



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Caracterización de precios horarios de electricidad en Colombia – Análisis de las variaciones de los precios y condiciones del mercado debido al fenómeno del Niño y otros factores

Esteban Gómez Correa

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Minas

Medellín, Colombia

2017

Caracterización de precios horarios de electricidad en Colombia – Análisis de las variaciones de los precios y condiciones del mercado debido al fenómeno del Niño y otros factores

Esteban Gómez Correa

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:
Magister en Ingeniería – Sistemas Energéticos

Director:

PhD en Sistemas Energéticos Juan David Velásquez Henao

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Minas

Medellín, Colombia

2017

A mis padres

Agradecimientos

El autor desea agradecer al profesor Juan David Velásquez Henao, director de este trabajo por su apoyo, acompañamiento y directrices brindadas durante el desarrollo de esta investigación.

Resumen

En este trabajo se realizó un estudio de la dinámica de los precios de bolsa de la electricidad en Colombia principalmente durante los periodos en los que ocurrió un fenómeno del Niño. Se analiza por qué el aumento y la disminución de precios durante estas épocas ocurre en algunas ocasiones de forma abrupta e instantánea. La investigación se realizó a través de minería de datos, siguiendo algunos pasos de la metodología CRISP-DM y utilizando principalmente el análisis de representaciones gráficas de los datos. Se pudo concluir que no solo los efectos físicos sobre las precipitaciones ocasionados por el fenómeno del Niño, sino también las diferentes publicaciones acerca del comportamiento del fenómeno pueden alarmar al mercado produciendo un alza y una posterior disminución de precios. La fortaleza de este trabajo es principalmente las descripciones gráficas que se construyeron a través de los bancos de datos.

Palabras clave: CRISP-DM, mercado de energía, fenómeno del Niño, precios de bolsa

Abstract

In this work, a study of the dynamics of electricity market prices in Colombia was carried out mainly during the periods in which a Niño phenomenon occurred. It is analyzed why the increase and the decrease of prices during these lapses happens sometimes abruptly and instantaneously. The research was done through data mining, following some steps of the CRISP-DM methodology and using mainly the analysis of graphical representations of the data. It was possible to conclude that not only the physical effects on the precipitation caused by the Niño phenomenon, but also the different publications about the behavior of the phenomenon can alarm the market producing a rise and a subsequent decrease of prices. The strength of this work is mainly the graphic descriptions that were constructed from the databases.

Keywords: CRISP-DM, energy markets, Niño phenomenon, stock prices

Contenido

	Pág.
Resumen	IX
Lista de figuras	XII
Lista de tablas	XVII
Lista de Símbolos y abreviaturas	XVIII
Introducción	1
1. Metodología CRISP – DM (Cross – Industry Standard Process for Data Mining)....	5
2. Aplicación de la metodología	9
2.1 Comprensión del mercado de energía eléctrica.	9
2.1.1 Objetivos globales	9
2.1.2 Valoración de la situación	11
2.1.3 Objetivos de la minería de datos.....	11
2.2 Comprensión de los datos	12
2.2.1 Recopilación inicial de los datos	12
2.2.2 Descripción de los datos.....	12
2.3 Preparación de los datos.....	13
3. Resultados y análisis (modelado y evaluación)	15
3.1 Visión general: precios de bolsa de electricidad en periodos de Niño	15
3.2 Análisis de los precios de bolsa de electricidad en cada periodo de Niño.	17
3.2.1 Niño 1997 – 1998	18
3.2.2 Niño 2002 – 2003	32
3.2.3 Niño 2004 – 2005	45
3.2.4 Niño 2006 – 2007	55
3.2.5 Niño 2009 – 2010	68
3.2.6 Niño 2014 – 2016	83
3.3 Comparación de los fenómenos del Niño	100
4. Conclusiones	105
4.1 Conclusiones.....	105
A. Anexo: Gráficas complementarias de generación	107
Bibliografía	129

Lista de figuras

Figura 1:	7
Gráfica 3 - 1: Precios de bolsa de electricidad horarios desde julio de 1995 a diciembre de 2016.....	16
Gráfica 3 - 2: Precios de bolsa de electricidad horarios promediados por día desde julio de 1995 a diciembre de 2016.....	16
Gráfica 3 - 3: Precios de bolsa de electricidad horarios promediados por mes desde julio de 1995 a diciembre de 2016.....	17
Gráfica 3 - 4: Niño mayo 1997 a mayo 1998, Precios horarios.....	19
Gráfica 3 - 5: Niño mayo 1997 a mayo 1998, Precios horarios en hora pico	19
Gráfica 3 - 6: Niño mayo 1997 a mayo 1998, Precios horarios en hora valle	20
Gráfica 3 - 7: Niño mayo 1997 a mayo 1998, Promedios diarios.....	20
Gráfica 3 - 8: Niño mayo 1997 a mayo 1998, promedios mensuales.....	21
Gráfica 3 - 9: Inicio del Niño, marzo de 1997 a noviembre de 1997, Precios horarios.....	22
Gráfica 3 - 10: Inicio del Niño, marzo de 1997 a noviembre de 1997, Precios horarios en hora pico.....	22
Gráfica 3 - 11: inicio del Niño, marzo de 1997 a noviembre de 1997, precios horarios en hora valle	23
Gráfica 3 - 12: Inicio del Niño, marzo de 1997 a noviembre de 1997, promedios diarios.....	23
Gráfica 3 - 13: fin del Niño, diciembre de 1997 a julio de 1998, precios horarios.....	24
Gráfica 3 - 14: fin del Niño, diciembre de 1997 a julio de 1998, precios horarios en hora pico	25
Gráfica 3 - 15: fin del Niño, diciembre de 1997 a julio de 1998, precios horarios en hora valle	25
Gráfica 3 - 16: fin del Niño, diciembre de 1997 a julio de 1998, promedios diarios.....	26
Gráfica 3 - 17: precios de bolsa Vs Generación hidráulica diaria (kWh) desde 1997 a 1998.....	27
Gráfica 3 - 18: precios de bolsa Vs Generación térmica diaria (kWh) desde 1997 a 1998	27
Gráfica 3 - 19: Porcentaje de generación mensual por tipo de recurso	28
Gráfica 3 - 20: volumen útil de embalse (GWh) 1997 - 1998	29
Gráfica 3 - 21: aportes hídricos mensuales (GWh) 1997 - 1998.....	30
Gráfica 3 - 22: aportes hídricos mensuales, porcentaje respecto a la media 1997 - 1998.....	30
Gráfica 3 - 23: Niño junio 2002 a febrero 2003, precios horarios.....	33
Gráfica 3 - 24: Niño junio 2002 a febrero 2003, precios horarios en hora pico	33
Gráfica 3 - 25: Niño junio 2002 a febrero 2003, precios horarios en hora valle	34
Gráfica 3 - 26: Niño junio 2002 a febrero 2003, promedios diarios.....	34

Gráfica 3 - 27: Niño junio de 2002 a febrero de 2003, promedios mensuales	35
Gráfica 3 - 28: Inicio del Niño, abril 2002 a octubre 2002, precios horarios	36
Gráfica 3 - 29: Inicio del Niño, abril 2002 a octubre 2002, precios horarios en hora pico	36
Gráfica 3 - 30: Inicio del Niño, abril 2002 a octubre 2002, precios horarios en hora valle	37
Gráfica 3 - 31: Inicio del Niño, abril 2002 a octubre de 2002, promedios diarios.....	37
Gráfica 3 - 32: Fin del Niño, noviembre de 2002 a abril de 2003, precios horarios	38
Gráfica 3 - 33: Fin del Niño, noviembre de 2002 a abril de 2003, precios horarios en hora pico	38
Gráfica 3 - 34: fin del Niño, noviembre de 2002 a abril de 2003, precios horarios en hora valle.....	39
Gráfica 3 - 35: Fin del Niño, noviembre de 2002 a abril de 2003, promedios diarios.	39
Gráfica 3 - 36: porcentaje de generación mensual por tipo de recurso, 2002 - 2003	40
Gráfica 3 - 37: aportes hídricos mensuales (GWh), 2002 - 2003	40
Gráfica 3 - 38: aportes hídricos mensuales porcentaje respecto a la media	41
Gráfica 3 - 39: Niño julio de 2004 a abril 2005, precios horarios.....	46
Gráfica 3 - 40: Niño julio de 2004 a abril 2005, precios horarios hora pico	46
Gráfica 3 - 41: Niño julio de 2004 a abril 2005, precios horarios hora valle.....	47
Gráfica 3 - 42: Niño julio 2004 a abril 2005, promedios diarios	47
Gráfica 3 - 43: Niño julio 2004 - abril 2005, promedio mensual.....	48
Gráfica 3 - 44: inicio del Niño mayo de 2004 a noviembre de 2004, precios horarios	48
Gráfica 3 - 45: inicio del Niño mayo de 2004 a noviembre de 2004, precios horarios hora pico	49
Gráfica 3 - 46: inicio del Niño mayo de 2004 a noviembre de 2004, precios horarios hora valle.....	49
Gráfica 3 - 47: inicio del Niño mayo de 2004 a noviembre de 2004, promedios diarios .	50
Gráfica 3 - 48: fin del Niño diciembre 2004 a junio 2005, precios horarios.....	50
Gráfica 3 - 49: fin del Niño diciembre 2004 a junio 2005, precios horarios hora pico	51
Gráfica 3 - 50: fin del Niño diciembre 2004 a junio 2005, precios horarios hora valle	51
Gráfica 3 - 51: fin del Niño diciembre de 2004 a junio de 2005, promedios diarios	52
Gráfica 3 - 52: porcentaje de generación mensual por tipo de recurso 2004 - 2005	52
Gráfica 3 - 53: aportes hídricos mensuales (GWh) 2004 - 2005	53
Gráfica 3 - 54: aportes hídricos mensuales porcentaje respecto a la media 2004 - 2005	53
Gráfica 3 - 55: Niño septiembre de 2006 a enero de 2007, precios horarios	55
Gráfica 3 - 56: Niño septiembre de 2006 a enero de 2007, precios horarios hora pico ...	56
Gráfica 3 - 57: Niño septiembre de 2006 a enero de 2007, precios horarios hora valle ..	56
Gráfica 3 - 58: Niño septiembre de 2006 a enero de 2007, promedios diarios.....	57
Gráfica 3 - 59: Niño septiembre de 2006 a enero de 2007, promedio mensual	57
Gráfica 3 - 60: inicio del Niño julio de 2006 a diciembre 15 de 2006, precios horarios....	58
Gráfica 3 - 61: inicio del Niño Julio de 2006 a diciembre 15 de 2006, precios horarios hora pico	59
Gráfica 3 - 62: inicio del Niño Julio de 2006 a diciembre 15 de 2006, precios horarios hora valle.....	59
Gráfica 3 - 63: inicio del Niño julio de 2006 a diciembre 15 de 2006, promedios diarios .	60
Gráfica 3 - 64: fin del Niño, diciembre 16 de 2006 a marzo de 2007, precios horarios ...	60

Gráfica 3 - 65: fin del Niño, diciembre 16 de 2006 a marzo de 2007, precios horarios hora pico	61
Gráfica 3 - 66: fin del Niño, diciembre 16 de 2006 a marzo de 2007, precios horarios hora valle	61
Gráfica 3 - 67: fin del Niño diciembre 16 de 2006 a marzo de 2007, promedios diarios ..	62
Gráfica 3 - 68: Porcentaje de generación mensual por tipo de recurso 2006 - 2007	63
Gráfica 3 - 69: precios de bolsa Vs Generación hidráulica diaria (kWh) 2006 a 2007.....	63
Gráfica 3 - 70: precios de bolsa Vs Generación térmica diaria (kWh) 2006 - 2007	64
Gráfica 3 - 71: aportes hídricos mensuales (GWh) 2006 – 2007	64
Gráfica 3 - 72: aportes hídricos mensuales porcentaje respecto a la media 2006 - 2007	65
Gráfica 3 - 73: Niño julio de 2009 a abril de 2010, precios horarios.....	69
Gráfica 3 - 74: Niño julio de 2009 a abril de 2010, precios horarios hora pico	69
Gráfica 3 - 75: Niño julio de 2009 a abril de 2010, precios horarios hora pico	70
Gráfica 3 - 76: Niño julio de 2009 a abril de 2010, promedios diarios.....	70
Gráfica 3 - 77: Niño julio de 2009 a abril de 2010, promedios mensuales	71
Gráfica 3 - 78: inicio del Niño mayo de 2009 a noviembre de 2009, precios horarios.....	72
Gráfica 3 - 79: inicio del Niño mayo de 2009 a noviembre de 2009, precios horarios hora pico	72
Gráfica 3 - 80: inicio del Niño mayo de 2009 a noviembre de 2009, precios horarios hora valle	73
Gráfica 3 - 81: inicio del Niño mayo de 2009 a noviembre de 2009, promedios diarios ...	73
Gráfica 3 - 82: fin del Niño diciembre de 2009 a junio de 2010, precios horarios	74
Gráfica 3 - 83: fin del Niño diciembre de 2009 a junio de 2010, precios horarios hora pico	75
Gráfica 3 - 84: fin del Niño diciembre de 2009 a junio de 2010, precios horarios hora valle	75
Gráfica 3 - 85: fin del Niño diciembre de 2009 a junio de 2010, promedios diarios.....	76
Gráfica 3 - 86: porcentaje de generación por tipo de recurso	77
Gráfica 3 - 87: Aportes hídricos mensuales (GWh) 2009 - 2010	77
Gráfica 3 - 88: aportes hídricos mensuales porcentaje respecto a la media 2009 - 2010	78
Gráfica 3 - 89: Niño noviembre de 2014 a mayo de 2016, precios horarios	84
Gráfica 3 - 90: Niño noviembre de 2014 a mayo de 2016, precios horarios hora pico	84
Gráfica 3 - 91: Niño noviembre de 2014 a mayo de 2016, precios horarios hora valle	85
Gráfica 3 - 92: Niño noviembre de 2014 a mayo de 2016, promedios diarios.....	85
Gráfica 3 - 93: Niño noviembre de 2014 a mayo de 2016, promedios mensuales	86
Gráfica 3 - 94: inicio del Niño septiembre de 2014 a julio de 2015, precios horarios	86
Gráfica 3 - 95: inicio del Niño septiembre de 2014 a julio de 2015, precios horarios hora pico	87
Gráfica 3 - 96: inicio del Niño septiembre de 2014 a julio de 2015, precios horarios hora valle	87
Gráfica 3 - 97: inicio del Niño septiembre de 2014 a julio de 2015, promedios diarios	88
Gráfica 3 - 98: fin del Niño agosto 2015 a julio 2016, precios horarios	89
Gráfica 3 - 99: fin del Niño agosto 2015 a julio 2016, precios horarios hora pico.....	89
Gráfica 3 - 100: fin del Niño agosto 2015 a julio 2016, precios horarios hora valle	90

Gráfica 3 - 101: fin del Niño agosto 2015 a julio 2016, promedios diarios.....	90
Gráfica 3 - 102: precios de bolsa Vs Generación hidráulica diaria julio 2014 a 2016(kWh)	91
Gráfica 3 - 103: precios de bolsa Vs Generación térmica diaria julio 2014 a 2016(kWh)	91
Gráfica 3 - 104: porcentaje de generación por tipo de recurso junio 2014 - 2016	92
Gráfica 3 - 105: aportes hídricos mensuales (GWh) junio 2014 - 2016.....	92
Gráfica 3 - 106: aportes hídricos mensuales porcentaje respecto a la media junio 2014 - 2016	93
Gráfica 3 - 107: comportamiento de los precios en cada Niño.....	100
Gráfica 3 - 108: fenómenos de categoría fuerte.....	101
Gráfica 3 - 109: fenómenos de categoría moderada.....	102
Gráfica 3 - 110: fenómenos de categoría débil	102
Gráfica A - 1: generación hidráulica diaria promedio (kWh) 1997 - 1998	107
Gráfica A - 2: generación hidráulica en hora pico (kWh) 1997 - 1998	108
Gráfica A - 3: generación hidráulica en hora valle (kWh) 1997 - 1998	108
Gráfica A - 4: generación térmica diaria promedio (kWh) 1997 - 1998.....	109
Gráfica A - 5: generación térmica en hora pico (kWh) 1997 - 1998.....	109
Gráfica A - 6: generación térmica en hora valle (kWh) 1997 - 1998.....	110
Gráfica A - 7: generación hidráulica diaria promedio (kWh) 2002 - 2003	110
Gráfica A - 8: generación hidráulica en hora pico (kWh) 2002 - 2003.....	111
Gráfica A - 9: generación hidráulica en hora valle (kWh) 2002 - 2003	111
Gráfica A - 10:precios de bolsa VS generación hidráulica (kWh) promedios diarios 2002 - 2003	112
Gráfica A - 11: generación térmica diaria promedio (kWh) 2002 - 2003.....	112
Gráfica A - 12: generación térmica en hora pico (kWh) 2002 - 2003.....	113
Gráfica A - 13: generación térmica en hora valle (kWh) 2002 - 2003.....	113
Gráfica A - 14: precios de bolsa Vs generación térmica (kWh) promedios diarios 2002 - 2003	114
Gráfica A - 15: generación hidráulica diaria promedio (kWh) 2004 - 2005	114
Gráfica A - 16: generación hidráulica en hora pico (kWh) 2004 - 2005	115
Gráfica A - 17: generación hidráulica en hora valle (kWh) 2004 - 2005	115
Gráfica A - 18: precios de bolsa Vs generación hidráulica (kWh) promedios diarios 2004 - 2005	116
Gráfica A - 19: generación térmica diaria promedio (kWh) 2004 - 2005.....	116
Gráfica A - 20: generación térmica en hora pico (kWh) 2004 - 2005.....	117
Gráfica A - 21: generación térmica en hora valle (kWh) 2004 - 2005.....	117
Gráfica A - 22: precios de bolsa Vs generación térmica (kWh) promedios diarios 2004 - 2005	118
Gráfica A - 23: generación hidráulica diaria promedio (kWh) 2006 - 2007	118
Gráfica A - 24: generación hidráulica en hora pico (kWh) 2006 - 2007	119
Gráfica A - 25: generación hidráulica en hora valle (kWh) 2006 - 2007	119
Gráfica A - 26: generación térmica diaria promedio (kWh) 2006 - 2007.....	120

Gráfica A - 27: generación térmica en hora pico (kWh) 2006 - 2007	120
Gráfica A - 28: generación térmica en hora valle (kWh) 2006 - 2007	121
Gráfica A - 29: generación hidráulica promedio (kWh) 2009 - 2010	121
Gráfica A - 30: generación hidráulica en hora pico (kWh) 2009 - 2010.....	122
Gráfica A - 31: generación hidráulica en hora valle (kWh) 2009 - 2010.....	122
Gráfica A - 32: precios de bolsa Vs generación hidráulica (kWh) promedios diarios 2009 - 2010.....	123
Gráfica A - 33: generación térmica diaria promedio (kWh) 2009 - 2010	123
Gráfica A - 34: generación térmica en hora pico (kWh) 2009 - 2010	124
Gráfica A - 35: generación térmica en hora valle (kWh) 2009 - 2010	124
Gráfica A - 36: precios de bolsa Vs generación térmica (kWh) promedios diarios 2009 - 2010.....	125
Gráfica A - 37: generación hidráulica diaria promedio (kWh) junio 2014 - 2016	125
Gráfica A - 38: generación hidráulica en hora pico (kWh) junio 2014 - 2016	126
Gráfica A - 39: generación hidráulica en hora valle (kWh) junio 2014 - 2016	126
Gráfica A - 40: generación térmica diaria promedio (kWh) junio 2014 - 2016.....	127
Gráfica A - 41: generación térmica en hora pico (kWh) junio 2014 - 2016.....	127
Gráfica A - 42: generación térmica en hora valle (kWh) junio 2014 - 2016.....	128

Lista de tablas

Tabla 3 - 1: influencia del anuncio de inicio de Niño sobre el precio 2002 – 2003	44
Tabla 3 - 2: influencia del anuncio de fin de Niño sobre el precio 2002 – 2003.....	45
Tabla 3 - 3: influencia del anuncio de inicio de Niño sobre el precio 2006 - 2007	67
Tabla 3 - 4: influencia del anuncio de fin de Niño sobre el precio 2006 - 2007	67
Tabla 3 - 5: influencia del anuncio de inicio de Niño en el precio de bolsa, 2009 - 2010.	83
Tabla 3 - 6: influencia del anuncio de inicio del Niño en el precio, 2014-2016	98
Tabla 3 - 7: influencia del anuncio de fin del Niño en el precio, 2014 - 2016.....	99
Tabla 3 - 8: comparación de los diferentes fenómenos del Niño.....	103

Lista de Abreviaturas

Abreviaturas

Abreviatura	Término
95pss	95% de probabilidad de ser superado
<i>ENSO</i>	El Niño – Oscilación del sur
<i>MOS</i>	Mínimo operativo superior
<i>ONI</i>	Índice oceánico del Niño
<i>SST</i>	Temperatura superficial del mar

Introducción

La electricidad hoy en día es comercializada en muchas partes del mundo, incluido Colombia, bajo reglas de competencia. Esto ha llevado a la creación de mercados donde se ofrece electricidad en bolsas económicas para diferentes periodos de entrega, o se llevan a cabo contratos bilaterales entre los diferentes participantes del mercado [1]. Los precios de la electricidad reflejan la interacción entre las fuerzas de la oferta y la demanda en estos mercados, mientras que un agente llamado regulador establece las reglas para preservar la competencia [2]. La estructura de estos mercados no permite un comercio continuo. Mientras que los operadores requieren de noticias previas para verificar que el calendario es factible y se encuentra dentro de las restricciones de transmisión, los agentes deben presentar sus ofertas y demandas para la entrega de electricidad, de todas las horas del día siguiente antes del tiempo de cierre del mercado. El precio del Sistema es luego calculado como el punto de equilibrio de las curvas de oferta y demanda para cada una de las 24 horas [1] [3].

Los precios de bolsa de la electricidad en especial, exhiben características específicas como estacionalidad (a nivel anual, semanal y diario) reversión a la media, volatilidad extrema y picos de precios. El carácter estacional de los precios es una consecuencia directa de las fluctuaciones de la demanda las cuales se deben principalmente a las horas de trabajo o a los cambios climáticas [1][3]. Una razón para la volatilidad son los picos de precios que son causados principalmente por fluctuaciones de carga extrema, cortes de generación y fallas en la transmisión. Este comportamiento específico, en particular la volatilidad extrema y los picos de precios han forzado a los productores y grandes consumidores a cubrirse contra el riesgo de volumen y de movimientos de precios. Esto a su vez ha promovido la investigación en modelado de precios de la electricidad y su predicción [1][3].

La presencia de fenómenos climáticos conocidos como fenómenos del Niño, caracterizados principalmente por ser periodos de sequías extremas y aumentos en la

temperatura, provocan que los agentes del mercado de energía eléctrica en Colombia tomen nuevas decisiones estratégicas y operativas, estas decisiones modifican el comportamiento del mercado. Los cambios en las condiciones del mercado, originados debido a estos fenómenos climáticos, producen también variaciones en los precios del mercado mayorista de energía eléctrica. Aproximadamente 70% de la energía eléctrica en Colombia es generada a través de hidroeléctricas aprovechando el agua de los embalses. En casos extremos donde el Niño es muy prolongado o muy fuerte, en cuanto a ausencia de precipitaciones, y no hay agua suficiente necesaria en las hidroeléctricas para cubrir la demanda de energía, los agentes encargados de la generación se ven obligados a producir la energía de una forma más costosa, como la operación de plantas térmicas que usan combustibles fósiles. Además, se puede tomar la decisión por parte del gobierno de realizar programas de racionamiento de la energía o campañas a favor del ahorro, que traen como consecuencia variaciones en la oferta y demanda de la energía eléctrica [2] [4].

Es importante y necesario estudiar los precios de la electricidad ya que las decisiones operativas y estratégicas de los participantes del mercado son basadas en ellos. Los productores necesitan predicciones para formular estrategias de comercialización, optimizar su programa de generación, negociar contratos bilaterales favorables y tomar decisiones relacionadas con el portafolio de activos de generación. Los distribuidores y los grandes consumidores necesitan predicciones para optimizar su operación, negociar adecuadamente en el mercado y realizar contratos bilaterales beneficiosos. El administrador del mercado requiere de buenos pronósticos principalmente para realizar la planeación [2].

Este trabajo busca responder unas preguntas de investigación, que ayuden a entender el comportamiento de los precios horarios históricos de electricidad desde el año 1995, y el comportamiento de los participantes del mercado en situaciones específicas ante fenómenos del Niño en Colombia. Para alcanzar este fin se sigue la metodología CRISP-DM, adaptada a este caso particular. Esta metodología es usada para resolver problemas a través de minería de datos. A continuación, se presentan los objetivos de la investigación, y en las siguientes secciones se explica de manera general la metodología CRISP-DM, posteriormente se aplica, luego se presentan y analizan los resultados y finalmente se concluye.

Objetivos de investigación:

Obtener la información necesaria para que el desarrollo del mercado sea más eficiente y beneficioso para cada uno de los agentes involucrados, incluyendo al usuario final, a través de un estudio de los precios horarios históricos de la energía eléctrica en Colombia principalmente en periodos de Niño.

Objetivos específicos:

Cada uno de los objetivos específicos están relacionados con los objetivos de la minería de datos

- Identificar y describir las características del proceso de aumento de precios de electricidad, de condiciones normales del mercado a precios extremos (altos), causados por fenómenos climatológicos extremos, conocidos como Niños.
- Identificar y describir las características del proceso de disminución de precios de electricidad, cuando se pasa de condiciones climatológicas extremas (Niño) a condiciones normales.
- Identificar y describir las características de los precios horarios de la electricidad durante los fenómenos climatológicos de sequía extrema.
- Describir el comportamiento de la oferta de energía por cada tipo de agente, durante los fenómenos extremos históricos.
- Identificar y explicar la existencia de similitudes o diferencias en la evolución de los precios horarios de electricidad durante los diferentes fenómenos de sequía extrema.

1. Metodología CRISP – DM (Cross – Industry Standard Process for Data Mining)

CRISP-DM es un método para orientar los trabajos de minería de datos ofreciendo una explicación del ciclo de vida del proceso. La metodología se describe en términos de un proceso jerárquico, que consiste en conjuntos de tareas descritas en cuatro niveles de abstracción, estas van de lo más general a lo más específico: fase, tarea genérica, tarea especializada e instancia de proceso [5][6].

En el nivel superior el ciclo de vida del proceso está descrito en seis fases, cada fase consiste de varias tareas genéricas de segundo nivel. El tercer nivel, el nivel de tareas especializadas, describe como se deben llevar a cabo las acciones del segundo nivel en ciertas situaciones específicas. El cuarto nivel, la instancia de proceso, es un registro de las acciones, decisiones y resultados de un trabajo real de la minería de datos. Una instancia de proceso está organizada de acuerdo con las tareas definidas en los niveles superiores, pero representa lo que realmente ocurre en un caso en particular, en lugar de lo que sucede en general. A continuación, se presenta una pequeña descripción de cada fase.

Comprensión del negocio: Es la fase inicial, se centra en la comprensión de los objetivos y requerimientos del proyecto desde una perspectiva empresarial. Seguidamente se debe definir un problema de minería de datos y un plan preliminar diseñado para alcanzar los objetivos.

Comprensión de los datos: Esta fase inicia con una recolección inicial de los datos y continúa con unas actividades que permitan familiarizarse con los datos.

Preparación de los datos: Esta fase abarca todas las actividades necesarias para construir el conjunto de datos que finalmente alimentaran el modelo. Se realiza una transformación y limpieza de los datos para usarlos en las herramientas de modelado.

Modelado: Se seleccionan y aplican varias técnicas de modelado y se calibran sus parámetros a los valores óptimos.

Evaluación: Se evalúan y revisan a fondo los pasos ejecutados para crear el modelo antes del despliegue final, se debe estar seguro que el modelo alcanza adecuadamente los objetivos del negocio.

Distribución o despliegue: Consiste en utilizar los nuevos conocimientos para implementar las mejoras en la organización.

En la Figura 1 se presenta una guía visual de la metodología, incluyendo las tareas genéricas y especializadas de cada fase. La secuencia de las fases no es estricta, la mayoría de los proyectos avanzan y retroceden entre fases si es necesario. Es necesario aclarar que no todos los pasos de la Figura 1 se desarrollaron en este trabajo, ya que no están dentro del alcance de la propuesta.

Fases

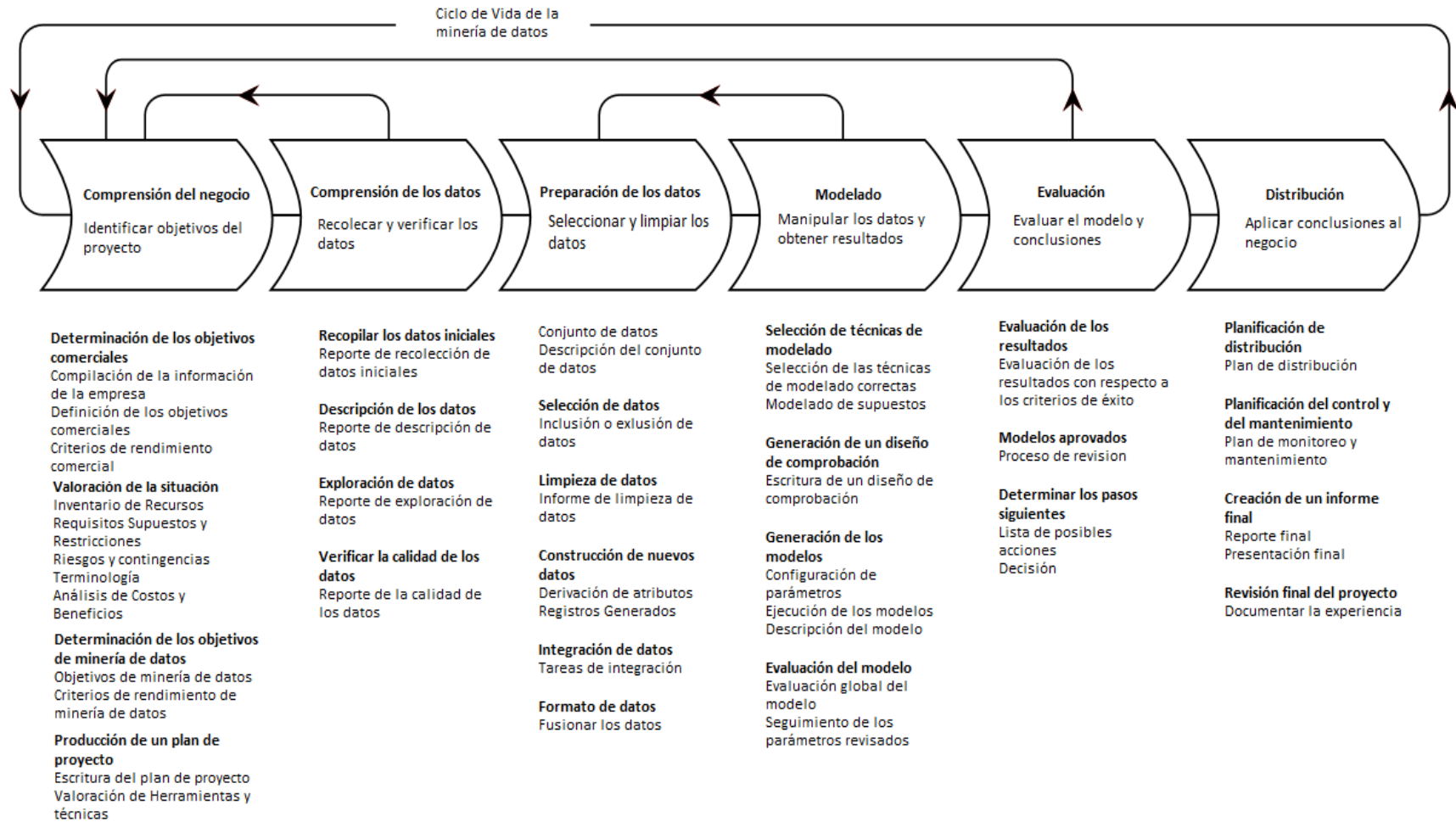


Figura 1: Elaboración propia con base a [5]

2. Aplicación de la metodología

La guía metodológica sobre CRISP-DM está desarrollada para resolver problemas (mediante el uso de minería de datos) que puedan surgir dentro de una empresa u organización, es decir presenta un enfoque empresarial. Por esta razón lo que se realiza a continuación es una adaptación del modelo, donde la empresa no es una en particular, sino que está conformada de forma global por los agentes del mercado de energía eléctrica.

Se deben analizar entonces cada uno de los participantes del mercado, generadores, agentes encargados de la transmisión y comercializadores, además de los agentes encargados de la regulación (CREG) y administración del mercado (XM).

2.1 Comprensión del mercado de energía eléctrica.

En esta sección se describen las expectativas del mercado con respecto a la minería de datos.

2.1.1 Objetivos globales

El primer paso consiste en comprender a fondo, desde un punto de vista comercial, lo que realmente se quiere lograr con el análisis.

Todo participante directo o indirecto del mercado de energía eléctrica en Colombia, está interesado en conocer sus condiciones y el comportamiento de los precios. Dichos participantes pueden usar esta información valiosa para tomar decisiones estratégicas. Es posible limitar un grupo de participantes, que en especial tienen mayor interés en el movimiento de los precios o que su comportamiento tiene una mayor influencia sobre los precios. Este grupo está conformado por los productores, los distribuidores, los grandes consumidores, el administrador del mercado y el regulador del mercado.

Los productores son los encargados de generar la energía eléctrica para luego ser distribuida, los principales generadores en Colombia son EPM S.A, ISAGEN S.A y EMGESA S.A [7]. Los distribuidores o encargados de la transmisión transportan la energía eléctrica a través de un conjunto de líneas, la empresa ISA es el principal transportador en el Sistema de Transmisión Nacional. Los grandes consumidores son aquellos que compran la energía eléctrica en el mercado mayorista para luego venderla a los usuarios finales, los principales son EPM S.A y ENDESA. El administrador del mercado se encarga de efectuar la planeación, coordinación, supervisión y control de la operación integrada de los recursos de generación y transmisión del Sistema Interconectado Nacional, esta labor está a cargo de la empresa XM [8]. El regulador del mercado se encarga de controlar la prestación del servicio público domiciliario de energía eléctrica, promueve el desarrollo del sector, regula los monopolios e incentiva la competencia, el regulador en Colombia es la CREG [9].

Predecir y modelar los precios de electricidad no es fácil, ya que estos presentan unas características específicas, como picos de precios y alta volatilidad. Estos picos de precios se presentan en Colombia en temporadas particulares donde el nivel de lluvias disminuye considerablemente. Estas temporadas se conocen como fenómenos del Niño. Para resolver este problema se debe estudiar el comportamiento de los precios horarios de electricidad históricos y poner especial atención en los periodos donde ocurrieron fenómenos de Niño. Además, se deben estudiar las condiciones del mercado en estos mismos periodos.

Este estudio que se plantea se puede resolver a través de la minería de datos, con el objetivo de obtener la información necesaria para que el desarrollo del mercado sea más eficiente y beneficioso para cada uno de los agentes involucrados, incluyendo al usuario final.

Después de realizado el análisis será posible identificar y describir, en que periodos de tiempo desde 1995 se dieron los mayores cambios en los precios, como fueron estos cambios y por qué se dieron.

2.1.2 Valoración de la situación

Este paso consiste en la determinación de recursos y limitaciones para alcanzar los objetivos de la minería de datos. Para llevar a cabo el proyecto se dispone de los siguientes recursos:

- Precios de bolsa de electricidad del mercado colombiano, para cada hora del día de los 365 días de cada año , desde 1995 hasta el año 2016 [10].
- Registros del índice oceánico del Niño (ONI), que miden la temperatura superficial del mar, desde 1994 hasta el año 2016 [11].
- Información que permite realizar una descripción del sistema eléctrico colombiano: capacidad efectiva neta por tipo de generación, capacidad efectiva neta para las pequeñas centrales eléctricas, volumen de embalses, comportamiento de la demanda mensual y anual, transacciones del mercado, líneas de transmisión y marco regulatorio [12] [13].
- Herramientas computacionales como Excel y Python que permiten el procesamiento de datos y el análisis estadístico.

2.1.3 Objetivos de la minería de datos

Para alcanzar los objetivos definidos como comerciales, se proponen unos objetivos específicos para la minería de datos. Estos objetivos consisten en resolver las siguientes preguntas de investigación:

Pregunta 1: ¿Cuáles son las características del proceso de aumento de precios de electricidad, de condiciones normales del mercado a precios extremos (altos), causados por fenómenos climatológicos extremos, conocidos como Niños?

Pregunta 2: ¿Cuáles son las características del proceso de disminución de precios de electricidad, cuando se pasa de condiciones climatológicas extremas (Niño) a condiciones normales?

Pregunta 3: ¿Cuáles son las características de los precios horarios de la electricidad durante los fenómenos climatológicos de sequía extrema?

Pregunta 4: ¿Cuál es el comportamiento de la oferta de energía por cada tipo de agente, durante los fenómenos extremos históricos?

Pregunta 5: ¿Existe alguna similitud o diferencia en la evolución de los precios horarios de electricidad durante los diferentes fenómenos de sequía extrema?

2.2 Comprensión de los datos

En esta sección se estudian más de cerca los datos disponibles para el análisis.

2.2.1 Recopilación inicial de los datos

Los datos mencionados anteriormente son de conocimiento público. La información sobre los precios de electricidad está disponible en el portal BI de la página web www.xm.com.co, estos datos pueden ser descargados o simplemente visualizados. La información sobre el índice oceánico del Niño (ONI) se puede obtener de la página web www.cpc.ncep.noaa.gov. La información que describe el sistema eléctrico colombiano se encuentra disponible en las URLs informesanuales.xm.com.co y paratec.xm.com.co/paratec/SitePages.

2.2.2 Descripción de los datos

Los datos sobre los precios de bolsa se encuentran separados en 22 archivos en formato Excel, un archivo para cada año, desde el año 1995 hasta el año 2016. Cada archivo cuenta con 25 columnas y 365 filas, a excepción de los archivos correspondientes a los años 1996, 2000, 2004, 2008, 2012 y 2016 ya que estos fueron años bisiestos y por eso presentan 366 filas, además para el año 1995 no se tiene la información completa para los 365 días, únicamente se tienen registros a partir del mes de Julio. La primera columna indica la fecha en que fue registrado el precio de la electricidad, las siguientes 24 indican la hora. La fecha presenta el siguiente formato año-mes-día, mientras el precio (\$/KWh) se presenta numéricamente separando las cifras decimales por medio de una coma. En total se tienen 188040 datos.

Los datos que nos permiten identificar los periodos de Niño y Niña están disponibles en una tabla de 13 columnas y 29 filas. La primera columna indica el año en que se midió el índice, y las siguientes doce columnas indican el grupo de tres meses en donde se realizó el promedio de la temperatura superficial del mar. Las filas van desde el año 1950 hasta el año 2016. Las columnas van desde el trimestre diciembre, enero, febrero (DJF) hasta el trimestre noviembre, diciembre, enero (NDJ). El índice se registra en valor numérico separando cifras decimales por medio de un punto, los valores pueden ser tanto positivos como negativos. En total se tienen 320 datos, solo interesan aquellos a partir de Julio de 1995 que serían 258.

Posterior a la descripción de los datos, se debe realizar una exploración y una verificación de calidad. La exploración consiste en la creación de tablas y gráficos a partir de los datos, además de un cálculo de estadísticos básicos. La verificación de la calidad de datos, consiste en identificar problemas relacionados con datos perdidos, errores tipográficos en los datos, errores de medición e incoherencias de codificación.

2.3 Preparación de los datos

Al finalizar esta etapa se obtiene el conjunto de datos final, que será usado posteriormente para el modelado y el análisis principal del proyecto.

Para obtener este conjunto de datos finales se siguen una serie de pasos: selección de los datos, limpieza de los datos, construcción de nuevos datos, integración o fusión de datos y finalmente dar formato a los datos. Todo este procedimiento de procesamiento de datos se realizó usando Python.

