es la tasa de interés Observada o de Corto plazo.
- κ = Velocidad de Reversión a la media.
- σ = Volatilidad del proceso. Se caracteriza por ser constante en el modelo de Vasicek. Lo cual implica que es independiente del nivel de r.

La ecuación (2) puede ser resuelta, utilizando el “Lema de Ito”⁶.

El Lema de Ito, representa en este caso particular, la dinámica del Precio de los Bonos, activo sujeto a la tasa de interés, y se modela de la siguiente manera:

$$dP = \frac{dPdr}{dr} + \frac{dPdt}{dt} + \frac{1}{2} \frac{d^2P(\sigma^2 dt)}{dr^2} \quad (3)$$

⁴ Proceso estocástico que describe la velocidad de un movimiento Browniano que se ve afectado por fricciones. En el caso particular de Finanzas por shocks de información o de volatilidades.

⁵ Proceso por el cual una variable tiene a su media de largo plazo y se desvía de ella productos de shocks.

⁶ Regla de cadena del cálculo estocásticos. Usado de manera intensiva en Finanzas para la valoración de derivados.

Utilizando la ecuación (3) junto con la representación de Vasicek (Ecuación 2), obtenemos:

$$dP = \frac{dP}{dr} [\kappa(\bar{r} - r_t)dt + \sigma dw_t] + \frac{dP}{dt} dt + \frac{1}{2} \frac{d^2P}{dr^2} (\sigma^2 dt) \quad (4)$$

Reagrupando la ecuación (4) se puede obtener la siguiente representación:

$$dP = \left[\frac{dP}{dr} \kappa(\bar{r} - r_t) + \frac{dP}{dt} + \frac{\sigma^2 d^2P}{2dr^2} \right] dt + \frac{dP}{dr} \sigma dw_t \quad (5)$$

Donde la parte determinística, esta agrupada entre corchete y multiplica a dt. Esta representa la media del Crecimiento del Precio (P) del Bono, dado un tiempo al vencimiento (N) y una tasa de interés (r). De manera similar, los componentes que multiplican dw_t representan la desviación estándar para el Bono en particular, que es, como ya se ha mencionado, la parte estocástica del proceso.

Por lo anterior, la ecuación (5) se puede representar de manera más intuitiva por la ecuación (6):

$$dP = \mu_P(r_t, N)P(r_t, N)dt - \sigma_P(N)P(r_t, N)dw_t \quad (6)$$

Donde μ_P , representa la Media del precio del Bono y σ_P representa la desviación del mismo.

Ahora, y de manera similar al procedimiento de valorización de opciones, se procede a construir un portafolio con 2 Bonos. En uno se mantiene una posición larga⁷ de 1 Unidad, mientras que en el segundo se mantiene una posición corta⁸.

⁷ Mantener una posición Larga en un activo hace referencia principalmente, a beneficiarse por un aumento en su precio.

⁸ Mantener una posición Corta en un activo hace referencia principalmente, a beneficiarse por una reducción en su precio.

Dado que ambos Bonos poseen la misma fuente de incertidumbre el portafolio que se desea construir, podrá tener la caracteriza de ser libre de riesgo. Esto se logrará eligiendo cuidadosamente la cantidad a tener en el Bono de la posición corta.

Usando la metodología empleada en la valorización de opciones (Black & Scholes, 1973), la cantidad requerida del Bono en posición corta para lograr eliminar el riesgo está dado por la siguiente expresión:

$$-\left[\frac{\sigma_p(N_1)P(r_t N_1)}{\sigma_p(N_2)P(r_t N_2)} \right] \quad (7)$$

Por lo cual el Portafolio Coberturado (*Portfolio Hedge*), puede ser representado de la siguiente manera:

$$H_t = P_t(r_t, N_1) - \left[\frac{\sigma_p(N_1)P(r_t N_1)}{\sigma_p(N_2)P(r_t N_2)} \right] P_t(r_t, N_2) \quad (8)$$

Mientras que la dinámica de este portafolio es representado por la ecuación (9):

$$dH_t = dP_t(r_t, N_1) - \left[\frac{\sigma_p(N_1)P(r_t N_1)}{\sigma_p(N_2)P(r_t N_2)} \right] dP_t(r_t, N_2) \quad (9)$$

Reemplazando los datos obtenidos de la ecuación número (6) en la ecuación (9), se obtiene:

$$\begin{aligned} dH_t = & \mu_P(r_t, N_1)P(r_t, N_1)dt - \sigma_P(N_1)P(r_t, N_1)dw_t \\ & - \left[\frac{\sigma_p(N_1)P(r_t N_1)}{\sigma_p(N_2)P(r_t N_2)} \right] \mu_P(r_t, N_2)P(r_t, N_2)dt \\ & + \left[\frac{\sigma_p(N_1)P(r_t N_1)}{\sigma_p(N_2)P(r_t N_2)} \right] \sigma_P(N_2)P(r_t, N_2)dw_t \end{aligned} \quad (10)$$

La ecuación (10), puede ser reescrita como:

$$dH_t = \mu_P(r_t, N_1)P(r_t, N_1)dt - \mu_P(r_t, N_2) dt \frac{\sigma_p(N_1)P(r_t, N_1)}{\sigma_p(N_2)} \quad (11)$$

Como se puede observar la dinámica del Portafolio H, está gobernado solo por las medias (μ_p) de los 2 Bonos que los componen, más no por las volatilidades de los mismos (La cual ha sido eliminada). De esta manera se certifica la existencia de un portafolio libre de riesgo.

Dado que este portafolio es libre de riesgo, el rendimiento de este deberá ser el mismo del activo libre de riesgo (Supuesto de no arbitraje)⁹. Por lo cual se deberá de cumplir la siguiente expresión:

$$\frac{\mu_P(r_t, N_1) - rf}{\sigma_p(N_1)} = \frac{\mu_P(r_t, N_2) - rf}{\sigma_p(N_2)} = \lambda \quad (12)$$

Donde λ es la Prima de riesgo de Mercado¹⁰ (*Market Risk Premium*).

La ecuación (12) implica que cualquier Rendimiento mayor a la tasa libre de riesgo (rf), estará asociado a un nivel de riesgo. De manera similar se establece que no es posible obtener un Rendimiento mayor a su correspondiente nivel, dado el riesgo que se ha asumido (Principio de no arbitraje).

Con el resultado obtenido tanto por el Lema de Ito y por el portafolio H, se obtiene:

$$P_r, \kappa(\bar{r} - r_t) + P_t + \frac{1}{2} P_{rr} \sigma^2 = r_t P - \lambda \sigma P_r \quad (13)$$

⁹ El Supuesto de no arbitraje señala que todos los activos estén correctamente valorizados, alineados a sus fundamentos. No es posible realizar ganancias extraordinarias, sin asumir riesgos considerables.

¹⁰ Cantidad de riesgo (Medido en Volatilidad) que se debe asumir para generar una ganancia mayor a la tasa libre de riesgo (Y que corresponderá exactamente al nivel de riesgo asumido). El Ratio de Sharpe para todos los inversionistas deberá ser siempre igual.

La Ecuación (13) que representa la dinámica del precio de los Bonos, junto con los PDE^{11} y el *Boundary Condition*¹² (Black & Scholes, 1973), tiene solución, y es representada por la siguiente ecuación:

$$P_t^N = P(r_t, N) = A(N)e^{(-B(N)r_t)} \quad (14)$$

Dónde:

$$B(N) = \frac{1 - e^{-\kappa N}}{\kappa} \quad (15)$$

$$A(N) = \exp \left[(B(N) - N) \left(\bar{r} + \lambda \frac{\sigma}{\kappa} - \frac{1\sigma^2}{2\kappa^2} \right) - \frac{\sigma^2 B(N)^2}{4\kappa} \right] \quad (16)$$

Finalmente, y dado que el Precio del Bono es el valor presente de los flujos futuros descontados a un set particular de tasas de interés. La Solución del modelo de Vasicek, para las proyecciones de tasas de interés está dada por la siguiente ecuación:

$$Y(r_t, N) = -\frac{1}{N} \{ \ln(A(N) + B(N)r_t) \} \quad (17)$$

Donde Y , es el set de tasas de interés para los distintos vencimientos existentes.

1.2.3 Modelo de Cox-Ingersoll- Roll (CIR)

Este modelo también es conocido como *Square Root Procees* o Proceso Continuo de Raíz Cuadrada, el modelo fue introducido en el año de 1985 por los economistas Estadounidenses John C. Cox, Jonathan E. Ingersoll y Stephen A. Ross, como una extensión del Modelo de Vasicek.

¹¹ Ecuación parcial diferencial. Contiene funciones multivariadas desconocidas y sus correspondientes derivadas parciales.

¹² Set de restricciones que limitan las posibles soluciones a una sola ecuación diferencial.

El Modelo de Vasicek, permitía algunas características para la dinámica de las tasas de interés, que no eran deseadas y tampoco coincidían con la evidencia empírica de ese momento: Tasas de interés negativas¹³ y una volatilidad Constante.

El modelo CIR, corrige estos problemas, planteándose como un modelo univariado con reversión de la media (Al igual que Vasicek), pero con la particularidad de que la Volatilidad esta multiplicada por la raíz cuadrada del nivel de la tasa de interés. Esta es la razón por la cual es conocido como un modelo de Proceso Continuo de Raíz Cuadrada. Es representado por la ecuación (18):

$$dr_t = \kappa(\bar{r} - r_t)dt + \sigma\sqrt{r_t}dw_t \quad (18)$$

Esto permite que la Volatilidad sea variable a lo largo del tiempo, dependiendo del Nivel de la tasa de interés: a mayor el nivel, mayor será la volatilidad, mientras que cuando el nivel es cercano a cero (En este modelo no existen tasas de interés negativas) la volatilidad es reducida. Esta característica del modelo cumple con la evidencia empírica de variaciones de la volatilidad que se observa en los activos financieros a lo largo del tiempo (*Volatility Clusters*).

De manera similar a la ruta planteada para la solución del Modelo de Vasicek, el Modelo CIR tiene solución, y es representada por la siguiente ecuación:

$$P_t^N = A(N)e^{(-B(N)r_t)} \quad (19)$$

1.2.4 Modelos Paramétricos de tasas de interés.

En los modelos de primera generación, se observa que la dinámica ha sido modelada por modelos univariados (Siendo la variable el nivel de la tasa de

¹³ Las tasas de interés negativas no fueron empleadas hasta después de la crisis inmobiliaria y financiera mundial del 2007. Antes de esto solo existían como una particularidad teórica.

interés), sea en procesos de Ornstein – Uhlenbeck o de raíz cuadrada. Sin embargo la evidencia observada en la data arroja que las estructuras de las tasas de interés son algo más complejas, y llegan a tomar distintas formas, dependiendo de no una única variable.

De acuerdo a estudios realizados la estructura de las curvas de rendimiento, se puede explicar por lo menos en 3 variables factores, aunque solo la primera (El nivel) explica más del 90% (Litterman & Scheinkman, 1991). Adicionalmente el poder explicativo y los factores necesarios para describir la curva de rendimiento son el nivel de la tasa de interés (96.60%), la pendiente de la tasas de interés (99.60%) y la curvatura (99.80%). (Piazzesi & Cochrane, 2009)

El “Factor Nivel” puede ser interpretado como el promedio ponderado de la tasa de interés. El “Factor Pendiente” es interpretado como las preferencias que tiene el mercado por los activos de corto plazo (Peso negativo en el largo plazo y positivo en el corto plazo) o por los activos de largo plazo (Peso negativo en el corto plazo y positivo en el largo plazo). Finalmente el “Factor curvatura” es una medida complementaria que hace relación a la sensibilidad al riesgo y la cual permite que existan diferentes formas para las curvas de rendimientos. (Lundblad, 2016)

Los modelos de segunda generación, debían entonces, abarcar estas variables para poder mejorar el poder de ajuste de las proyecciones.

1.2.5 Modelo de Nelson - Siegel

En 1987 Nelson & Siegel, proponen un nuevo “modelo” para la estimación de la curva de rendimientos, que “puede ser observada como una constante más una función Laguerre, que es una función polifónica que multiplica un término exponencial que decae...” (Diebold & Li, 2006). La Ecuación de Nelson – Siegel (N & S) es representada de la siguiente manera:

$$y_{(\tau)} = \beta_1 + \beta_2 \left(\frac{1 - e^{-\lambda\tau}}{\lambda\tau} \right) + \beta_3 \left(\frac{1 - e^{-\lambda\tau}}{\lambda\tau} - e^{-\lambda\tau} \right) \quad (20)$$

Donde β_1 , β_2 y β_3 son parámetros a estimar (Modelo paramétrico). El parámetro λ , también ha de ser estimado, y es esta variable la que hará calibrar el modelo. Como resultado, se obtendrá una tasa de interés, para los diferentes plazo (τ) de la curva.

Analizando la representación de la ecuación de N & S, se observa que son 3 factores las que lo conforman, los cuales hacen referencia al nivel, a la pendiente y a la curvatura, en ese orden.

El modelo de N & S, es relativamente sencillo de estimar, y tiene un alto poder de estimación de acuerdo a los trabajos realizados, y su proyección resulta eficaz en términos de sencillez y de significancia (Lundblad, 2016). La mayoría de Bancos Centrales utilizan el Modelo de N & S o algunas de sus variantes para poder estimar sus curvas de rendimiento.

1.2.6 Modelo de Nelson - Siegel - Svensson

En el año de 1994, Svensson modifica el modelo original, y le agrega un cuarto factor. Este factor puede ser definido como la sensibilidad a la sensibilidad al riesgo, haciendo referencia a una segunda derivada.

El modelo (NSS) tiene la siguiente forma:

$$y_{(\tau)} = \beta_1 + \beta_2 \left(\frac{1 - e^{-\frac{\tau}{\lambda_1}}}{\frac{\tau}{\lambda_1}} \right) + \beta_3 \left(\frac{1 - e^{-\frac{\tau}{\lambda_1}}}{\frac{\tau}{\lambda_1}} - e^{-\frac{\tau}{\lambda_1}} \right) + \beta_4 \left(\frac{1 - e^{-\frac{\tau}{\lambda_2}}}{\frac{\tau}{\lambda_2}} - e^{-\frac{\tau}{\lambda_2}} \right) \quad (21)$$

1.2.7 Modelo Dinámico de Nelson - Siegel

En el año 2006 Francis Diebold y Canlin Li, publicaron un artículo, en donde realizan una variación en el modelo de N&S. Diebold y Li, reconocen que los parámetros β_1 , β_2 y β_3 , no pueden ser estáticos (Como asumía el modelo de N&S) sino que estos deberían variar con respecto al tiempo, para poder explicar las variaciones que sufrían las curvas de rendimiento a través del tiempo. Así la representación dinámica del modelo es:

$$y_{(\tau)} = \beta_{1t} + \beta_{2t} \left(\frac{1 - e^{-\lambda\tau}}{\lambda\tau} \right) + \beta_{3t} \left(\frac{1 - e^{-\lambda\tau}}{\lambda\tau} - e^{-\lambda\tau} \right) \quad (22)$$

En donde, a diferencia del modelo de N&S, los Betas dejan de ser parámetros y pasan a ser variables.

Es también común encontrar representaciones, en donde se cambie la notación del modelo, para darle un mayor énfasis a la naturaleza de los 3 factores:

$$y_{(\tau)} = L_t + S_t \left(\frac{1 - e^{-\lambda\tau}}{\lambda\tau} \right) + C_t \left(\frac{1 - e^{-\lambda\tau}}{\lambda\tau} - e^{-\lambda\tau} \right) \quad (23)$$

Dónde:

$$\begin{bmatrix} L_t \\ S_t \\ C_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{21} & a_{31} \\ a_{21} & a_{22} & a_{32} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L_{t-1} \\ S_{t-1} \\ C_{t-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \eta_{Lt} \\ \eta_{St} \\ \eta_{Ct} \end{bmatrix} \quad (24)$$

Cabe resaltar que el modelo NSS también puede convertirse en un modelo dinámico, bajo el mismo análisis.

1.3 Definición de términos básicos

Curva de Rendimientos: Es la representación gráfica de la relación existente entre las tasas de interés y el tiempo al vencimiento de los Bonos, de iguales características crediticias. La más usada es la curva de U.S. Treasury (Curva soberana en USD), que es utilizada como benchmark en diferentes mercados.

Bonos Soberanos: Instrumentos de deuda, emitidos por los gobiernos centrales. En ellos, el gobierno se compromete a realizar una serie de pagos durante la vida del bono.

Riesgo de Crédito: El riesgo que mide el deterioro en la probabilidad de recuperar el principal y los intereses de un préstamo realizado.

Riesgo de Mercado: El riesgo que mide la probabilidad de experimentar pérdidas asociadas a las variaciones en los mercados financieros (Tipos de Cambio, Precios de acciones, Tasas de interés, etc.).

Mercado Spot: Mercado de instrumentos financieros en donde la entrega se realizada de manera inmediata.

Mercado Forward: Mercado de instrumentos financieros, en donde los precios son establecidos para entregas futuras.

Bonos Unsecured: Bonos emitidos sin garantía alguna.

Activos Financieros:

Bootstrapping: Un método por el cual se construye una curva de rendimiento cupón cero, a partir de instrumentos que devenguen valor (Pago de cupones).

Opciones Financieras: Un tipo de instrumento derivado financiero que representa un contrato donde el suscriptor tiene el derecho, mas no la obligación, de comprar (Opción Call) o vender (Opción Put) el activo subyacente al contrato. El valor del instrumento deriva del precio del subyacente que puede ser: Commodity, Tasas de Interés, Precio de una acción, precio de un índice, etc.

Libre de Riesgo: Se dice que un prestatario es libre de riesgo, cuando existe certeza con respecto al pago de la deuda. Se consideran emisores libres de riesgo a los Gobiernos que emiten deuda en su moneda local.

Portafolio Coberturado: Se dice de un portafolio, en el cual se ha eliminado los riesgos asociados al mismo (Riesgo de Crédito y Mercado). Para su construcción es posible tomar posiciones largas como cortas.

Volatility Clusters: Hace referencia a la tendencia experimentada por los activos financieros, donde se observan persistencias en el nivel de riesgo (medido como la desviación de los precios) por periodos de tiempo. Los periodos de alta volatilidad son seguidos por periodos de alta volatilidad, y de manera contraria, los periodos de baja volatilidad son seguidos por periodos de baja volatilidad.

CAPÍTULO II: HIPÓTESIS Y VARIABLES

2.1 Formulación Hipótesis Principal y secundarias.

2.1.1 Hipótesis Principal

Diseñando el Modelo paramétrico robusto de Nelson & Siegel, entonces la proyección de la Curva de Rendimientos de Bonos Peruanos en soles es la adecuada.

2.1.2 Hipótesis Secundaria

- a. El Modelo Nelson & Siegel para la proyección de la Curva de Rendimientos no se ve impactado negativamente por un contexto de baja liquidez y profundidad del mercado de capitales.
- b. El modelo de regresión adecuado para los factores Betas de Nelson & Siegel por comprobarse la estabilidad de las variables.
- c. Si los Plazos de estimación de la curva de rendimientos se cumplen, entonces el modelo predictivo propuesto es el adecuado.

2.2 Variables y definición operacional

2.2.1 Variables independientes

- **Betas:** En el marco del modelo de Nelson & Siegel Dinámicos, los Betas son variables que representan el nivel, la pendiente y la curvatura de la curva de rendimiento, las cuales son dinámicos. En los modelos estáticos de Nelson & Siegel los Betas son parámetros estimados con información histórica. Se encuentra en escala nominal.
- **Lambda:** Es un parámetro que calibra la ecuación de los modelos de Nelson & Siegel. Se calcula con información histórica. Se encuentra en escala nominal.

2.2.2 Variables dependientes

- **Tasas de Interés:** Dentro del presente proyecto de Tesis, representa al vector de costos de endeudamiento a los diferentes plazos observados. Se encuentra en escala porcentual.

CAPÍTULO III: METODOLOGIA

3.1 Diseño Metodológico

Las investigaciones no experimentales se definen como aquellas en las que no se manipulan las variables de manera intencionada (Hernández, Fernandez, & Baptista, 2010). En base a lo anterior el diseño de la presente investigación se define como “No Experimental”, cuyo objetivo es la de describir la relación entre las tasas de interés y plazos, para poder realizar proyecciones fidedignas.

3.1.1 Tipo de Investigación

El presente trabajo de investigación es una investigación del tipo cuantitativa, donde la variable a investigar es la curva de rendimiento. De manera adicional es

una investigación exploratoria que tiene como propósito el de validar las diferentes teorías financieras a la realidad peruana.

3.2 Diseño muestral

3.2.1 Población

Conformada por las tasas de interés de la Curva Cupón Cero Soberana en Nuevos Soles a los diferentes vencimientos observados (Que en su conjunto forman la curva de rendimiento), proporcionada por la SBS, que comprende información correspondiente al periodo 1999 al 2018.

3.2.2 Muestra

Comprende la información utilizada para el proyecto de investigación son La muestra abarca datos desde Enero del 2006 hasta Mayo del 2016, en frecuencia mensual.

Las Curvas de rendimiento de las fechas de la muestra son mostradas a continuación:

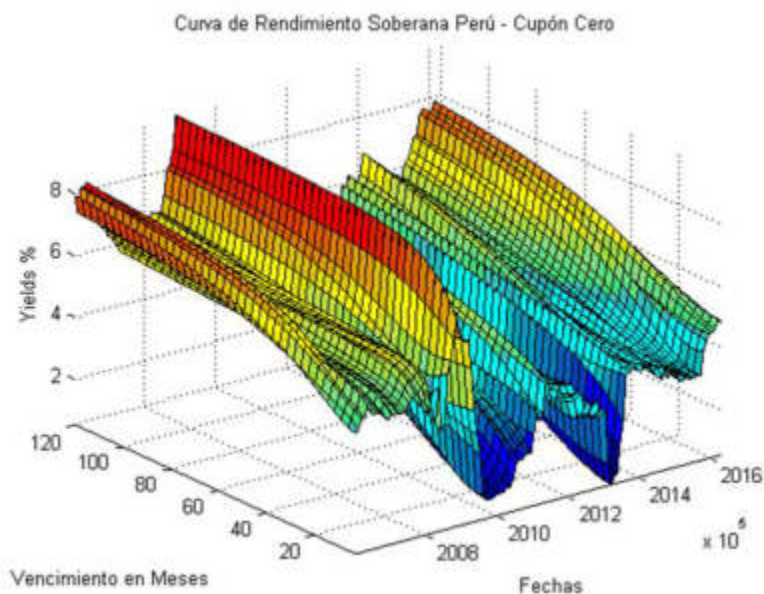


Figura 1 – Curva de Rendimientos Soberana Perú – Cupón Cero

Fuente: Elaboración propia.

3.3 Técnicas de recolección de datos

Para el procesamiento de la data se ha utilizado un modelo paramétrico de Nelson & Siegel Dinámico. La muestra ha sido dividida en 2 grupos, el primero conformado por las curvas de rendimiento desde Enero del 2006 hasta Diciembre del 2014, y la segunda desde Enero del 2015 hasta Mayo del 2016. El modelo paramétrico (3 parámetros Betas y uno Lambda), estará basado con data del primer grupo de la muestra, y se comprobará su poder de predicción, proyectando sus resultados y comparándolos con los datos reales obtenidos para las fechas del segundo grupo de la muestra (Enero del 2016 hasta Mayo del 2016). El software utilizado para este paso fue MATLAB.

Para la proyección, y como quedo definido en el Marco teórico, las curvas de rendimiento son explicadas en más del 99% en 3 parámetros denominados Betas, que hacen referencia al Nivel, a la Pendiente y a la Curvatura. Por consiguiente la proyección de la curva de rendimientos, equivale a proyectar los parámetros Betas.

Esto se realizó mediante simple procesos Auto regresivos de orden 1 (AR 1). De manera adicional se utiliza un Lambda estático, definido en 0.03486 (Obtenido vía Mínimos Cuadrados Ordinarios). Este paso se realizado con el software E- views 10.

La representación matemática de las Curvas de Rendimiento, queda definido por:

$$y_{(\tau)} = \beta_{1t} + \beta_{2t} \left(\frac{1 - e^{-\lambda\tau}}{\lambda\tau} \right) + \beta_{3t} \left(\frac{1 - e^{-\lambda\tau}}{\lambda\tau} - e^{-\lambda\tau} \right)$$

Donde :

β_{1t} = *Factor de Nivel*

β_{2t} = *Factor de Pendiente*

$\beta_{3t} = \text{Factor de Curvatura}$

$y_{(t)} = \text{Tasa de interes para el plazo } (t)$

$\lambda = \text{Lambda. Paraméetro a estimar para calibrar el modelo}$

3.4 Técnicas estadísticas para el procesamiento de la información

Se ha aplicaron las siguientes herramientas para el procesamiento de información:

- Bloomberg: Base de Datos de información financiera, para la recolección y procesamientos de datos.
- EViews: Paquete econométrico para la estimación de Parámetros estadísticos que se eindicán:

$\beta_{1t} = \text{Factor de Nivel}$

$\beta_{2t} = \text{Factor de Pendiente}$

$\beta_{3t} = \text{Factor de Curvatura}$

$y_{(t)} = \text{Tasa de interes para el plazo } (t)$

$\lambda = \text{Lambda. Paraméetro a estimar para calibrar el modelo}$

- MATLAB: Software utilizado en el procesamiento de la información y modelamiento del modelo propuesto.

3.5 Aspectos éticos

La investigación es propia, elaborada por el suscrito, con información pública.