3.Resultados y análisis (modelado y evaluación)

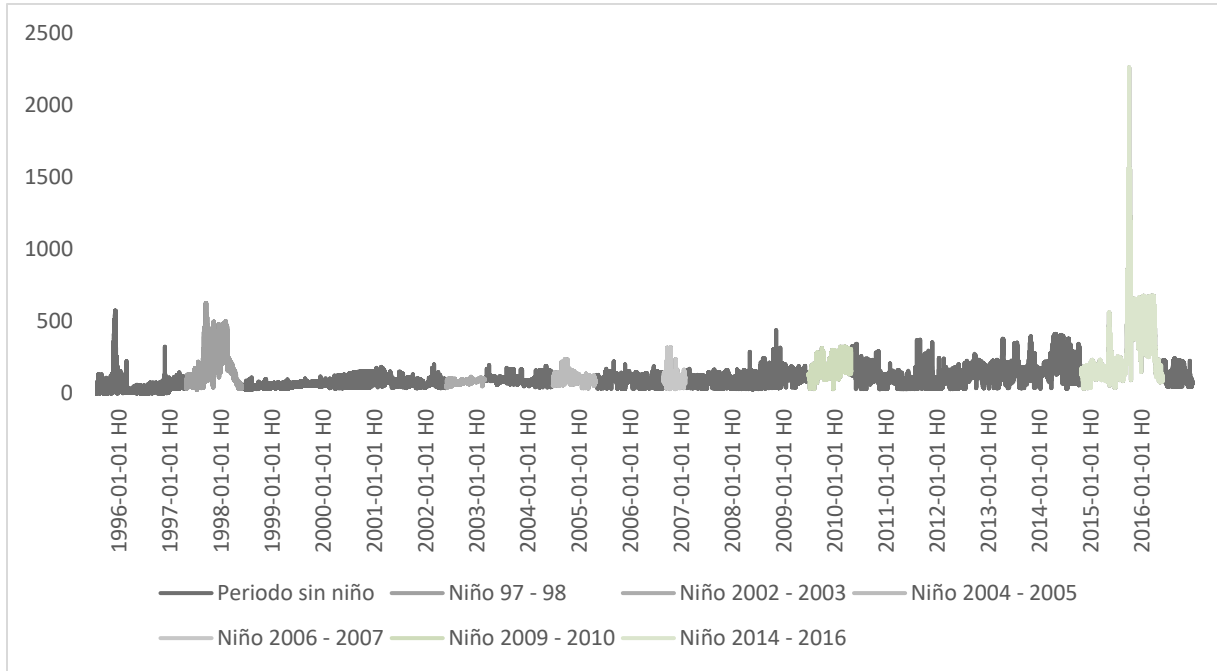
Como se ha mencionado anteriormente, este trabajo no sigue estrictamente la metodología CRISP-DM, es una adaptación del modelo, por tal razón no se tiene una etapa de modelado de los datos como tal. En esta sección se presentan los resultados de la minería de datos a través de gráficas descriptivas que permiten analizar el comportamiento de los precios de bolsa y otros factores, en los periodos de Niño.

3.1 Visión general: precios de bolsa de electricidad en periodos de Niño

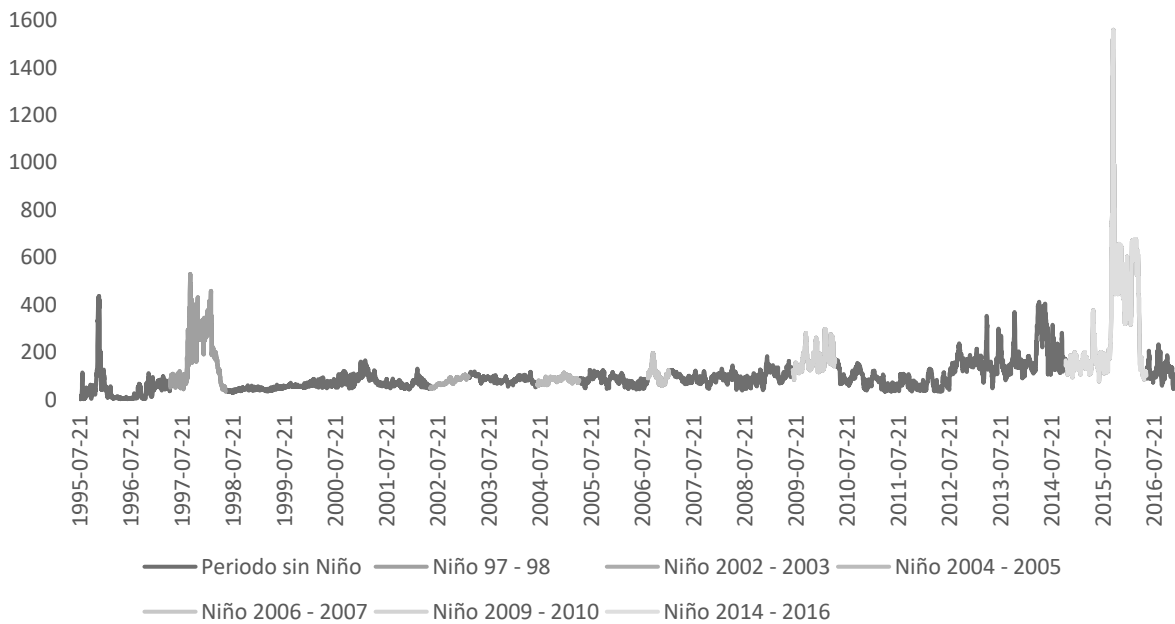
Para realizar las gráficas en las que se incluyen precios de bolsa, se usaron precios constantes, estos se calcularon a partir de los precios reales utilizando el IPC, en Colombia este es obtenido con base a diciembre de 2008. Se evidencia que existe una relación entre el aumento de precios con los periodos donde ocurrió el fenómeno conocido como El Niño. En especial, el aumento de precios más significativo, se ha dado en los dos fenómenos de mayor intensidad desde el inicio del mercado de energía eléctrica, estos son El Niño ocurrido entre los años 1997 y 1998, y El Niño que aconteció durante los años 2014 y 2016.

Para identificar los periodos de Niño se utilizó el índice oceánico del Niño ONI, calculado por el centro de predicción climático de los Estados Unidos, el cual hace parte de la agencia científica conocida como Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA). Este índice calcula el promedio de 3 meses de las anomalías de la temperatura superficial del mar en la región conocida como Niño 3.4 [11], donde este promedio supere el valor de 0.5°C durante cinco periodos consecutivos, se considera que ocurrió un fenómeno de Niño. En este trabajo se considera que el valor promedio reportado corresponde al segundo mes de cada uno de los tres meses que se agrupan. Esta consideración se hace para indicar en qué mes exacto empezó y finalizó el fenómeno del Niño.

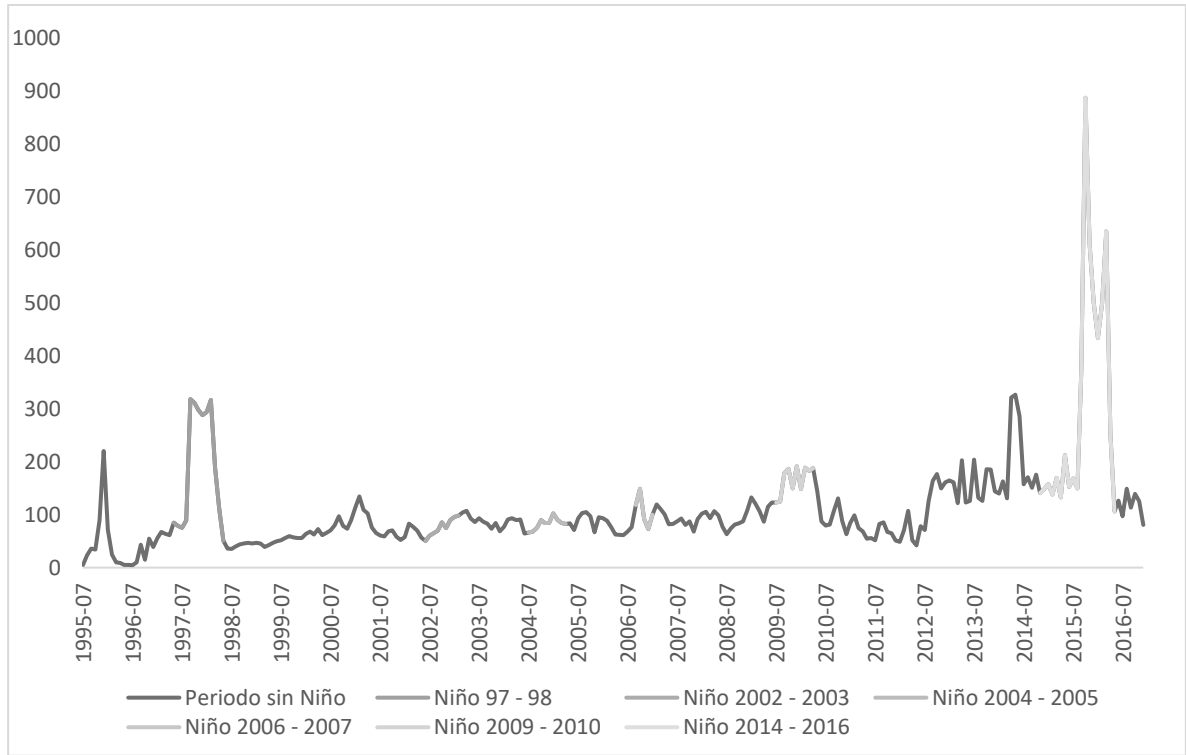
Gráfica 3 - 1: Precios de bolsa de electricidad horarios desde julio de 1995 a diciembre de 2016



Gráfica 3 - 2: Precios de bolsa de electricidad horarios promediados por día desde julio de 1995 a diciembre de 2016



Gráfica 3 - 3: Precios de bolsa de electricidad horarios promediados por mes desde julio de 1995 a diciembre de 2016



3.2 Análisis de los precios de bolsa de electricidad en cada periodo de Niño.

A continuación, se realiza un análisis más minucioso del comportamiento de los precios de bolsa en cada periodo de Niño. Para cada uno de estos seis periodos identificados, se analizan las condiciones del mercado que pudieron haber determinado el alza o la disminución de los precios de bolsa, principalmente la generación a partir de recursos hídricos y térmicos, las reservas de los embalses y los aportes hídricos con respecto a la media histórica, por esto en cada periodo de Niño se obtuvieron gráficas de precios horarios, precios en hora pico (7 p.m.) y en hora valle (3 a.m.), precios promedios diarios, precios promedios mensuales, aportes hídricos con respecto a la media histórica y porcentaje de generación a partir de cada tecnología (hidroeléctricas o termoeléctricas).

Una de las principales preocupaciones de esta investigación, es saber de qué forma, el seguimiento que hacen las entidades encargadas de la predicción climática a nivel internacional y nacional, y los medios de comunicación, sobre el fenómeno del Niño, puede

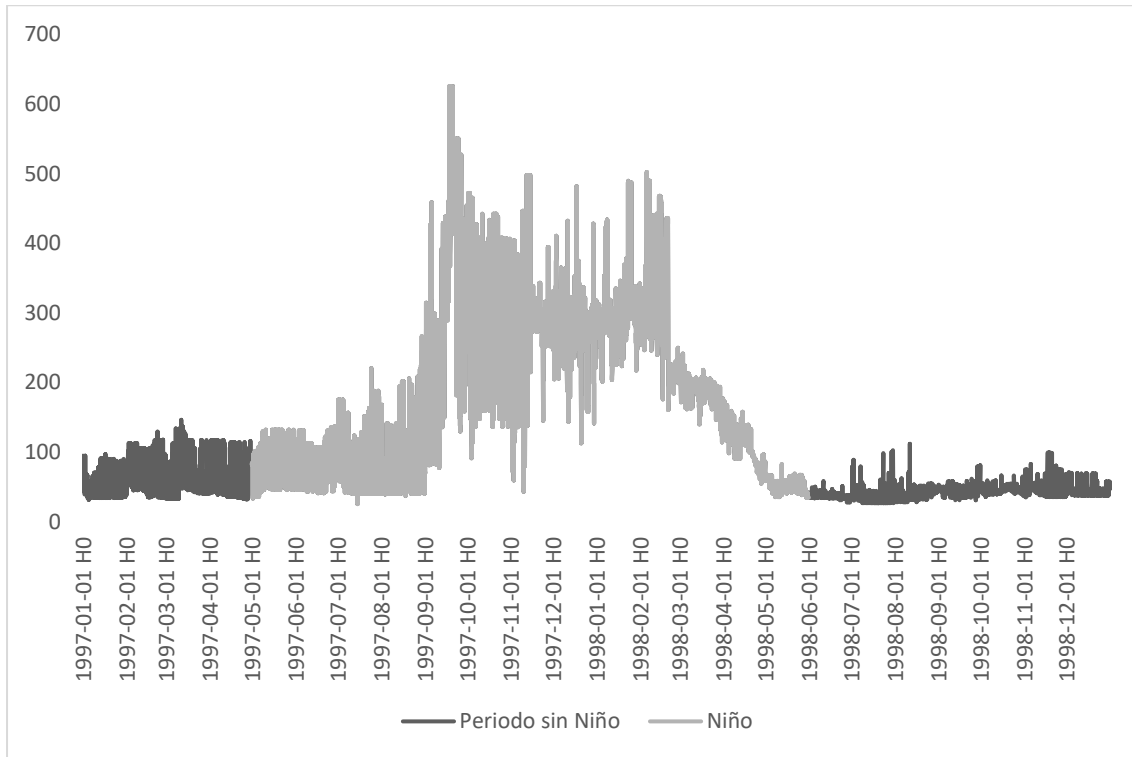
determinar un crecimiento o una caída de los precios de bolsa. Es decir, como el anuncio de que ocurrirá o está ocurriendo un Niño, y el anuncio de que ha finalizado el Niño, puede determinar un aumento o una caída súbita de los precios de bolsa, a diferencia de las condiciones físicas que ocurren durante un fenómeno de Niño que influyen en los precios de manera gradual. Las entidades encargadas de la predicción y monitoreo del clima a nivel internacional y nacional son el Centro de Predicción Climática de Estados Unidos y el Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM respectivamente. Las publicaciones, informes y comunicados oficiales, que hacen estas entidades, además de las noticias de los medios de comunicación en Colombia sobre el comportamiento del Niño, es lo que se considera para entender cómo responde el precio de bolsa a dicho seguimiento. Por esto para cada periodo de Niño se hace un seguimiento de los informes del IDEAM [14], de la NOAA [15] y de las noticias periodísticas, y posteriormente se relacionan con el alza y caída de precios.

También se analiza cualquier otro suceso que pudo haber influido en los precios de bolsa, como por ejemplo intervención en la operación, atentados terroristas al sistema de transmisión, problemas en las estaciones de generación de energía, etc.

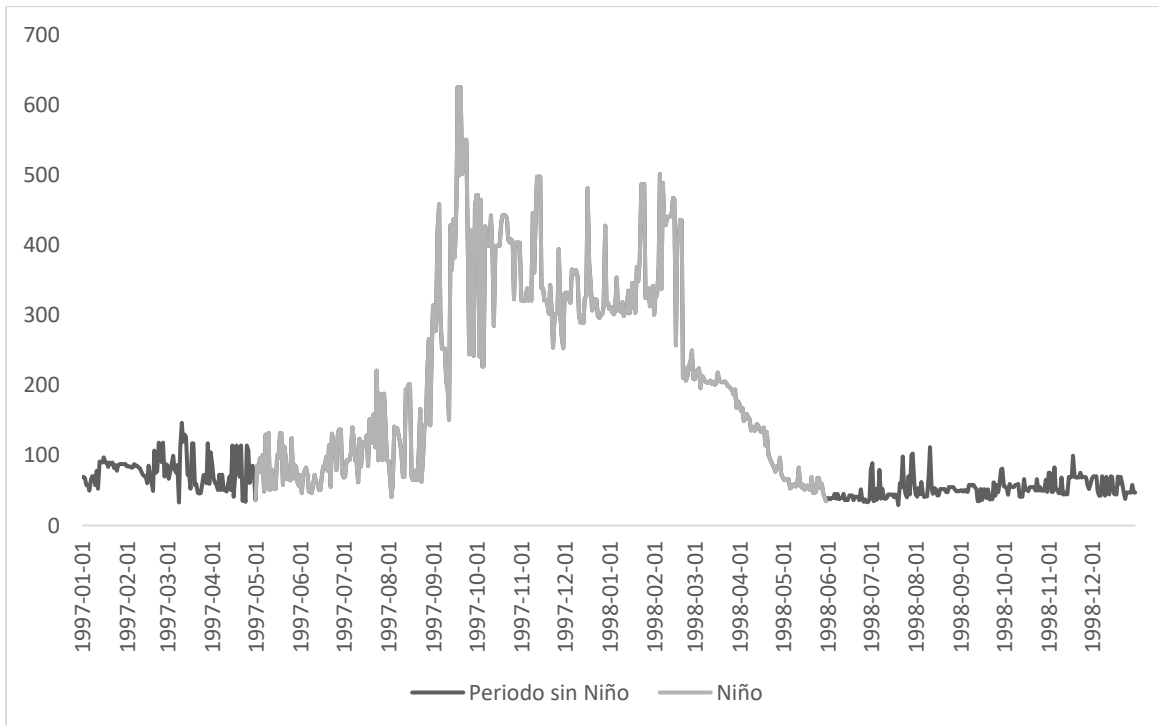
3.2.1 Niño 1997 – 1998

Físicamente el fenómeno del Niño empezó en el mes de mayo del año 1997 y finaliza en mayo de 1998, tuvo una duración de 13 meses, en este periodo se observa un aumento súbito de los precios después de iniciado el Niño, y posteriormente una caída repentina finalizando el fenómeno. El mayor pico de precios horarios ocurrió los días 18 y 20 de septiembre a las 7 p.m. de 1997, hay otros picos destacados el 12 de noviembre de 1997 y el 5 de febrero de 1998. El comportamiento de los precios en horas pico y valle fue muy similar al de los precios horarios. En promedio los días donde se tuvieron los precios más altos fueron el 20,21,22 y 23 de septiembre de 1997, y además se destacan el 13 de noviembre de 1997 y el 15 de febrero de 1998. Los meses donde los precios presentaron los valores promedios más altos fueron en septiembre de 1997 y en febrero de 1998.

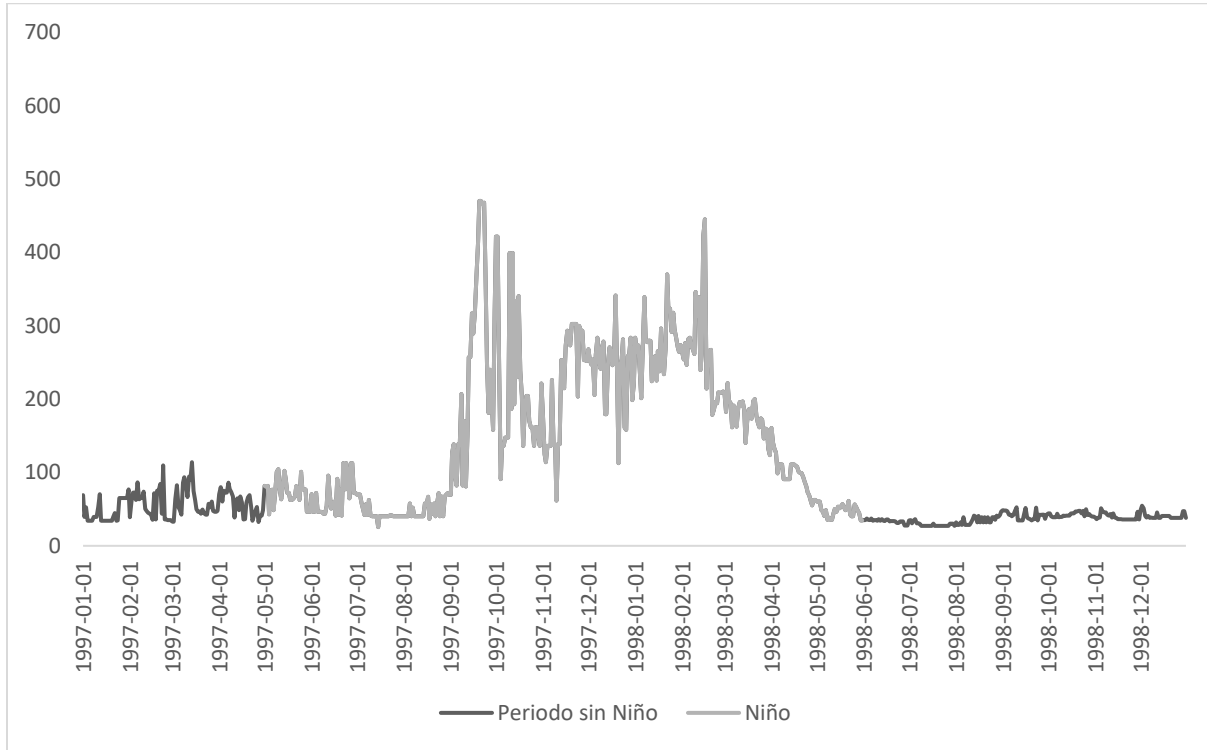
Gráfica 3 - 4: Niño mayo 1997 a mayo 1998, Precios horarios.



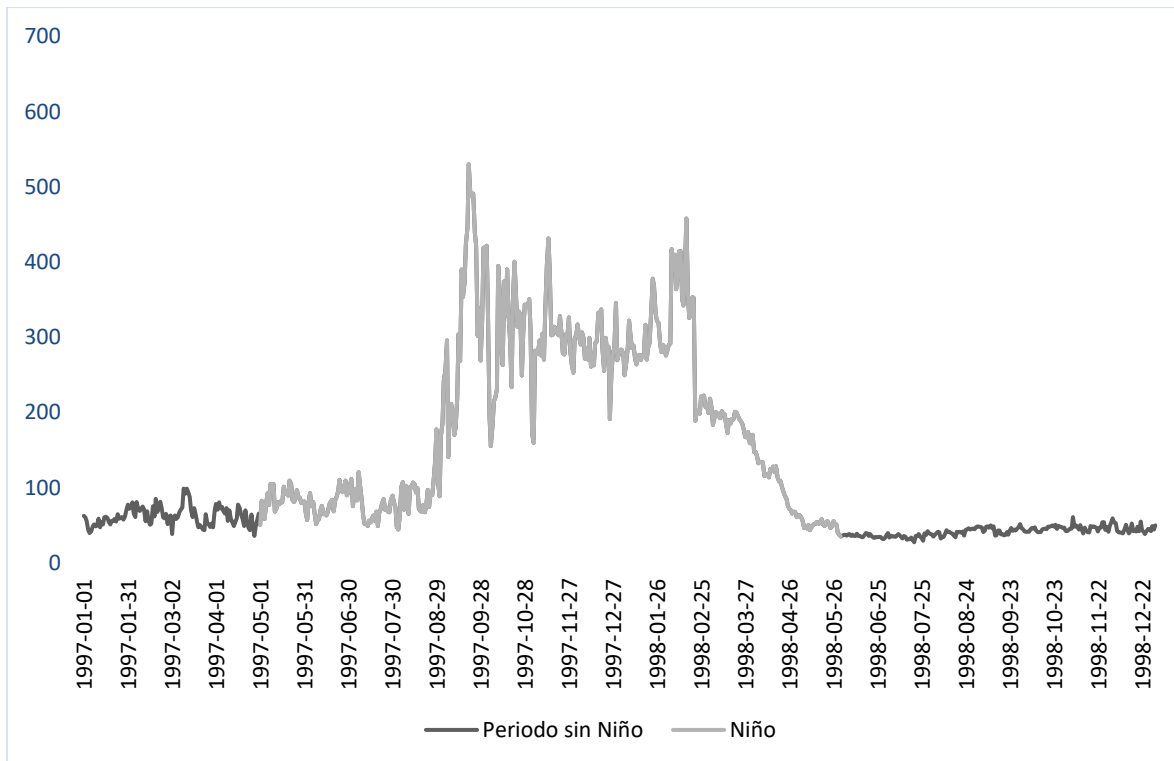
Gráfica 3 - 5: Niño mayo 1997 a mayo 1998, Precios horarios en hora pico

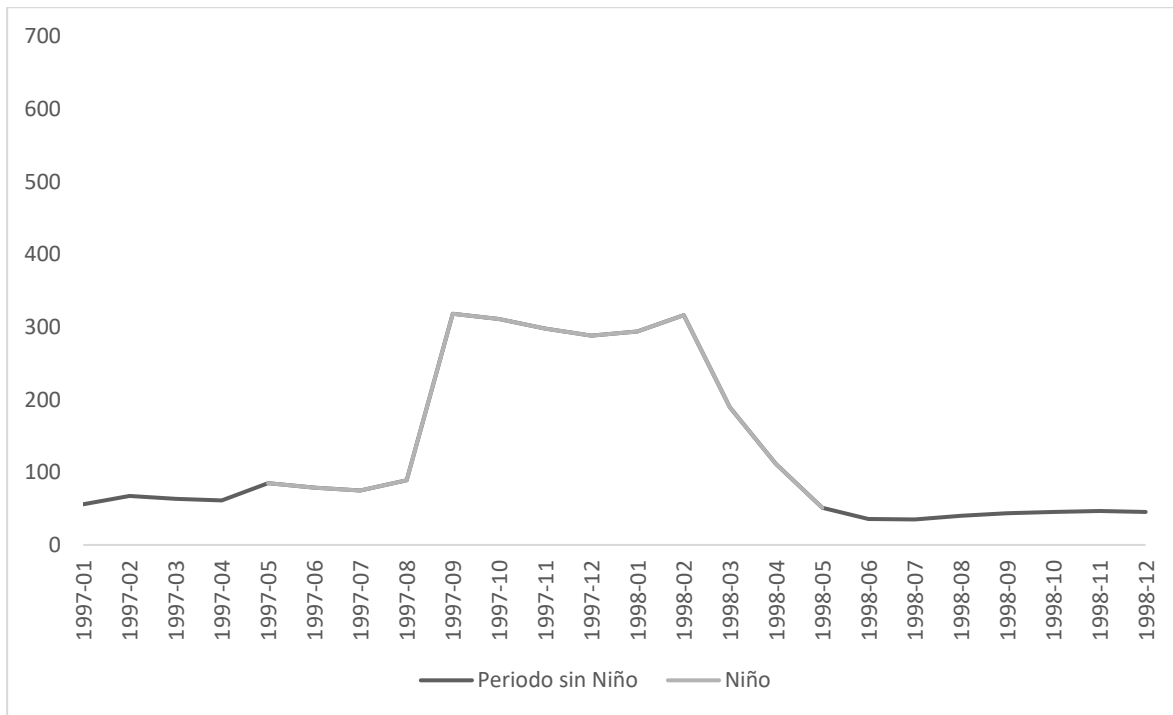


Gráfica 3 - 6: Niño mayo 1997 a mayo 1998, Precios horarios en hora valle

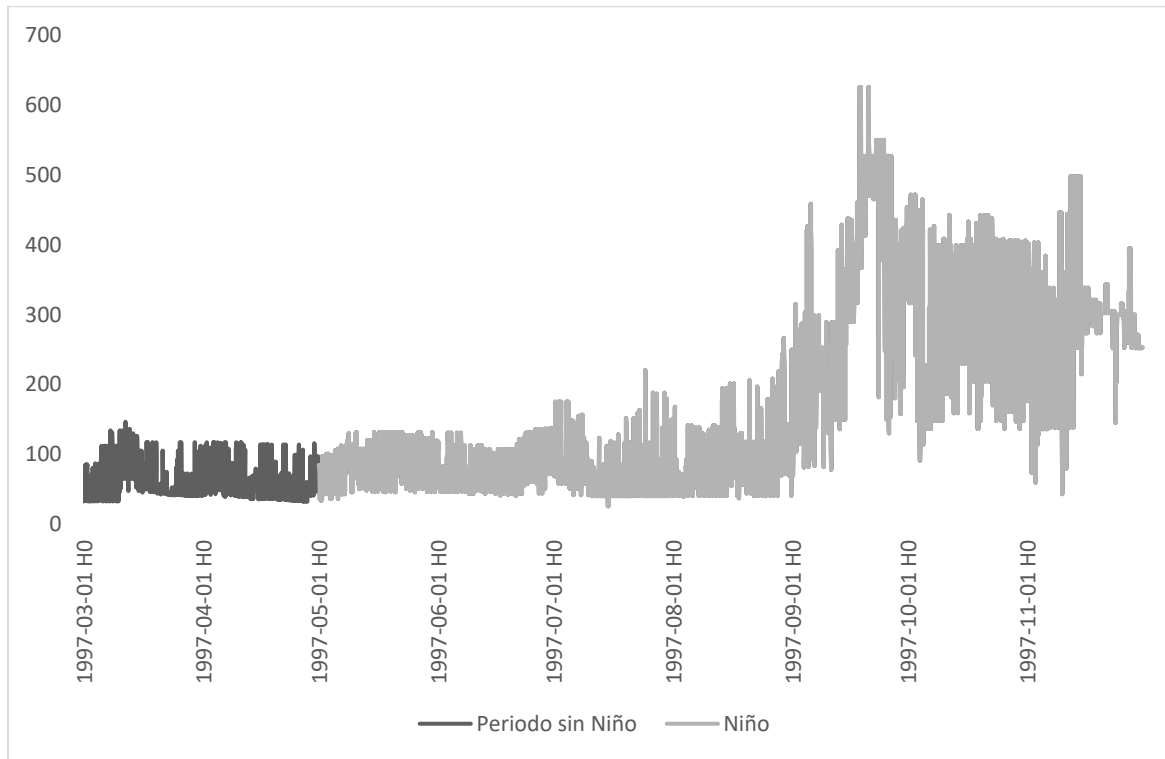
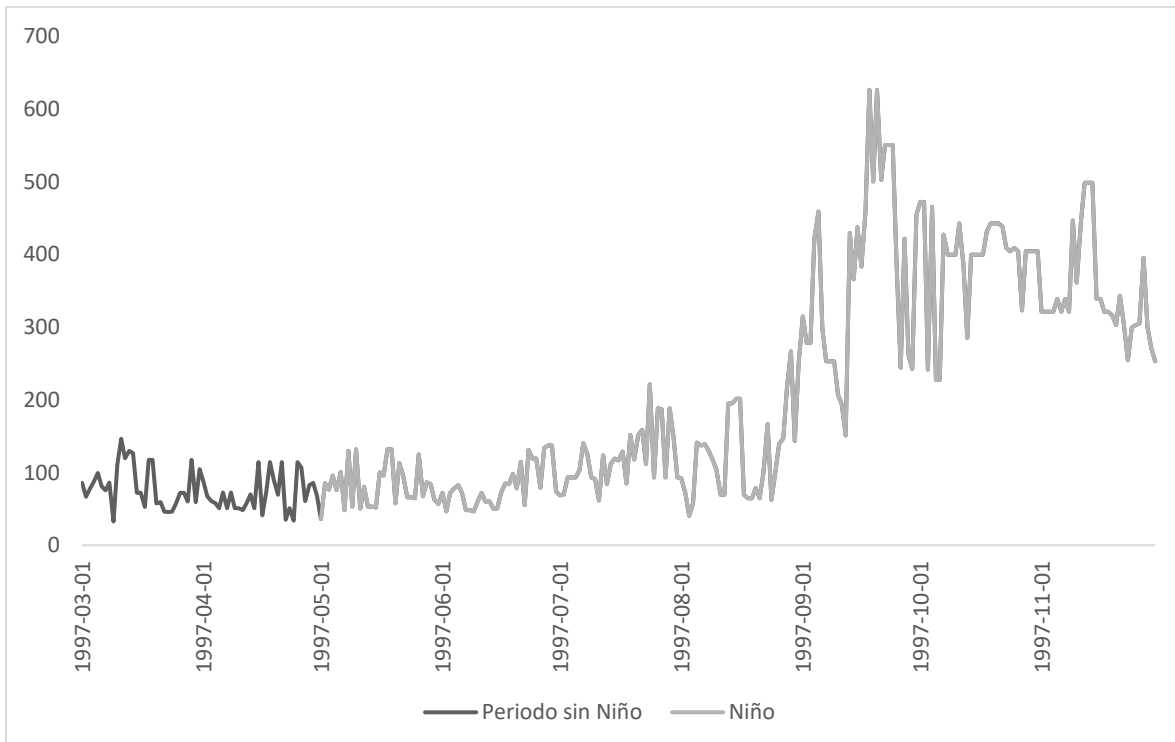


Gráfica 3 - 7: Niño mayo 1997 a mayo 1998, Promedios diarios

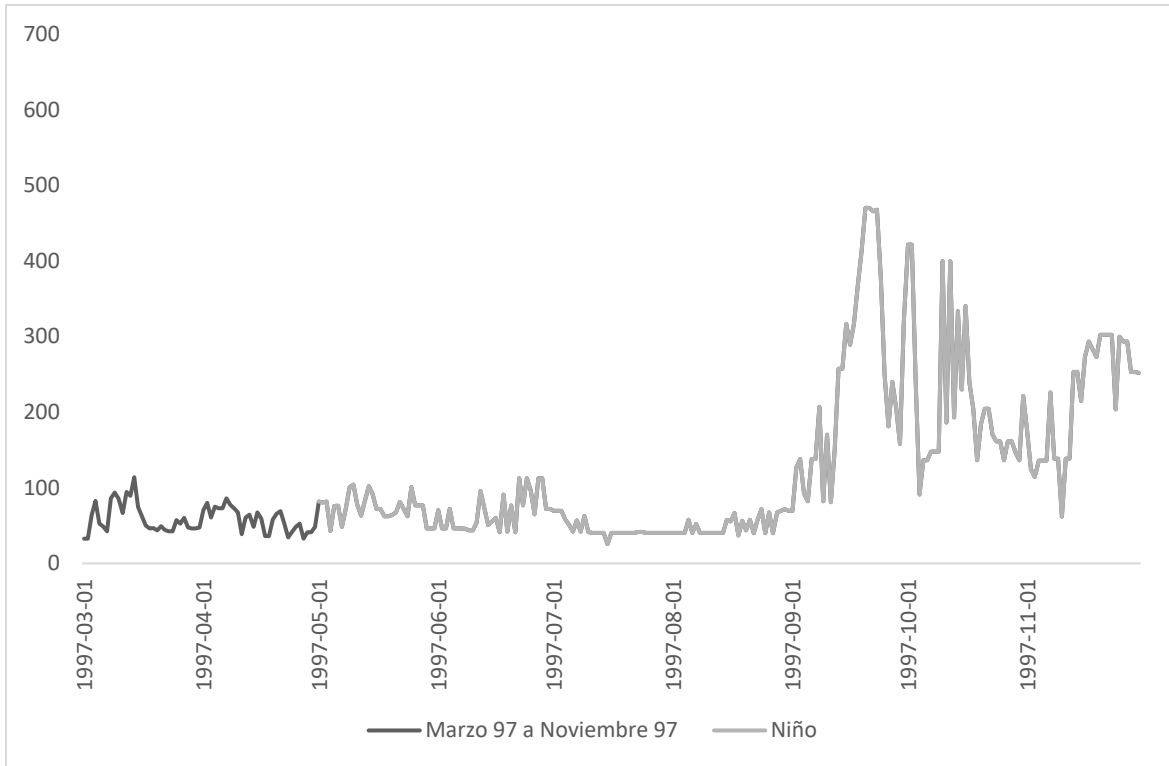


Gráfica 3 - 8: Niño mayo 1997 a mayo 1998, promedios mensuales

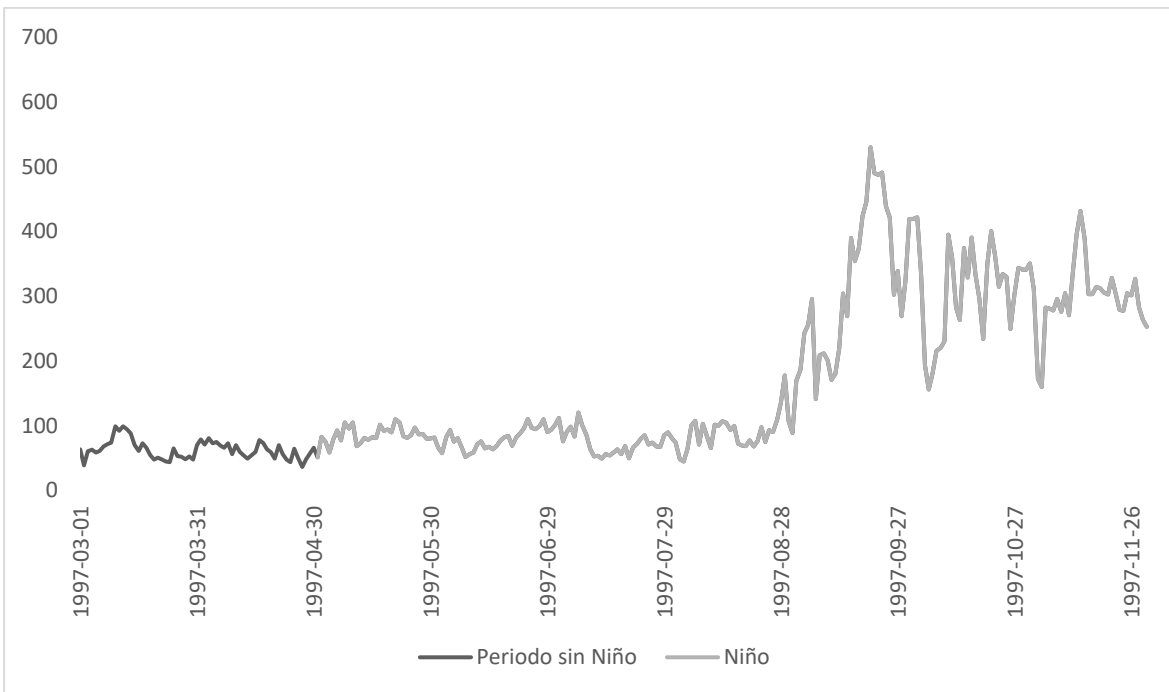
El aumento de precios inicia a finales de agosto de 1997, entre los días 28 y 30, esto es tres meses después de haber iniciado el Niño, pero el alza más abrupta ocurre entre el 11 y el 20 de septiembre de 1997, este comportamiento se observa con mayor claridad en la **Gráfica 3-11**.

Gráfica 3 - 9: Inicio del Niño, marzo de 1997 a noviembre de 1997, Precios horarios**Gráfica 3 - 10:** Inicio del Niño, marzo de 1997 a noviembre de 1997, Precios horarios en hora pico

Gráfica 3 - 11: inicio del Niño, marzo de 1997 a noviembre de 1997, precios horarios en hora valle

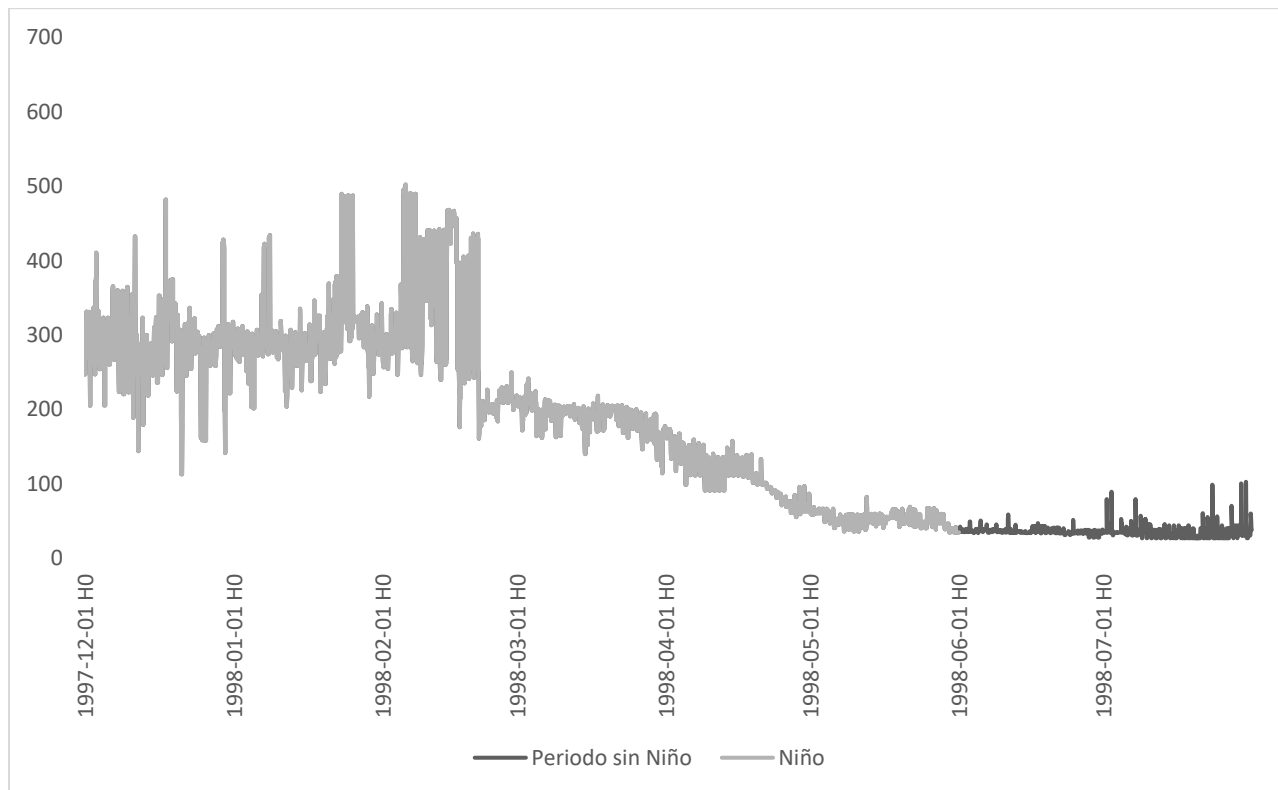


Gráfica 3 - 12: Inicio del Niño, marzo de 1997 a noviembre de 1997, promedios diarios

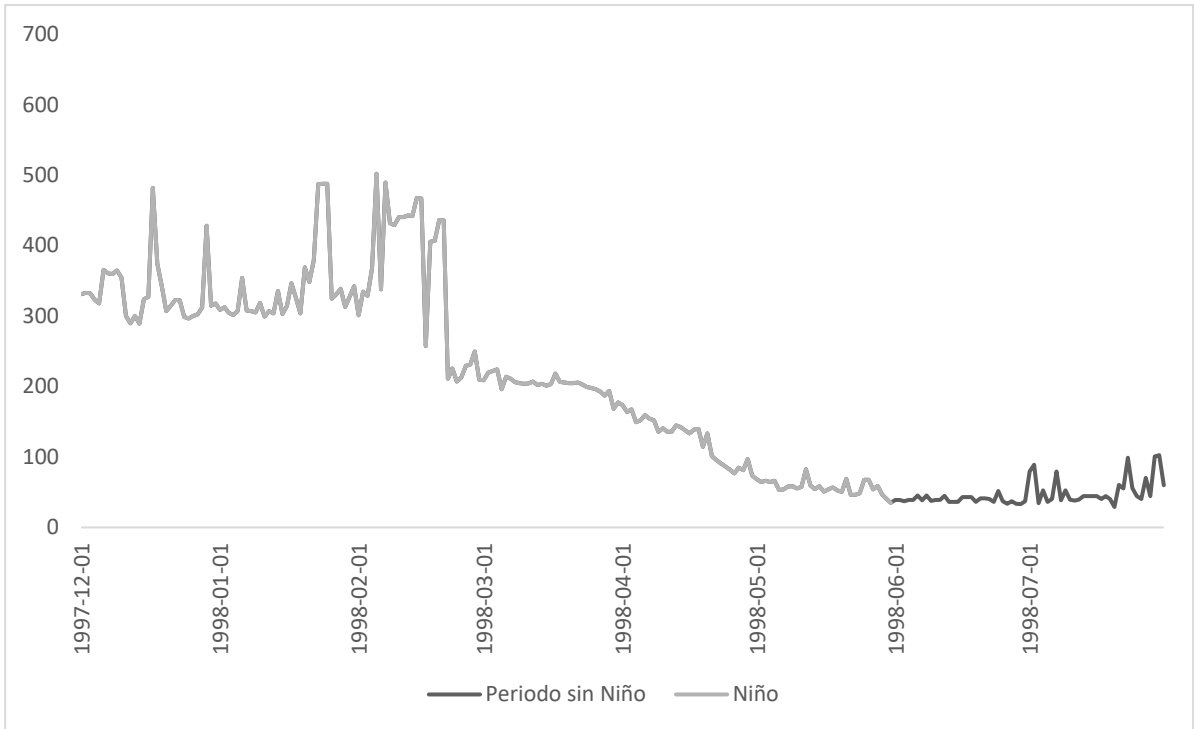


Los precios empiezan a caer después del 15 de febrero de 1998, pero caen abruptamente desde el 20 al 21 de febrero, esto es un poco más de tres meses antes de finalizar el Niño, a partir de este punto descienden gradualmente, hasta que finaliza el fenómeno. Este comportamiento se puede apreciar con más detalle en la **Gráfica 3-14**.