Ética de la recolección de datos:

Los datos para la formulación de los modelos han sido recopilados de la información publicada por la Superintendencia de Banca, Seguros y AFPs, y recopilada a través de Bloomberg, proveedor de información mundial.

Ética sobre los datos:

La información es pública, calculada por un organismo gubernamental, fortaleciendo la integridad de la data.

Ética sobre el Procesamiento de los datos

Los datos fueron procesados en software estadísticos los cuales han dado los resultados esperados acorde con los objetivos planteados en el presente trabajo.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1 Resultados

Mediante la estimación paramétrica, se obtuvo los siguiente matriz de Betas (Nivel, Pendiente y Curvatura), que caracterizan la curva soberana en soles, para las fechas del primer grupo de los datos, que se muestra en las tablas que se adjuntan.

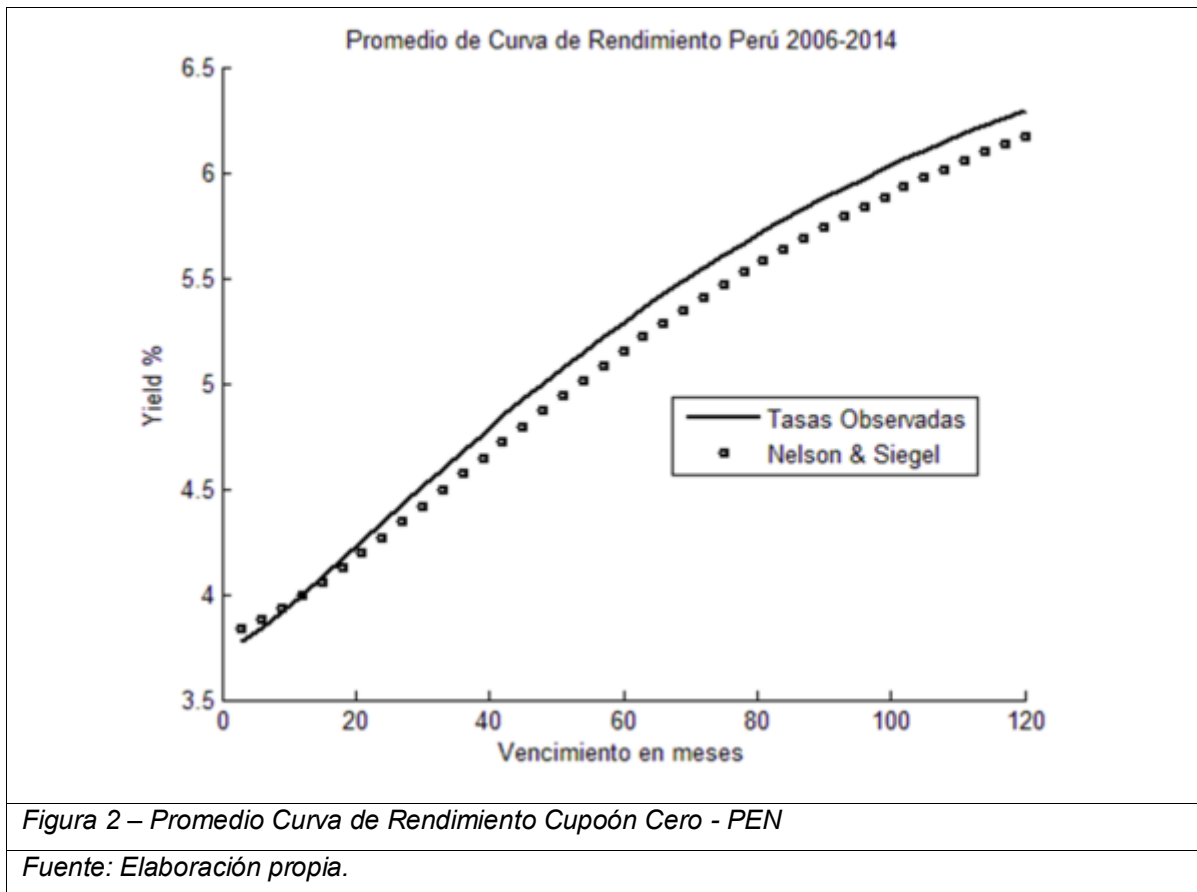


Tabla 1

Estimación Factores Betas

Fecha	β_1	β_2	β_3	Fecha	β_1	β_2	β_3
ene-06	0.0889	-0.0457	-0.0405	may-09	0.0804	-0.0384	-0.0557
feb-06	0.0815	-0.0367	-0.0256	jun-09	0.0799	-0.0469	-0.0432
mar-06	0.0895	-0.0419	-0.0323	jul-09	0.0917	-0.0661	-0.0464
abr-06	0.0874	-0.0383	-0.0442	ago-09	0.0855	-0.0728	-0.0769
may-06	0.0972	-0.0454	0.0433	sep-09	0.0910	-0.0791	-0.0841
jun-06	-0.0156	0.0627	0.2135	oct-09	0.0909	-0.0788	-0.0893
jul-06	0.0842	-0.0374	-0.0000	nov-09	0.0847	-0.0718	-0.0905
ago-06	0.0862	-0.0364	0.0000	dic-09	0.0836	-0.0713	-0.0747
sep-06	0.0837	-0.0338	0.0000	ene-10	0.0951	-0.0827	-0.0805
oct-06	0.0735	-0.0249	-0.0000	feb-10	0.0846	-0.0736	-0.0630
nov-06	0.0748	-0.0286	0.0000	mar-10	0.0994	-0.0876	-0.0712
dic-06	0.0674	-0.0224	-0.0000	abr-10	0.1027	-0.0901	-0.0633
ene-07	0.0746	-0.0259	0.0000	may-10	0.0900	-0.0783	-0.0382
feb-07	0.0623	-0.0155	-0.0000	jun-10	0.0920	-0.0786	-0.0407
mar-07	0.0680	-0.0191	-0.0000	jul-10	0.0820	-0.0648	0.0000
abr-07	0.0577	-0.0117	0.0000	ago-10	0.0764	-0.0574	-0.0072
may-07	0.0570	-0.0115	-0.0000	sep-10	0.0717	-0.0537	0.0000
jun-07	0.0623	-0.0144	0.0000	oct-10	0.0718	-0.0517	0.0000
jul-07	0.0729	-0.0230	-0.0000	nov-10	0.0715	-0.0492	0.0000
ago-07	0.0668	-0.0160	-0.0000	dic-10	0.1032	-0.0794	0.0000
sep-07	0.0647	-0.0108	-0.0000	ene-11	0.0796	-0.0496	-0.0654
oct-07	0.0650	-0.0114	-0.0000	feb-11	0.0909	-0.0552	-0.0424
nov-07	0.0614	-0.0128	-0.0047	mar-11	0.0830	-0.0506	-0.0493
dic-07	0.0624	-0.0088	-0.0000	abr-11	0.0780	-0.0466	-0.0000
ene-08	0.0667	-0.0099	-0.0000	may-11	0.0937	-0.0506	-0.0374
feb-08	0.0656	-0.0194	-0.0000	jun-11	0.0781	-0.0357	0.0000
mar-08	0.0879	-0.0432	-0.0209	jul-11	0.0771	-0.0400	-0.0000
abr-08	0.0797	-0.0392	-0.0121	ago-11	0.0700	-0.0325	-0.0000
may-08	0.0783	-0.0233	-0.0645	sep-11	0.0728	-0.0310	-0.0505
jun-08	0.0775	-0.0417	-0.0040	oct-11	0.0943	-0.0511	-0.0767
jul-08	0.0778	-0.0437	-0.0030	nov-11	0.0843	-0.0415	-0.0592
ago-08	0.0901	-0.0285	-0.0765	dic-11	0.0824	-0.0398	-0.0560
sep-08	0.0886	-0.0254	-0.0531	ene-12	0.0822	-0.0400	-0.0571
oct-08	0.0884	-0.0234	-0.0200	feb-12	0.0826	-0.0407	-0.0577
nov-08	0.0979	-0.0331	0.0064	mar-12	0.0734	-0.0337	-0.0613
dic-08	0.0861	-0.0188	-0.0000	abr-12	0.0720	-0.0306	-0.0718
ene-09	0.0793	-0.0143	-0.0144	may-12	0.0652	-0.0241	-0.0664
feb-09	0.0975	-0.0330	-0.0363	jun-12	0.0650	-0.0315	-0.0611
mar-09	0.0976	-0.0326	-0.0497	jul-12	0.0593	-0.0178	-0.0703
abr-09	0.1102	-0.0544	-0.0716	ago-12	0.0539	-0.0171	-0.0592

Fecha	β_1	β_2	β_3	Fecha	β_1	β_2	β_3
sep-12	0.0519	-0.0167	-0.0387	nov-13	0.0852	-0.0436	-0.0507
oct-12	0.0529	-0.0133	-0.0672	dic-13	0.1041	-0.0628	-0.0870
nov-12	0.0636	-0.0339	-0.0512	ene-14	0.1072	-0.0661	-0.0945
dic-12	0.0570	-0.0264	-0.0506	feb-14	0.1060	-0.0625	-0.1006
ene-13	0.0581	-0.0293	-0.0501	mar-14	0.0944	-0.0517	-0.0840
feb-13	0.0617	-0.0487	-0.0570	abr-14	0.0857	-0.0408	-0.0864
mar-13	0.0626	-0.0570	-0.0608	may-14	0.0832	-0.0434	-0.0622
abr-13	0.0625	-0.0548	-0.0568	jun-14	0.0884	-0.0485	-0.0585
may-13	0.0591	-0.0522	-0.0334	jul-14	0.0770	-0.0381	-0.0499
jun-13	0.0791	-0.0617	-0.0468	ago-14	0.1021	-0.0676	-0.0430
jul-13	0.0708	-0.0461	-0.0000	sep-14	0.0816	-0.0433	-0.0513
ago-13	0.0797	-0.0393	-0.0568	oct-14	0.0871	-0.0526	-0.0395
sep-13	0.0952	-0.0555	-0.0042	nov-14	0.0898	-0.0519	-0.0774
oct-13	0.0859	-0.0439	-0.0675	dic-14	0.1010	-0.0644	-0.0713

Fuente: Elaboración propia.

Con esta estimación de Betas, ha sido posible construir la curva de rendimiento para cada fecha, y poder compararla con la data histórica. A continuación se muestran el promedio de las curvas de rendimiento observadas y las obtenidas mediante Nelson & Siegel.

Como se puede observar, la diferencia medida en *spread* (Diferencias entre las tasas de interés Observadas y Nelson & Siegel para el mismo vencimiento) son muy pequeñas, obteniendo un mejor ajuste para los vencimientos más cercanos.

Para poder reforzar esa idea se ha contrastado las tasas de interés tanto observadas como las de Nelson & Siegel para el mismo vencimiento a lo largo del tiempo.

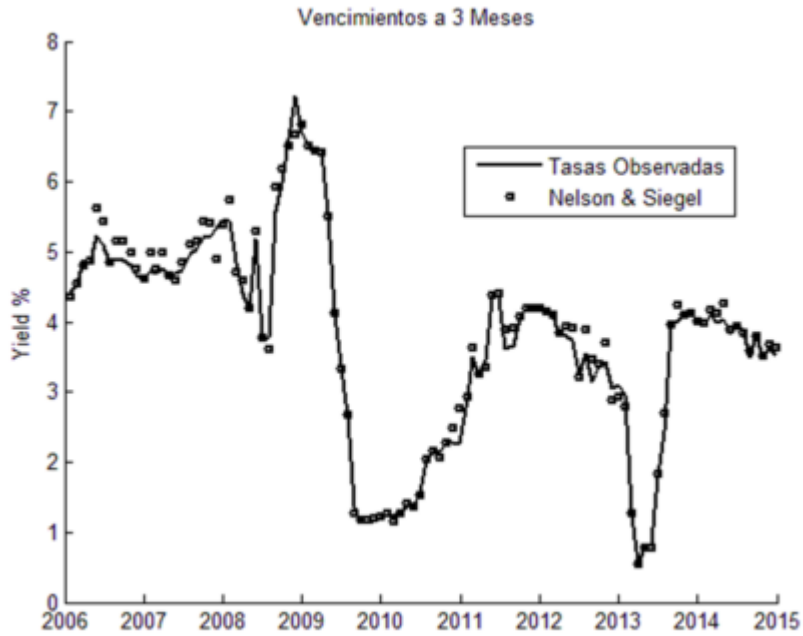


Figura 3 – Vencimientos a 3 meses: Observados vs Estimados
 Fuente: Elaboración propia.