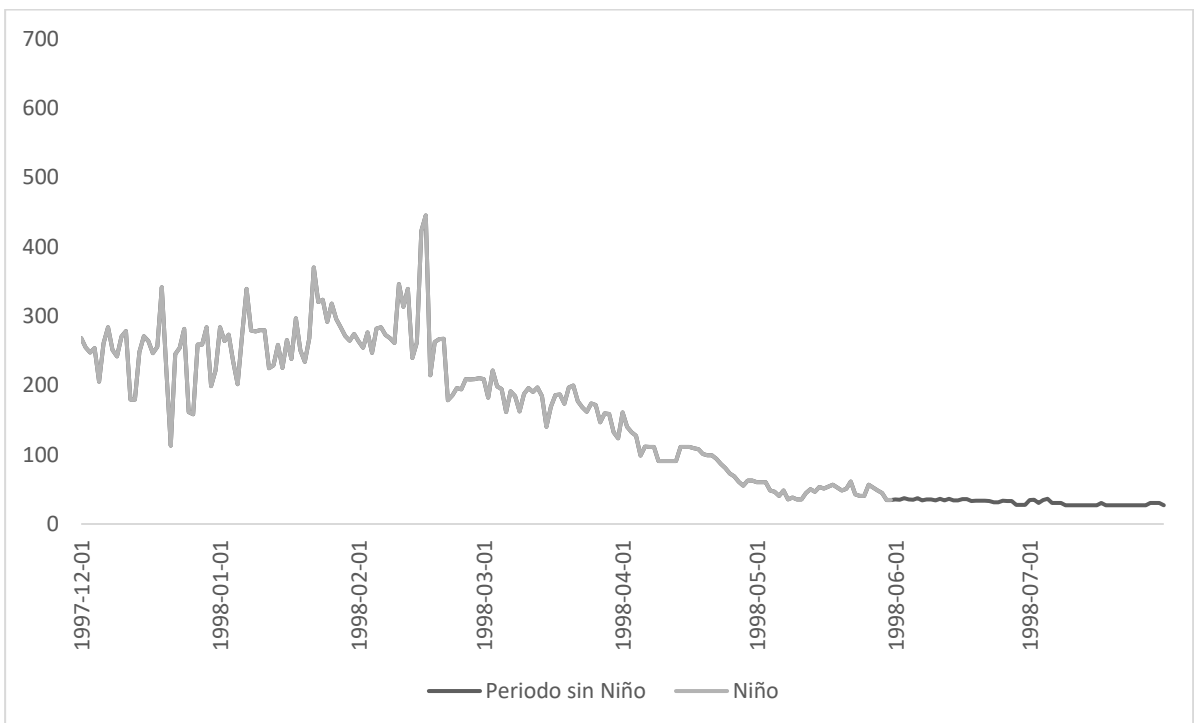
Gráfica 3 - 13: fin del Niño, diciembre de 1997 a julio de 1998, precios horarios

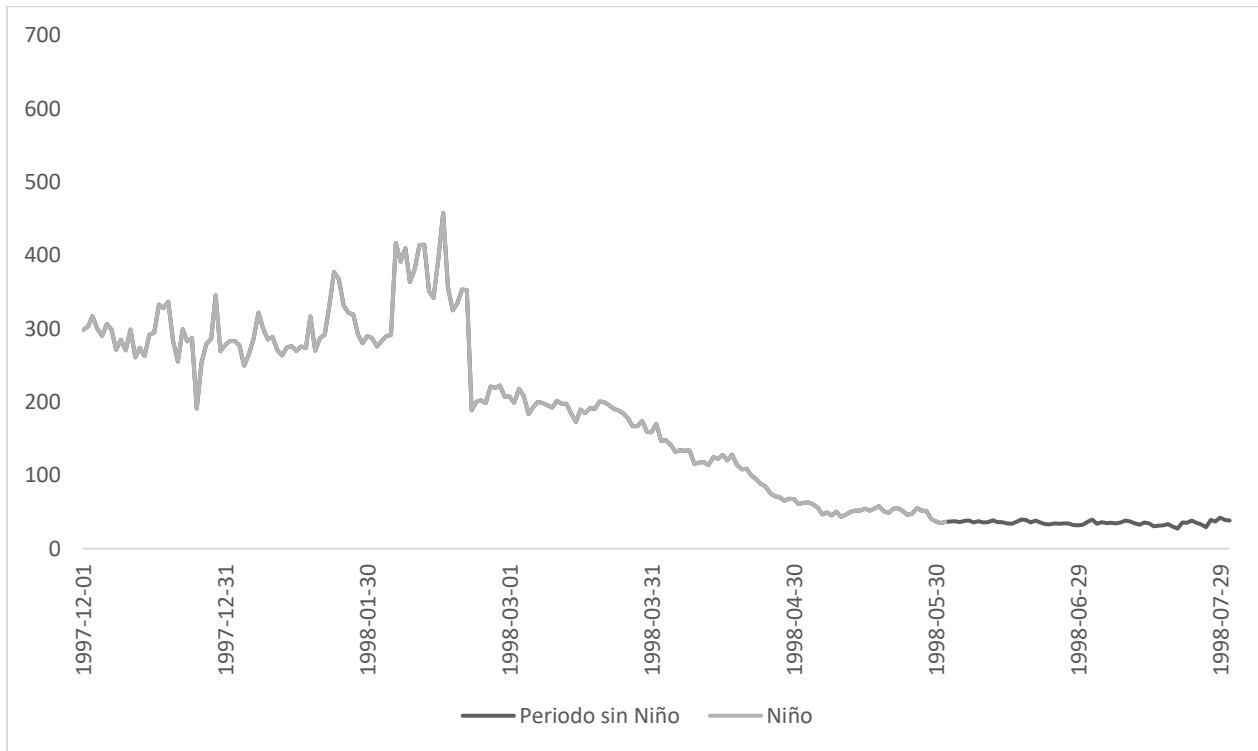


Gráfica 3 - 14: fin del Niño, diciembre de 1997 a julio de 1998, precios horarios en hora pico



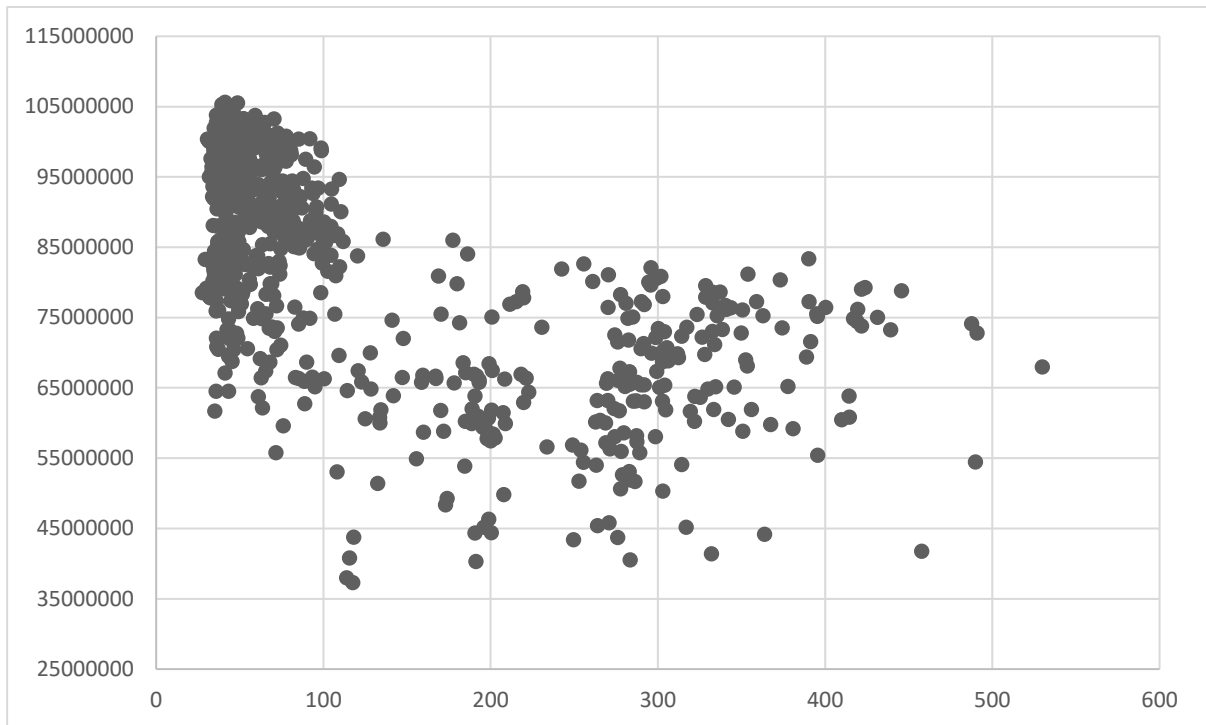
Gráfica 3 - 15: fin del Niño, diciembre de 1997 a julio de 1998, precios horarios en hora valle



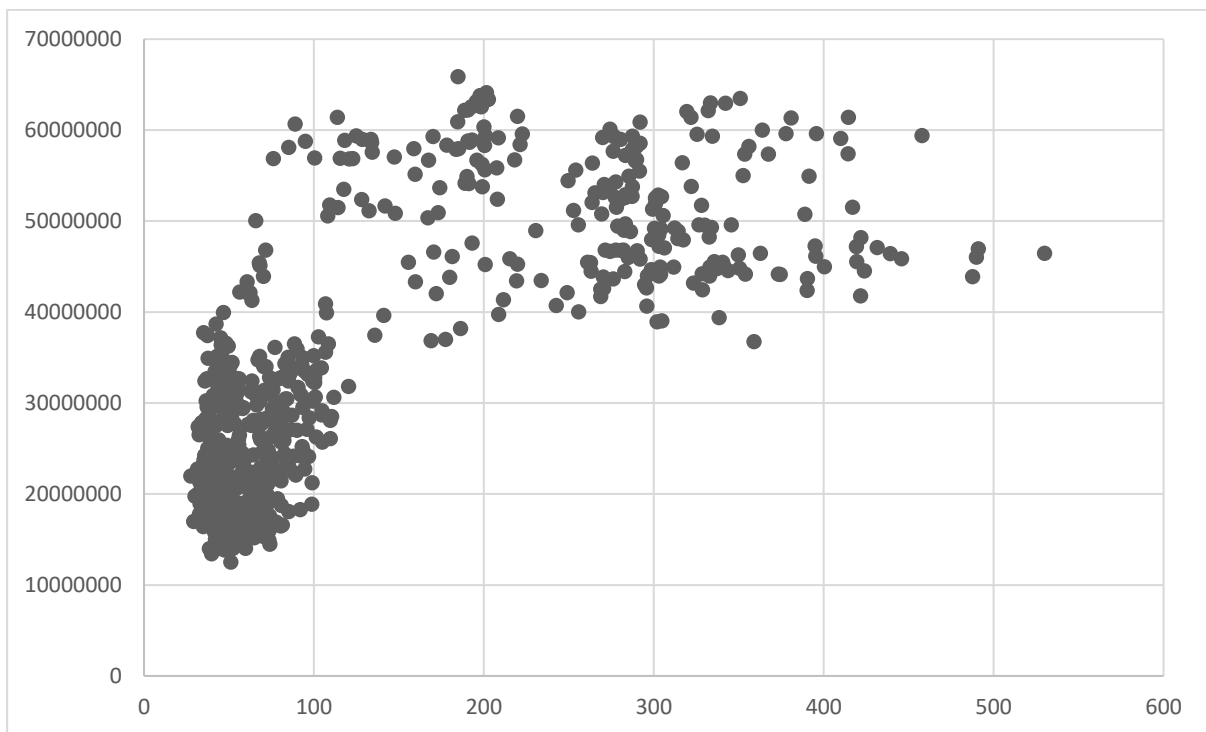
Gráfica 3 - 16: fin del Niño, diciembre de 1997 a julio de 1998, promedios diarios

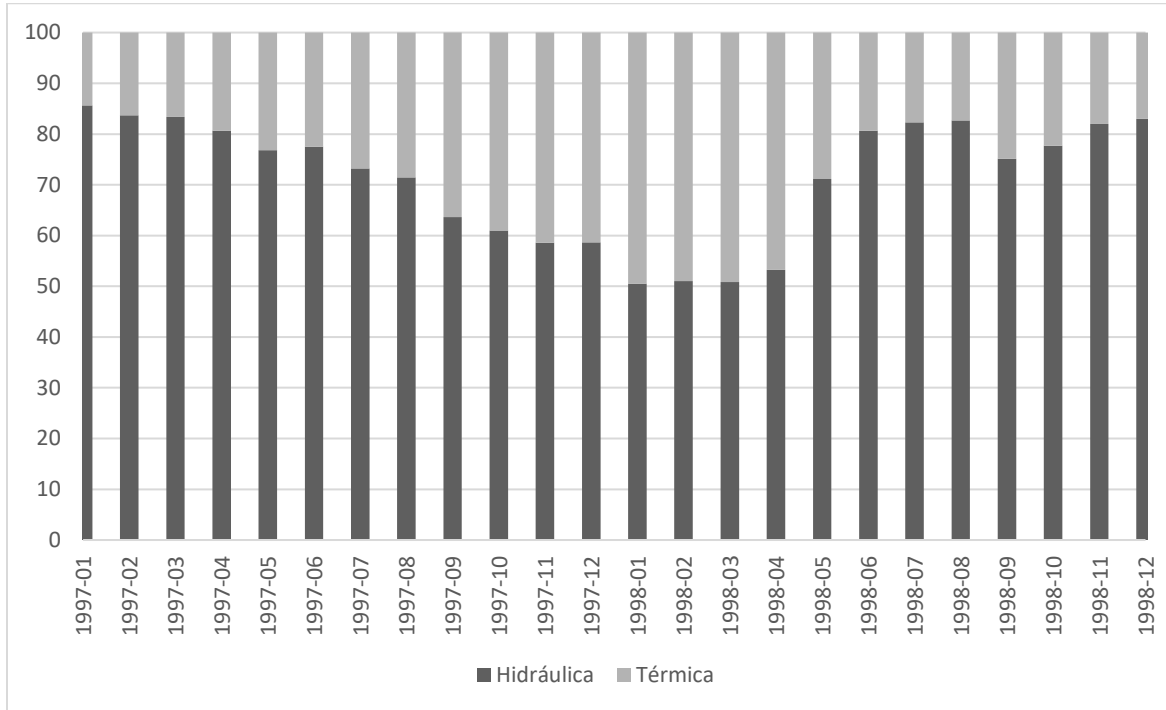
En este periodo de Niño los precios de bolsa exhiben una relación fuerte con la generación a partir de recursos hídricos y térmicos, sin embargo, el mayor pico de precios se presenta en el mes de septiembre, mientras que el mayor porcentaje de generación térmica ocurrió en los meses de enero, febrero y marzo.

Gráfica 3 - 17: precios de bolsa Vs Generación hidráulica diaria (kWh) desde 1997 a 1998



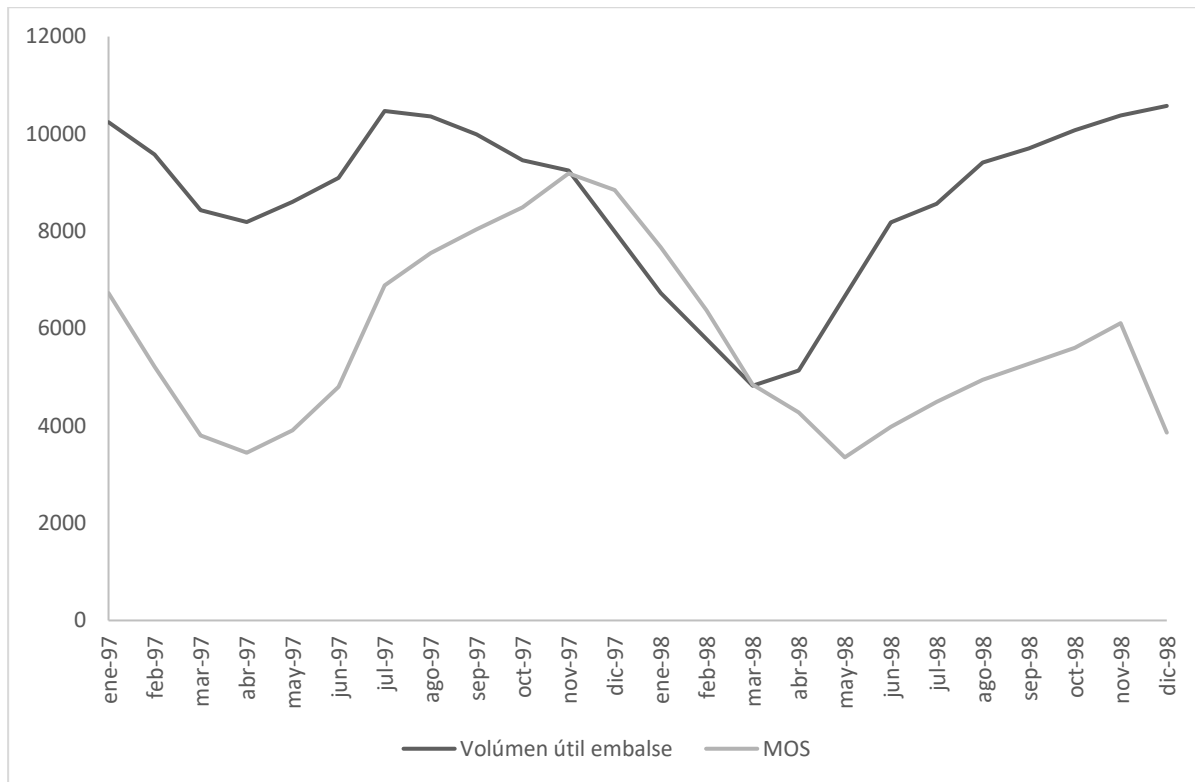
Gráfica 3 - 18: precios de bolsa Vs Generación térmica diaria (kWh) desde 1997 a 1998



Gráfica 3 - 19: Porcentaje de generación mensual por tipo de recurso

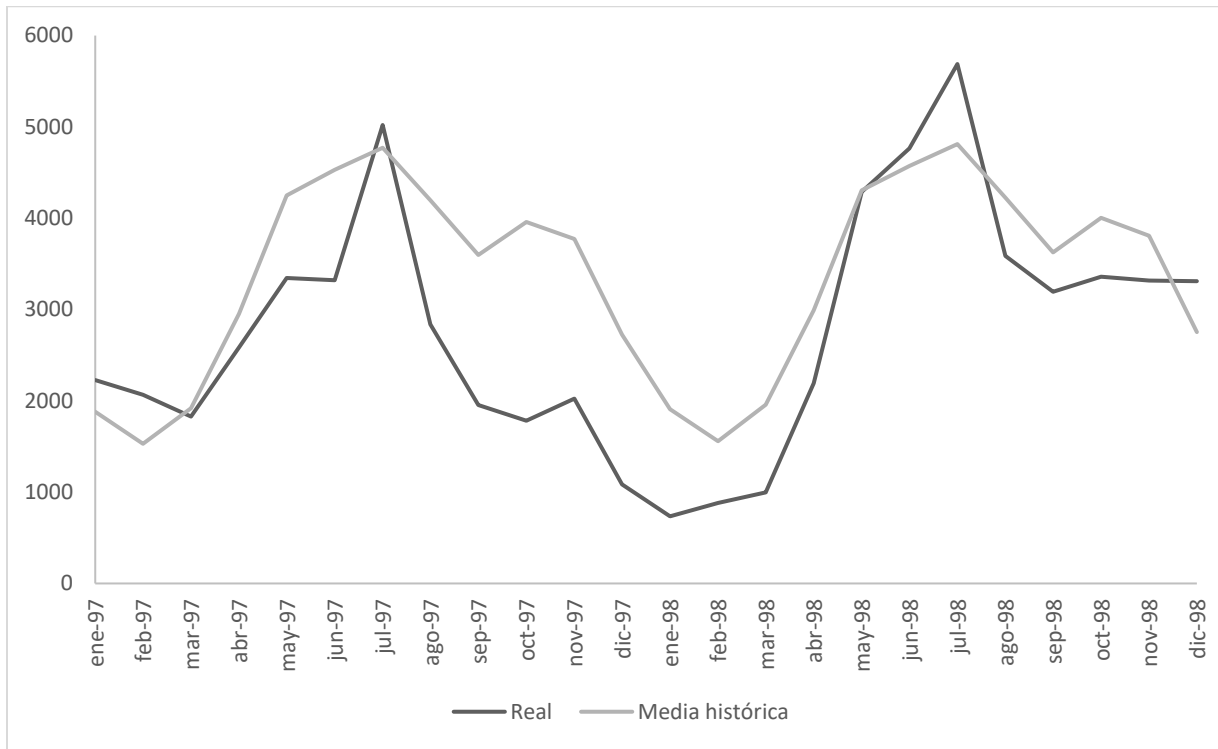
Como se detalla más adelante en julio de 1997 las entidades reguladoras modificaron los mínimos operativos de embalse, esto produjo que, desde diciembre de 1997 hasta marzo de 1998, el volumen útil de embalse agregado se encontrara por debajo del mínimo operativo superior.

Los precios empiezan a caer a partir del 20 de febrero de 1998, y es a partir de este mes donde el volumen útil empieza a sobrepasar nuevamente el mínimo operativo superior de embalse.

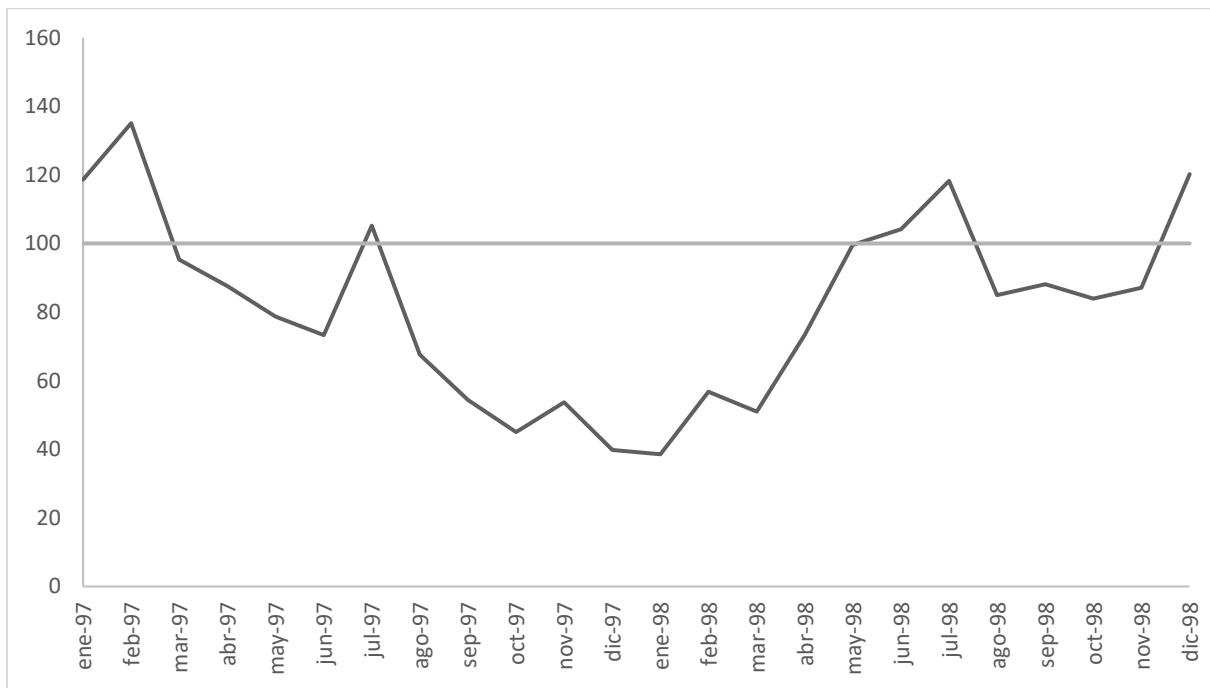
Gráfica 3 - 20: volumen útil de embalse (GWh) 1997 - 1998

Durante todo el periodo de Niño los aportes hídricos estuvieron por debajo de la media histórica a excepción de los meses de julio de 1997 y mayo de 1998. Octubre y diciembre del 97 y enero del 98 fueron los meses que más se alejaron de la media histórica.

Gráfica 3 - 21: aportes hídricos mensuales (GWh) 1997 - 1998



Gráfica 3 - 22: aportes hídricos mensuales, porcentaje respecto a la media 1997 - 1998



3.2.1.1 Seguimiento del Niño

Para este periodo no se tienen reportes oficiales sobre el seguimiento del Niño por parte del IDEAM ni de la NOAA, por tal razón se recopilaron algunos estudios técnicos que realizó el IDEAM sobre el Niño en estas fechas, para saber si lo que se dijo en ellos pudo haber influido en los precios de bolsa, además se obtuvieron algunos artículos periodísticos que informan sobre el comportamiento del Niño al público en general.

El operador del mercado en ese entonces era la empresa ISA y desde el mes de enero advirtió la posible presencia de un evento seco [16]. El IDEAM advirtió sobre la afectación de la precipitación por causa del fenómeno de El Niño en el mes de mayo en una nota técnica [17].

En el mes de Julio el IDEAM publica un documento donde ratifica oficialmente la presencia de un fenómeno del Niño, y expresa que este se extenderá durante el segundo semestre de 1997 y hasta el primer semestre de 1998. Además, el IDEAM afirma en este mismo documento “hay bases científicas para considerar que este evento natural tendrá una intensidad fuerte” y “se estima que este fenómeno alcance la fase de madurez en el último trimestre de este año (1997)” [18].

Otro evento muy importante de este periodo ocurrió el 15 de julio de 1997 en donde entraron en vigencia los nuevos mínimos operativos de embalse, calculados según la Resolución CREG-100 de 1997. A partir de julio el volumen neto de embalses empieza a decrecer, y en diciembre de 1997 ya se encuentra por debajo del mínimo operativo superior de embalse impidiendo que algunos embalses operaran.

Una publicación oficial del IDEAM que puede coincidir con el inicio del aumento de precios es aquella realizada en agosto y titulada “Preparémonos para recibir el fenómeno El Niño en los municipios colombianos”[19].

En diciembre de 1997 se publica “Efectos sobre el medio físico natural de Colombia ocasionados por el fenómeno El Niño durante el período marzo - noviembre de 1997 y proyección de los posibles efectos en los próximos meses” [20].

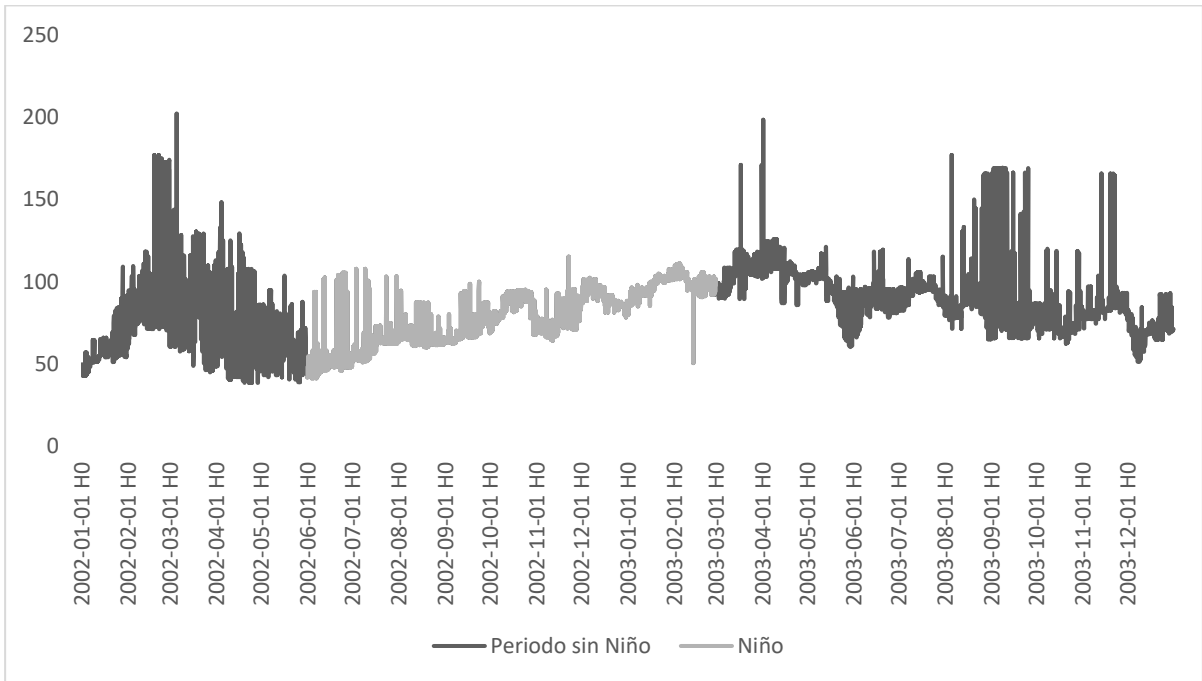
Se concluye: el comportamiento esperado de los precios de bolsa analizando la producción de energía a partir de recursos térmicos, es que los mayores precios se alcanzaran en los meses de enero, febrero, marzo y abril de 1998, ya que en estos se tuvo el mayor porcentaje de generación a través de recursos térmicos. Este comportamiento esperado solo coincide con lo sucedido en enero y febrero, donde efectivamente se tuvieron alzas de precios, sin embargo, esto no explica el crecimiento súbito en el mes septiembre de 1997. Este crecimiento se asocia entonces con el anuncio de Niño y el anuncio de la intervención de los mínimos de embalses. Las publicaciones y anuncios del IDEAM en julio y agosto sobre la presencia de un Niño de intensidad fuerte, produjeron que se tomaran medidas en el mercado de energía eléctrica para mitigar los efectos de las sequías en la operación de las hidroeléctricas. Cuando el volumen útil de embalse agregado estuvo cerca de estar por debajo del MOS se dispararon los precios, y cuando este volumen útil estaba cerca de volver a sobrepasar el MOS empezaron a caer los precios de bolsa.

3.2.2 Niño 2002 – 2003

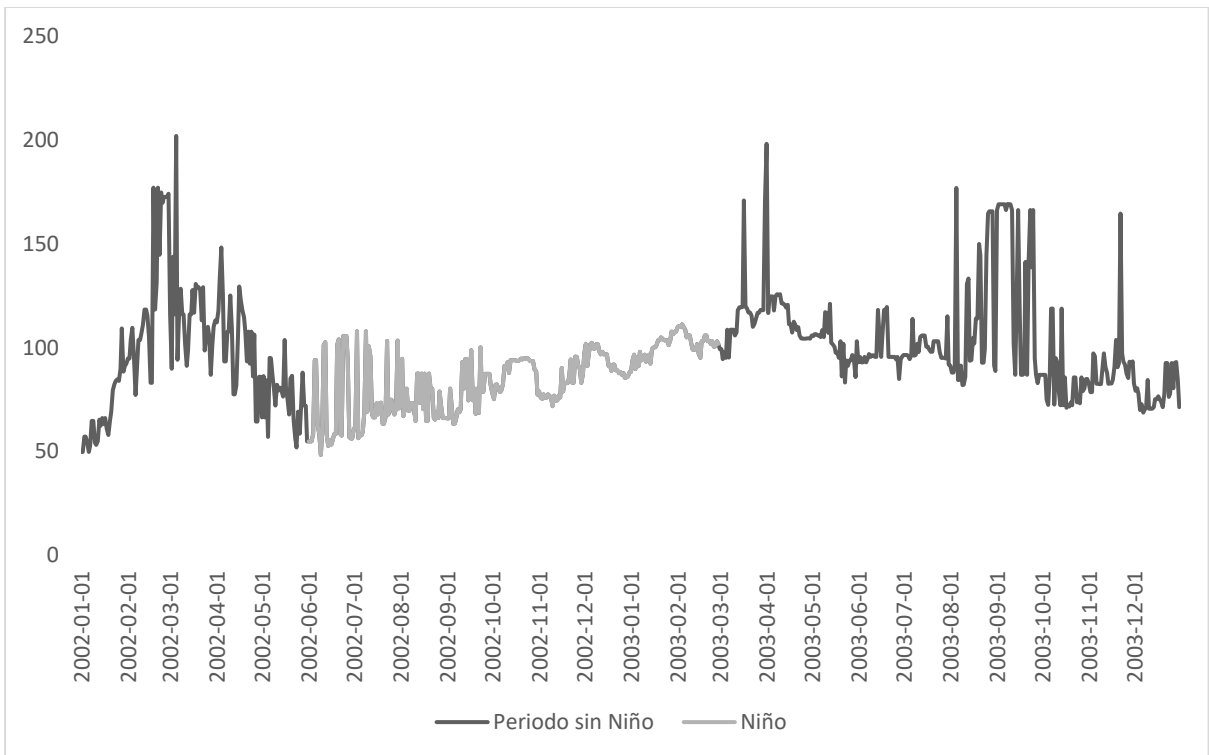
Físicamente el Niño empezó en junio de 2002 y finalizó en febrero de 2003, tuvo una duración de 9 meses, en este periodo no se observa un incremento súbito y repentino de los precios, sino más bien un incremento gradual de los precios desde el inicio del fenómeno y sin evidenciar caídas de precio al finalizar el Niño, incluso después de finalizar los precios continúan ascendiendo poco a poco. Los precios de bolsa empiezan a descender en abril de 2003, dos meses después de finalizado el Niño.

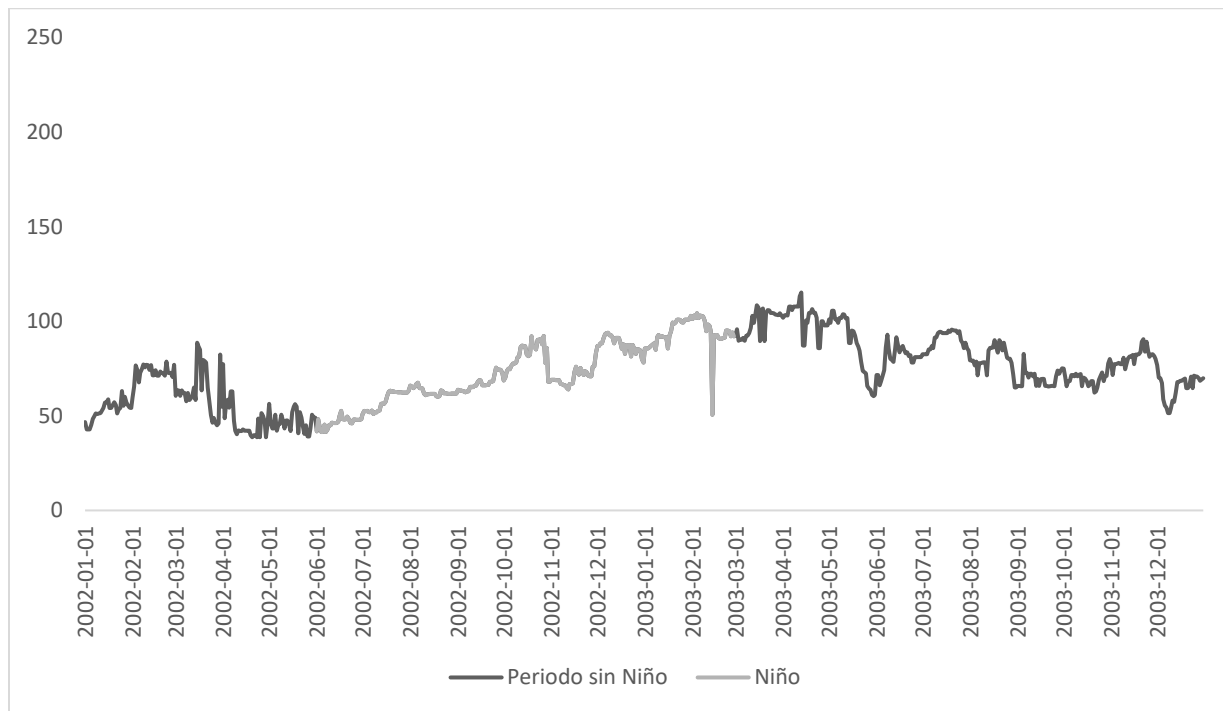
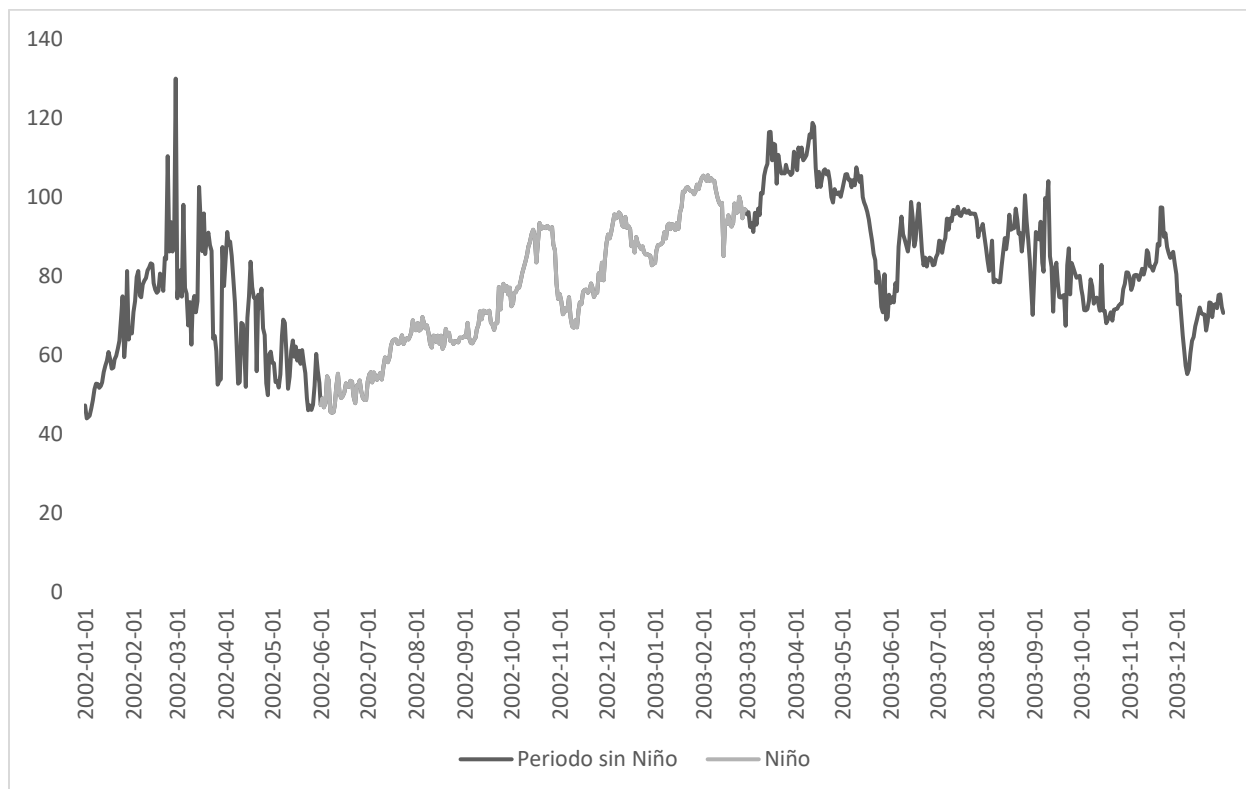
Los mayores picos horarios se produjeron el 22 de noviembre de 2002 a las 6 p.m. y los días 2 y 4 de febrero de 2003 a las 7 p.m. En cuanto a los precios diarios se observan tres pequeños ciclos de subidas de precios durante el Niño, los cuales ocurren entre el 20 de septiembre de 2002 al 5 de noviembre de 2003, el segundo se observa entre el 23 de noviembre de 2002 al 1 de enero de 2003, y el tercero entre el 15 de enero de 2003 y el 15 de febrero de 2003. A nivel de los promedios mensuales se observa un pico en octubre de 2002 y a partir de noviembre un ascenso continuo de los precios.

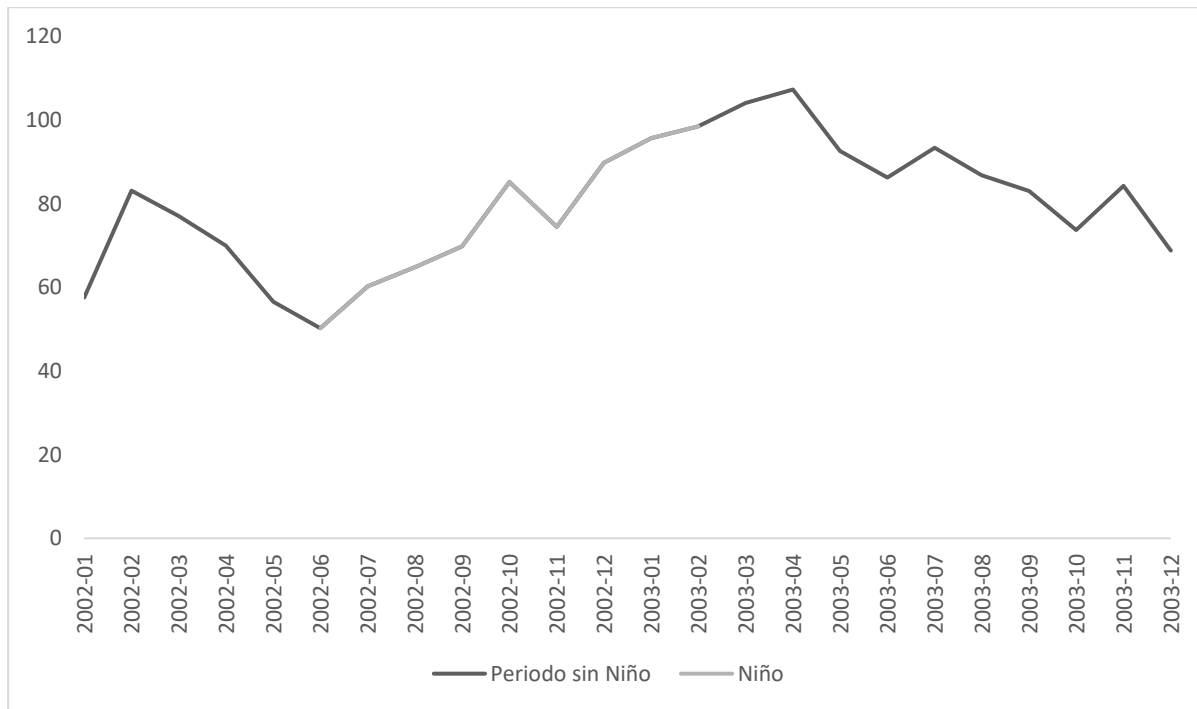
Gráfica 3 - 23: Niño junio 2002 a febrero 2003, precios horarios



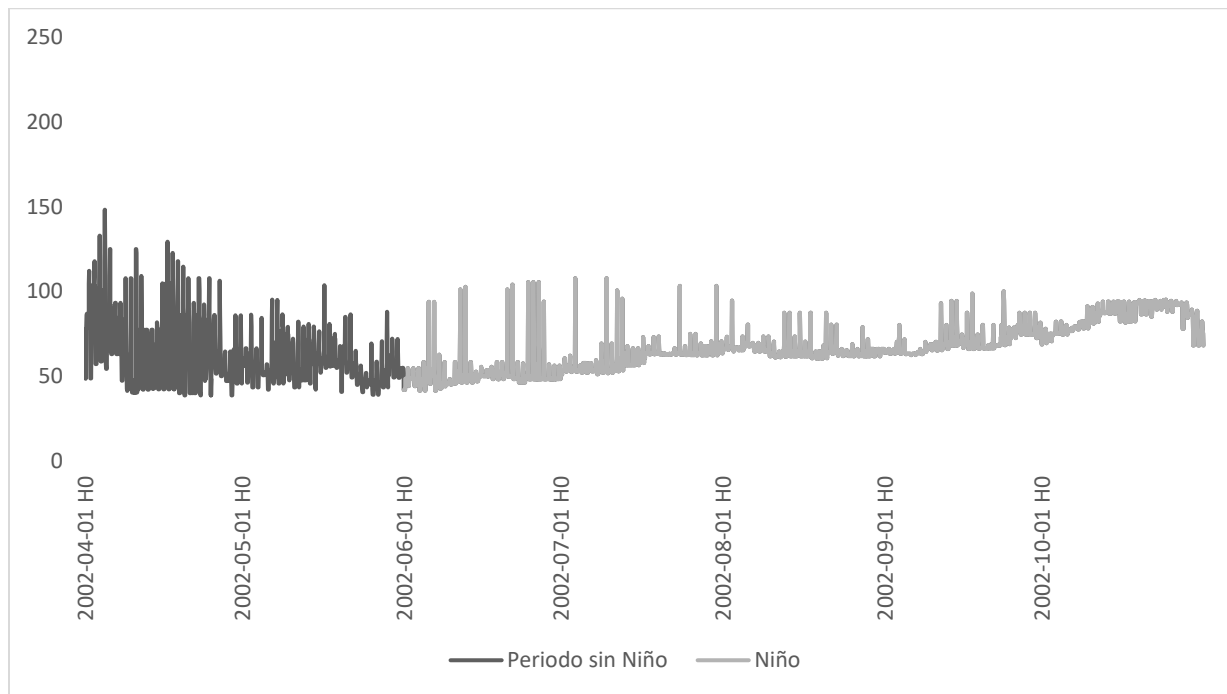
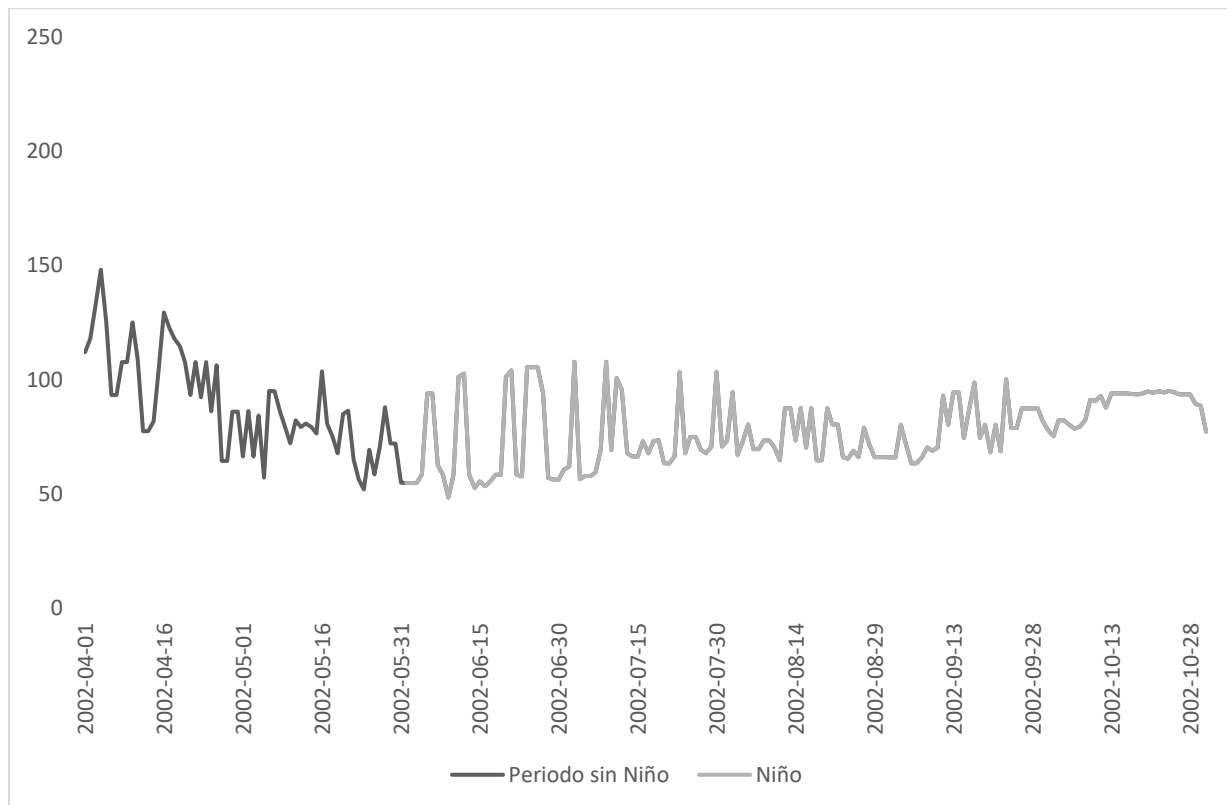
Gráfica 3 - 24: Niño junio 2002 a febrero 2003, precios horarios en hora pico



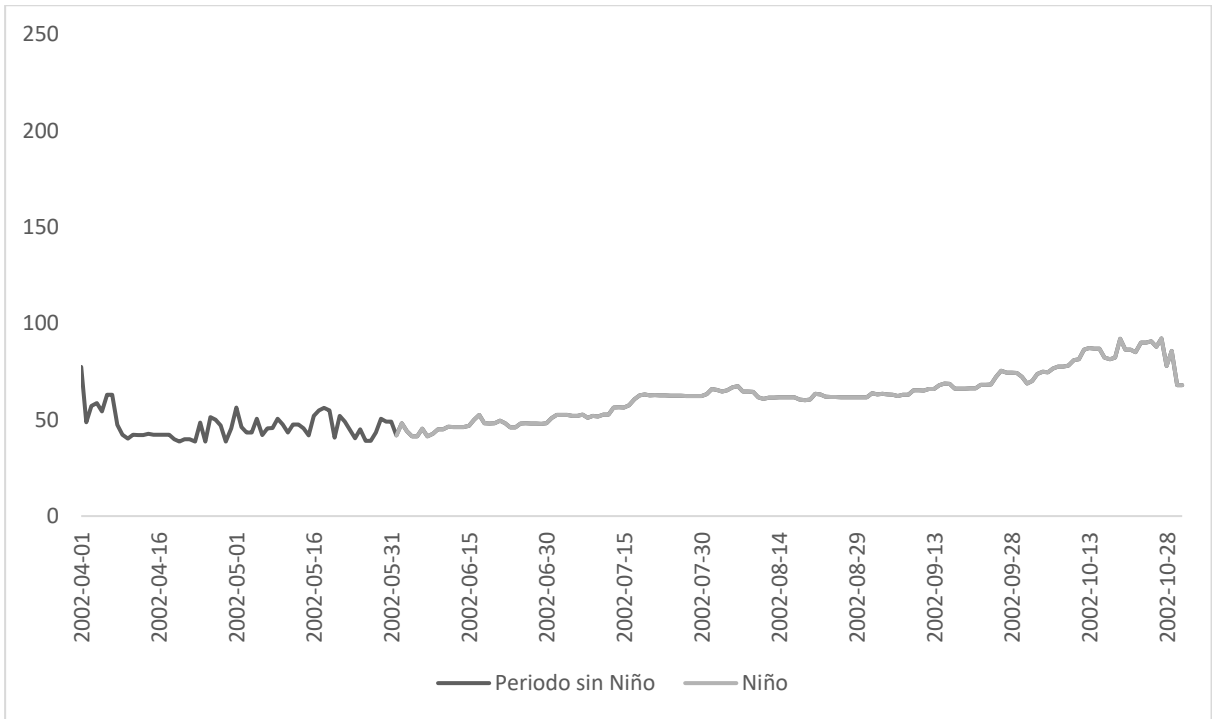
Gráfica 3 - 25: Niño junio 2002 a febrero 2003, precios horarios en hora valle**Gráfica 3 - 26:** Niño junio 2002 a febrero 2003, promedios diarios

Gráfica 3 - 27: Niño junio de 2002 a febrero de 2003, promedios mensuales

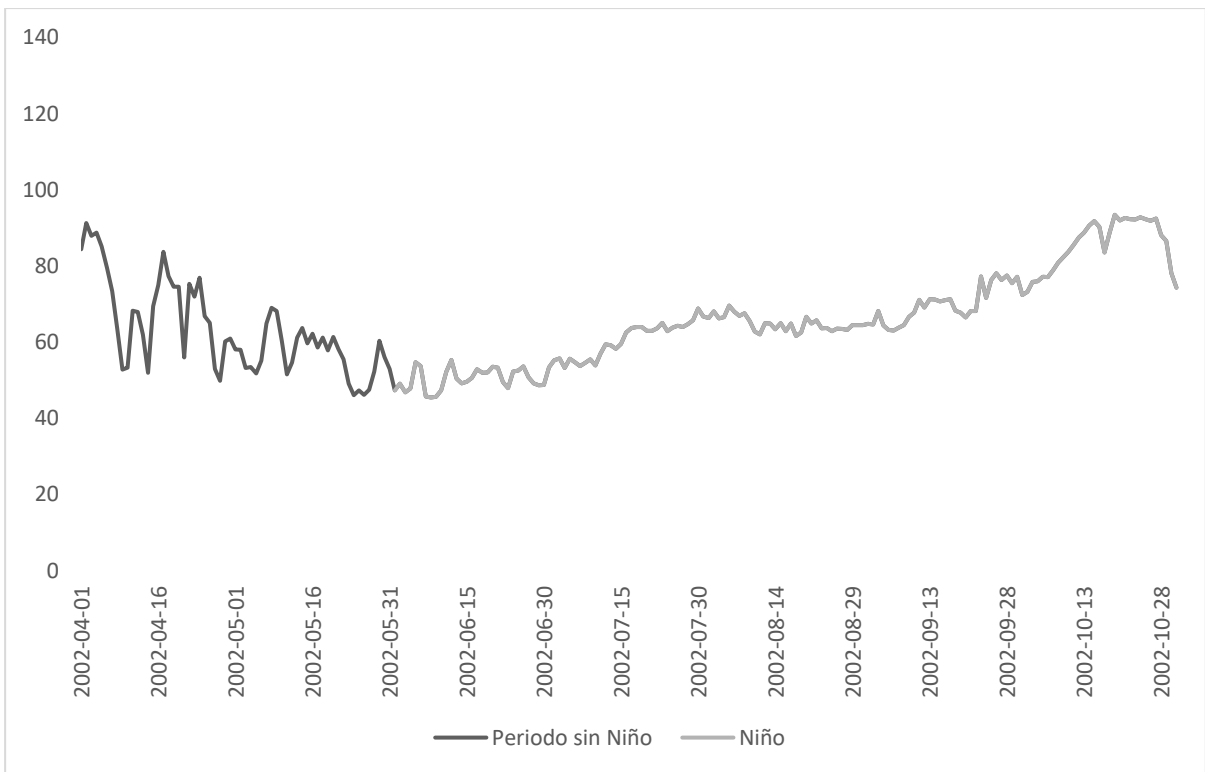
Al inicio del Niño los precios de bolsa empiezan a aumentar de forma gradual, no se ven picos de precios repentinos estables, este comportamiento es más evidente en las gráficas **3-30 y 3-31**.

Gráfica 3 - 28: Inicio del Niño, abril 2002 a octubre 2002, precios horarios**Gráfica 3 - 29:** Inicio del Niño, abril 2002 a octubre 2002, precios horarios en hora pico

Gráfica 3 - 30: Inicio del Niño, abril 2002 a octubre 2002, precios horarios en hora valle

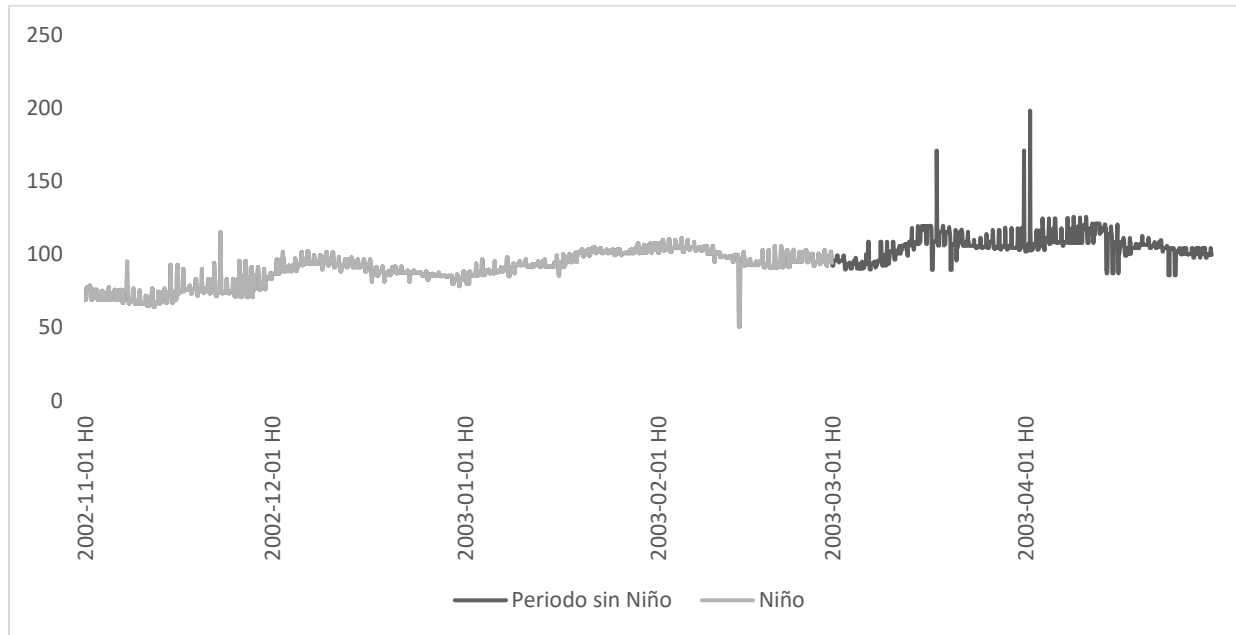


Gráfica 3 - 31: Inicio del Niño, abril 2002 a octubre de 2002, promedios diarios

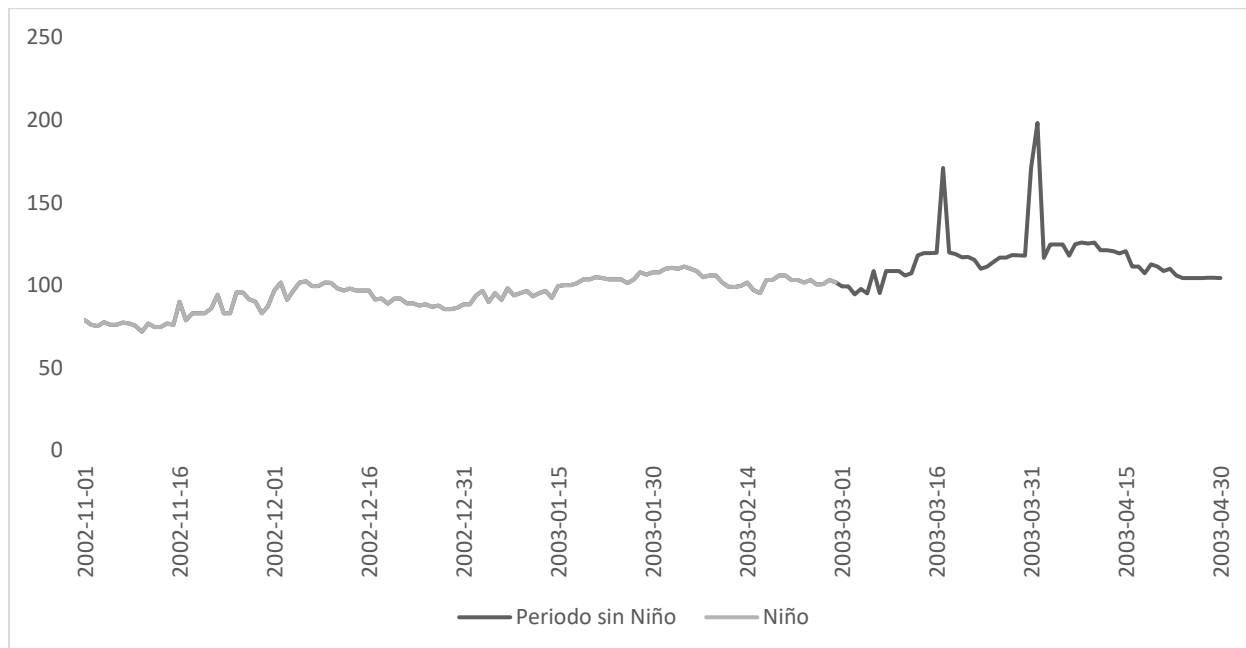


Los precios de bolsa siguen aumentando de forma gradual hasta finalizar el Niño, estos empiezan a descender dos meses después de que se determina que físicamente ha finalizado el fenómeno. Este comportamiento es evidente en las siguientes cuatro gráficas.

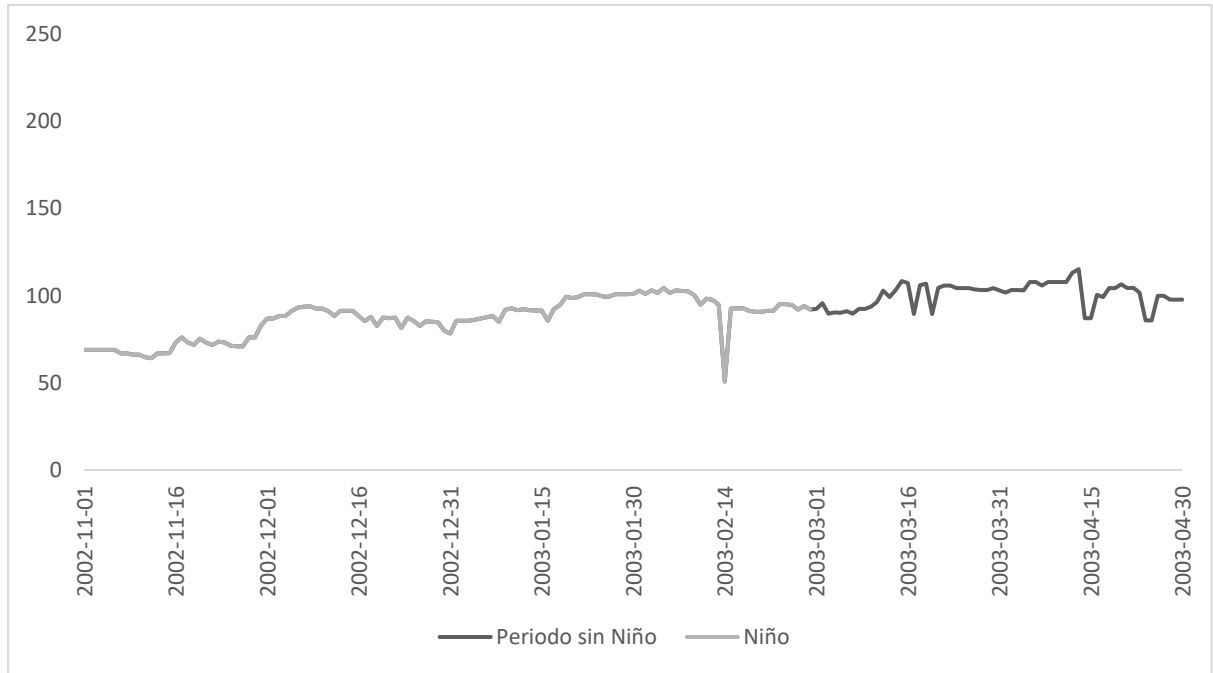
Gráfica 3 - 32: Fin del Niño, noviembre de 2002 a abril de 2003, precios horarios



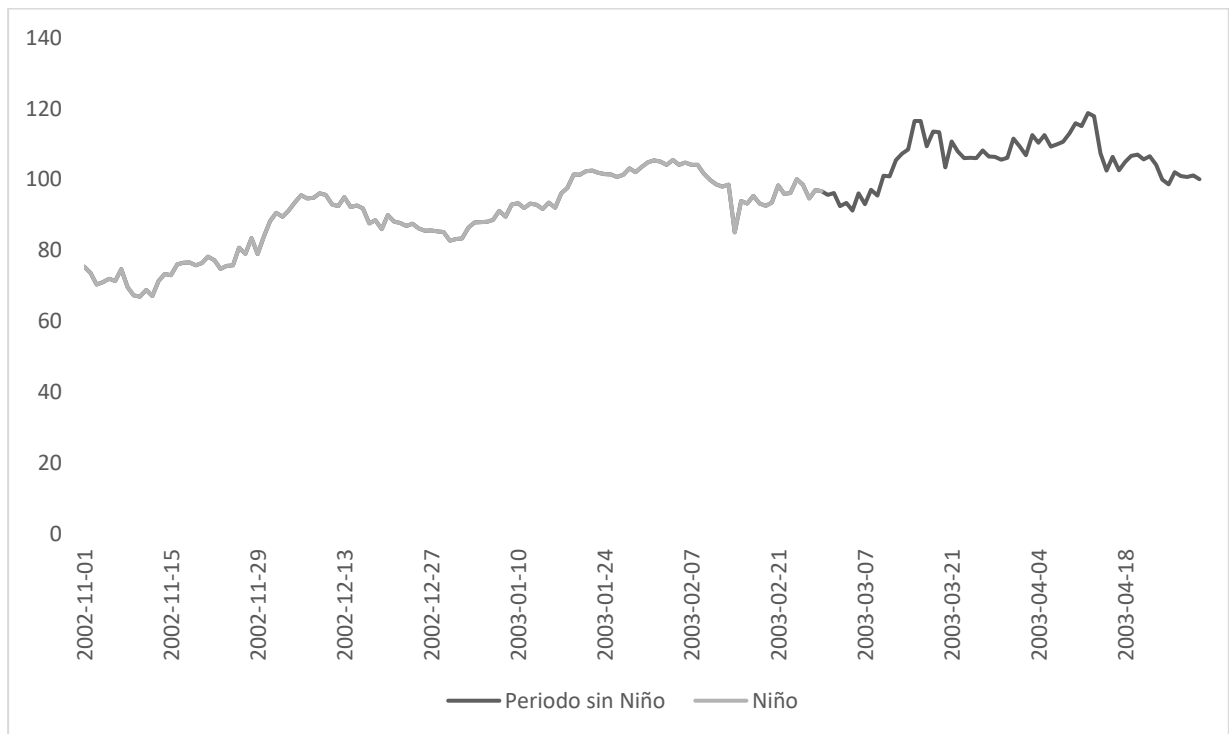
Gráfica 3 - 33: Fin del Niño, noviembre de 2002 a abril de 2003, precios horarios en hora pico



Gráfica 3 - 34: fin del Niño, noviembre de 2002 a abril de 2003, precios horarios en hora valle

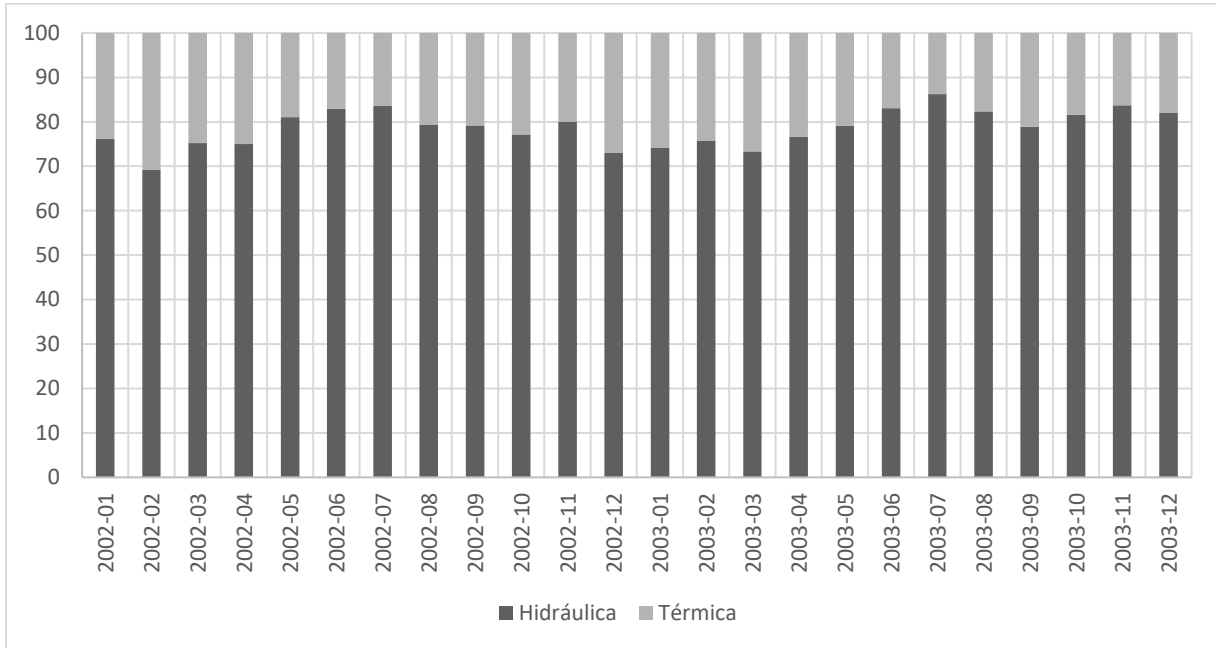


Gráfica 3 - 35: Fin del Niño, noviembre de 2002 a abril de 2003, promedios diarios.

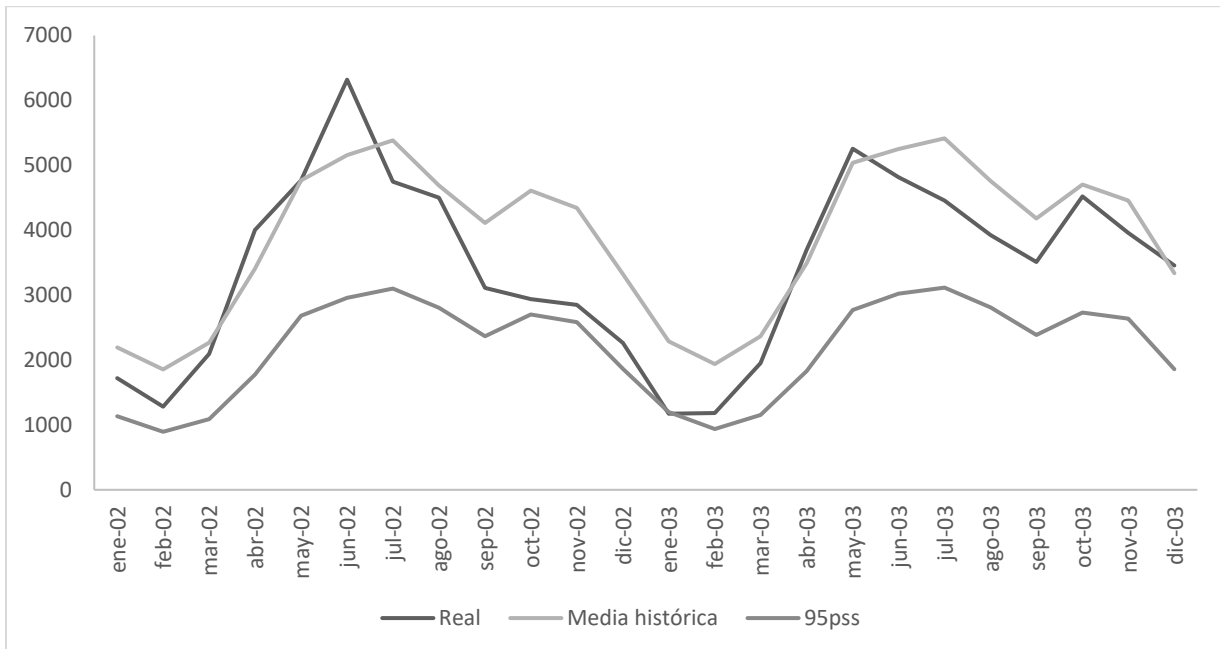


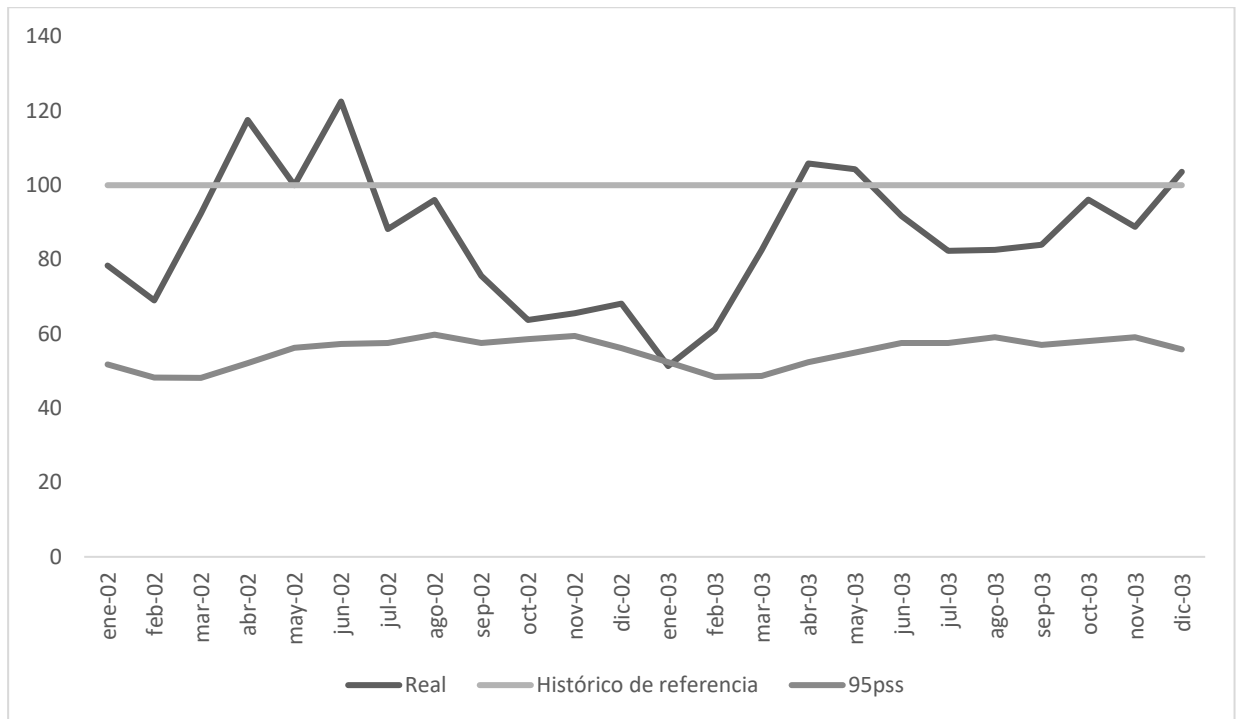
Los picos de precios coinciden con los picos de generación térmica en diciembre 2002 y enero 2003. En enero 2003 se presentan los menores aportes hídricos con respecto a la media histórica.

Gráfica 3 - 36: porcentaje de generación mensual por tipo de recurso, 2002 - 2003



Gráfica 3 - 37: aportes hídricos mensuales (GWh), 2002 - 2003



Gráfica 3 - 38: aportes hídricos mensuales porcentaje respecto a la media

3.2.2.1 Seguimiento del Niño

Para este periodo tampoco se tienen informes oficiales por parte del IDEAM sobre el comportamiento del Niño, pero si se tiene la información sobre las discusiones realizadas por la NOAA. Para analizar el seguimiento que hizo el IDEAM en este periodo sobre el Niño se destacan algunos artículos periodísticos.

El IDEAM confirmó que ocurriría un fenómeno del Niño a final del año 2002, esto lo hizo el 2 de octubre y los estudios internacionales confirmaron que había presencia de Niño el 8 de agosto de 2002 y el 10 de octubre hablan de un evento de categoría moderado. Es importante resaltar que el alza de precios fue gradual, y corresponde con un seguimiento del Niño mes a mes donde se anuncia que su intensidad será moderada y sus efectos mucho más débiles que los del Niño de 1997 a 1998.

Los precios empiezan a descender a partir de abril de 2003, mes en el cual la NOAA anuncia que empieza a debilitarse el Niño, y en mayo de ese mismo año confirma que ha

terminado el fenómeno. En este periodo la correlación entre precio de bolsa y generación por recurso no es tan fuerte como en el Niño anterior.

Noticias periodísticas y documentos sobre el Niño:

9 de enero de 2002: Noticia con fuentes del IDEAM: “Para mediados de este año se prevé fenómeno del Niño en Colombia”. 9 de enero [21].

Marzo de 2002: publicación de documento técnico por parte del IDEAM “Efectos naturales y socioeconómicos del fenómeno de El Niño en Colombia” [22].

21 de marzo de 2002: Noticia con fuentes del IDEAM: “Se avecina Niño moderado” [23].

2 de octubre de 2002: Noticia, comunicado de presidencia: “IDEAM anuncia inicio del fenómeno del Niño para finales del año”. 2 de octubre [24].

Informes de la NOAA

Informes sobre el inicio del Niño.

Febrero 5 de 2002: “Lo más probable es que las condiciones del episodio cálido (El Niño) se desarrollen en el Pacífico tropical durante los próximos 3 meses. Si bien la mayoría de las técnicas de predicción indican que se desarrollará un episodio cálido, hay una considerable incertidumbre en cuanto a su fuerza”.

Marzo 7 de 2002: “Varios de los índices atmosféricos indican que las condiciones de El Niño no se han desarrollado hasta el punto de garantizar un crecimiento sostenido del evento. La evolución reciente en las condiciones oceánicas apoya las previsiones de una evolución continua hacia El Niño”.

Abril 11 de 2002: “Las últimas predicciones estadísticas y de modelos acoplados muestran un margen de condiciones casi normales a condiciones moderadas de episodios calientes durante el resto de 2002. Los modelos acoplados y algunas técnicas estadísticas que incorporan condiciones oceánicas subsuperficiales indican una evolución lenta a condiciones de episodio calórico débil o moderado (El Niño) durante los próximos meses”.

Mayo 9 de 2002: “Varios modelos acoplados y pronósticos estadísticos, indican un calentamiento gradual durante los próximos meses con condiciones El Niño débiles a moderadas a fines de 2002. **Es importante agregar que un fenómeno El Niño débil o moderado presentaría impactos globales considerablemente más débiles a los que se experimentaron durante el muy fuerte 1997-98 El Niño**”.

Junio 6 2002: “Los índices atmosféricos en los últimos meses indican que continuará el desarrollo de El Niño. De acuerdo con esta evaluación, la mayoría de los pronósticos estadísticos y de modelos acoplados indican que las condiciones de El Niño de débil a moderada continuarán hasta finales de 2002”.

Julio 2002: No hay informe

Agosto 8 2002: “**Las variables oceánicas y atmosféricas reflejan la presencia de condiciones de El Niño débiles a moderadas.** La mayoría de los modelos acoplados y los pronósticos de modelos estadísticos indican que es probable que las condiciones de El Niño continúen hasta fines de 2002 y principios de 2003. Aunque hay una considerable incertidumbre en los pronósticos sobre el momento y la intensidad del pico de este cálido episodio. **Las previsiones indican que será mucho más débil que el Niño de 1997-98. Es importante agregar que los impactos globales de este episodio deberían ser correspondientemente más débiles que los observados durante el muy fuerte 1997-98 El Niño**”.

Septiembre 12 de 2002: Las condiciones de episodio cálido de Niño continuaron durante agosto.

Octubre 10 de 2002: Las condiciones de un evento cálido **moderado** de Niño continuaron durante septiembre. La mayoría de los modelos acoplados y los pronósticos de modelos estadísticos indican que las condiciones de El Niño continuarán hasta principios de 2003.

Informes sobre el final del Niño:

Enero 9 de 2003: “La mayoría de los modelos acoplados y los pronósticos de modelos estadísticos indican que las condiciones de El Niño continuarán durante la primavera septentrional de 2003”.