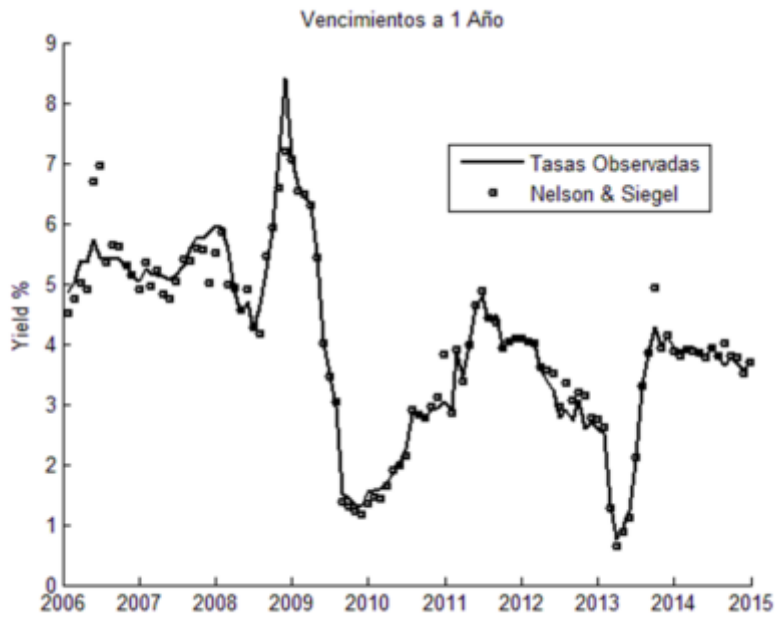


Figura 4 – Vencimientos a 1 año: Observados vs Estimados
 Fuente: Elaboración propia.

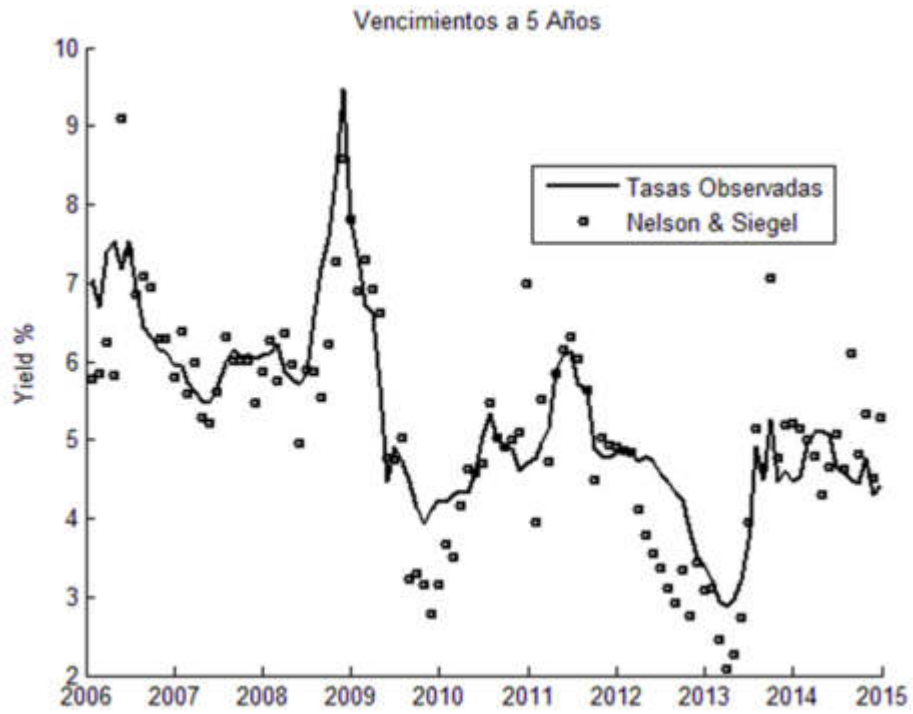


Figura 5 – Vencimientos a 5 años: Observados vs Estimados
Fuente: Elaboración propia.

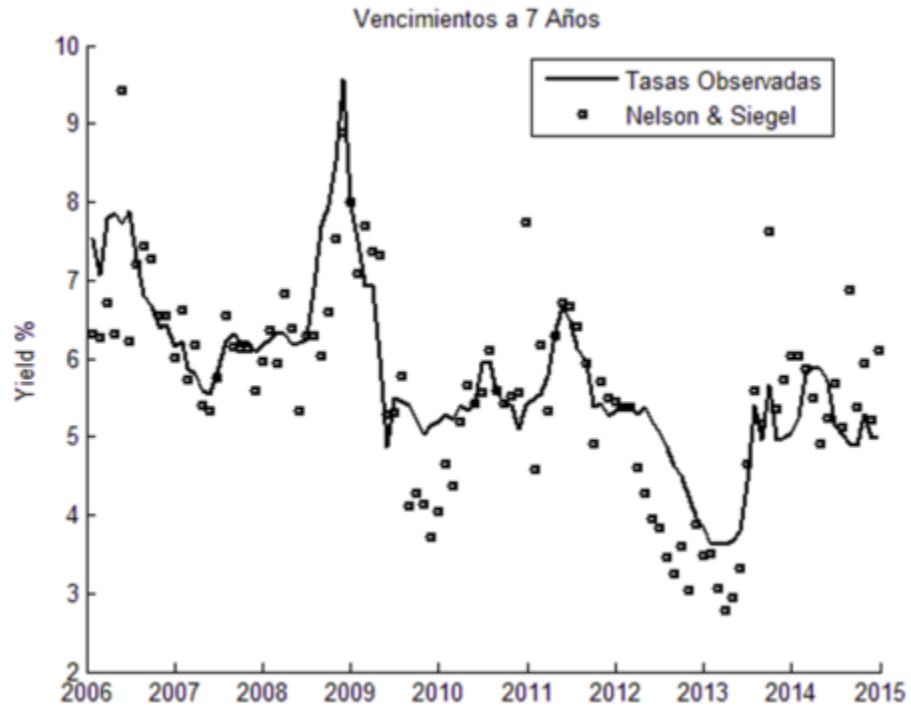


Figura 6 – Vencimientos a 5 años: Observados vs Estimados

Fuente: Elaboración propia.

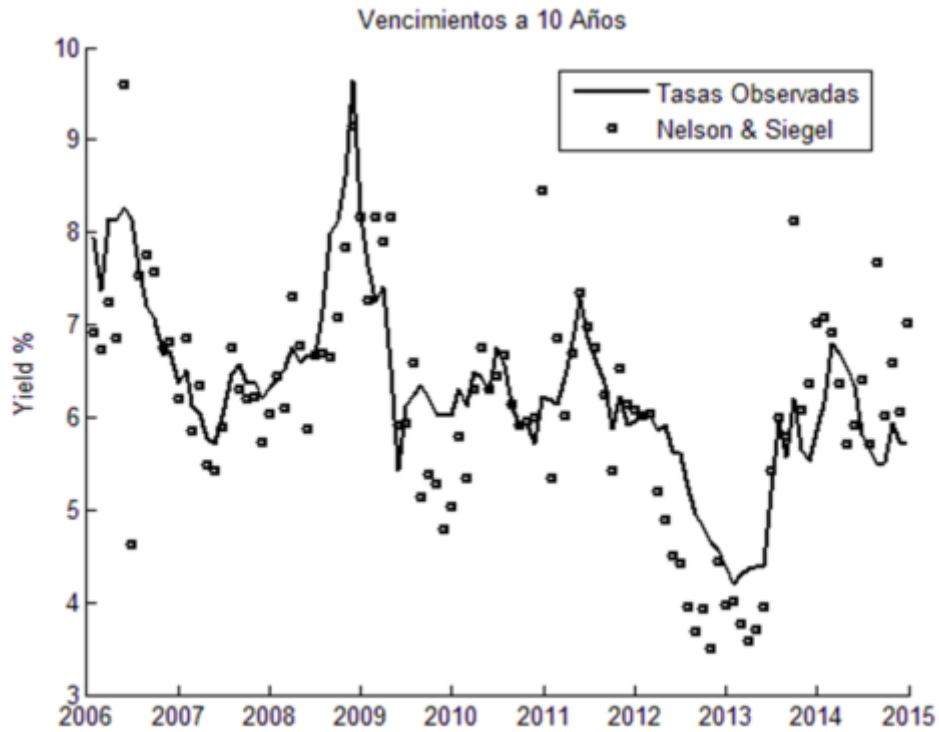


Figura 7 – Vencimientos a 10 años: Observados vs Estimados

Fuente: Elaboración propia.

Como se preveía, la tasa de interés para el vencimiento de 3 meses ajusta muchísimo mejor que para el vencimiento de 10 años. Y en general mientras menor sea el vencimiento, el ajuste es mejor.

Numéricamente se presenta a continuación las tablas con las medidas de dispersión obtenidas por el modelo.

Tabla 2
Medidas de dispersión del modelo

Fecha	MSE	St. Error	MAPE	Max. Abs. Error	Max. Rel. Error
ene-06	0.00011	0.01061	0.00982	0.01271	0.18256
feb-06	0.00005	0.00686	0.00640	0.00829	0.12460
mar-06	0.00009	0.00955	0.00891	0.01145	0.15752
abr-06	0.00020	0.01402	0.01299	0.01716	0.23346
may-06	0.00026	0.01620	0.01538	0.01937	0.28794
jun-06	0.00033	0.01810	0.01510	0.03531	0.43324
jul-06	0.00000	0.00073	0.00070	0.00083	0.01356
ago-06	0.00003	0.00568	0.00535	0.00666	0.10392
sep-06	0.00003	0.00539	0.00507	0.00648	0.10227
oct-06	0.00000	0.00132	0.00120	0.00177	0.03691
nov-06	0.00000	0.00114	0.00107	0.00145	0.02410
dic-06	0.00000	0.00146	0.00139	0.00182	0.03324
ene-07	0.00001	0.00360	0.00337	0.00432	0.07311
feb-07	0.00000	0.00201	0.00189	0.00282	0.05164
mar-07	0.00001	0.00325	0.00305	0.00393	0.06977
abr-07	0.00001	0.00254	0.00239	0.00363	0.06839
may-07	0.00001	0.00287	0.00271	0.00400	0.07528
jun-07	0.00000	0.00089	0.00080	0.00142	0.02655
jul-07	0.00001	0.00293	0.00276	0.00351	0.05866
ago-07	0.00000	0.00214	0.00200	0.00314	0.05365
sep-07	0.00000	0.00114	0.00098	0.00234	0.04482
oct-07	0.00000	0.00125	0.00111	0.00220	0.04243
nov-07	0.00004	0.00623	0.00590	0.00890	0.14872
dic-07	0.00001	0.00278	0.00261	0.00447	0.07450
ene-08	0.00000	0.00107	0.00091	0.00300	0.05520
feb-08	0.00002	0.00497	0.00472	0.00687	0.11650
mar-08	0.00002	0.00440	0.00403	0.00553	0.08381
abr-08	0.00000	0.00179	0.00167	0.00208	0.03542
may-08	0.00004	0.00664	0.00579	0.00869	0.14041
jun-08	0.00000	0.00039	0.00037	0.00046	0.00817
jul-08	0.00004	0.00628	0.00599	0.00764	0.12889
ago-08	0.00018	0.01325	0.01178	0.01713	0.22995
sep-08	0.00012	0.01087	0.00973	0.01392	0.18018
oct-08	0.00009	0.00950	0.00897	0.01161	0.14198
nov-08	0.00008	0.00914	0.00849	0.01328	0.15026
dic-08	0.00000	0.00035	0.00028	0.00116	0.01727
ene-09	0.00001	0.00371	0.00342	0.00450	0.06104
feb-09	0.00004	0.00618	0.00521	0.00925	0.12755

Fecha	MSE	St. Error	MAPE	Max. Abs. Error	Max. Rel. Error
mar-09	0.00001	0.00331	0.00273	0.00490	0.06636
abr-09	0.00011	0.01040	0.00851	0.01627	0.24894
may-09	0.00001	0.00331	0.00276	0.00477	0.09075
jun-09	0.00000	0.00149	0.00133	0.00187	0.03396
jul-09	0.00001	0.00282	0.00256	0.00347	0.06656
ago-09	0.00011	0.01067	0.00962	0.01285	0.29797
sep-09	0.00006	0.00743	0.00665	0.00945	0.20897
oct-09	0.00005	0.00691	0.00614	0.00889	0.20207
nov-09	0.00013	0.01136	0.01011	0.01445	0.33296
dic-09	0.00009	0.00925	0.00834	0.01161	0.26062
ene-10	0.00002	0.00482	0.00433	0.00622	0.12902
feb-10	0.00005	0.00689	0.00627	0.00827	0.19706
mar-10	0.00000	0.00175	0.00159	0.00227	0.04407
abr-10	0.00001	0.00263	0.00239	0.00336	0.07152
may-10	0.00000	0.00006	0.00005	0.00018	0.00792
jun-10	0.00001	0.00313	0.00291	0.00378	0.07392
jul-10	0.00000	0.00119	0.00113	0.00142	0.02964
ago-10	0.00000	0.00022	0.00021	0.00025	0.00559
sep-10	0.00000	0.00019	0.00012	0.00063	0.02947
oct-10	0.00000	0.00087	0.00076	0.00135	0.05685
nov-10	0.00001	0.00382	0.00360	0.00483	0.10394
dic-10	0.00041	0.02014	0.01886	0.02354	0.49636
ene-11	0.00005	0.00720	0.00636	0.00906	0.17459
feb-11	0.00003	0.00526	0.00469	0.00708	0.11510
mar-11	0.00001	0.00359	0.00324	0.00451	0.08095
abr-11	0.00000	0.00086	0.00078	0.00141	0.02879
may-11	0.00000	0.00044	0.00040	0.00056	0.00831
jun-11	0.00000	0.00150	0.00142	0.00182	0.02946
jul-11	0.00001	0.00235	0.00213	0.00319	0.08176
ago-11	0.00000	0.00086	0.00061	0.00265	0.07250
sep-11	0.00001	0.00357	0.00308	0.00465	0.08623
oct-11	0.00000	0.00213	0.00179	0.00308	0.05030
nov-11	0.00000	0.00168	0.00142	0.00241	0.04088
dic-11	0.00000	0.00084	0.00071	0.00121	0.02026
ene-12	0.00000	0.00013	0.00011	0.00020	0.00366
feb-12	0.00000	0.00008	0.00007	0.00015	0.00253
mar-12	0.00003	0.00533	0.00461	0.00693	0.13228
abr-12	0.00007	0.00858	0.00750	0.01106	0.21145
may-12	0.00010	0.00997	0.00887	0.01250	0.25044
jun-12	0.00010	0.01021	0.00916	0.01227	0.25978
jul-12	0.00013	0.01144	0.01032	0.01423	0.30666
ago-12	0.00014	0.01166	0.01064	0.01406	0.32296
sep-12	0.00006	0.00768	0.00699	0.00905	0.21079

Fecha	MSE	St. Error	MAPE	Max. Abs. Error	Max. Rel. Error
oct-12	0.00009	0.00948	0.00856	0.01175	0.28638
nov-12	0.00000	0.00092	0.00085	0.00151	0.04969
dic-12	0.00001	0.00295	0.00266	0.00417	0.09516
ene-13	0.00000	0.00113	0.00105	0.00170	0.05663
feb-13	0.00002	0.00447	0.00395	0.00563	0.17288
mar-13	0.00005	0.00693	0.00622	0.00859	0.30328
abr-13	0.00003	0.00591	0.00531	0.00733	0.24186
may-13	0.00002	0.00407	0.00377	0.00480	0.16219
jun-13	0.00000	0.00195	0.00176	0.00242	0.05825
jul-13	0.00000	0.00159	0.00137	0.00250	0.10186
ago-13	0.00000	0.00155	0.00130	0.00215	0.04063
sep-13	0.00027	0.01652	0.01536	0.01976	0.35052
oct-13	0.00001	0.00302	0.00251	0.00433	0.08026
nov-13	0.00003	0.00585	0.00495	0.00846	0.15517
dic-13	0.00006	0.00765	0.00635	0.01152	0.19737
ene-14	0.00004	0.00620	0.00520	0.00929	0.15121
feb-14	0.00000	0.00063	0.00058	0.00112	0.01662
mar-14	0.00001	0.00281	0.00240	0.00393	0.06695
abr-14	0.00005	0.00711	0.00602	0.00957	0.16664
may-14	0.00001	0.00352	0.00305	0.00466	0.08242
jun-14	0.00002	0.00424	0.00361	0.00592	0.10672
jul-14	0.00000	0.00059	0.00052	0.00088	0.01713
ago-14	0.00025	0.01592	0.01418	0.02187	0.40575
sep-14	0.00001	0.00370	0.00315	0.00513	0.09780
oct-14	0.00003	0.00527	0.00472	0.00679	0.12389
nov-14	0.00000	0.00205	0.00178	0.00315	0.05480
dic-14	0.00008	0.00882	0.00751	0.01301	0.22762
0.00004	0.00504	0.00453	0.00668	0.12418	

Fuente: Elaboración propia.

Donde MSE, es el promedio de la suma de los Cuadrados de las diferencias entre los valores observados y los obtenidos por la estimación; St. Error es la raíz Cuadrada de MSE; MAPE es el promedio de los valores absolutos de las diferencias entre los valores observados y los obtenidos por la estimación; Mas. Abs. Error, es el máximo valor absoluto obtenidos por las diferencias entre los valores históricos y estimados (Para la misma curva de rendimiento) y Max. Rel. Error, es el máximo valor del error (diferencia entre observado y estimado como porcentaje del observado).

Para poder cuantificar el poder explicativo del modelo, se ha elaborado la siguiente tabla:

Tabla 3

Poder de predicción por meses de Vencimiento

Vencimiento (Meses)	Poder de Predicción	Vencimiento (Meses)	Poder de Predicción
3	97.04%	63	89.24%
6	96.73%	66	89.23%
9	95.90%	69	89.25%
12	95.39%	72	89.29%
15	95.07%	75	89.33%
18	94.58%	78	89.39%
21	93.85%	81	89.46%
24	93.02%	84	89.54%
27	92.23%	87	89.62%
30	91.57%	90	89.71%
33	91.02%	93	89.81%
36	90.57%	96	89.91%
39	90.21%	99	90.01%
42	89.92%	102	90.11%
45	89.70%	105	90.21%
48	89.54%	108	90.31%
51	89.42%	111	90.41%
54	89.35%	114	90.52%
57	89.31%	117	90.62%
60	89.26%	120	90.72%
Promedio	91.01%		

Fuente: Elaboración propia.

Poder explicativo del modelo, por vencimiento asociado. Como ya se había mencionado con anterioridad, el modelo ajusta mejor para los vencimientos más cortos (menores a 2 años), lo cual es concordante con la teoría, y además es eficiente pues en el mercado monetario (Menor a 1 año) se realizan la mayor cantidad de transacciones.

De manera similar se ha analizado el poder explicativo del modelo, pero por fechas. Con lo cual se ha obtenido en promedio un poder explicativo de 91.01%, igual al obtenido mediante al análisis realizado por vencimientos.

Tabla 4
Poder de predicción por Fechas

Fecha	Poder de Predicción	Fecha	Poder de Predicción
ene-06	85.48%	may-09	94.11%
feb-06	90.03%	jun-09	97.32%
mar-06	87.39%	jul-09	94.61%
abr-06	81.90%	ago-09	77.44%
may-06	77.70%	sep-09	83.45%
jun-06	78.67%	oct-09	84.14%
jul-06	98.94%	nov-09	74.45%
ago-06	91.49%	dic-09	79.40%
sep-06	91.81%	ene-10	89.45%
oct-06	97.98%	feb-10	84.57%
nov-06	98.19%	mar-10	96.23%
dic-06	97.55%	abr-10	94.35%
ene-07	94.19%	may-10	99.86%
feb-07	96.59%	jun-10	93.80%
mar-07	94.45%	jul-10	97.64%
abr-07	95.52%	ago-10	99.55%
may-07	94.88%	sep-10	99.62%
jun-07	98.53%	oct-10	98.29%
jul-07	95.26%	nov-10	91.71%
ago-07	96.65%	dic-10	58.98%
sep-07	98.33%	ene-11	86.88%
oct-07	98.12%	feb-11	90.75%
nov-07	89.95%	mar-11	93.70%
dic-07	95.61%	abr-11	98.55%
ene-08	98.46%	may-11	99.34%
feb-08	92.08%	jun-11	97.58%
mar-08	93.09%	jul-11	96.10%
abr-08	97.03%	ago-11	98.76%
may-08	90.02%	sep-11	93.86%
jun-08	99.33%	oct-11	96.52%
jul-08	90.14%	nov-11	97.17%
ago-08	83.31%	dic-11	98.59%
sep-08	86.84%	ene-12	99.78%
oct-08	88.82%	feb-12	99.86%
nov-08	90.51%	mar-12	90.52%
dic-08	99.62%	abr-12	84.63%
ene-09	95.23%	may-12	81.17%
feb-09	92.27%	jun-12	79.75%
mar-09	95.95%	jul-12	76.40%
abr-09	85.48%	ago-12	74.53%

Fecha	Poder de Predicción	Fecha	Poder de Predicción
sep-12	83.21%	nov-13	89.69%
oct-12	77.48%	dic-13	86.87%
nov-12	97.59%	ene-14	89.51%
dic-12	92.40%	feb-14	98.87%
ene-13	96.78%	mar-14	95.56%
feb-13	86.81%	abr-14	88.80%
mar-13	76.84%	may-14	94.16%
abr-13	81.26%	jun-14	92.62%
may-13	87.11%	jul-14	98.91%
jun-13	95.32%	ago-14	69.12%
jul-13	97.00%	sep-14	93.22%
ago-13	97.24%	oct-14	90.32%
sep-13	70.63%	nov-14	96.12%
oct-13	94.72%	dic-14	84.03%
Promedio	91.01%		

Fuente: Elaboración propia.

Análisis de Proyección:

Como ya se mencionó, para realizar la proyección se utilizó como insumo la data del periodo Enero 2006 – Diciembre 2014, obteniendo una matriz de Betas (Nivel, Pendiente y Curvatura). Para la estimación, es necesaria la proyección de estas 3 variables, con lo cual se podrá estimar la curva de rendimiento para las fechas futuras y contras tastaarla con la data de Enero 2015 – Mayo 2016.

Para la proyección de los Betas se utilizó un modelo AR(1), y también como comparativo un modelo GARCH(1)–modelo autorregresivo con heterocedasticidad condicional, donde la varianza del error de estimación es una función de los errores rezagados -, mostrándose los resultados a continuación:

Tabla 5

Estimación AR (1) Variable Nivel

Dependent Variable: NIVEL
 Method: Least Squares
 Date: 06/06/16 Time: 14:37
 Sample (adjusted): 2 108
 Included observations: 107 after adjustments
 Convergence achieved after 2 iterations

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
AR(1)	0.977769	0.021119	46.29720	0.0000
R-squared	-0.152283	Mean dependent var		0.078999
Adjusted R-squared	-0.152283	S.D. dependent var		0.016389
S.E. of regression	0.017593	Akaike info criterion		-5.233308
Sum squared resid	0.032809	Schwarz criterion		-5.208328
Log likelihood	280.9820	Durbin-Watson stat		2.937095
Inverted AR Roots	.98			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6

Estimación AR (1) Variable Pendiente

Dependent Variable: PENDIENTE
 Method: Least Squares
 Date: 06/06/16 Time: 14:36
 Sample (adjusted): 2 108
 Included observations: 107 after adjustments
 Convergence achieved after 2 iterations

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
AR(1)	0.930920	0.036641	25.40623	0.0000
R-squared	0.370126	Mean dependent var		-0.041084
Adjusted R-squared	0.370126	S.D. dependent var		0.022174
S.E. of regression	0.017598	Akaike info criterion		-5.232771
Sum squared resid	0.032827	Schwarz criterion		-5.207791
Log likelihood	280.9532	Durbin-Watson stat		2.805159
Inverted AR Roots	.93			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7

Estimación AR (1) Variable Curvatura

Dependent Variable: CURVATURA
 Method: Least Squares
 Date: 06/06/16 Time: 14:37
 Sample (adjusted): 2 108
 Included observations: 107 after adjustments
 Convergence achieved after 2 iterations

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
AR(1)	0.777275	0.061995	12.53762	0.0000
R-squared	0.290468	Mean dependent var		-0.034895
Adjusted R-squared	0.290468	S.D. dependent var		0.040170
S.E. of regression	0.033837	Akaike info criterion		-3.925218
Sum squared resid	0.121364	Schwarz criterion		-3.900238
Log likelihood	210.9992	Durbin-Watson stat		2.354081
Inverted AR Roots	.78			

Fuente: *Elaboración propia.*

Tabla 8

Modelo GARCH (1) Variable Nivel

Dependent Variable: NIVEL
 Method: ML - ARCH (Marquardt) - Student's t distribution
 Date: 06/06/16 Time: 14:42
 Sample (adjusted): 2 108
 Included observations: 107 after adjustments
 Failure to improve Likelihood after 24 iterations
 Variance backcast: ON
 GARCH = C(2) + C(3)*RESID(-1)^2 + C(4)*GARCH(-1)

	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
AR(1)	1.009691	0.030474	33.13316	0.0000
Variance Equation				
C	0.001582	0.000347	4.554393	0.0000
RESID(-1)^2	0.455340	0.356314	1.277921	0.2013
GARCH(-1)	-0.922820	0.064388	-14.33219	0.0000
T-DIST. DOF	21.39514	52.52640	0.407322	0.6838
R-squared	-0.177118	Mean dependent var		0.078999
Adjusted R-squared	-0.223280	S.D. dependent var		0.016389
S.E. of regression	0.018127	Akaike info criterion		-5.017086
Sum squared resid	0.033516	Schwarz criterion		-4.892187
Log likelihood	273.4141	Durbin-Watson stat		2.968514
Inverted AR Roots	1.01	Estimated AR process is nonstationary		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9