Febrero 6 de 2003: “Durante enero de 2003 hubo indicios de que el cálido episodio **empezaba a debilitarse**. De acuerdo con las condiciones actuales y las tendencias observadas recientemente, la mayoría de los modelos acoplados y las previsiones de modelos estadísticos indican que las condiciones de El Niño seguirán debilitándose hasta abril de 2003”.

Marzo 6 2003: “De acuerdo con las condiciones actuales y las tendencias observadas recientemente, la mayoría de los modelos acoplados y las previsiones de modelos estadísticos indican que las condiciones de El Niño seguirán **debilitándose** durante marzo de 2003. Posteriormente, el pronóstico del consenso es para condiciones casi normales durante abril-octubre de 2003”

Abril 10 de 2003: “El episodio de calentamiento (El Niño) **continuó debilitándose** durante marzo de 2003”.

Mayo 19 de 2003: “Durante marzo y abril de 2003, **las condiciones del fenómeno del Calor (El Niño) se disiparon rápidamente** en el Pacífico tropical, ya que las anomalías de la temperatura de la superficie del mar continuaron disminuyendo a lo largo del Pacífico ecuatorial central y oriental y condiciones más secas que el promedio sobre el Pacífico central ecuatorial”. **Anuncio fin del Niño**

Tabla 3 - 1: influencia del anuncio de inicio de Niño sobre el precio 2002 – 2003

Fecha anuncio	Porcentaje de cambio del precio respecto a la fecha de anuncio a los						
	5 días	10 días	15 días	20 días	25 días	30 días	35 días
IDEAM: 2 de octubre de 2002	7,68	19,52	14,13	26,16	26,34	3,13	-2,52
NOAA: 10 de octubre de 2002	9,6	9,8	10,23	-6,75	-15,22	-19,61	-12,37

Tabla 3 - 2: influencia del anuncio de fin de Niño sobre el precio 2002 – 2003

Fecha anuncio	Porcentaje de cambio del precio respecto a la fecha de anuncio a los						
	5 días	10 días	15 días	20 días	25 días	30 días	35 días
NOAA: mayo 19 de 2003, adiós al Niño	-11,36	-24,59	-19,81	3,91	-2,19	3,07	-7,44

Se concluye: El pequeño pico de precios en octubre coincide con el anuncio local de ocurrencia del Niño como lo evidencia la **tabla 3-1**. El aumento gradual de precios a partir de noviembre de 2002 se puede asociar con los efectos físicos del Niño, es decir este aumento está asociado a la generación a partir de recursos térmicos.

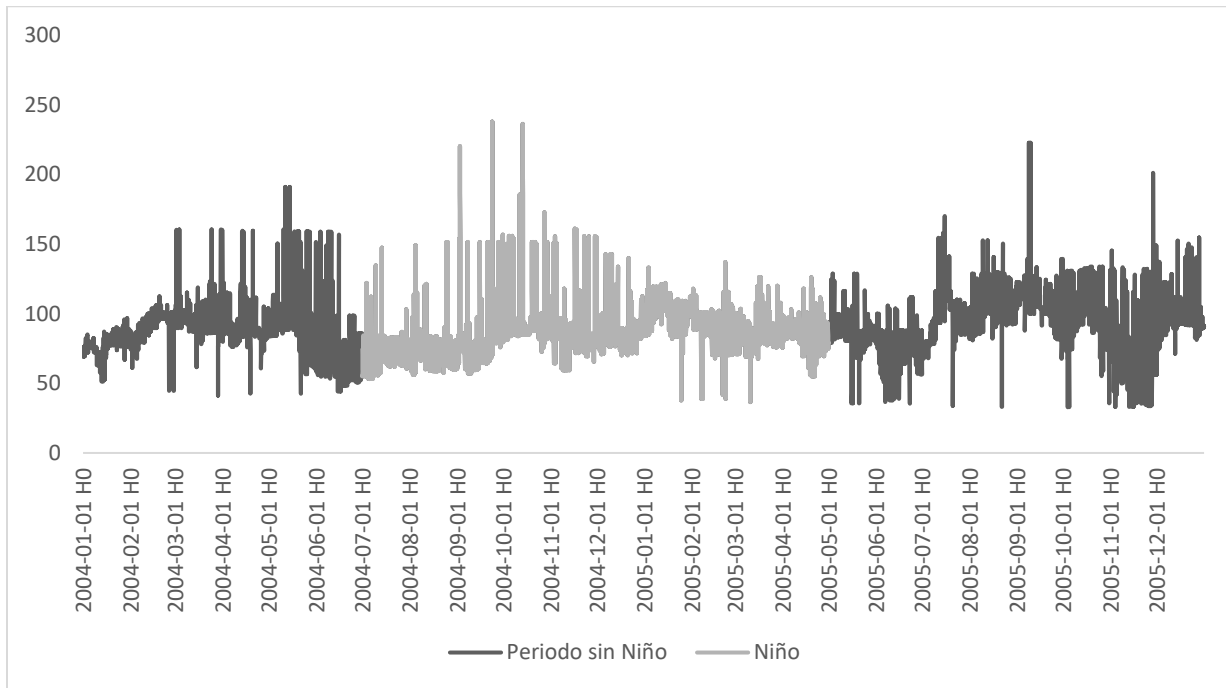
Aunque físicamente el Niño terminó en febrero de 2003 La caída de precios coincide con el seguimiento de la NOAA sobre la finalización del Niño en mayo (**tabla 3-2**), aunque los precios venían disminuyendo desde abril de 2003 debido a los efectos físicos del debilitamiento del Niño.

El aumento de precios en este periodo no fue tan abrupto y de igual magnitud al del Niño anterior debido a que la información de los reportes no envió señales muy alarmantes, y además los efectos físicos del fenómeno no fueron muy fuertes, por ejemplo se empezó hablar del Niño 5 meses antes de que empezara físicamente, en algunos de estos reportes se mencionó que la categoría del Niño era débil y luego aumentó a moderada, se mencionó también que sus efectos serían mucho menos que los del Niño anterior.

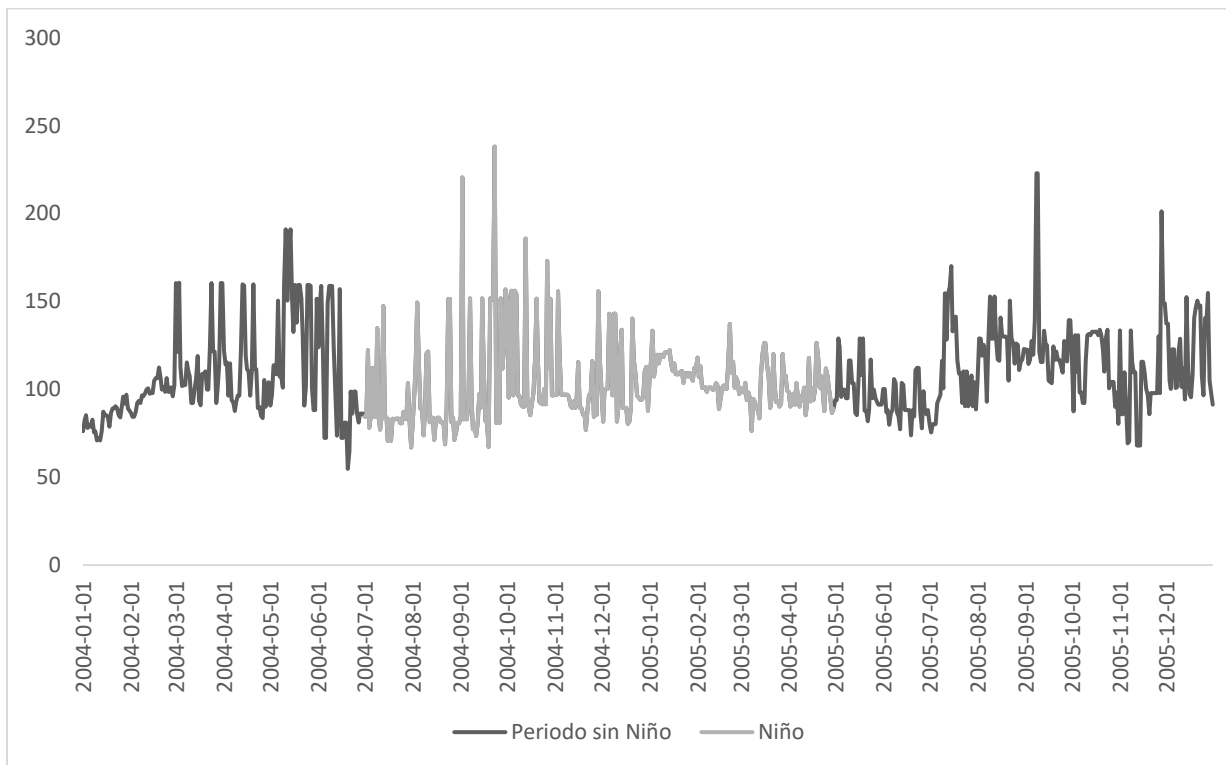
3.2.3 Niño 2004 – 2005

Físicamente el Niño se desarrolló entre julio de 2004 y abril de 2005, tuvo una duración de 10 meses, se catalogó como un fenómeno de intensidad débil, donde no se presentaron subidas de precio considerables, tampoco hubo una disminución importante de los aportes con respecto a la media histórica. No hay mucha información en Colombia sobre este suceso de Niño, se podría decir que pasó desapercibido para el mercado de energía eléctrica.

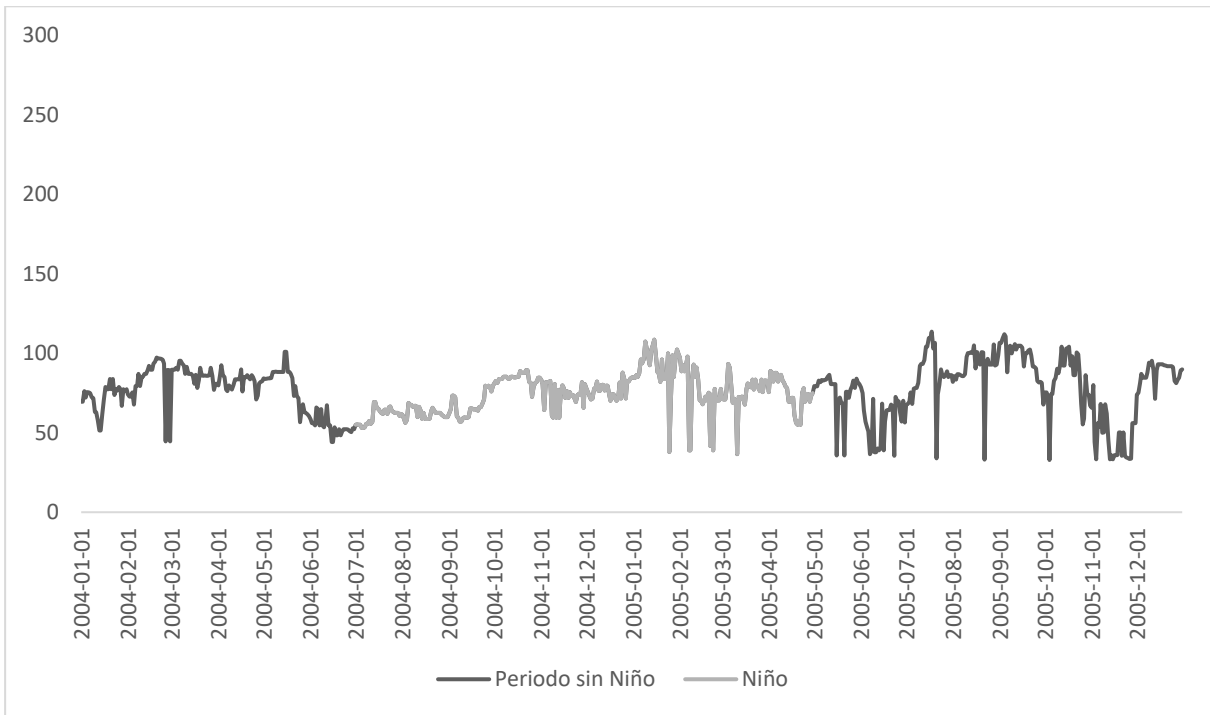
Gráfica 3 - 39: Niño julio de 2004 a abril 2005, precios horarios



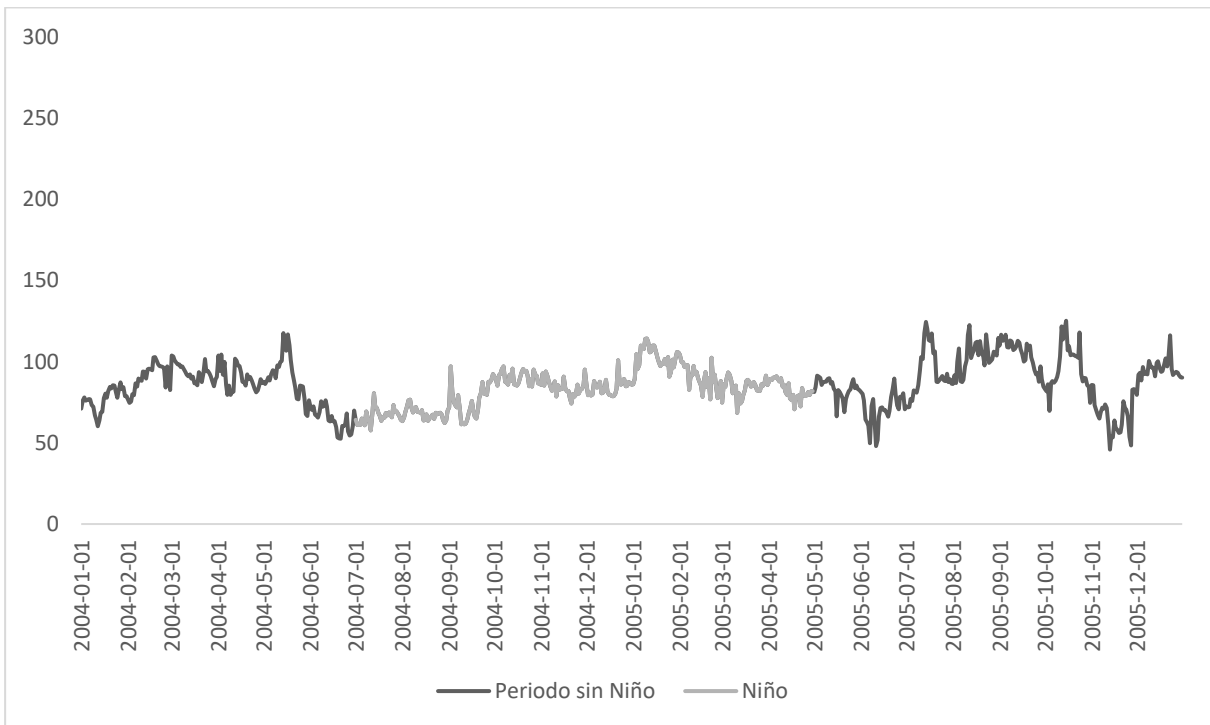
Gráfica 3 - 40: Niño julio de 2004 a abril 2005, precios horarios hora pico



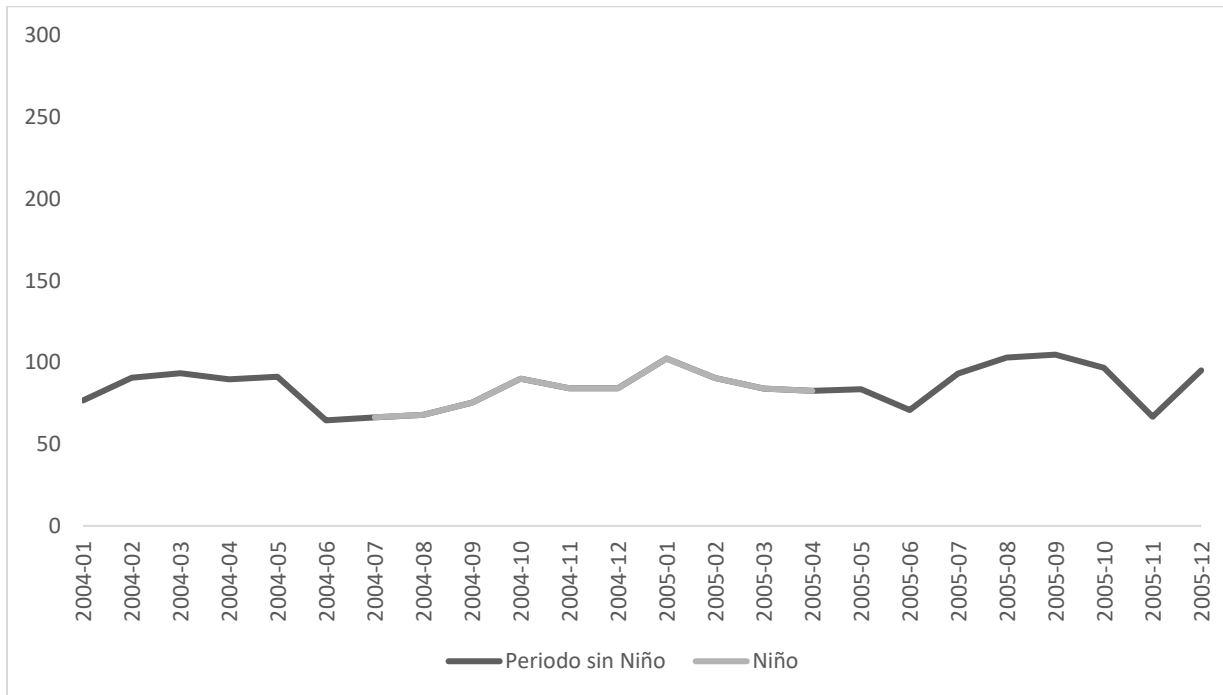
Gráfica 3 - 41: Niño julio de 2004 a abril 2005, precios horarios hora valle



Gráfica 3 - 42: Niño julio 2004 a abril 2005, promedios diarios

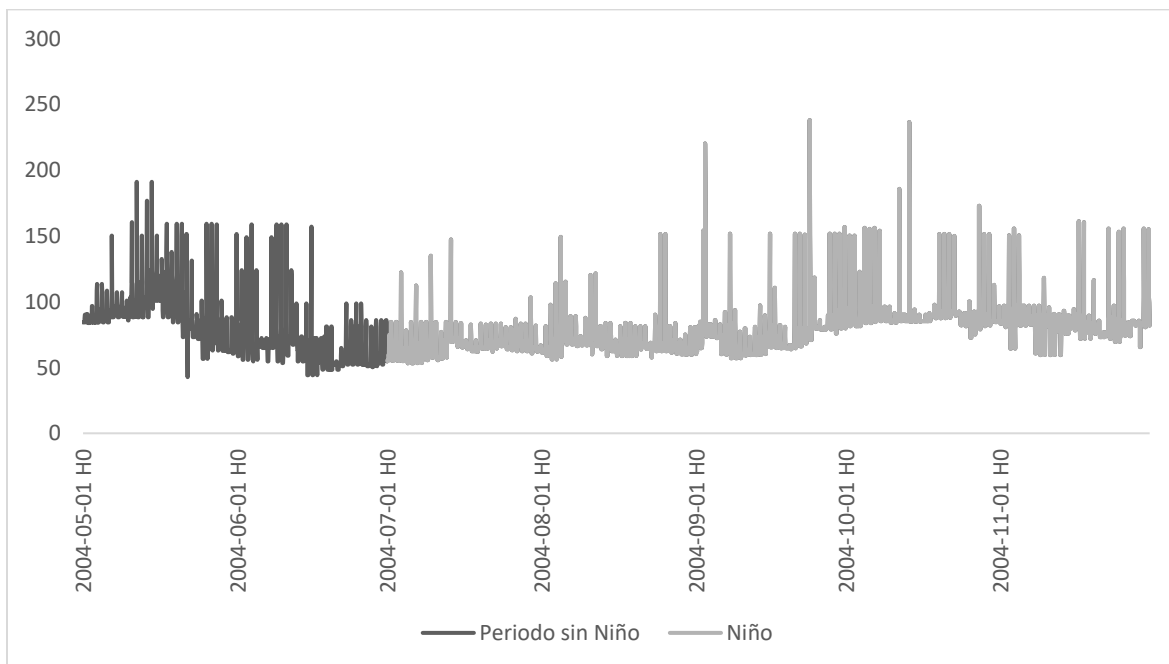


Gráfica 3 - 43: Niño julio 2004 - abril 2005, promedio mensual

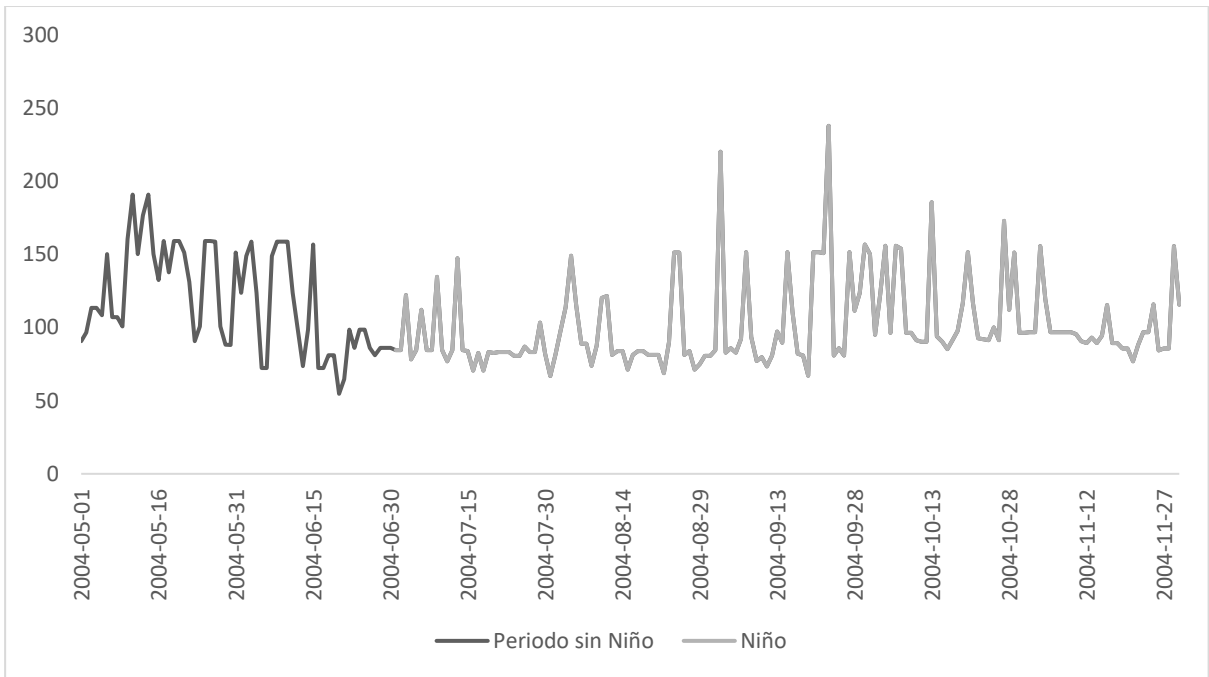


No se presentan alzas de precios importantes o destacadas al inicio del Niño

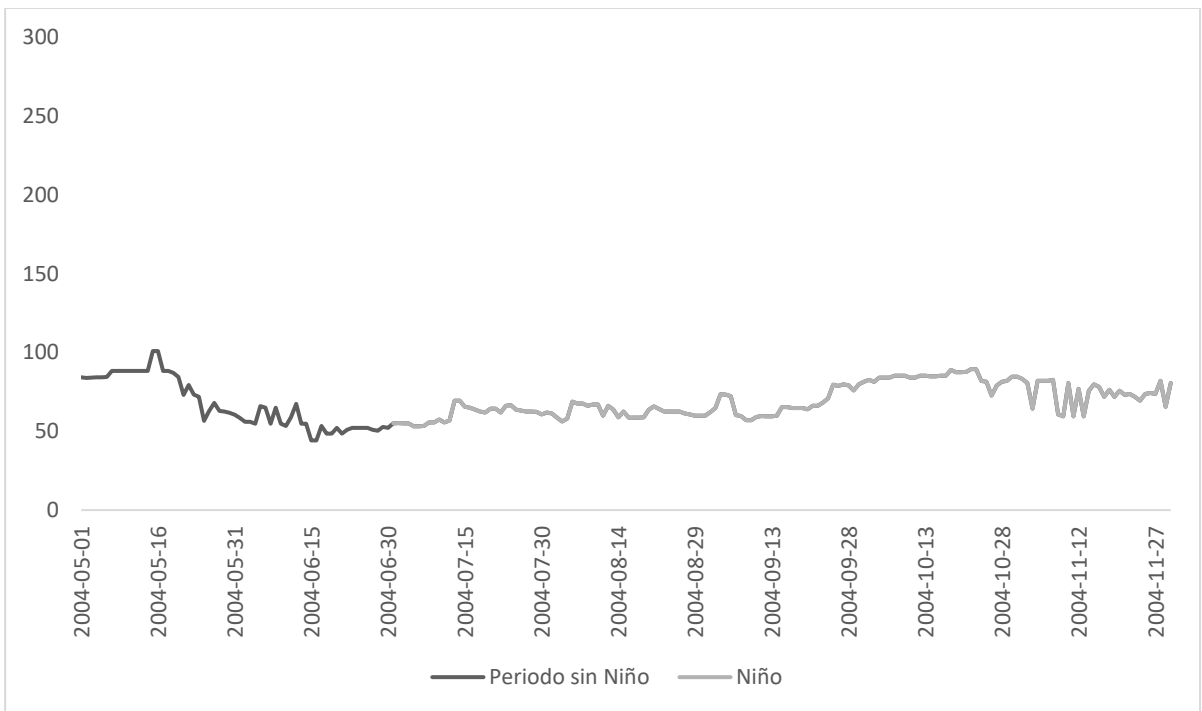
Gráfica 3 - 44: inicio del Niño mayo de 2004 a noviembre de 2004, precios horarios

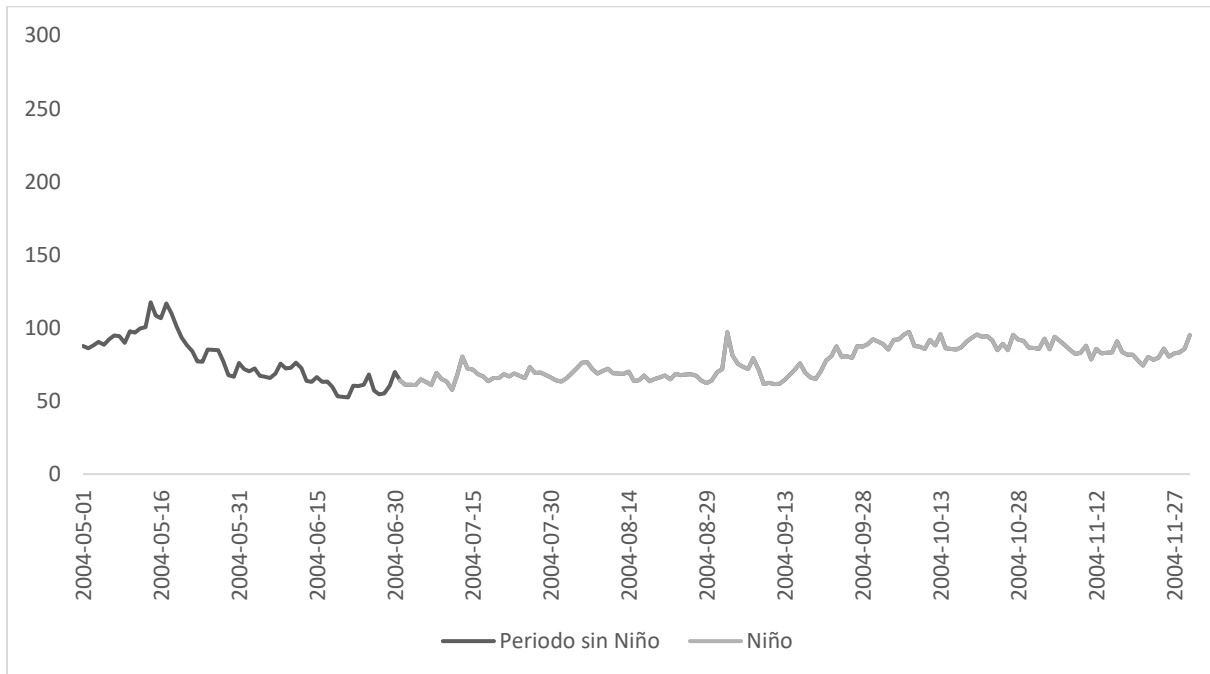


Gráfica 3 - 45: inicio del Niño mayo de 2004 a noviembre de 2004, precios horarios hora pico

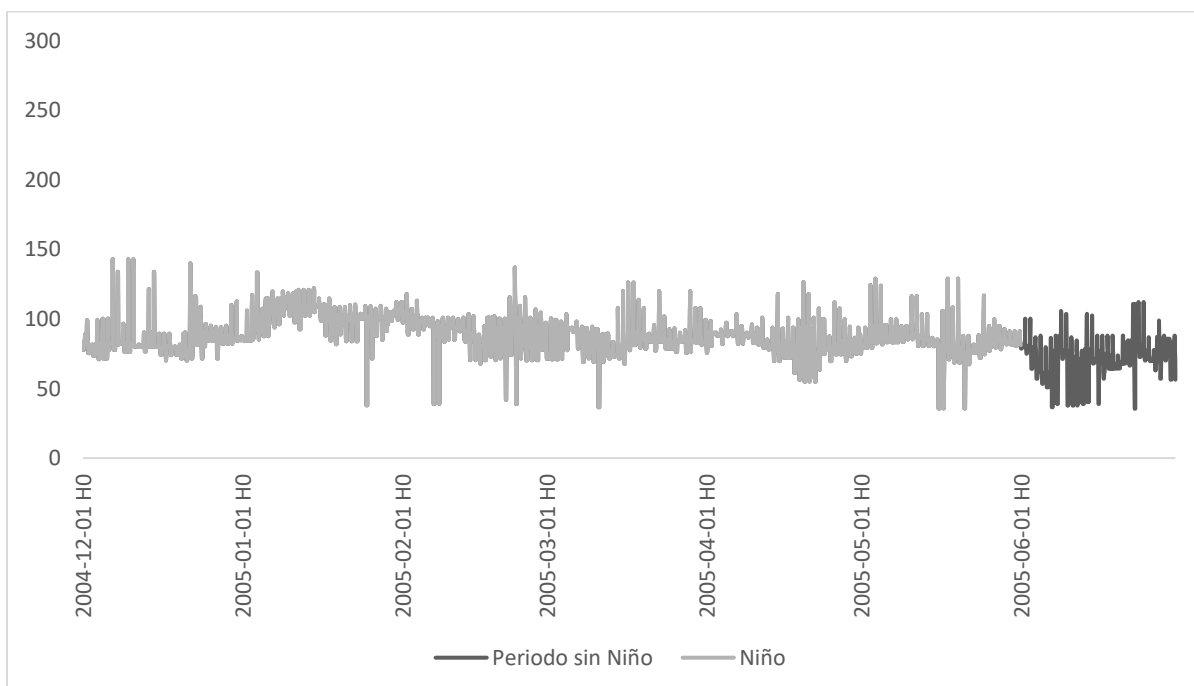


Gráfica 3 - 46: inicio del Niño mayo de 2004 a noviembre de 2004, precios horarios hora valle

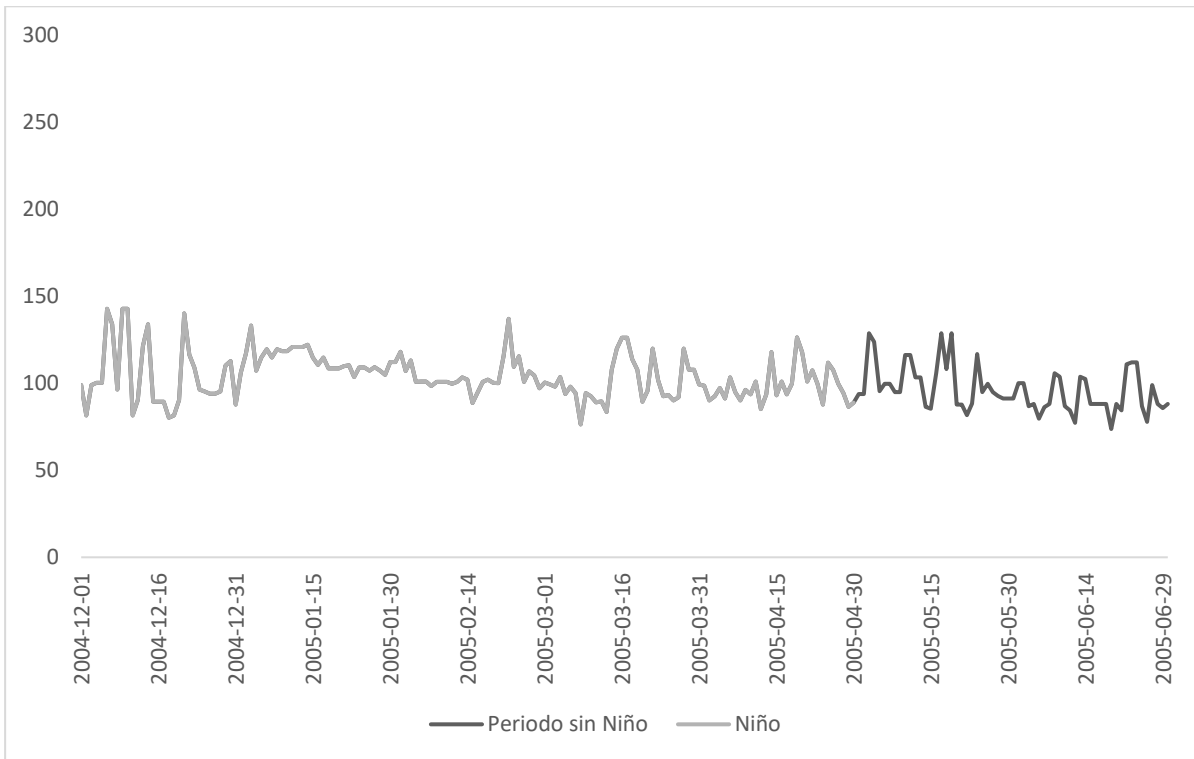


Gráfica 3 - 47: inicio del Niño mayo de 2004 a noviembre de 2004, promedios diarios

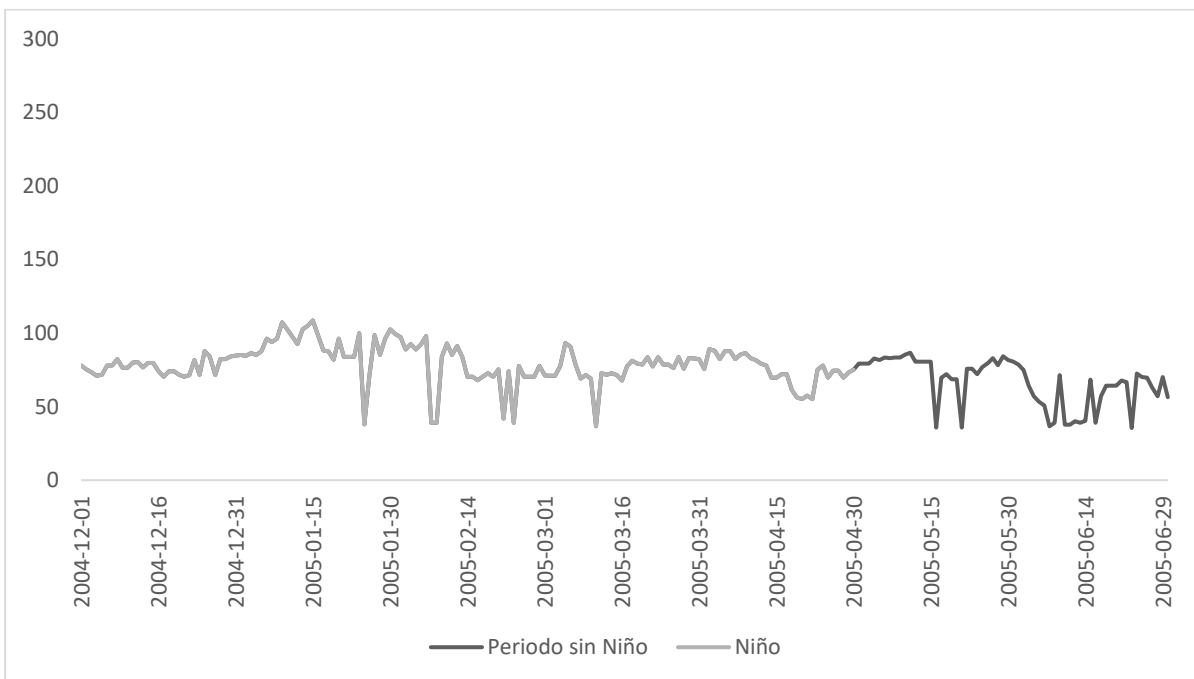
Los precios se mantienen estables durante el final del Niño

Gráfica 3 - 48: fin del Niño diciembre 2004 a junio 2005, precios horarios

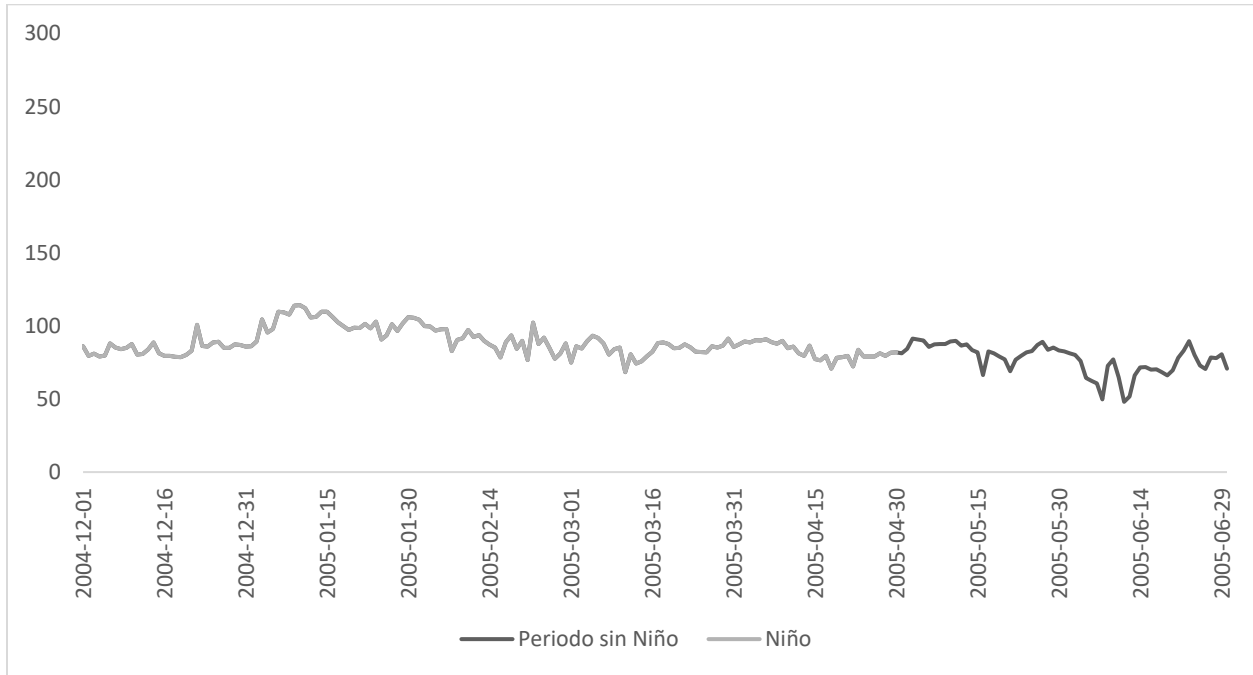
Gráfica 3 - 49: fin del Niño diciembre 2004 a junio 2005, precios horarios hora pico