Modelo GARCH (1) Variable Pendiente

Dependent Variable: PENDIENTE
 Method: ML - ARCH (Marquardt) - Student's t distribution
 Date: 06/06/16 Time: 14:41
 Sample (adjusted): 2 108
 Included observations: 107 after adjustments
 Convergence achieved after 55 iterations
 Variance backcast: ON
 GARCH = C(2) + C(3)*RESID(-1)^2 + C(4)*GARCH(-1)

	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
AR(1)	0.964884	0.026994	35.74397	0.0000
Variance Equation				
C	0.000133	2.97E-05	4.485499	0.0000
RESID(-1)^2	0.116428	0.051870	2.244598	0.0248
GARCH(-1)	-0.122516	0.133489	-0.917802	0.3587
T-DIST. DOF	12.29966	2.367194	5.195882	0.0000
R-squared	0.365020	Mean dependent var	-0.041084	
Adjusted R-squared	0.340119	S.D. dependent var	0.022174	
S.E. of regression	0.018012	Akaike info criterion	-5.819250	
Sum squared resid	0.033093	Schwarz criterion	-5.694351	
Log likelihood	316.3299	Durbin-Watson stat	2.880255	
Inverted AR Roots	.96			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10

Modelo GARCH (1) Variable Curvatura

Dependent Variable: CURVATURA
 Method: ML - ARCH (Marquardt) - Student's t distribution
 Date: 06/06/16 Time: 14:43
 Sample (adjusted): 2 108
 Included observations: 107 after adjustments
 Failure to improve Likelihood after 34 iterations
 Unable to evaluate derivatives at current parameter values
 Variance backcast: ON
 GARCH = C(2) + C(3)*RESID(-1)^2 + C(4)*GARCH(-1)

	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
AR(1)	0.954907	NA	NA	NA
Variance Equation				
C	2.67E-13	NA	NA	NA
RESID(-1)^2	19.11740	NA	NA	NA
GARCH(-1)	0.091765	NA	NA	NA
T-DIST. DOF	2.085754	NA	NA	NA
R-squared	0.235515	Mean dependent var	-0.034895	
Adjusted R-squared	0.205535	S.D. dependent var	0.040170	
S.E. of regression	0.035805	Akaike info criterion	-5.534297	
Sum squared resid	0.130764	Schwarz criterion	-5.409399	
Log likelihood	301.0849	Durbin-Watson stat	2.623184	
Inverted AR Roots	.95			

Fuente: Elaboración propia.

La estimación del modelo GARCH para el factor de Curvatura se presenta inestable.

Como se observa, los modelos GARCH, no son estables (Factor Curvatura) a comparación con los modelos AR. Y en la proyección, los modelos AR demostraron ser mejores (Mayor poder de ajuste).

Con los modelos AR se obtuvieron los siguientes Betas proyectados para las fechas señaladas:

Tabla 11

Modelo AR(1) – Estimación Betas

Fecha	β_1	β_2	β_3
ene-15	0.0988	-0.0600	-0.0554
feb-15	0.0966	-0.0558	-0.0431
mar-15	0.0944	-0.0520	-0.0335
abr-15	0.0923	-0.0484	-0.0260
may-15	0.0903	-0.0450	-0.0202
jun-15	0.0883	-0.0419	-0.0157
jul-15	0.0863	-0.0390	-0.0122
ago-15	0.0844	-0.0363	-0.0095
sep-15	0.0825	-0.0338	-0.0074
oct-15	0.0807	-0.0315	-0.0057
nov-15	0.0789	-0.0293	-0.0045
dic-15	0.0771	-0.0273	-0.0035
ene-16	0.0754	-0.0254	-0.0027
feb-16	0.0737	-0.0236	-0.0021
mar-16	0.0721	-0.0220	-0.0016
abr-16	0.0705	-0.0205	-0.0013

Fuente: Elaboración propia.

Con estos Betas y el lambda, previamente definido en 0.03486, es posible ahora construir las curvas de rendimientos para las fechas estimadas.

A continuación se muestra un gráfico comparativo entre el promedio de las Curvas de rendimiento observados y proyectadas vía Nelson & Siegel.

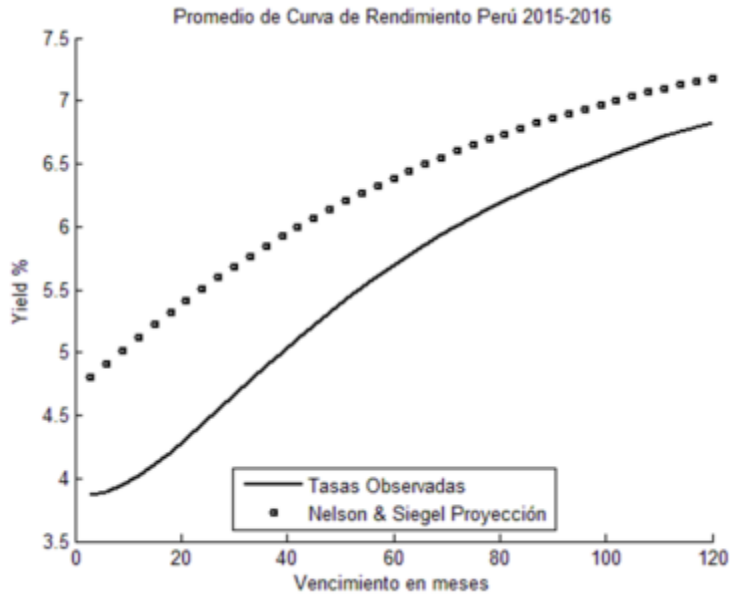


Figura 8 – Promedio Curva de Rendimiento Peru 2015-2016

Fuente: *Elaboración propia.*

Como se observa, el *spread* entre una los datos proyectados y los observados es alto, sin embargo, la teoría financiera nos indica que en proyecciones el modelo paramétrico de Nelson & Siegel, genera mayores ajuste de bondad con un espacio de proyección de por lo menos 1 año.

Por eso si comparamos, como se hace en el siguiente gráfico, los promedios de las curvas de rendimiento observadas y estimadas solo para el año 2016, el *spread* es menor, con un mayor ajuste para los vencimientos menores a 2 años, como se había observado también para la estimación histórica.

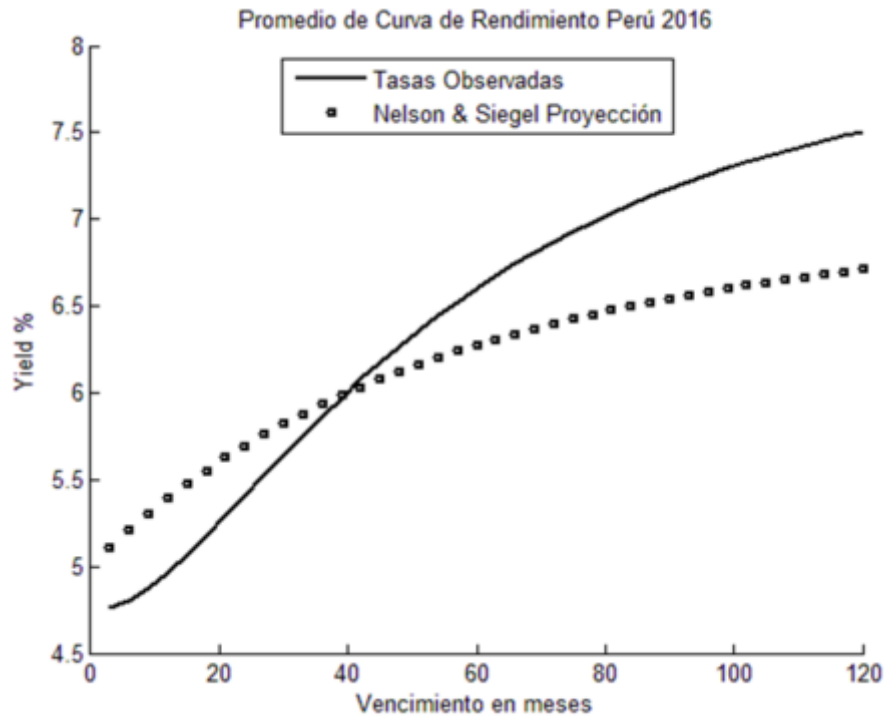


Figura 9 – Promedio Curva de Rendimiento Peru 2016

Fuente: *Elaboración propia.*

De manera más detallada se ha procedido a graficar todas las curvas de rendimiento proyectadas y compararlas con las curvas de rendimiento observadas.

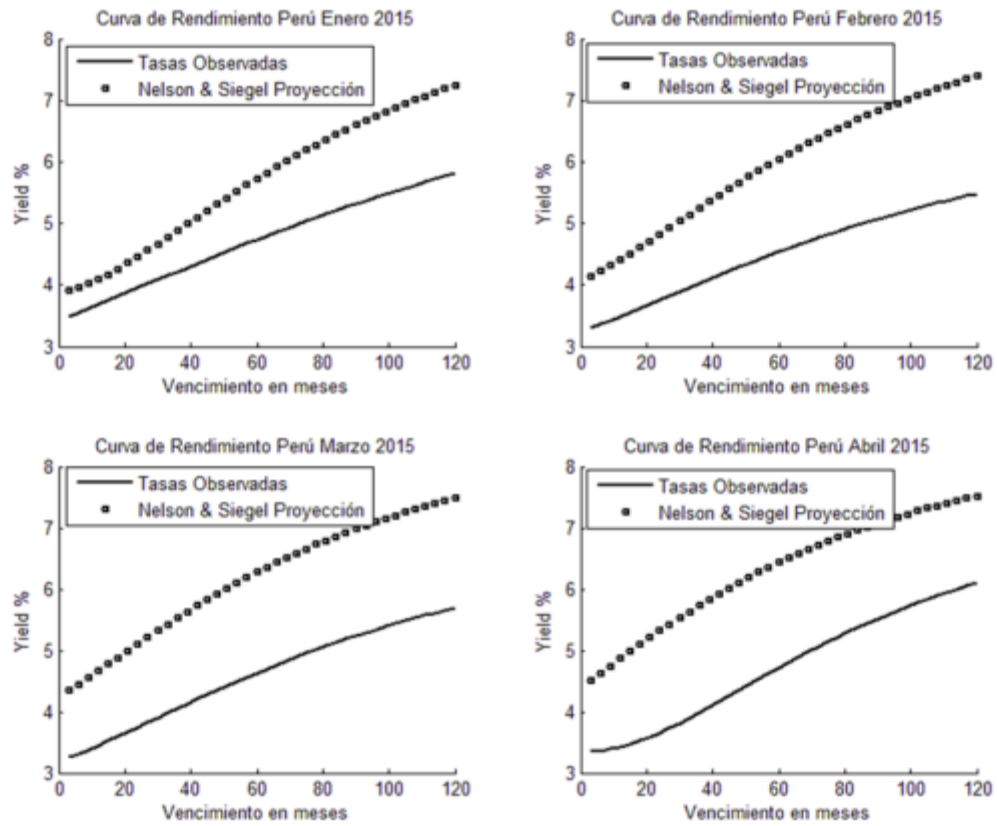


Figura 10 – Curva de Rendimiento Peru 2015

Fuente: Elaboración propia.

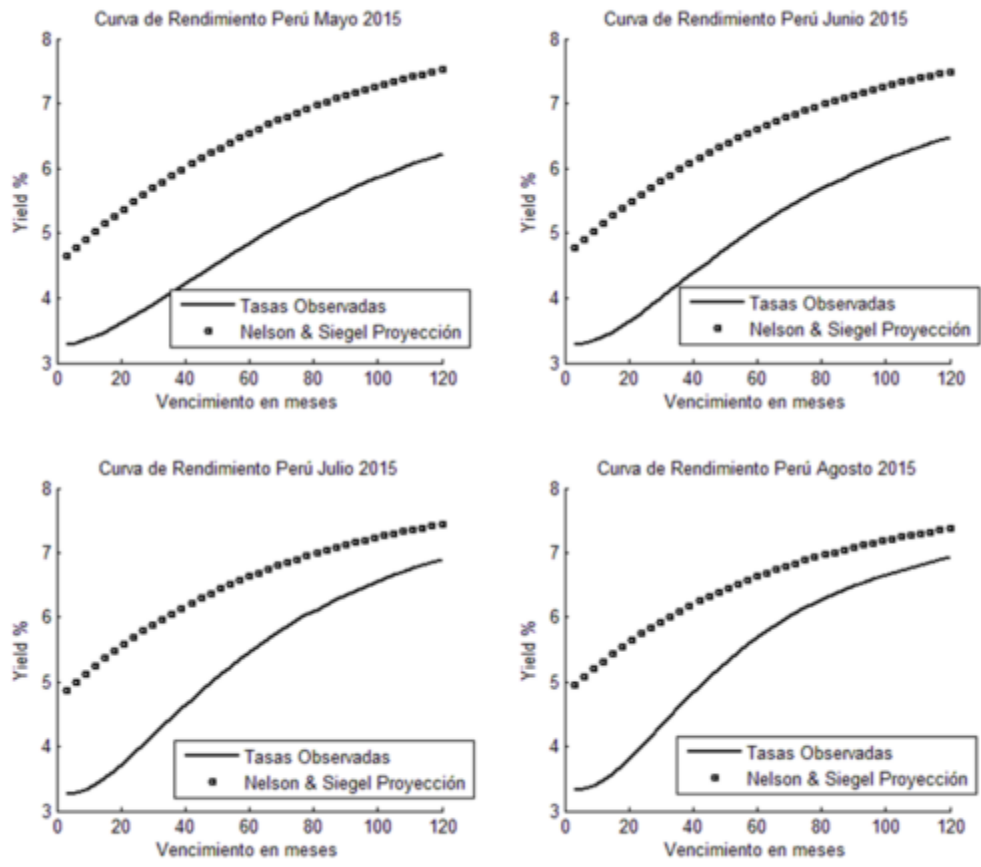


Figura 11 – Curva de Rendimiento Peru 2015
Fuente: Elaboración propia.