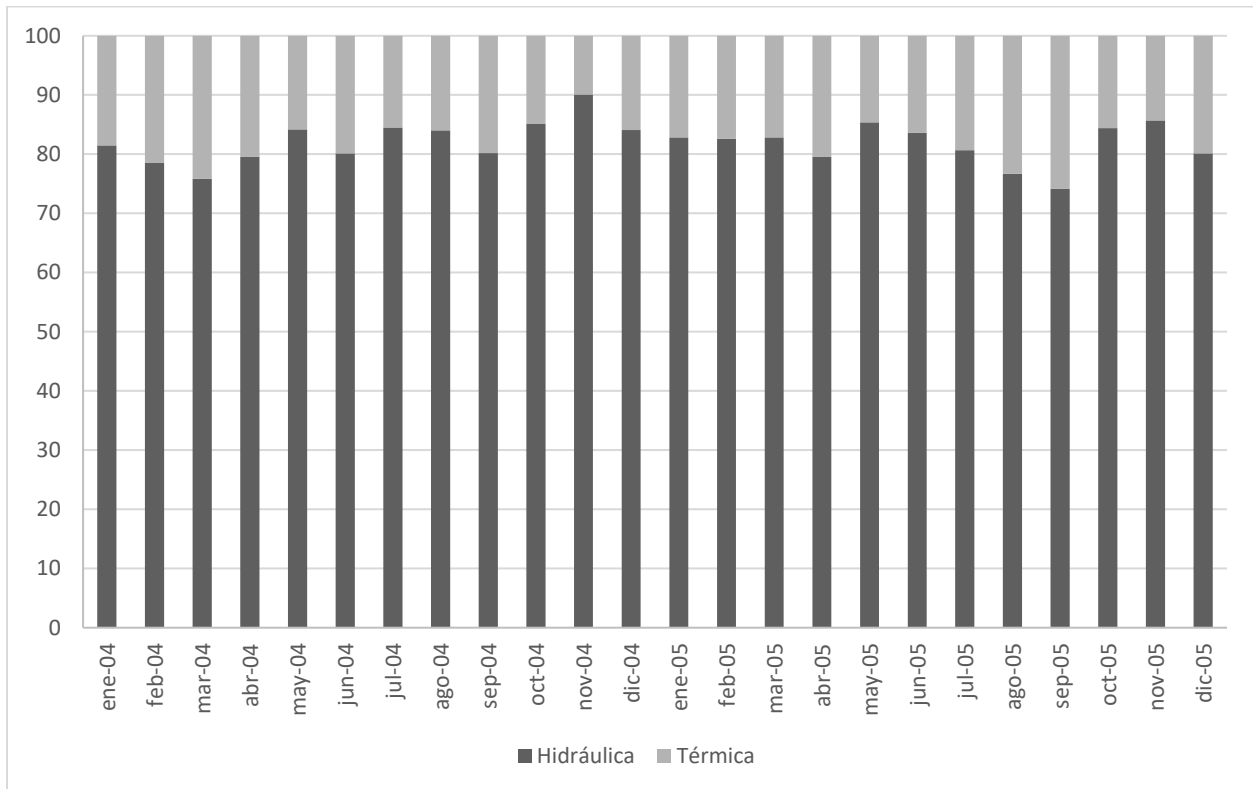
Gráfica 3 - 50: fin del Niño diciembre 2004 a junio 2005, precios horarios hora valle



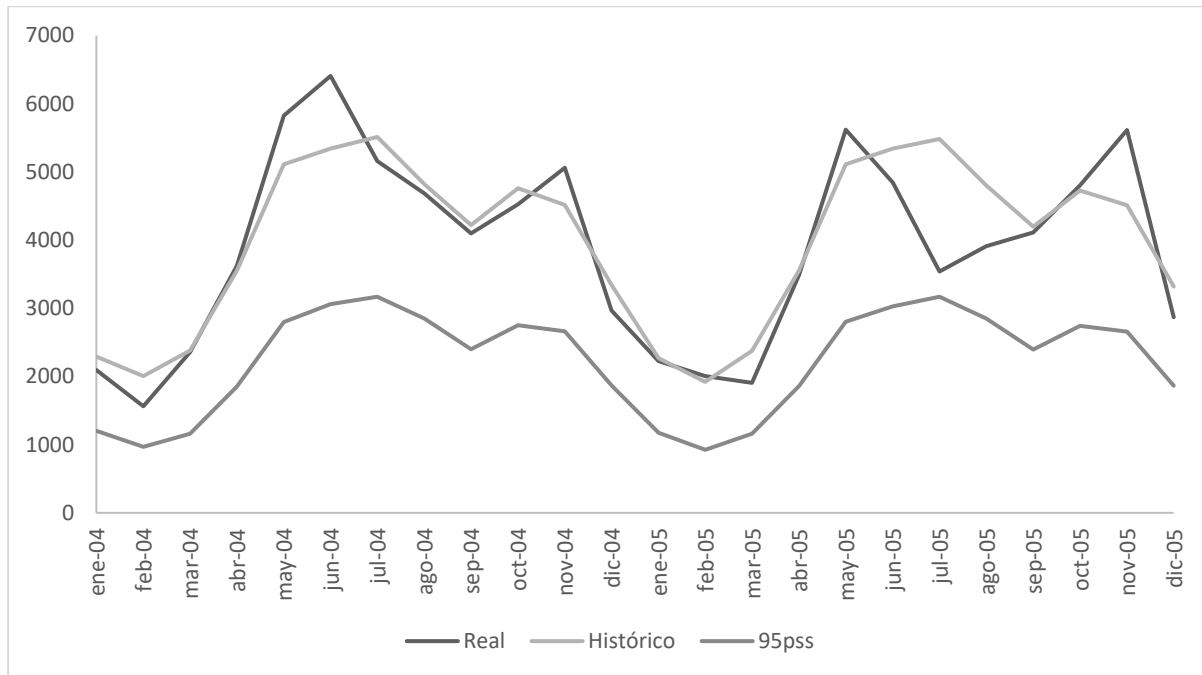
Gráfica 3 - 51: fin del Niño diciembre de 2004 a junio de 2005, promedios diarios



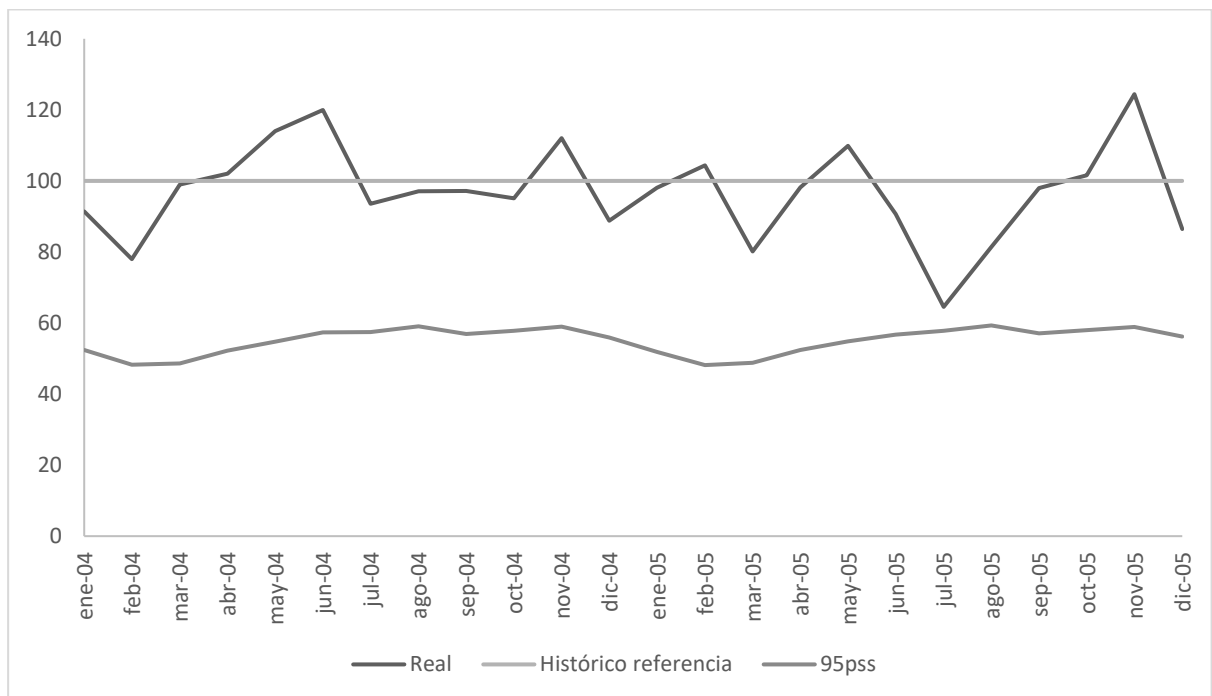
Gráfica 3 - 52: porcentaje de generación mensual por tipo de recurso 2004 - 2005



Gráfica 3 - 53: aportes hídricos mensuales (GWh) 2004 - 2005



Gráfica 3 - 54: aportes hídricos mensuales porcentaje respecto a la media 2004 - 2005



3.2.3.1 Seguimiento del Niño

Para este Niño no se tienen informes ni documentos realizados por el IDEAM, a continuación se presenta una noticia y el seguimiento que realizó la NOAA.

Noticias y reportes:

10 de agosto de 2004: publicación noticia con fuente del centro de predicción climática de los Estados Unidos: "Regresa el fenómeno del Niño" [25].

Informes NOAA:

Informes sobre el inicio del Niño

Julio 8 de 2004: "Se espera que las condiciones neutrales de ENSO continúen durante los próximos 3 meses".

Agosto 5 de 2004: "Se espera que las condiciones de El Niño se desarrollen durante los próximos 3 meses".

Septiembre 9 de 2004: "Se espera que las condiciones de episodios calurosos continúen a principios de 2005". **Se confirma el Niño**

Informes sobre el final del Niño

Enero 6 de 2005: "Se espera que las condiciones débiles de episodio de calor (El Niño) continúen durante los próximos tres meses".

Abril 7 de 2005: "Se prevé que la transición de las condiciones de El Niño a las condiciones neutrales de ENSO continúe durante los próximos tres meses".

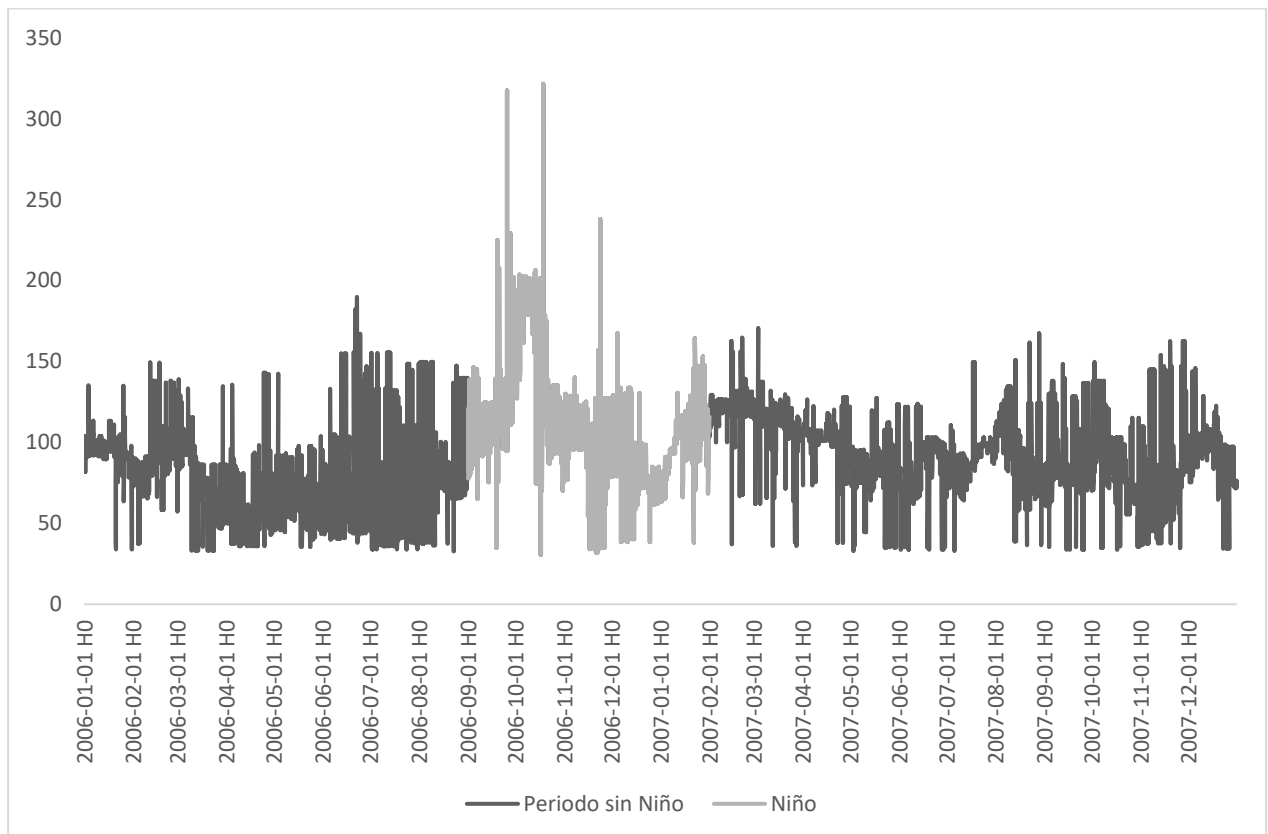
Se concluye: Aunque el fenómeno tuvo una duración considerable fue de categoría débil y no tuvo mayor incidencia en los precios de bolsa de la electricidad. En Colombia las noticias y reportes sobre este fenómeno fueron casi nulas, y los informes de la NOAA no tuvieron gran repercusión en el mercado colombiano. Los efectos físicos del fenómeno también fueron muy pocos y la generación a partir de recursos térmicos no aumentó mucho durante este periodo.

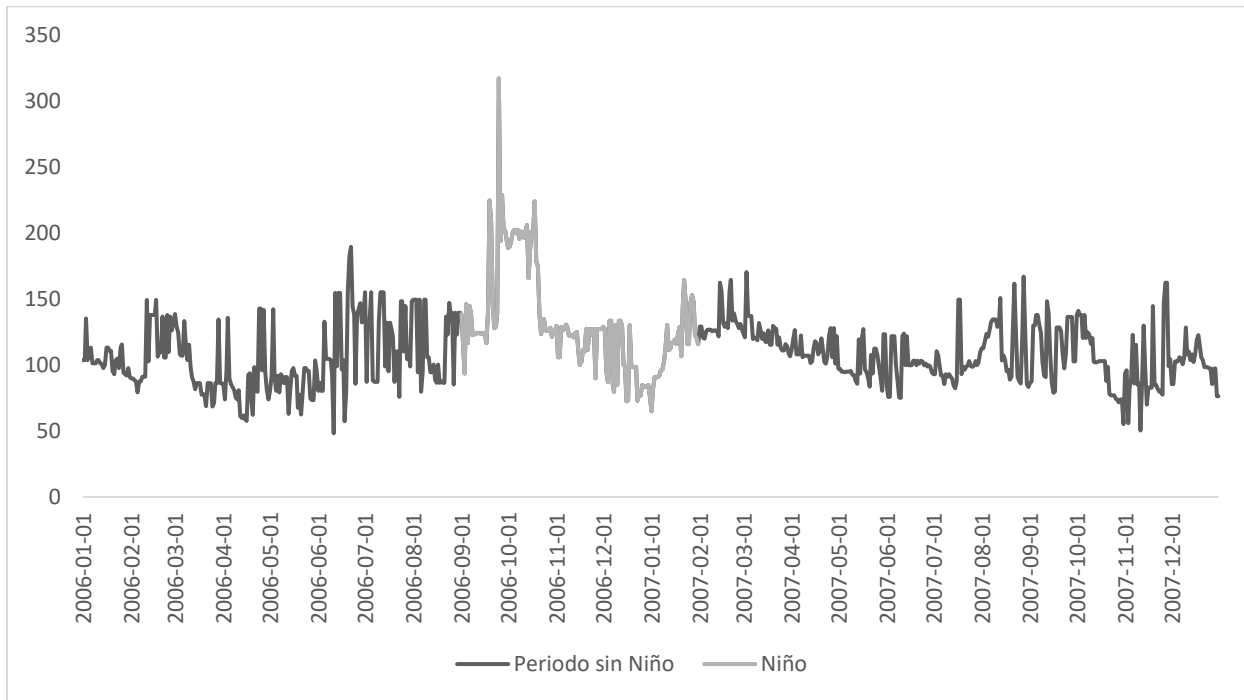
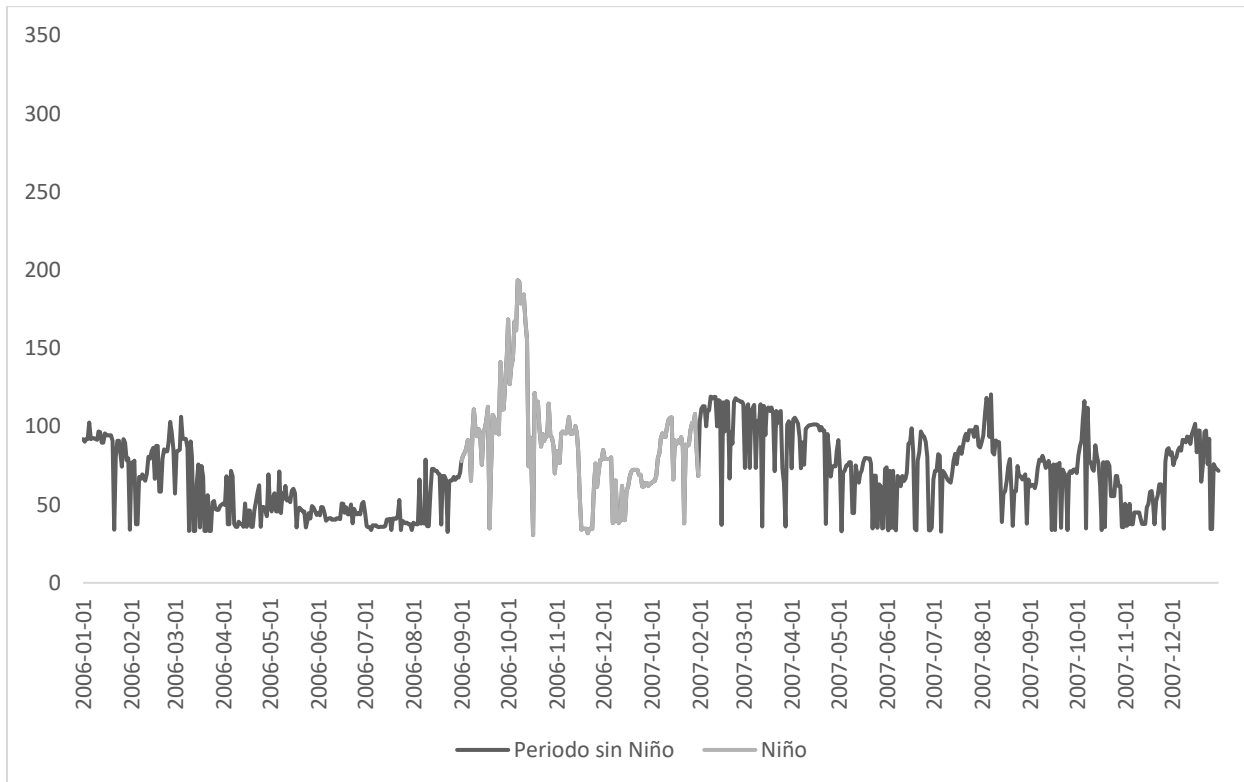
3.2.4 Niño 2006 – 2007

Este fenómeno se desarrolló entre septiembre de 2006 y enero de 2007 según el ONI, tuvo una duración de 5 meses, a nivel general se observa un incremento y una caída súbita de los precios de bolsa durante la ocurrencia del Niño, sin embargo, no es de gran magnitud. También se considera un fenómeno de categoría débil.

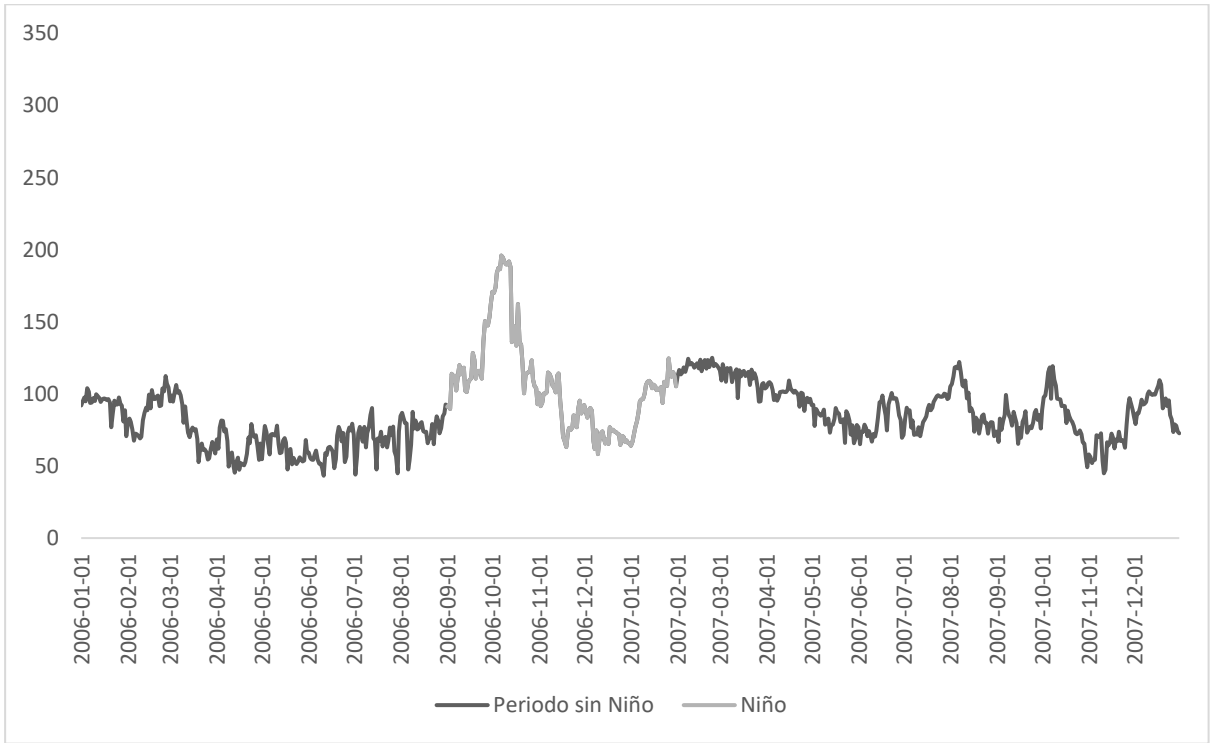
Los picos de precios horarios más importantes se presentan el 25 de septiembre, el 18 de octubre y el 23 de noviembre de 2006 a las 6 y 7 p.m. Los precios promedios diarios más altos se presentaron los días 7,8 y 12 de octubre de 2006. El mes con el promedio de precios más altos fue octubre de 2006.

Gráfica 3 - 55: Niño septiembre de 2006 a enero de 2007, precios horarios

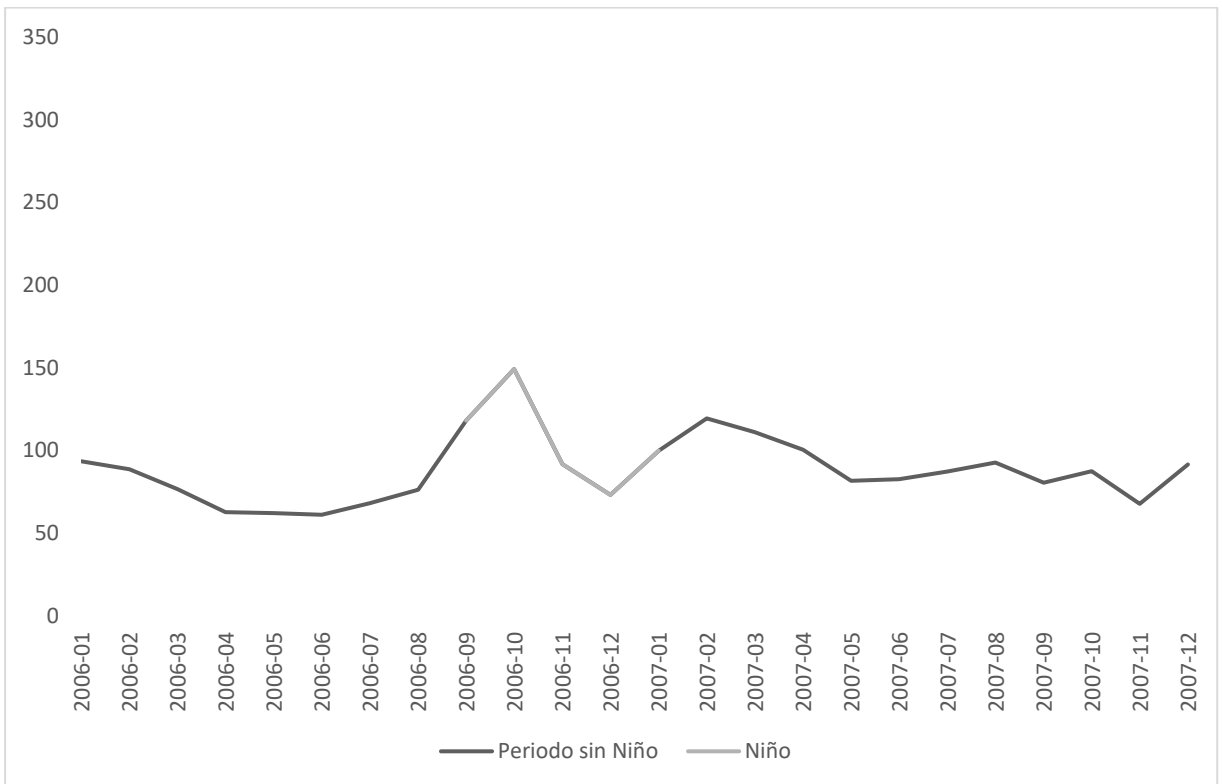


Gráfica 3 - 56: Niño septiembre de 2006 a enero de 2007, precios horarios hora pico**Gráfica 3 - 57:** Niño septiembre de 2006 a enero de 2007, precios horarios hora valle

Gráfica 3 - 58: Niño septiembre de 2006 a enero de 2007, promedios diarios

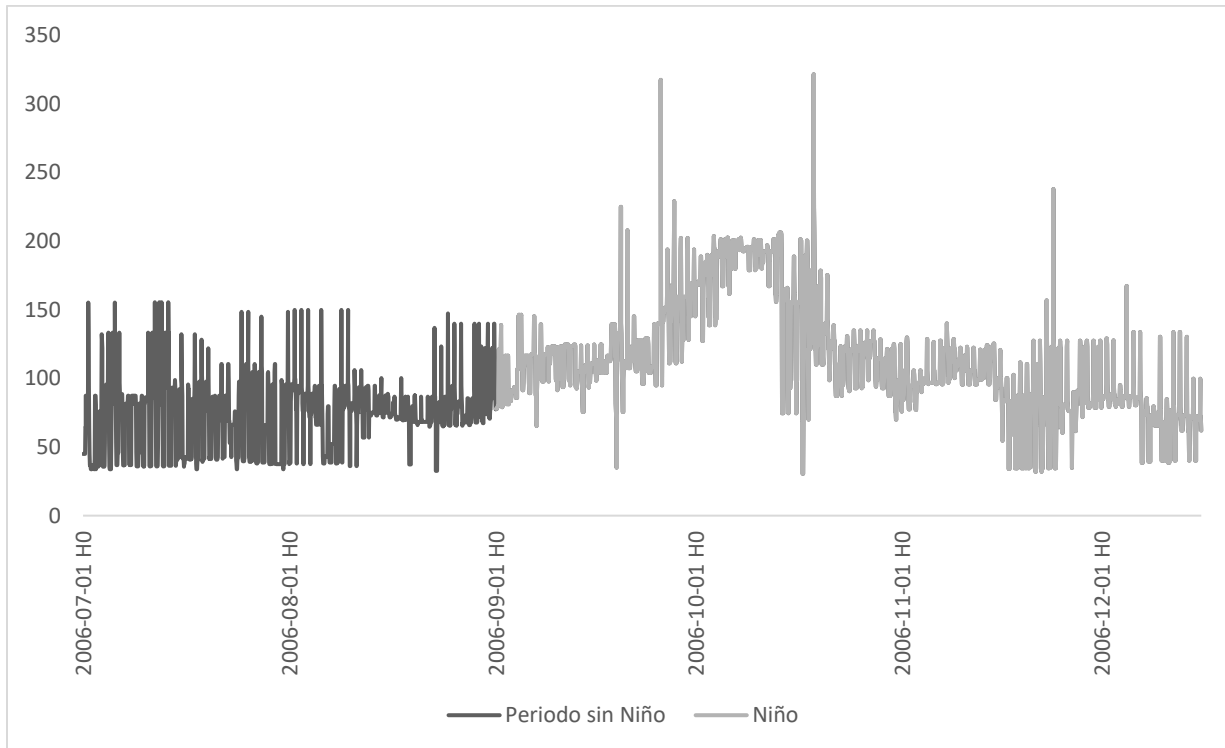


Gráfica 3 - 59: Niño septiembre de 2006 a enero de 2007, promedio mensual

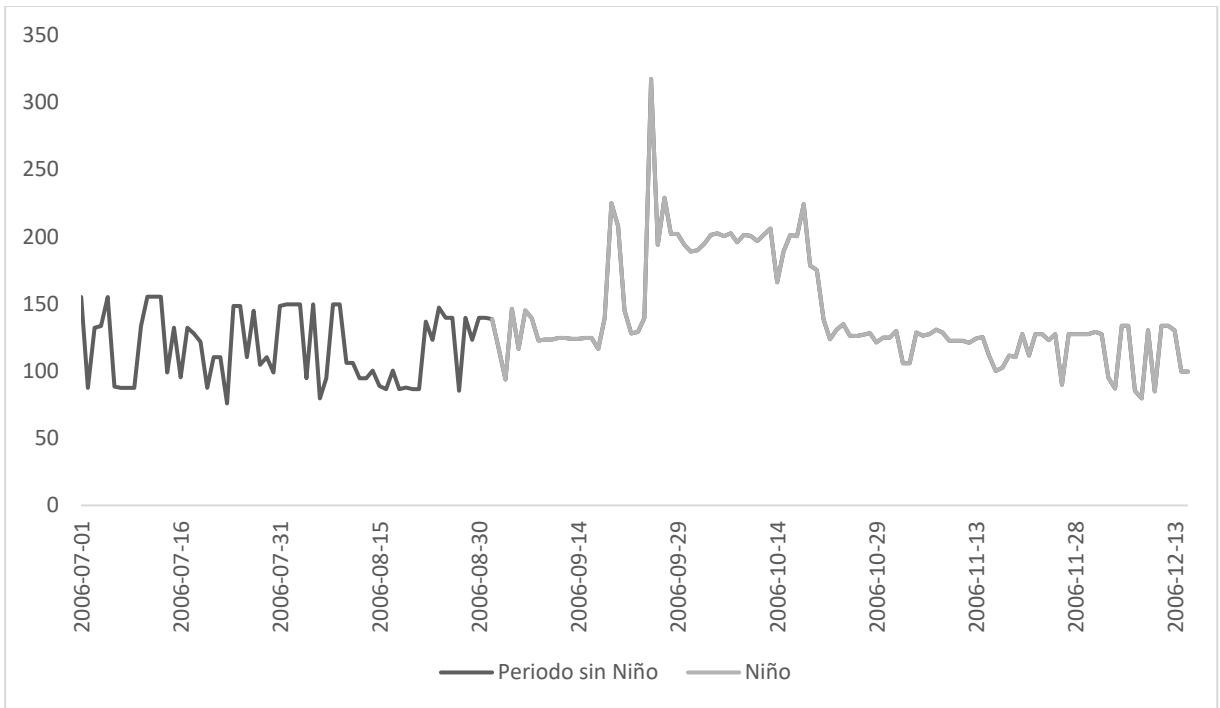


Durante el inicio del Niño se presentó el alza y la caída de precios de forma abrupta. Los precios empiezan a aumentar desde el inicio del Niño, pero se incrementan de forma súbita a partir del 24 de septiembre de 2006, esto es en el primer mes del Niño, los precios empiezan a caer de forma súbita a partir del 13 de octubre y seguidamente descienden de forma gradual. Este comportamiento se observa con facilidad en las **gráficas 3-59 y 3-60**

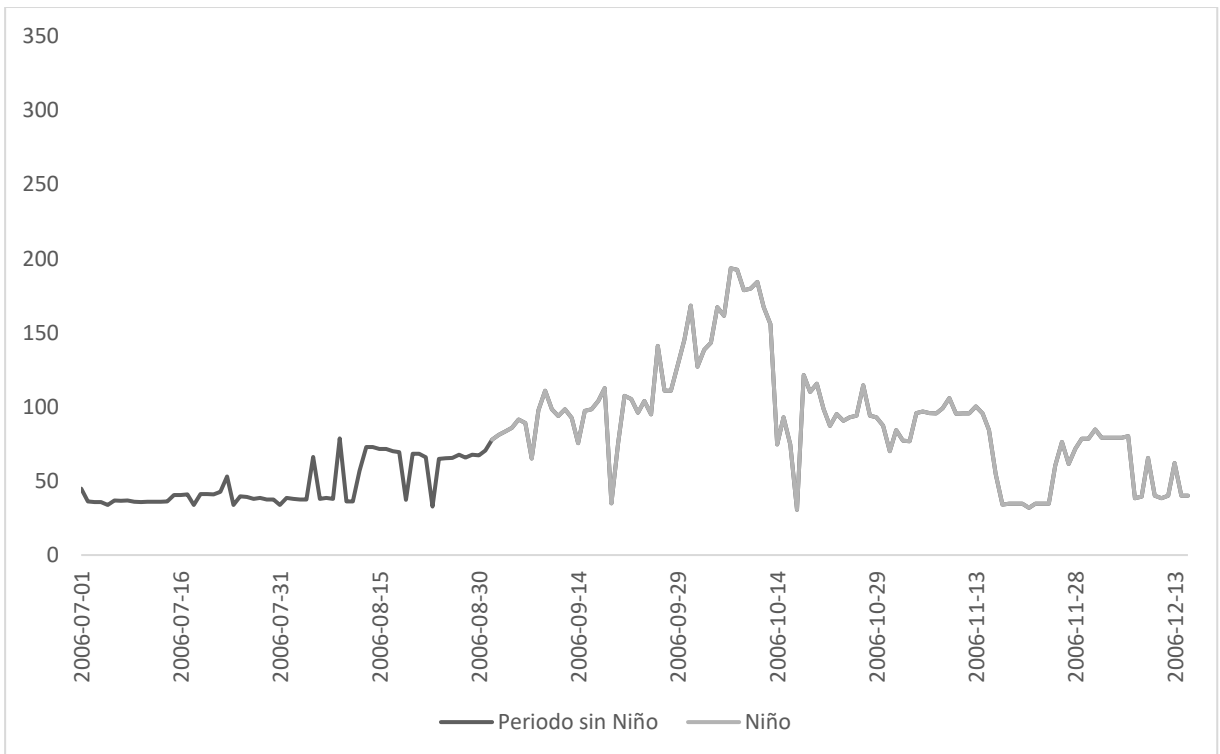
Gráfica 3 - 60: inicio del Niño julio de 2006 a diciembre 15 de 2006, precios horarios

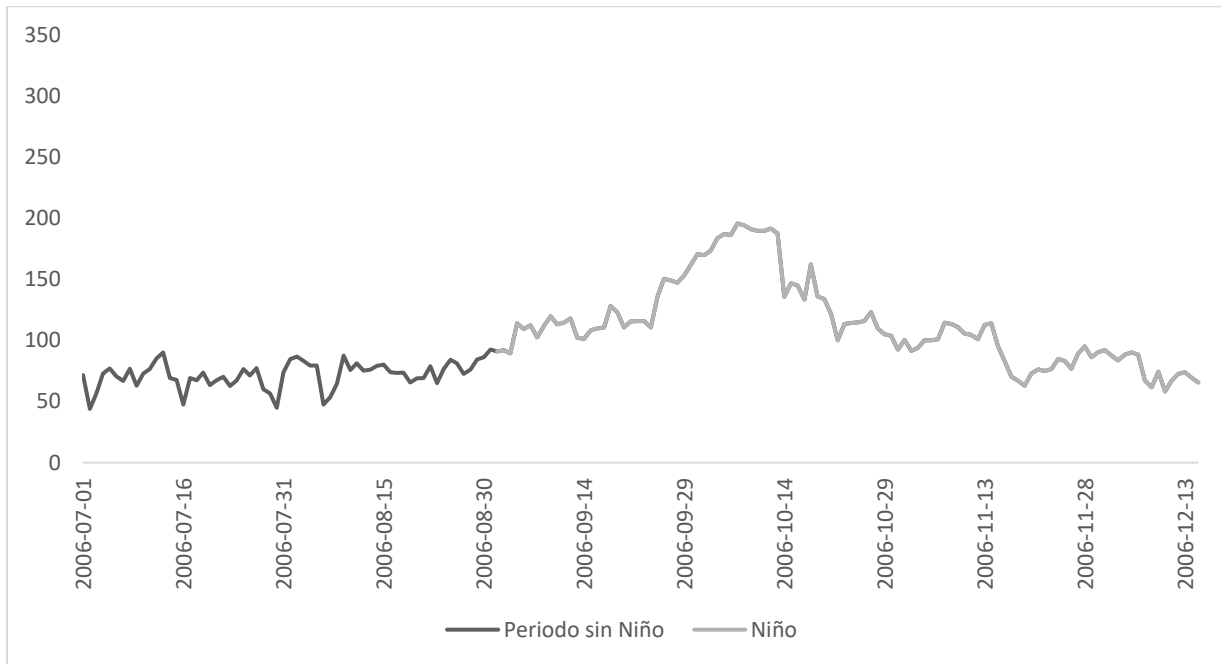


Gráfica 3 - 61: inicio del Niño Julio de 2006 a diciembre 15 de 2006, precios horarios hora pico

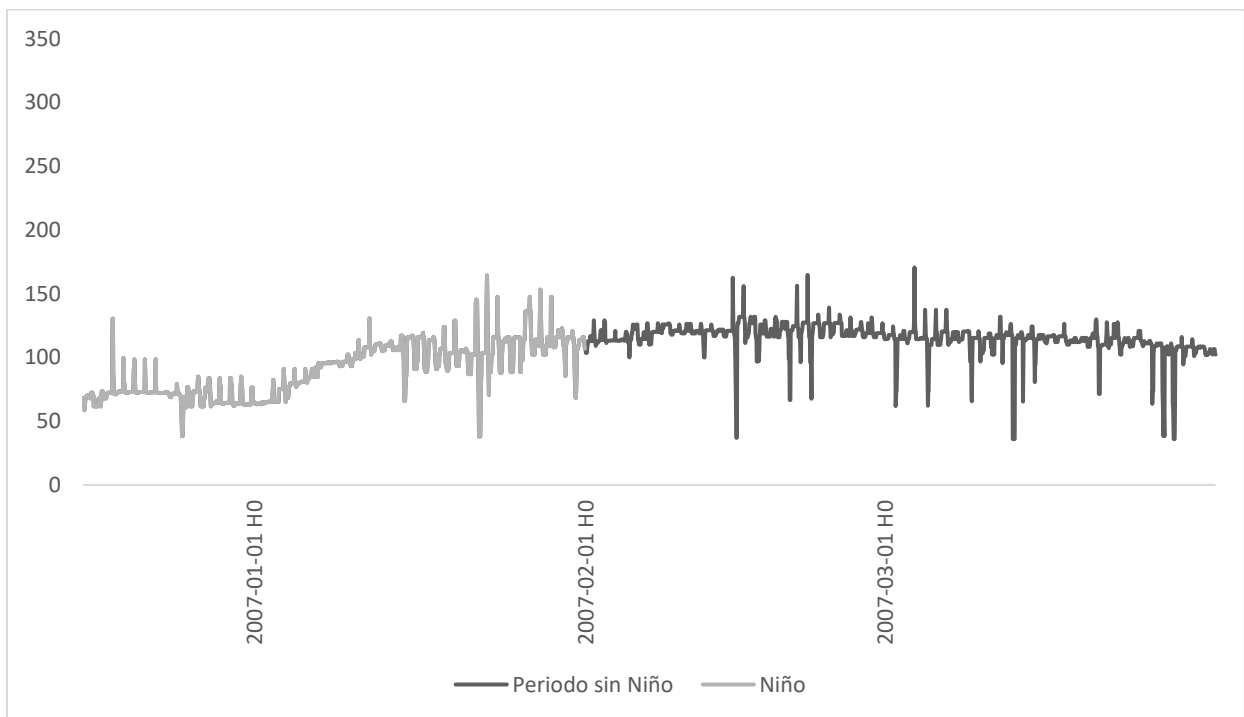


Gráfica 3 - 62: inicio del Niño Julio de 2006 a diciembre 15 de 2006, precios horarios hora valle

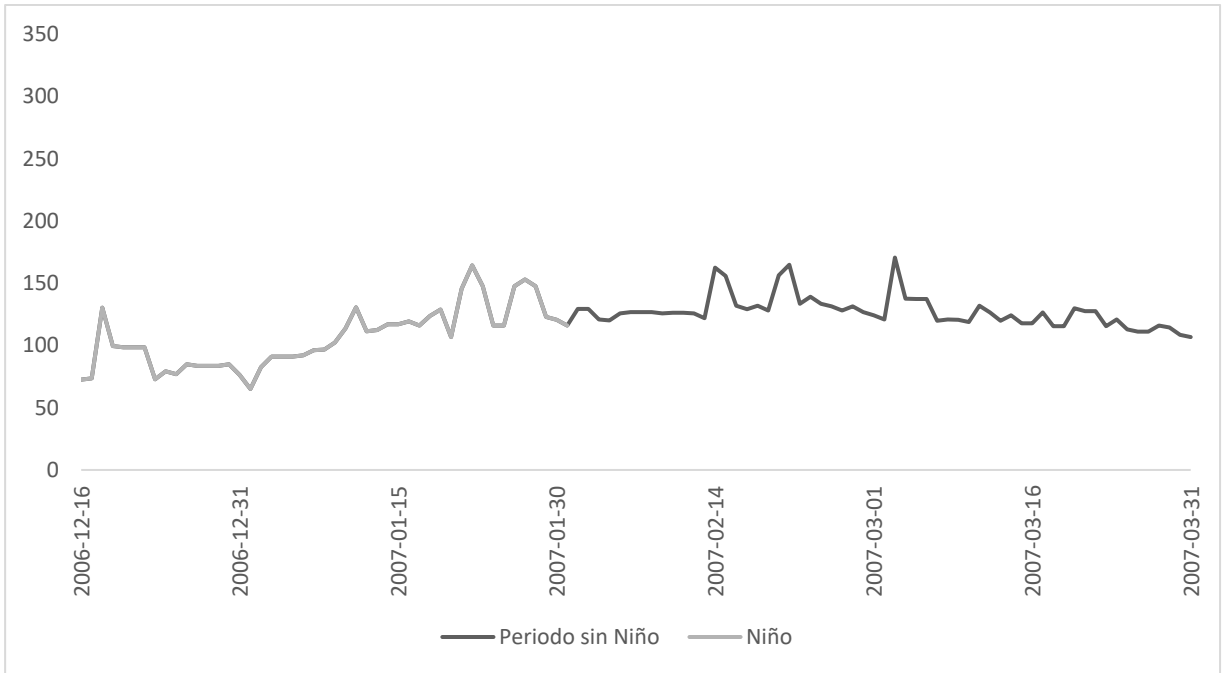


Gráfica 3 - 63: inicio del Niño julio de 2006 a diciembre 15 de 2006, promedios diarios

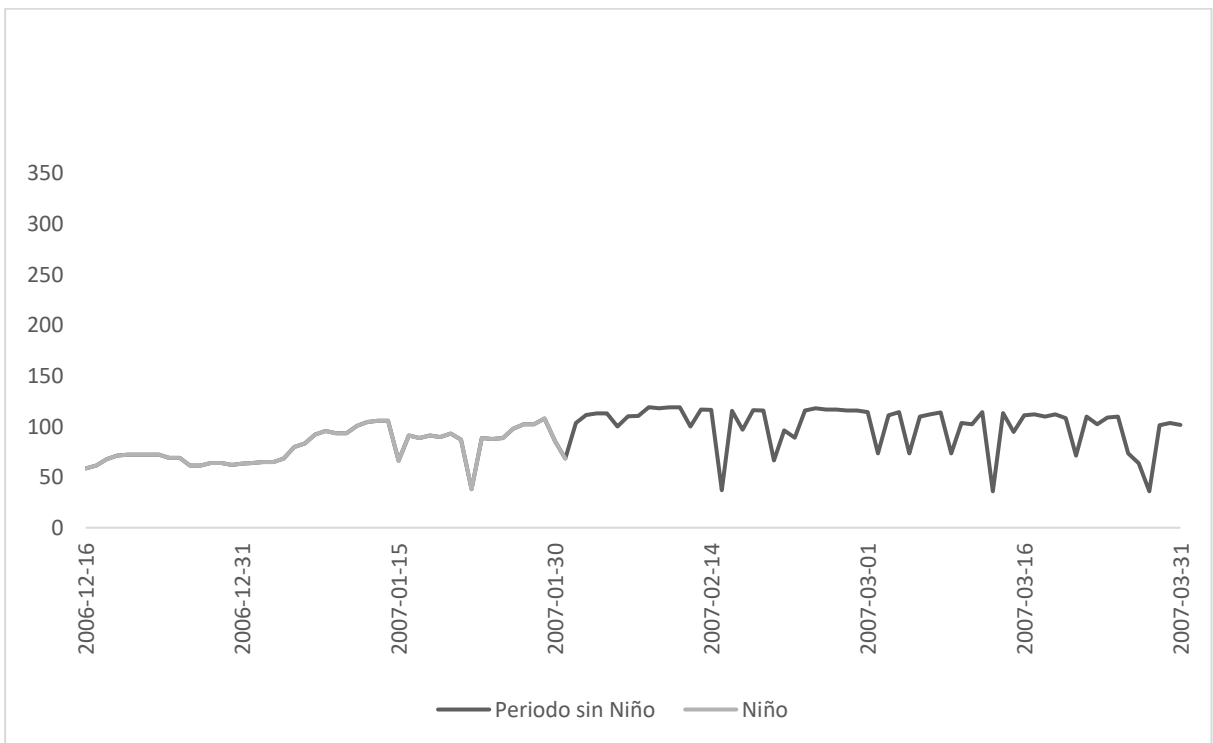
Durante el periodo final del Niño los precios se mantuvieron bajos y estables, es decir no presentaron grandes variaciones.