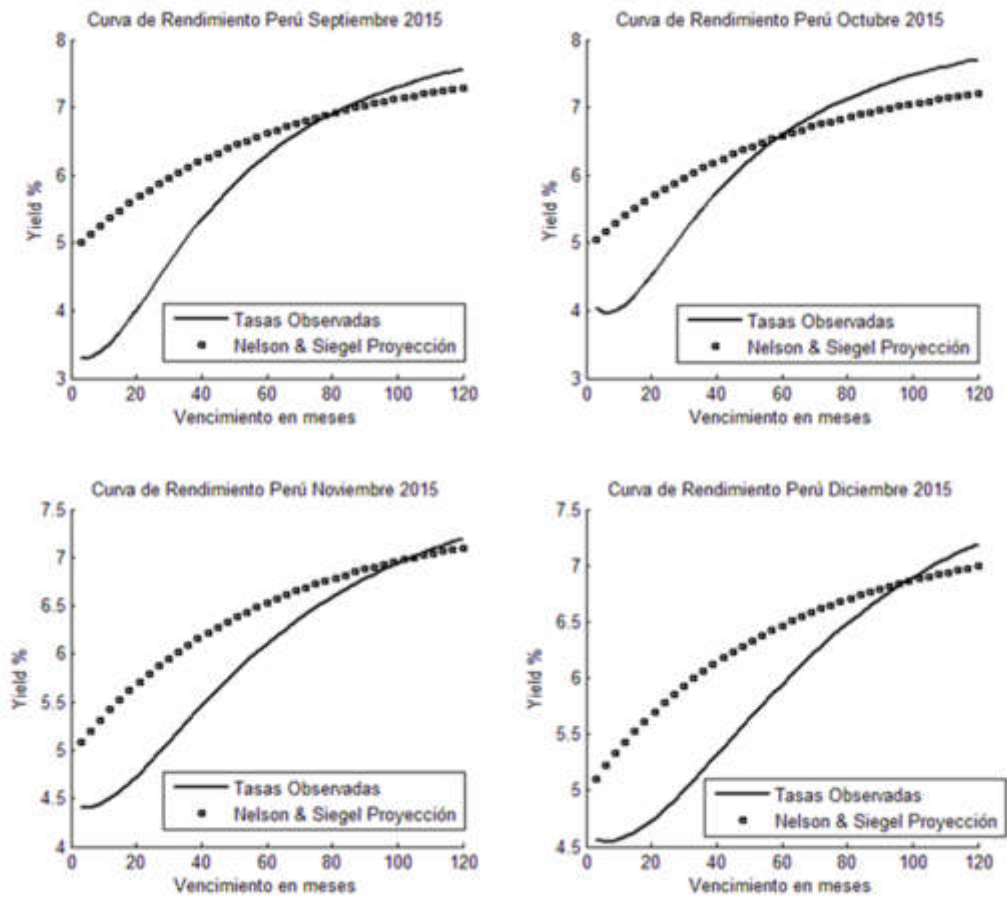


Figura 12 – Curva de Rendimiento Peru 2015

Fuente: *Elaboración propia.*

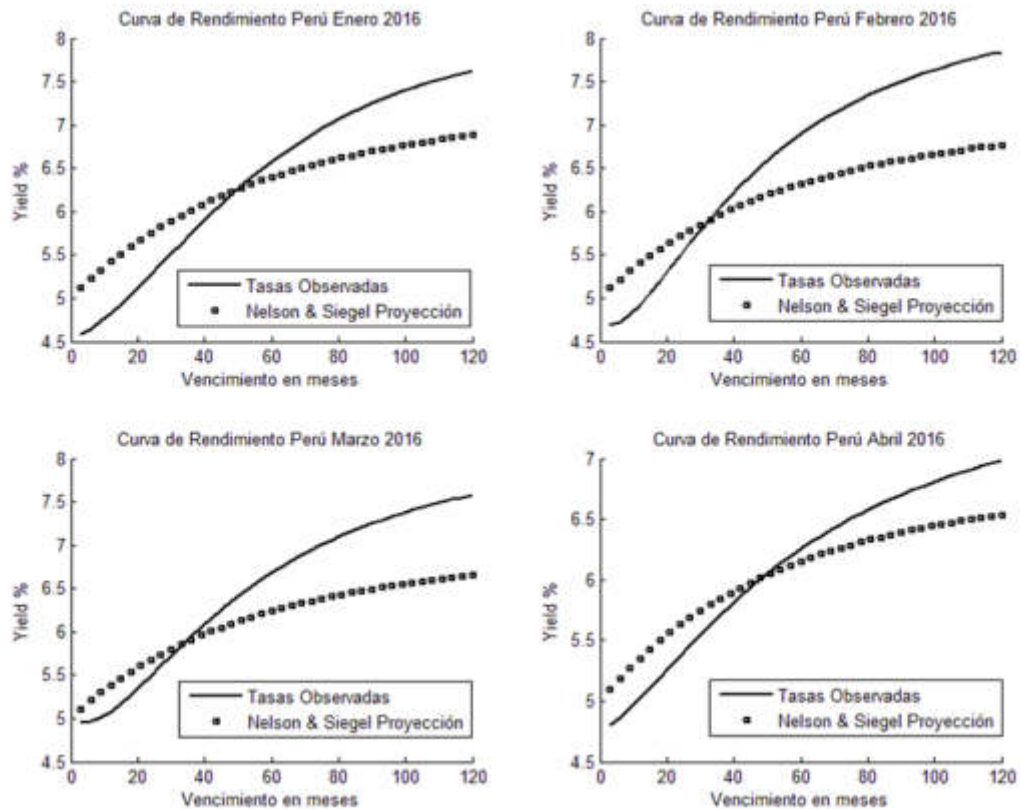


Figura 12 – Curva de Rendimiento Peru 2016

Fuente: Elaboración propia.

Y los resultados arrojan, una vez más, que la estimación es más robusta con un año de espacio de proyección. Las curvas estimadas para el año 2016 ajustan mejor que las del 2015, y ese ajuste va mejorando conforme avanza el tiempo (La curva de Abril ajusta mejor que la curva de Enero).

De manera similar, a lo que realizamos con los resultados históricos obtenidos, se ha procedido a calcular una tabla con las medidas de dispersión:

Tabla 12

Medidas Dispersión Modelo

Fecha	MSE	St. Error	MAPE	Max. Abs. Error	Max. Rel. Error
ene-15	0.00010	0.01016	0.00928	0.01434	0.24699
feb-15	0.00022	0.01496	0.01422	0.01915	0.34942
mar-15	0.00025	0.01586	0.01534	0.01788	0.36381
abr-15	0.00026	0.01597	0.01552	0.01763	0.45382
may-15	0.00026	0.01598	0.01551	0.01798	0.48033
jun-15	0.00022	0.01480	0.01419	0.01825	0.51330
jul-15	0.00016	0.01273	0.01162	0.01851	0.53764
ago-15	0.00014	0.01164	0.01029	0.01852	0.53255
sep-15	0.00008	0.00917	0.00645	0.01867	0.55325
oct-15	0.00004	0.00650	0.00515	0.01315	0.32529
nov-15	0.00003	0.00558	0.00434	0.00953	0.20708
dic-15	0.00003	0.00585	0.00472	0.00950	0.19899
ene-16	0.00002	0.00484	0.00425	0.00746	0.12598
feb-16	0.00005	0.00689	0.00597	0.01073	0.13683
mar-16	0.00003	0.00562	0.00472	0.00922	0.12173
abr-16	0.00001	0.00273	0.00238	0.00442	0.06591
	0.00012	0.00996	0.00900	0.01406	0.32581

Fuente: *Elaboración propia.*

También se ha analizado cuantitativamente el poder de predicción, según el vencimiento y según las fechas de las curvas de rendimiento.

Tabla 13

Poder de predicción por vencimiento - Modelo

Vencimiento (Meses)	Poder de Predicción	Vencimiento (Meses)	Poder de Predicción
3	73.41%	63	83.52%
6	71.33%	66	83.81%
9	70.31%	69	84.09%
12	70.11%	72	84.35%
15	70.49%	75	84.59%
18	71.27%	78	84.83%
21	72.29%	81	85.04%
24	73.46%	84	85.19%
27	74.69%	87	85.34%
30	75.93%	90	85.48%
33	77.12%	93	85.62%
36	78.07%	96	85.76%
39	78.93%	99	85.86%
42	79.76%	102	85.93%
45	80.54%	105	85.97%
48	81.28%	108	86.00%
51	81.88%	111	86.04%
54	82.37%	114	86.07%
57	82.82%	117	86.11%
60	83.22%	120	86.14%
Promedio	80.88%		

Fuente: *Elaboración propia.*

Tabla 14

Poder de predicción por fecha - Modelo

Fecha	Poder de Predicción
ene-15	80.57%
feb-15	68.04%
mar-15	65.55%
abr-15	64.97%
may-15	65.20%
jun-15	68.41%
jul-15	74.04%
ago-15	77.13%
sep-15	84.79%
oct-15	89.89%
nov-15	91.44%
dic-15	90.79%
ene-16	93.07%
feb-16	91.14%
mar-16	92.95%
abr-16	96.01%
Promedio	80.88%

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente se grafica los poderes de predicción según vencimiento, obtenidos por el modelo Nelson & Siegel, para datos históricos y para proyecciones:

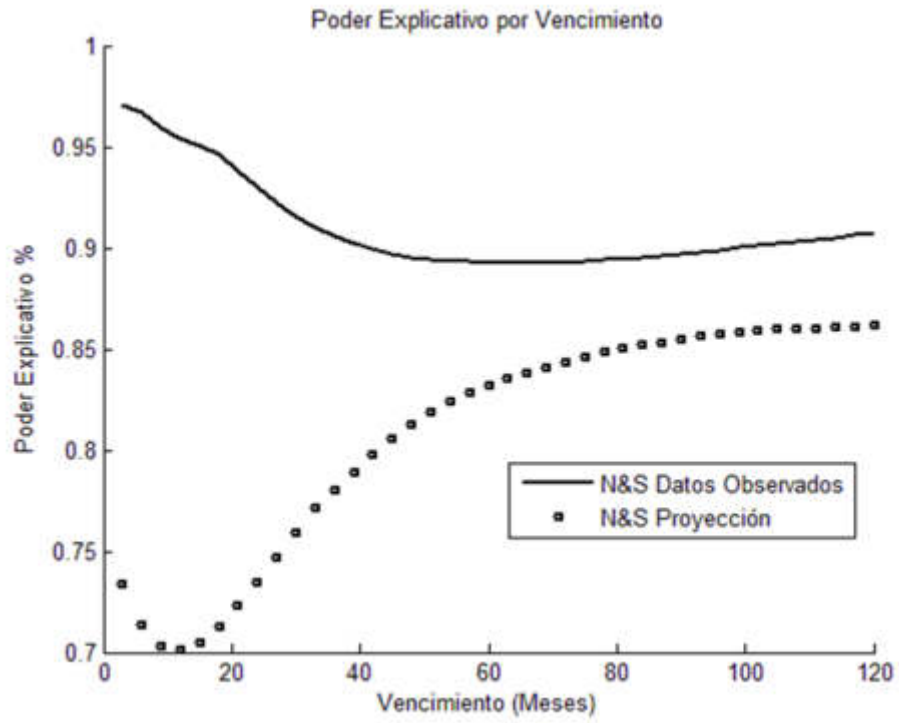


Figura 14 – Poder Explicativo por Vencimiento

Fuente: Elaboración propia.

También se ha graficado el poder explicativo según las fechas.

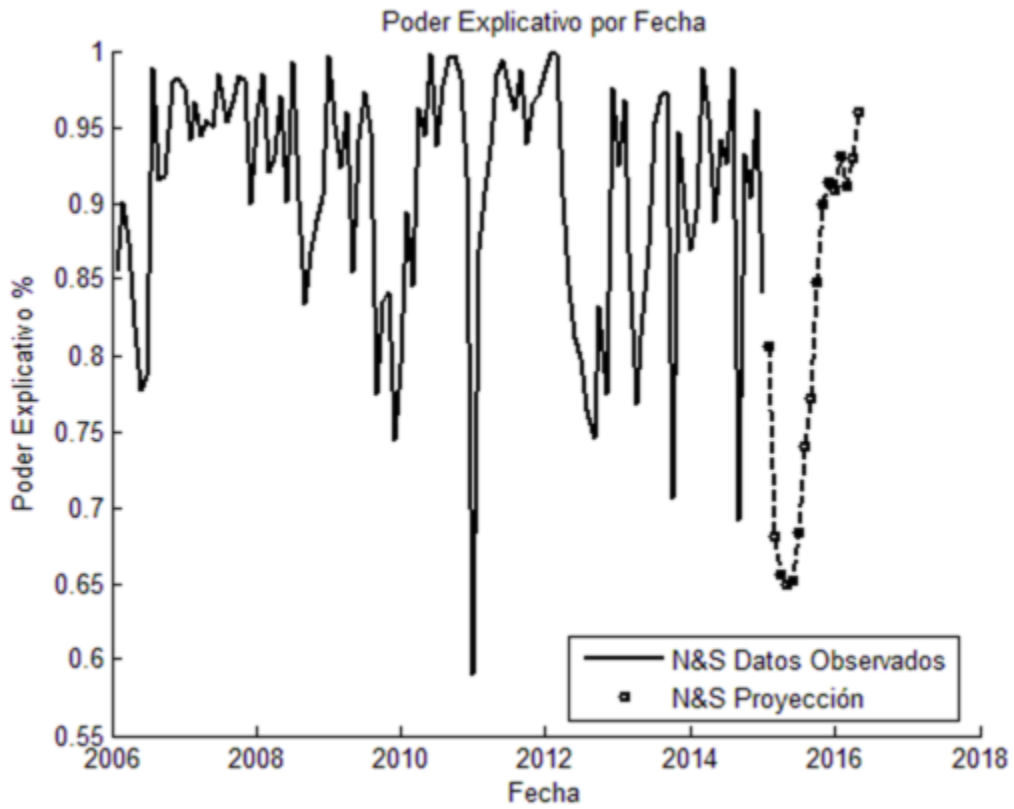


Figura 15 – Poder Explicativo por Fecha
Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

Como se ha detallado con anterioridad el mercado de capitales peruanos, se caracteriza por su poca profundidad y liquidez. En ese marco, la curva de rendimientos soberana, ofrece una referencia de liquidez para la correcta toma de decisiones. Es importante anotar que la curva Soberana local, en términos relativos de sus pares de Mercados Emergentes, se mantiene rezagados en términos de profundidad y de liquidez. De manera adicional, se menciona que en otras realidades el mercado de deuda corporativa, es el valor de referencia, para la estimación de valores de deuda.

Con respecto a la correcta caracterización de eventos exógenos, como crisis financiera *Sub-Prime* (2007-2008), y el anuncio de la FED sobre la finalización del programa de *Quantitative-easing*¹⁴ (2013), se encuentran caracterizados por la data histórica (salto en los niveles de *yields*, asociados al mayor riesgo asociado), mientras que los datos proyectados, pierden consistencia en las observaciones más cercanas a las *shocks*. Esto se debe, a que estos eventos exógenos representan cambios estructurales en la dinámica de las tasas de interés.

Por último, sobre la importancia de la curva de rendimiento, en la toma de decisiones financieras, en orden de maximizar los beneficios económicos, medidos en valor presente, fundamentado en manejar el *timing* para tomar deuda o para reperfilarla, o en la toma de decisiones excluyentes sobre proyectos de inversión, de acuerdo a las exceptivas sobre las condiciones de mercado. En ese sentido, el presente trabajo de investigación ha sido capaz de proyectar un modelo paramétrico robusto, que estima con un alto nivel de confianza las curvas de rendimiento, tal como se detallará en el punto de conclusiones.

¹⁴ Herramienta de política monetaria, diseñado para proveer de liquidez al sistema, a través de cambios en la composición y/o en el tamaño de las hojas de balance de los Bancos Centrales (Blinder, 2010).

CONCLUSIONES

Luego del análisis de los resultados obtenidos, y habiéndolos contrastados con la data histórica, se concluye que:

- a. Con respecto a la idoneidad de utilizar un modelo paramétrico para la proyección de la curva de rendimientos, en una realidad como la peruana, descrita principalmente por la falta de liquidez, se puede concluir que los resultados obtenidos son robustos, basándose en: i) Poder de caracterización mayor al 90% cuando se realiza con data histórica (estimación ex post) y, ii) Poder de caracterización mayor al 80%, para las proyecciones realizadas (estimación ex ante), que ante todo escenario es un intervalo de confianza alto para los estándares trabajados en finanzas. Cabe mencionar que los resultados de la proyección, adquieren mayor consistencia si son realizados con un periodo de por lo menos un año.
- b. En lo específico, sobre la idoneidad, de utilizar al Modelo de Nelson & Siegel de tres factores, sobre las otras variantes de modelos paramétricos, se concluye que el parámetro Lambda, estimado por ese modelo, es estable y replicable para la realidad peruana, inclusive con los niveles de liquidez rezagados en comparación con economías desarrolladas.
- c. De manera adicional se ha estimado los factos de Nivel, Pendiente y Curvaturas (Betas), para la curva local, a través de modelo auto regresivos de orden 1 (AR1), que resulta complementario al modelo paramétrico, por lo que se concluye que los resultados obtenidos indican, en todos los casos, que eran estadísticamente significativos. Los resultados fueron contrastados con regresiones de utilizando un modelo autorregresivo con heterocedasticidad condicional de orden 1 (GARCH 1), obteniendo resultados inestables para los parámetros tal como se indica en el capítulo 5. Asimismo se concluye que el poder de predicción del modelo estimado es mayor con plazos cortos de la curva, comparado a los plazos más largos (medido por lo meses a vencimiento). En todos los casos el poder de

caracterización (~ 80%) es un intervalo de confianza alto, como ya se ha mencionado.

RECOMENDACIONES

- a. Se recomienda analizar la idoneidad o el cuidado de no ingresar al modelo un cuarto factor (Factor de Svensson), que se define como la sensibilidad a la sensibilidad del modelo, similar al concepto de una segunda derivada.
- b. Comparar los resultados con proyecciones realizadas con estructuras de Random Walk, y analizar las ganancias reales del modelo
- c. Utilizar un Modelo VAR con la inclusión de variables macro (Como la tasa de Referencia, PBI, Gasto Publico) para poder proyectar los factores del modelo. (Betas) y analizar la ganancia de utilizar este modelo.

FUENTES DE INFORMACION

- Alfaro, R., Becerra, J., & Sagner, A. (2010). *Estimación de la Estructura de Tasas utilizando el modelo Dinámico Nelson Siegel: Resultados para Chile y EEUU*. Santiago: Banco Central de Chile.
- Black, F., & Scholes, M. (1973). The Pricing of Options and Corporate Liabilities. *The Journal of Political Economy*, 637-654.
- Blinder, A. (2010). *Quantitative Easing: Entrance and Exit Strategies*. New Jersey: Princeton University.
- C., J. P. (2010). Estimación de la curva de rendimiento cupón cero. *Economía*, 103-132.
- Cano, C., Correa, R., & Ruiz, L. (2008). La curva de rendimientos y la toma de decisiones Financieras. *Moneda*, 30-34.
- Cox, J. C., Ingersoll, J. E., & Ross, S. A. (1985). A Theory of the Term Structure of Interest Rate. *Econometrica*, 385-408.
- Delfau, E. (2017). *Métodos de estimación de curvas de Rendimiento Cupón cero en Argentina*. Buenos Aires: Universidad del CEMA.
- Diebold, F., & Li, C. (2006). Forecasting the term structure of government bond yields. *Journal of Econometrics*, 337 - 364.
- Hernández, R., Fernandez, C., & Baptista, P. (2010). *Metodología de la investigación*. México: McGraw Hill.
- Litterman, R., & Scheinkman, J. (1991). Common Factor Affecting Bond Returns. *The Journal of Fixed Income*, 54-61.
- Lundblad, C. (2016). *The Term Structure of Interest Rate*. Lima: BCRP.
- Nelson, C., & Siegel, A. (1987). Parsimonious Modeling of Yield Curve. *The Journal of Business*, 473-489.
- Pereda C., J. (2009). Estimación de la Curva de Rendimiento Cupón Cero para el Perú. *Revista Estudios Económicos* , 113-145.
- Piazzesi, M., & Cochrane, J. H. (2009). Decomposing the Yield Curve. *Social Science Research Network*, 1-54.

Schlesinger, A. (2006). *Estimación de la estructura de tasas de interés reales, de los instrumentos de renta fija en Chile*. Universidad de Chile, Santiago.

Svensson, L., & Dahlquist, M. (1994). Estimating the Term Structure of Interest Rates with simple and complex functional Forms: Nelson & Siegel vs. Longstaff & Schwartz. *Institute for International Economic Studies*.

Vasicek, O. (1977). An Equilibrium Characterization of the Term Structure . *Journal of Financial Economics*, 177-188.

ANEXO: Matriz de Consistencia:

MODELO DE PROYECCION PARA LA CURVA DE RENDIMIENTOS DE LOS BONOS SOBERANOS PERUANOS 2006 – 2016.

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGIA
<p>Problema General:</p> <p>¿Es posible elaborar un modelo paramétrico robusto de Nelson & Siegel para la proyección de la curva de rendimientos de bonos soberanos Peruanos en Soles?</p> <p>Problemas Específicos:</p> <p>a.- ¿Cómo impacta el nivel de liquidez y de profundidad del mercado de capitales peruano en la estimación del modelo Nelson & Siegel?</p> <p>b.- ¿Cuál es el mejor modelo econométrico para la estimación de los factores Beta dentro del modelo de Nelson & Siegel que permita la estabilidad de las variables.?</p> <p>c.- ¿En qué medida los plazos de estimación de la curva de rendimientos influyen en el poder predictivo del modelo?</p>	<p>Objetivo General:</p> <p>Elaborar un modelo paramétrico robusto, para la proyección de la curva de rendimientos de los Bonos Soberanos Unsecured Peruanos en Soles.</p> <p>Objetivos Específicos:</p> <p>a.- Determinar si un contexto caracterizado por poca liquidez y profundidad del mercado de capitales, peruano, impacta en la estimación del modelo Nelson & Siegel.</p> <p>b.- Identificar el modelo de regresión adecuado para los factores Betas de Nelson & Siegel y permita comprobar la estabilidad de las variables.</p> <p>c.- Analizar la bondad del modelo de acuerdo a los plazos de la estimación de la curva de rendimientos para el modelo predictivo.</p>	<p>Hipótesis General:</p> <p>Diseñando el Modelo paramétrico robusto de Nelson & Siegel, entonces la proyección de la Curva de Rendimientos de Bonos Peruanos en soles es la adecuada.</p> <p>Hipótesis Específicas:</p> <p>a.- El Modelo Nelson & Siegel para la proyección de la Curva de Rendimientos no se ve impactado negativamente por un contexto de baja liquidez y profundidad del mercado de capitales.</p> <p>b.- El modelo de regresión adecuado para los factores Betas de Nelson & Siegel por comprobarse la estabilidad de las variables.</p> <p>c.- Si los Plazos de estimación de la curva de rendimientos se cumplen, entonces el modelo predictivo propuesto es el adecuado.</p>	<p>Variable Independiente:</p> <p>Betas</p> <p>X1. Nivel</p> <p>X2. Pendiente</p> <p>X3. Curvatura</p> <p>X4. Lambda</p> <p>Variable Dependiente:</p> <p>Y: Tasas de Interés</p>	<p>1. Tipo de investigación: Aplicada.</p> <p>2. Nivel de investigación: Descriptiva.</p> <p>3. Métodos: Descriptivo, Regresión, Estadístico y de Análisis-Síntesis.</p> <p>4. Diseño: Investigación no experimental.</p> <p>5. Población: Está conformada por la curva de rendimiento Cupón Cero en Soles, publicada por la Superintendencia de Banca y Seguros.</p> <p>6. Muestra: La muestra representativa está compuesta por la serie histórica comprendida entre Enero 2006 y Mayo 2016, con frecuencia mensual.</p> <p>7. Técnicas: Recolección de información de Base de Datos especializadas: Bloomberg.</p> <p>8. Instrumento Ficha de acopio de información</p>