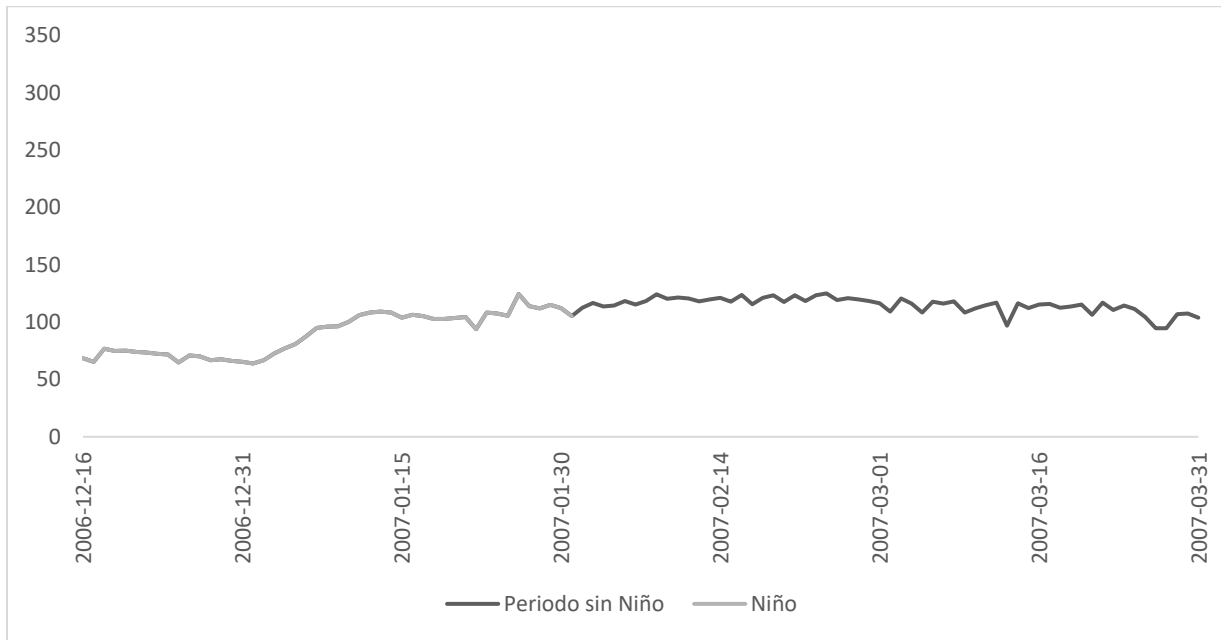
Gráfica 3 - 64: fin del Niño, diciembre 16 de 2006 a marzo de 2007, precios horarios

Gráfica 3 - 65: fin del Niño, diciembre 16 de 2006 a marzo de 2007, precios horarios hora pico



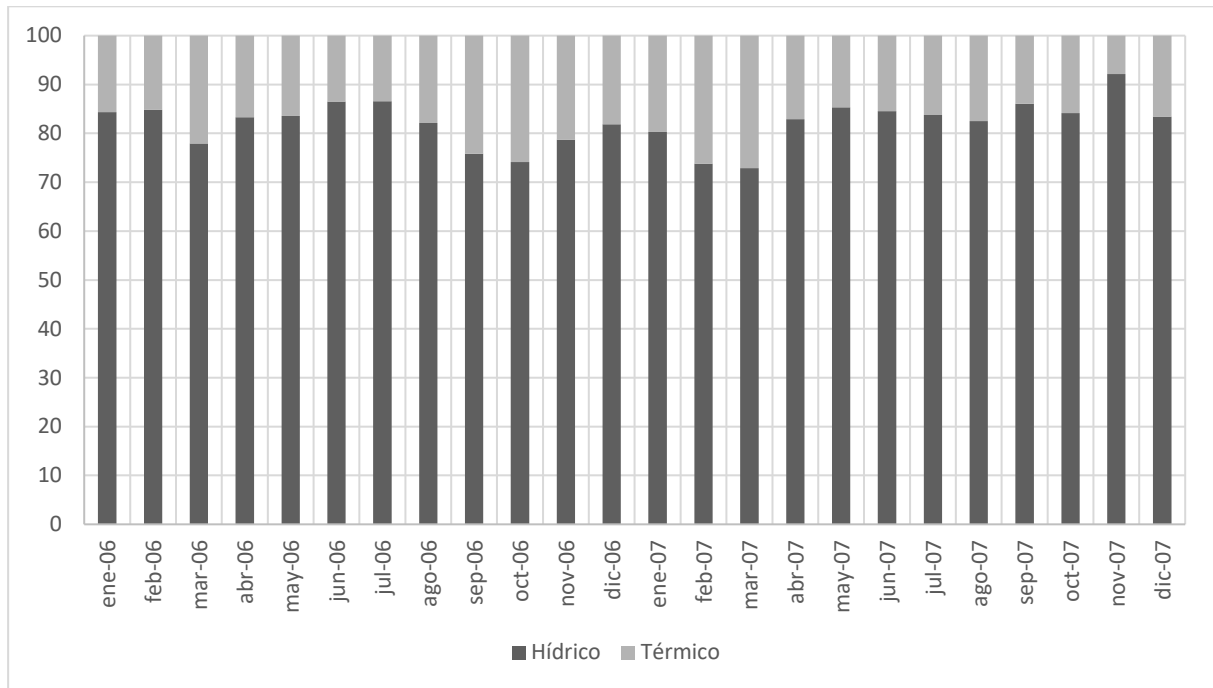
Gráfica 3 - 66: fin del Niño, diciembre 16 de 2006 a marzo de 2007, precios horarios hora valle



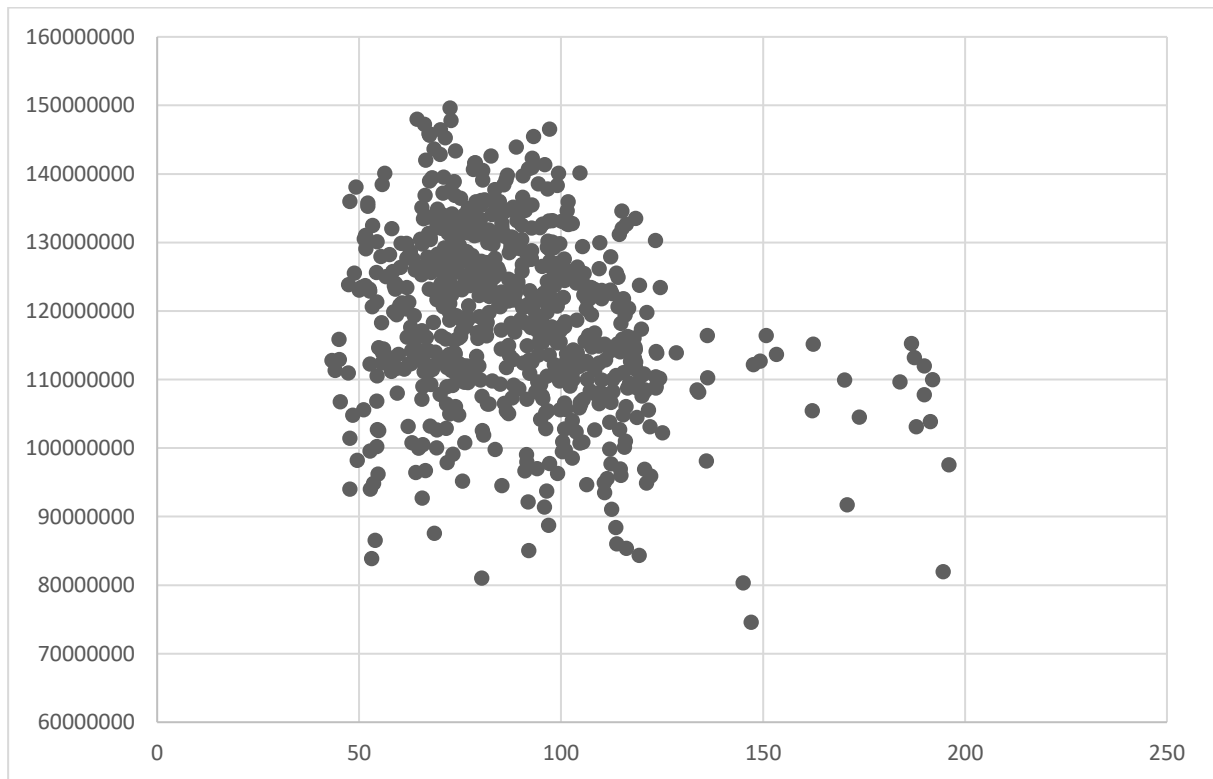
Gráfica 3 - 67: fin del Niño diciembre 16 de 2006 a marzo de 2007, promedios diarios

El alza de precios coincide con la disminución de aportes hídricos por debajo de la media histórica y con el aumento en el porcentaje de generación en los meses de septiembre y octubre de 2006, también se observa una relación entre el precio de bolsa y la generación por tipo de recurso.

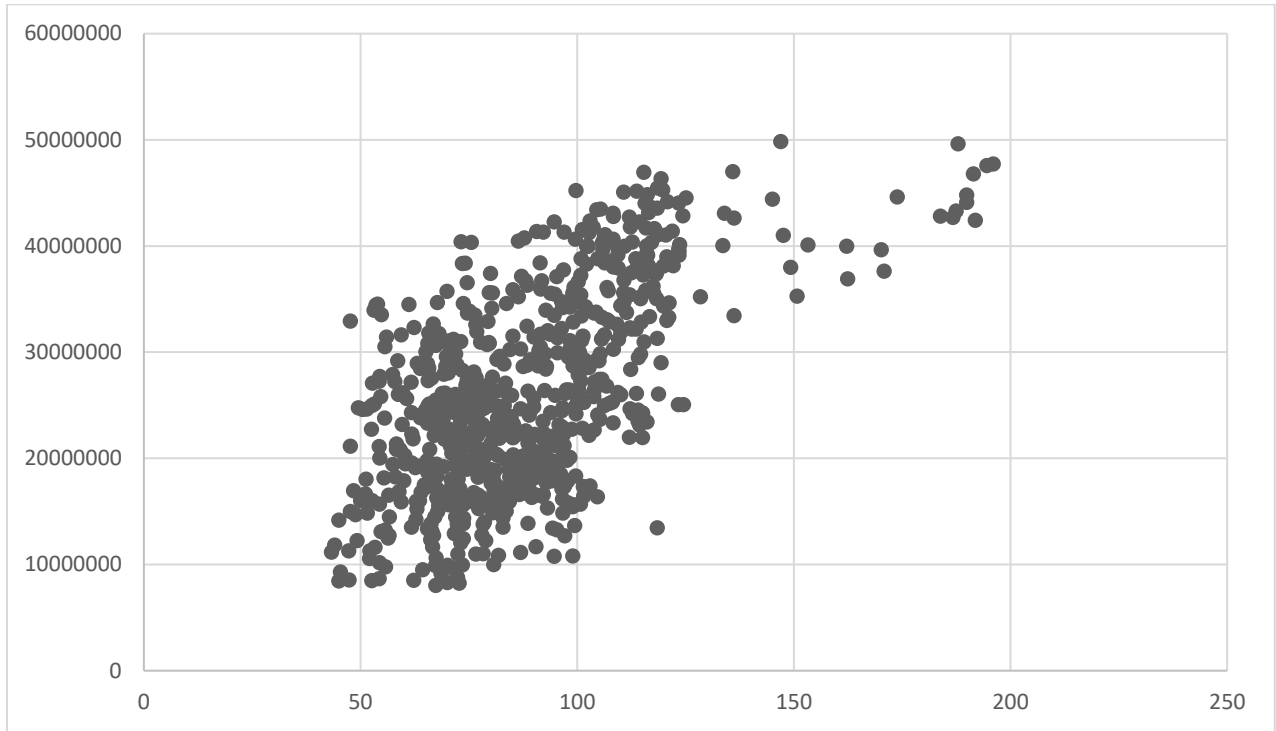
Gráfica 3 - 68: Porcentaje de generación mensual por tipo de recurso 2006 - 2007



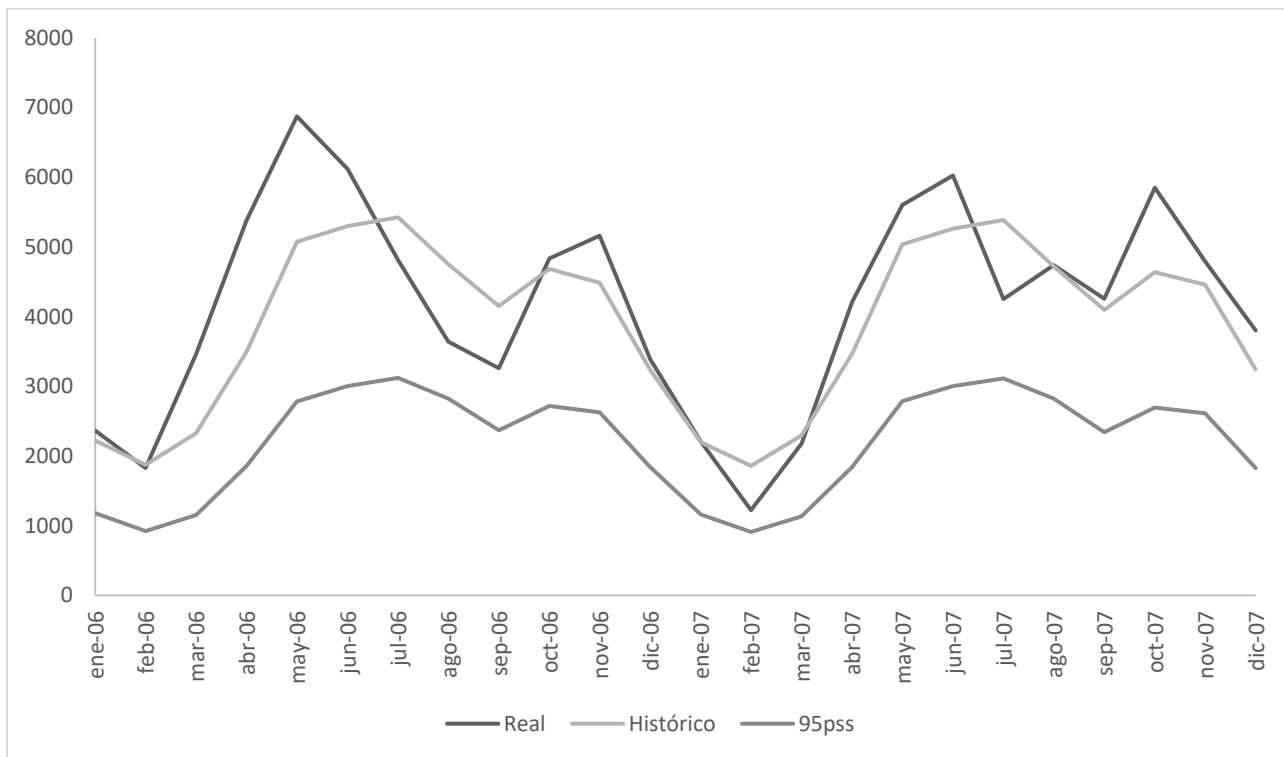
Gráfica 3 - 69: precios de bolsa Vs Generación hidráulica diaria (kWh) 2006 a 2007

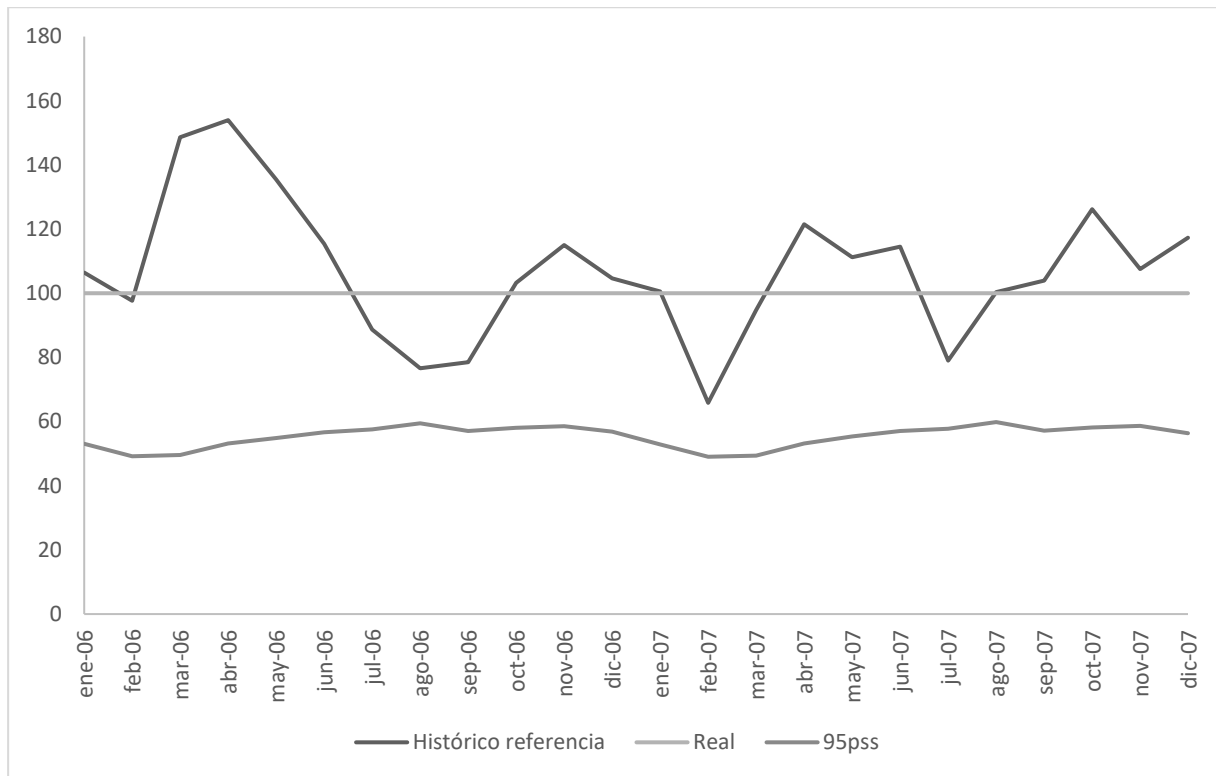


Gráfica 3 - 70: precios de bolsa Vs Generación térmica diaria (kWh) 2006 - 2007



Gráfica 3 - 71: aportes hídricos mensuales (GWh) 2006 – 2007



Gráfica 3 - 72: aportes hídricos mensuales porcentaje respecto a la media 2006 - 2007

3.2.4.1 Seguimiento del Niño

En este periodo se tuvo en cuenta para el seguimiento del IDEAM al Niño, unos documentos dirigidos al Sistema Nacional de Prevención y Atención de Desastres (SNPAD) y al Sistema Nacional Ambiental (SINA) donde se informaba el comportamiento del Niño mes a mes desde septiembre de 2006 hasta marzo de 2007 [26]. Adicionalmente se presentan los informes de la NOAA.

Documentos IDEAM:

Seguimiento 1, 19 de septiembre: “Se confirma la presencia de Niño con una probabilidad de 60% de ser un fenómeno moderado”.

Seguimiento 2, 3 de octubre: “Se continúa en condiciones de Niño, se espera que este se prolongue hasta finales del primer trimestre de 2007”.

Seguimiento 3, 12 de octubre: “Se continúa en condiciones de Niño, se espera que este se prolongue hasta finales del primer trimestre de 2007”.

Seguimiento 4, 15 de noviembre: “De acuerdo a la mayoría de los modelos climáticos de los centros internacionales y los análisis propios del IDEAM, se mantiene la probabilidad de un 60% que el actual fenómeno El Niño que es de intensidad débil, alcance una intensidad moderada en los siguientes meses, y así mismo se prolongue hasta finales del primer trimestre de 2007”.

Seguimiento 5, 8 de marzo de 2007: “Una transición muy rápida de condiciones El Niño débiles a condiciones ENOS-neutrales se ha iniciado; inclusive el cambio es más brusco por cuanto se registran ya aguas más frías de lo normal en el área marina próxima a la costa suramericana. Esto significa que el calor acumulado en la parte oriental del Pacífico comienza a disiparse y un proceso que pudiera llevar a un fenómeno LA NIÑA (contrario a EL NIÑO) podría ser viable en los siguientes meses”.

Informes NOAA:

Se empieza a avisar poco a poco sobre la posible ocurrencia del Niño como en el fenómeno anterior, es de resaltar que en septiembre hay dos informes en uno se dice que las condiciones de neutralidad continúan y en el otro dice que ya estamos en Niño, lo que podría coincidir con el aumento repentino de precios desde el 24 de septiembre-

Informes sobre el inicio del Niño

Agosto 10 de 2006: “Se espera que condiciones ENSO-neutrales continúen para los próximos tres meses, con un 50% de probabilidad que condiciones El Niño débiles se desarrollen hacia el final del 2006”.

Septiembre 7 de 2006: “Se espera que condiciones ENSO-neutrales continúen para los próximos dos meses, con probables condiciones de un episodio cálido débil (El Niño) hacia el final del 2006”.

Septiembre 13 de 2006: “Condiciones El Niño se han desarrollado y probablemente continuarán hacia el inicio del 2007”. **Se confirma el Niño**

Octubre 5 de 2006: “Condiciones El Niño probablemente continuarán hacia el inicio del 2007”.

Informes sobre el final del Niño

Enero 11 de 2007: “Condiciones El Niño probablemente continuarán hasta marzo-mayo del 2007”.

Febrero 8 2007: “Una transición de condiciones El Niño débiles a condiciones ENSO-neutrales se anticipa para marzo-mayo del 2007”.

Marzo 8 de 2007:” Transición de condiciones ENSO-neutrales a condiciones La Niña son posible durante los próximos dos o tres meses”.

Tabla 3 - 3: influencia del anuncio de inicio de Niño sobre el precio 2006 - 2007

Fecha anuncio	Porcentaje de cambio del precio respecto a la fecha de anuncio a los						
	6 días	10 días	15 días	20 días	25 días	30 días	35 días
IDEAM: 19 de septiembre de 2006	10,31	24,11	48,87	55,00	10,08	10,31	-7,35

Tabla 3 - 4: influencia del anuncio de fin de Niño sobre el precio 2006 - 2007

Fecha anuncio	Porcentaje de cambio del precio respecto a la fecha de anuncio a los						
	5 días	10 días	15 días	20 días	25 días	30 días	35 días
IDEAM y NOAA: 8 de marzo de 2006	-17,84	-4,74	-6,21	-19,68	-9,01	-15,80	-13,87

Se concluye: Durante febrero y marzo del año 2007 se presentó un porcentaje de generación muy similar al de septiembre y octubre de 2006 incluso mayor, sin embargo, los precios de bolsa en este año 2007 no presentaron valores de la misma magnitud que en el 2006. El alza en septiembre - octubre de 2006 coincide con el anuncio repentino de Niño en estos meses, el 13 de septiembre por parte de la NOAA y el 19 por parte del IDEAM, 4 días después del anuncio local aumentan los precios, sin embargo, los efectos físicos no fueron muy fuertes y por esta razón los precios se volvieron a estabilizar

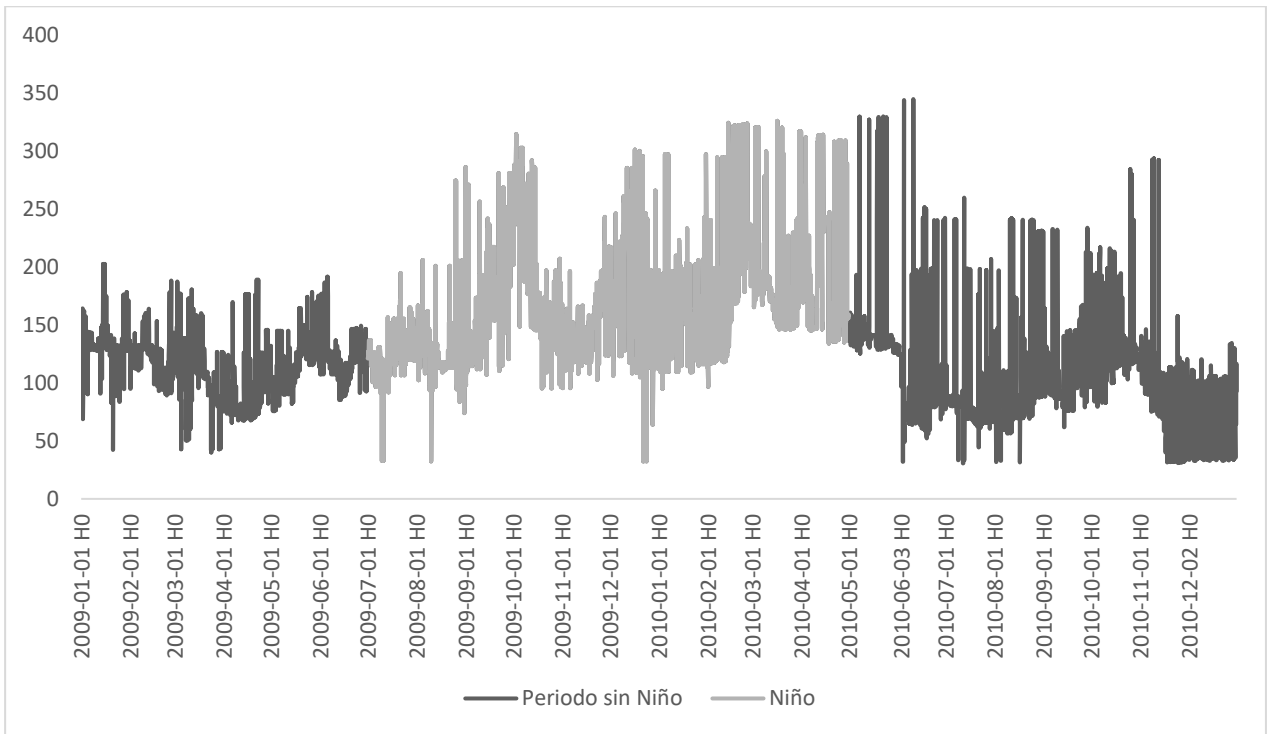
rápidamente, cuando se visualiza que los aportes hídricos superan la media histórica a partir de octubre. Los precios de bolsa disminuyen un poco en marzo, dos meses después de finalizado el Niño físicamente, esta disminución coincide con el anuncio de que ha finalizado el fenómeno **tabla 3-4**. La **tabla 3-3** permite identificar que los precios empiezan a aumentar desde el anuncio del IDEAM sobre la presencia del Niño.

3.2.5 Niño 2009 – 2010

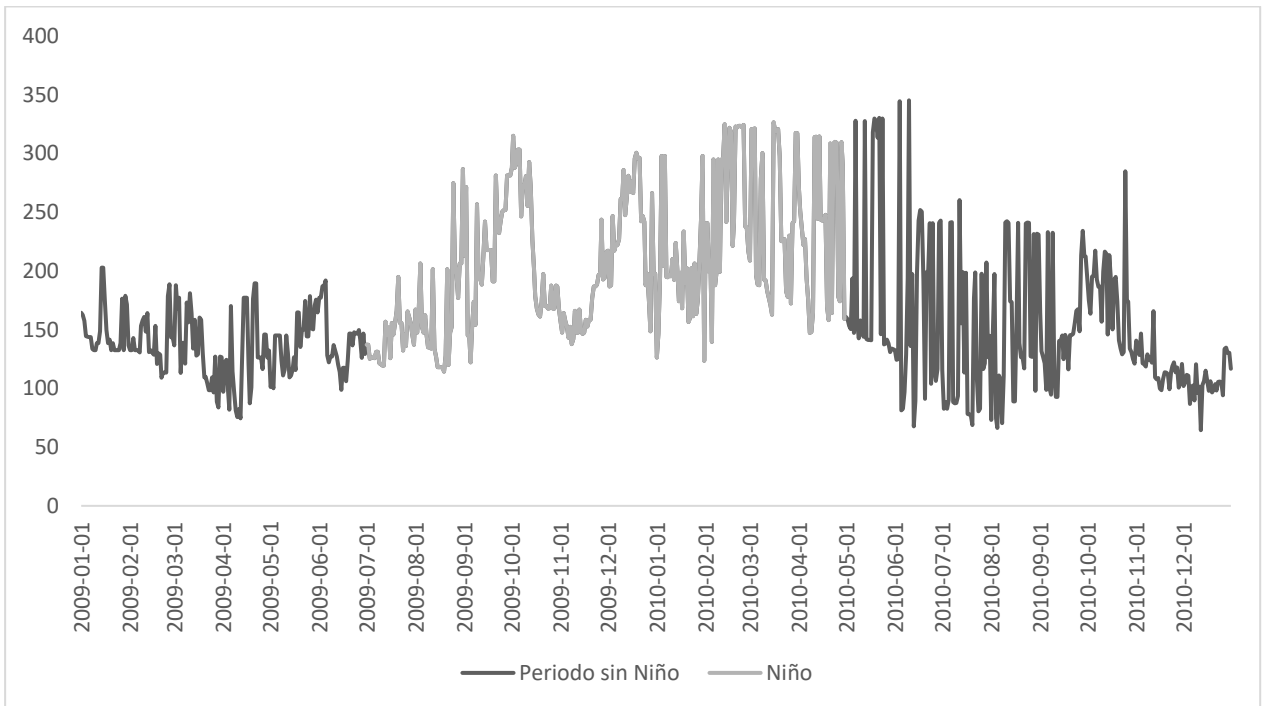
La duración de este Niño fue de diez meses empezando en julio de 2009 y finalizando en abril de 2010, se consideró un Niño de magnitud moderada. Este periodo de Niño tuvo un comportamiento diferente a los demás, ya que existen tres ciclos donde los precios suben y bajan de forma súbita y en una magnitud considerable. El primero comprendido entre septiembre de 2009 y finales de octubre de 2009, el segundo desde finales de noviembre 2009 hasta finales de diciembre 2009 y el tercer ciclo inicia en febrero de 2010 y termina a mediados de abril de 2010.

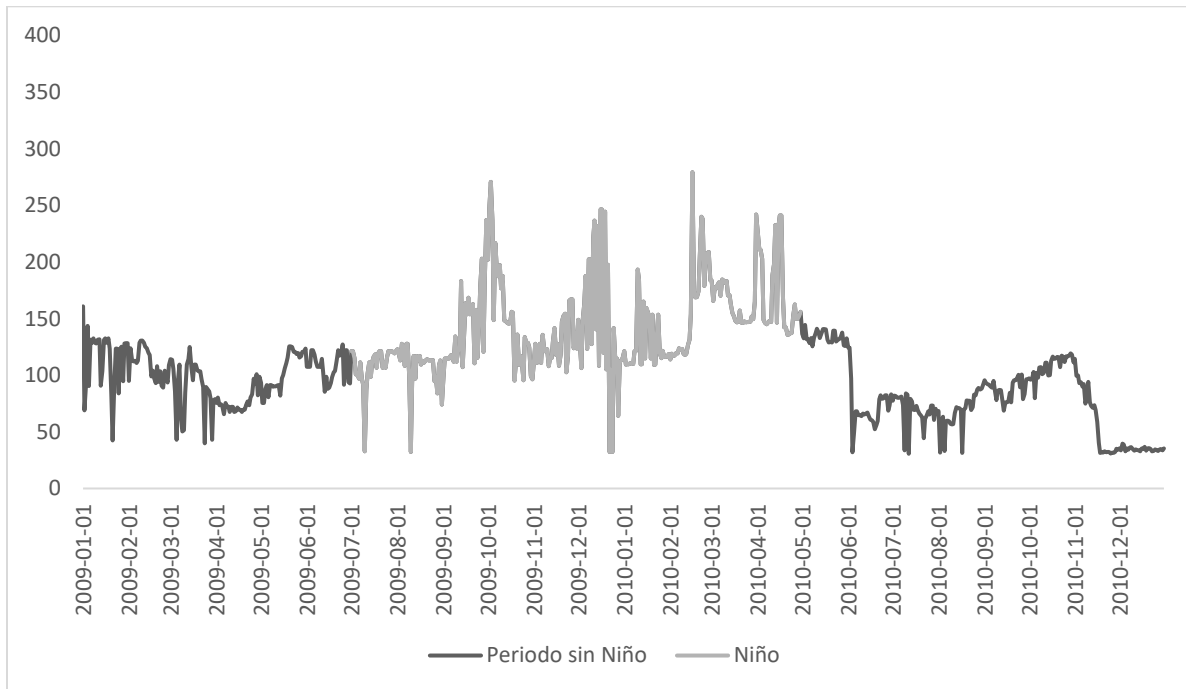
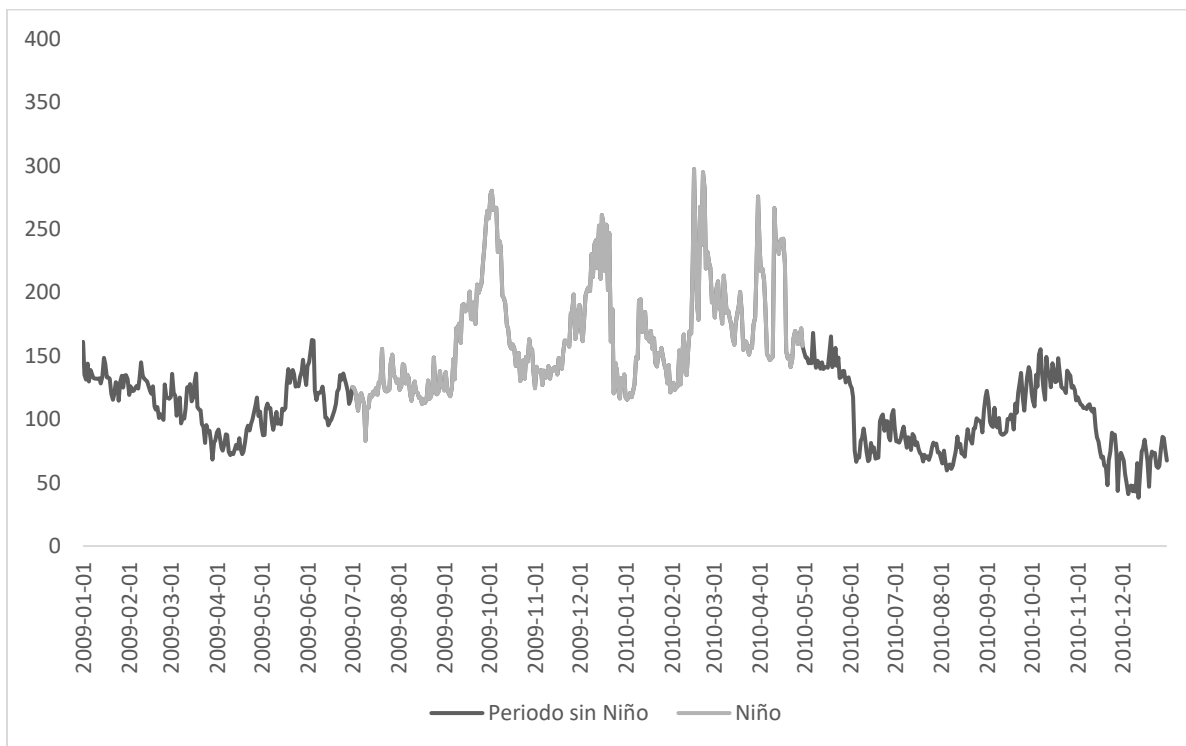
En cada uno de estos mini ciclos los mayores picos horarios se presentaron el 2 de octubre de 2009, el 21 de diciembre de 2009, y el 16 de marzo de 2010. En cuanto a los promedios diarios, se registraron los mayores valores, en cada uno de estos mini ciclos, el 3 de octubre de 2009, el 16 de diciembre de 2009 y el 16 de febrero de 2010. Los meses donde se presentaron los picos de precios en promedio fueron octubre y diciembre de 2009, y febrero de 2010

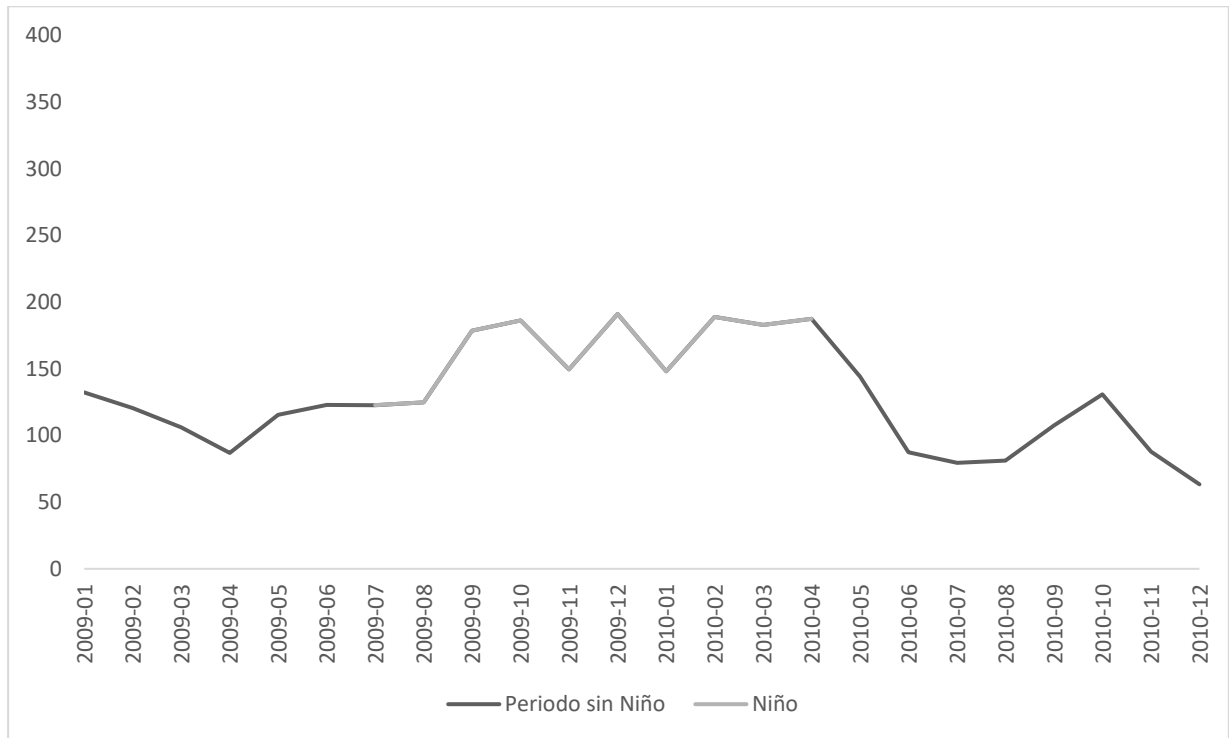
Gráfica 3 - 73: Niño julio de 2009 a abril de 2010, precios horarios



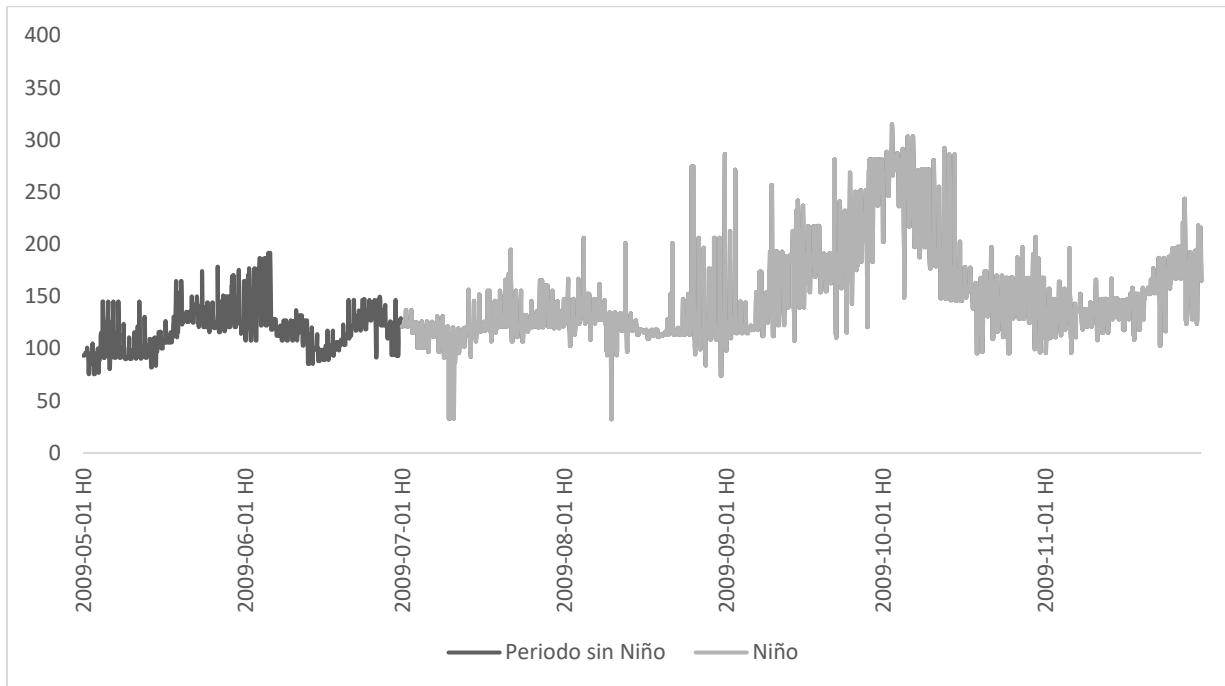
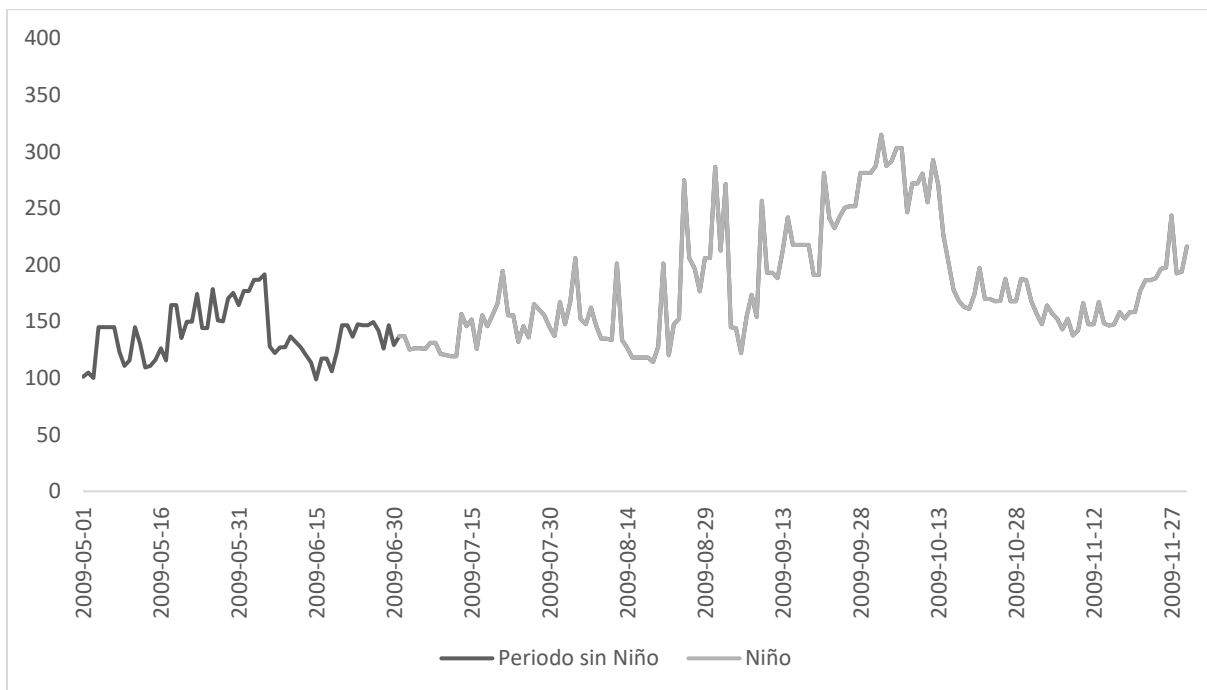
Gráfica 3 - 74: Niño julio de 2009 a abril de 2010, precios horarios hora pico



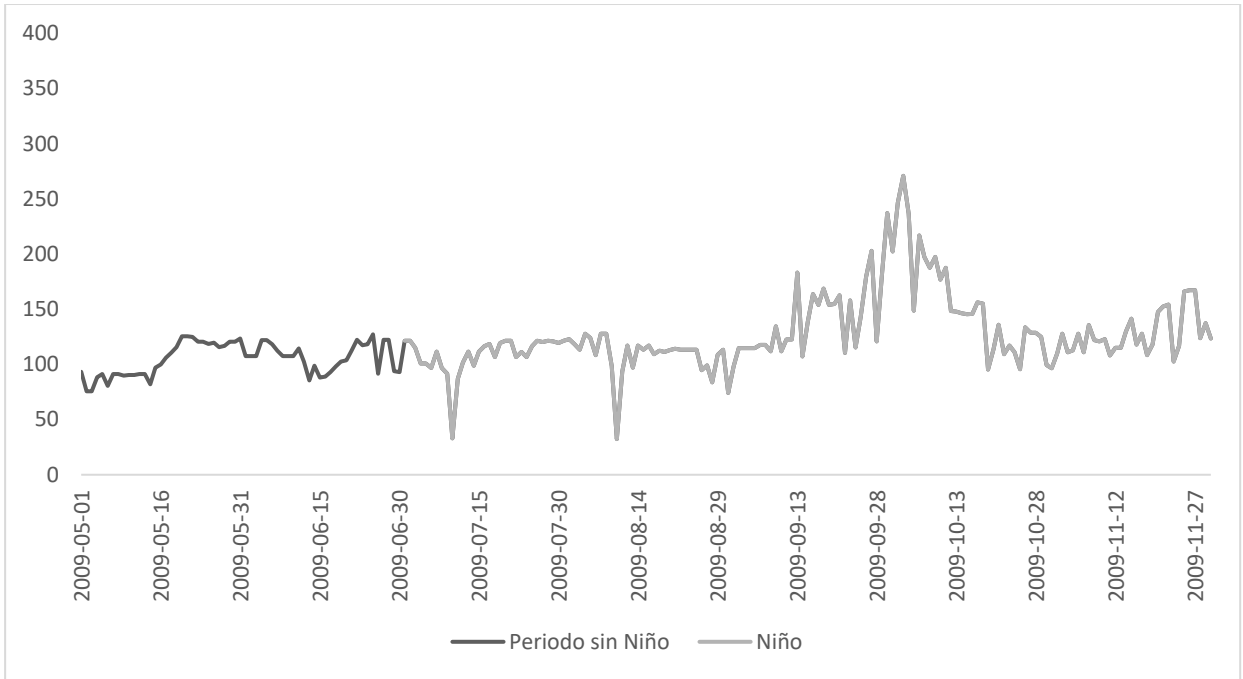
Gráfica 3 - 75: Niño julio de 2009 a abril de 2010, precios horarios hora pico**Gráfica 3 - 76:** Niño julio de 2009 a abril de 2010, promedios diarios

Gráfica 3 - 77: Niño julio de 2009 a abril de 2010, promedios mensuales

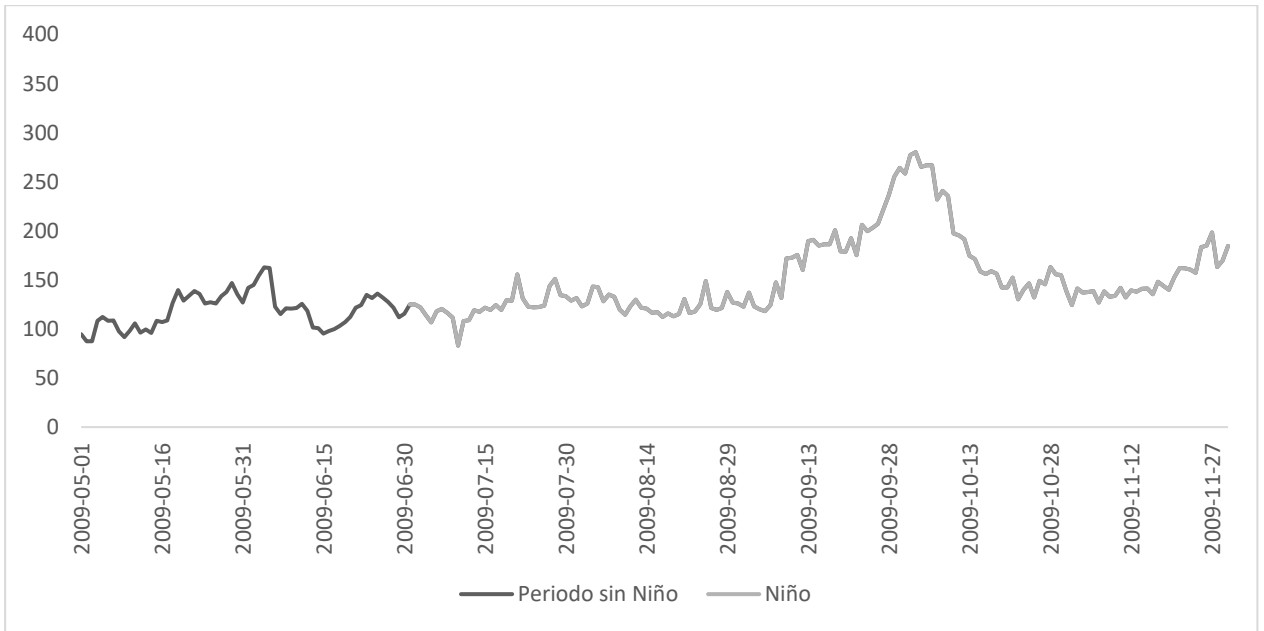
Durante el inicio del Niño se presenta el primer mini ciclo de alza de precios, estos empiezan a aumentar a partir del 8 de septiembre de 2009, y entre el 22 de septiembre y el 4 de octubre de 2009, se da el aumento abrupto. Luego entre el 6 y el 20 de octubre de 2009 los precios caen nuevamente de forma rápida.

Gráfica 3 - 78: inicio del Niño mayo de 2009 a noviembre de 2009, precios horarios**Gráfica 3 - 79:** inicio del Niño mayo de 2009 a noviembre de 2009, precios horarios hora pico

Gráfica 3 - 80: inicio del Niño mayo de 2009 a noviembre de 2009, precios horarios hora valle

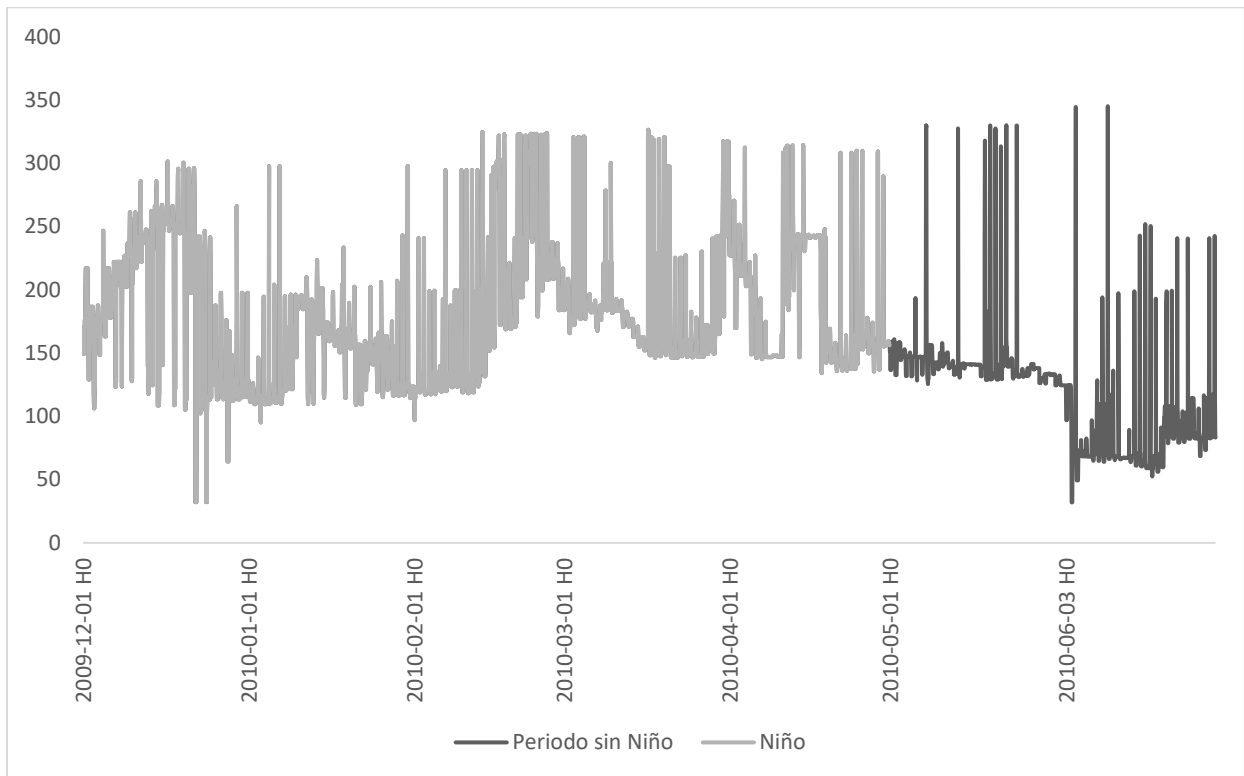


Gráfica 3 - 81: inicio del Niño mayo de 2009 a noviembre de 2009, promedios diarios

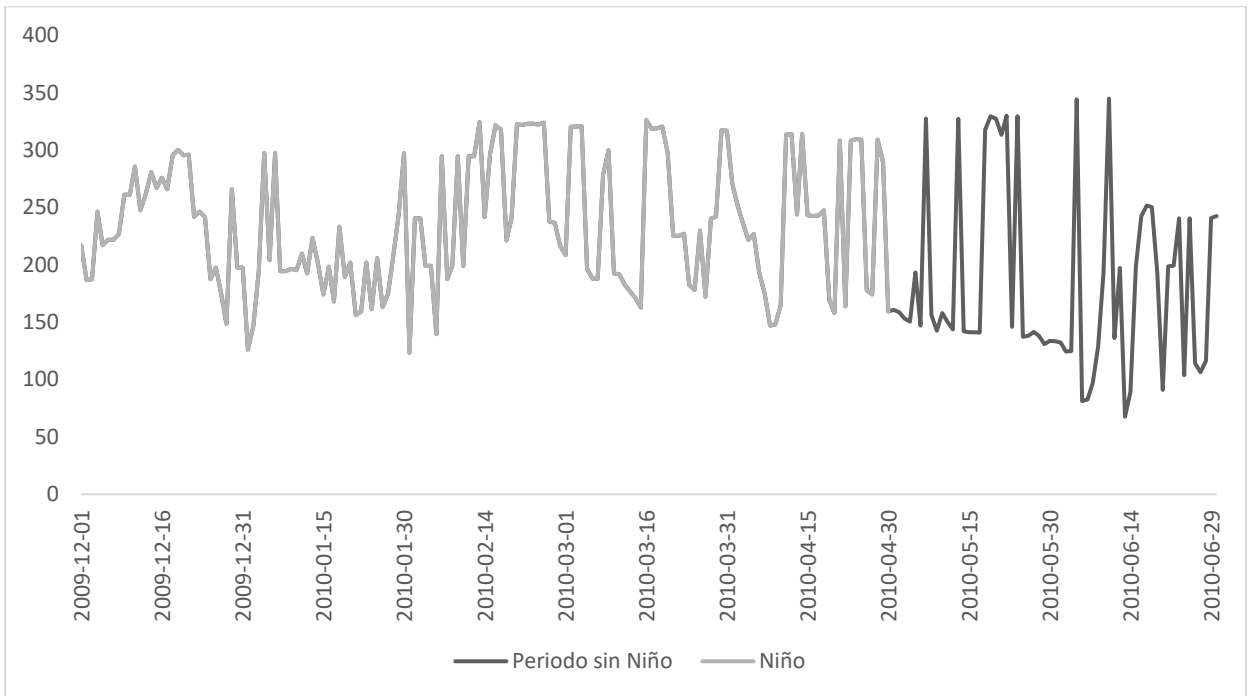


Durante la mitad y al final del Niño se presentaron los otros dos mini ciclos, en el segundo mini ciclo los precios empiezan a aumentar a partir del 19 de noviembre de 2009, y crecen de manera repentina del 4 al 17 de diciembre de 2009, luego caen de forma súbita del 21 al 26 de diciembre de 2009. Durante el tercer mini ciclo los precios empiezan a subir a partir del 3 de febrero de 2010, y crecen de forma instantánea tres veces entre el 14 de febrero al 16 del mismo mes, entre el 27 y el 31 de marzo y entre el 8 y 11 de abril. Así como suben de forma rápida tres veces también caen de forma súbita en tres ocasiones durante este mini ciclo, entre el 23 de febrero y 5 de marzo, entre el 31 de marzo y el 7 de abril, finalmente entre el 11 de abril y el 22 del mismo mes.

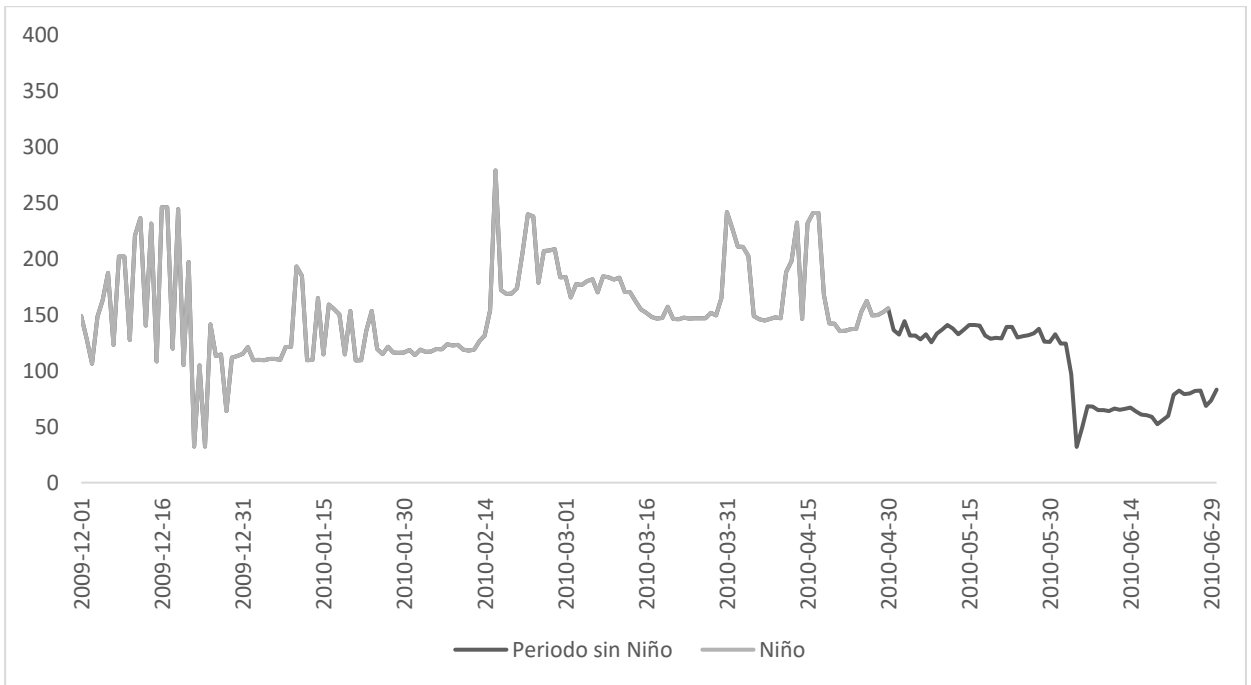
Gráfica 3 - 82: fin del Niño diciembre de 2009 a junio de 2010, precios horarios

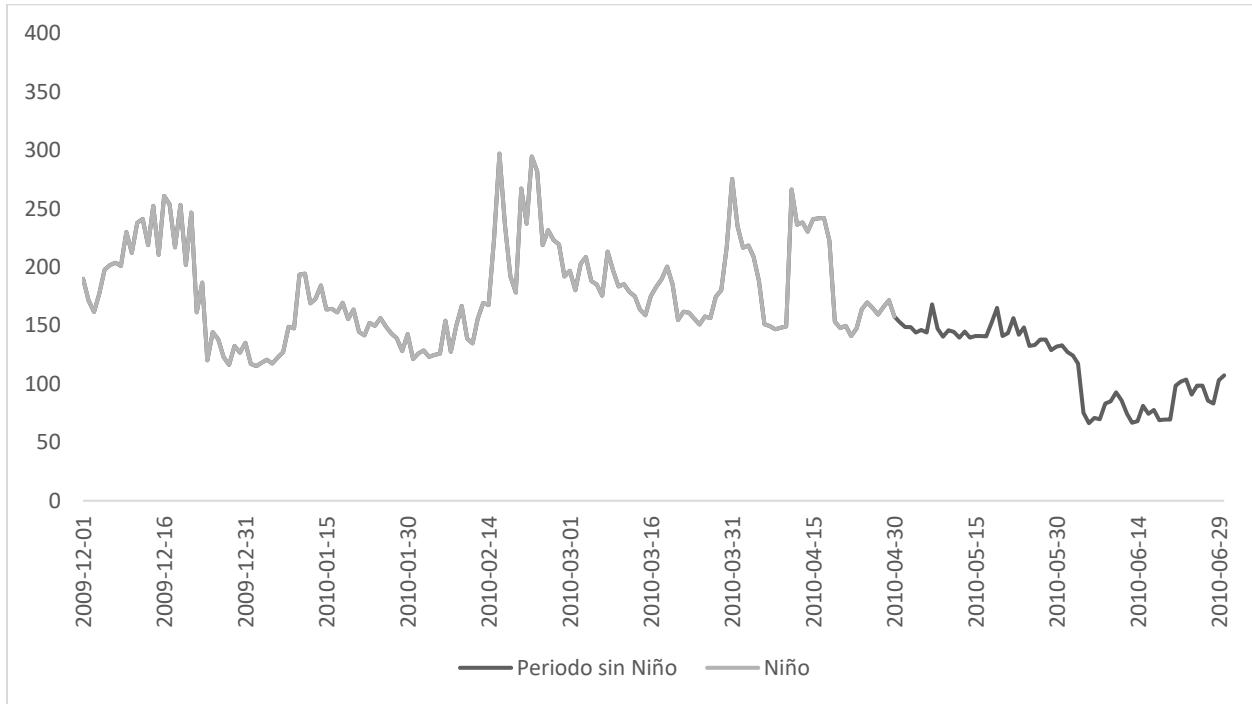


Gráfica 3 - 83: fin del Niño diciembre de 2009 a junio de 2010, precios horarios hora pico



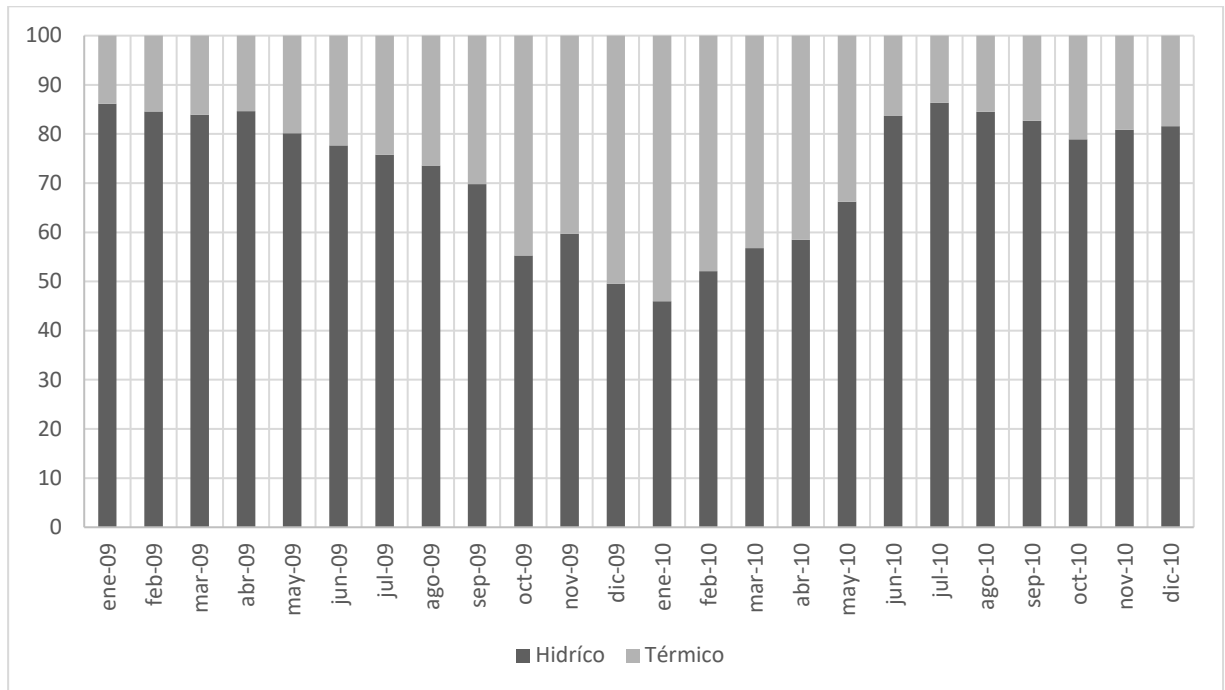
Gráfica 3 - 84: fin del Niño diciembre de 2009 a junio de 2010, precios horarios hora valle



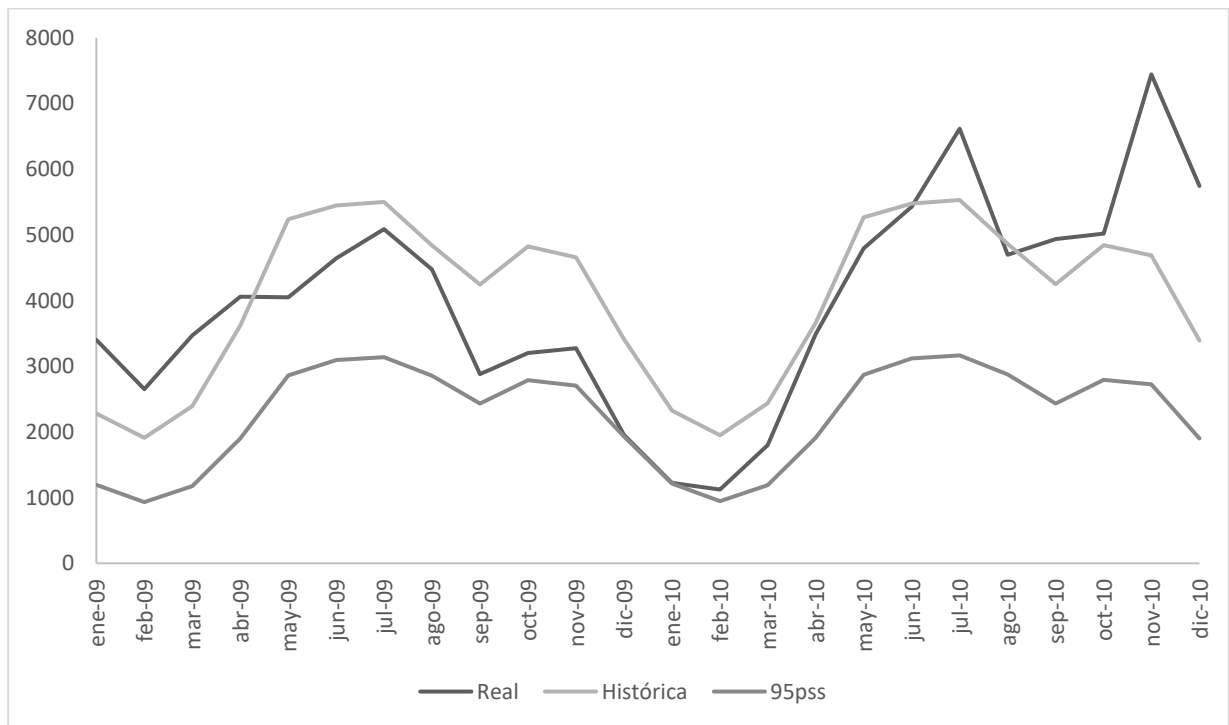
Gráfica 3 - 85: fin del Niño diciembre de 2009 a junio de 2010, promedios diarios

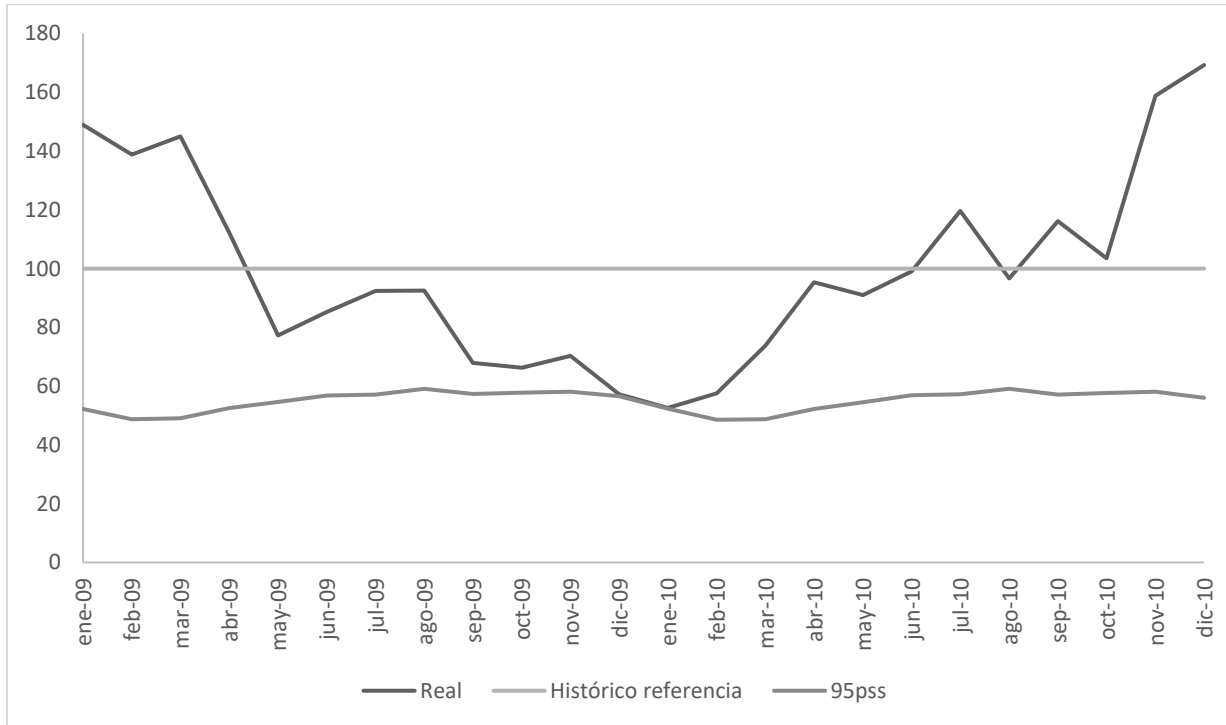
En diciembre de 2009, enero y febrero de 2010 se presentó el mayor porcentaje de generación a partir de plantas térmicas, esto concuerda con los meses donde se presentaron los menores aportes hídricos con respecto a la media. Los precios suben un poco en enero, pero no en la proporción en que lo hacen en los otros meses de cada mini ciclo.

Gráfica 3 - 86: porcentaje de generación por tipo de recurso



Gráfica 3 - 87: Aportes hídricos mensuales (GWh) 2009 - 2010



Gráfica 3 - 88: aportes hídricos mensuales porcentaje respecto a la media 2009 - 2010

3.2.5.1 Seguimiento del Niño

En este periodo ya se tiene abundante información sobre el seguimiento que hace el IDEAM al fenómeno del Niño, ya que mensualmente a partir de septiembre de 2009 se publicaron unos boletines informativos sobre el monitoreo de los fenómenos del Niño y la Niña. Adicionalmente se tiene el seguimiento que hace la NOAA sobre el Niño.

Seguimientos del IDEAM.

19 de julio de 2009: se informa sobre la probabilidad de ocurrencia del fenómeno del Niño

septiembre 17 de 2009: “continúa el desarrollo del Niño, se espera que se siga desarrollando en el siguiente trimestre octubre-diciembre y en el primer trimestre de 2010, la intensidad actual varía entre débil a moderado y se espera que la fase madura de mayores anomalías ocurra en el bimestre noviembre-diciembre de 2009”. **Se confirma etapa temprana del Niño**

septiembre 24 de 2009: “continúa el desarrollo del fenómeno “el Niño” se seguirá desarrollando en el siguiente trimestre octubre- diciembre y en el primer trimestre enero-marzo de 2010. La intensidad del actual fenómeno varía entre débil a moderado, con ocurrencia de la fase madura (mayores anomalías) en el bimestre noviembre-diciembre de 2009; sin embargo, es necesario evaluar constantemente su evolución. Se le recomienda al sector energético: considerar que la disminución de la oferta del recurso hídrico afecta considerablemente el componente de generación de hidroenergía y desarrollar planes tendientes a fomentar el ahorro de energía”. **Primera ocasión en que se hace una recomendación al sector de energía, a través de un comunicado público.**

octubre 14 de 2009: “los valores actuales de los parámetros oceánicos y atmosféricos que se monitorean, indican que continúa el desarrollo del fenómeno el Niño. El Niño se seguirá desarrollando en el siguiente trimestre octubre- diciembre y en el primer trimestre enero-marzo de 2010. La intensidad del actual fenómeno varía entre débil a moderado, con ocurrencia de la fase madura (mayores anomalías) en el bimestre noviembre-diciembre de 2009; sin embargo, es necesario evaluar constantemente su evolución”.

30 de octubre 2009: “se espera que las lluvias acumuladas para el periodo octubre - diciembre, presenten volúmenes inferiores al promedio histórico, aunque en algunos sectores pueden llegar a ser normales. El Niño seguirá presente hasta el primer trimestre enero-marzo de 2010. La intensidad del actual fenómeno que es moderado, se mantendrá en los que resta de este año con ocurrencia de la fase madura (mayor calentamiento espacial en el océano pacífico) en el bimestre noviembre-diciembre de 2009; sin embargo, es necesario evaluar constantemente su evolución”.

23 de noviembre de 2009: “los niveles de los grandes ríos de Colombia, comienzan a descender. Los centros especializados de predicción climática, continúan proyectando que el Niño se seguirá presente hasta el primer trimestre enero-marzo de 2010. Algunos centros consideran que se podría extender hasta más allá del mes de abril e incluso al mes de mayo, aspecto que merece consideración, de acuerdo con lo estimado por dichos centros, la intensidad del actual fenómeno que es moderado, se mantendrá en los que resta de este año con ocurrencia de la fase madura (mayor calentamiento espacial en el océano pacífico) en el bimestre noviembre-diciembre de 2009; sin embargo, es necesario evaluar constantemente su evolución”.

17 de diciembre de 2009: “la temporada seca se acentúa en gran parte del país con déficit de moderado a alto de precipitación en amplios sectores. Altas temperaturas se registran en las regiones caribe y andina. Los centros especializados de predicción climática como continúan proyectando que “el Niño” seguirá presente hasta el primer trimestre enero-marzo de 2010. Algunos centros consideran que se podría extender hasta más allá del mes de abril e incluso al mes de mayo, aspecto que merece consideración ya que puede afectar la primera temporada de lluvias del próximo año. El IDEAM en su informe climático más reciente indica que la actual temporada seca podría alargarse incluyendo el mes de abril, lo que significaría un posible retraso en la llegada de la primera temporada lluviosa de acuerdo con lo estimado por dichos centros, la intensidad del actual fenómeno es moderada en cuanto a su grado de amenaza, se hace necesario de todas maneras evaluar constantemente su evolución”.

7 de enero de 2010: “los centros especializados de predicción climática continúan proyectando que “el Niño” seguirá presente hasta el primer trimestre enero-marzo de 2010. Algunos centros consideran que se podría extender hasta más allá del mes de abril e incluso al mes de mayo, aspecto que merece consideración ya que puede afectar la primera temporada de lluvias del próximo año. El IDEAM en su informe climático más reciente indica que la actual temporada seca podría alargarse incluyendo el mes de abril, lo que significaría un posible retraso en la llegada de la primera temporada lluviosa. De acuerdo con lo estimado por dichos centros, la intensidad del actual fenómeno es moderada en cuanto a su grado de amenaza. se hace necesario de todas maneras evaluar constantemente su evolución.

4 de febrero de 2010: “el Niño probablemente alcanzo durante finales de diciembre y comienzos de enero, la fase máxima de maduración del evento, por lo cual, se espera que la intensidad del **fenómeno tienda a decrecer**, proyectando su finalización durante el segundo trimestre del presente año. Sigue vigente alerta máxima ante la probabilidad de ocurrencias de incendios de la cobertura vegetal”.

18 de febrero de 2010: “el fenómeno de “el Niño” se mantiene, aunque tiende a decrecer, se espera que su proceso **de finalización** se presente en el segundo trimestre del año los niveles en el río magdalena, especialmente en la cuenca baja, continúan en niveles bajos y muy cercanos a los mínimos absolutos”

4 de marzo de 2010: el fenómeno de “el Niño” se mantiene y sigue con tendencia al debilitamiento, posiblemente alcance condiciones neutrales alrededor de abril, mayo y junio del presente año. A medida que el Niño se debilite sus impactos tenderán también a disminuir”.

17 de marzo de 2010: el fenómeno de “el Niño” se mantiene y sigue con tendencia al debilitamiento, posiblemente alcance condiciones neutrales alrededor de abril, mayo y junio del presente año. A medida que el Niño se debilite sus impactos tenderán también a disminuir, los niveles de los ríos han ascendido y disminuye la probabilidad de incendios forestales.

7 de abril: el fenómeno de “el Niño” se mantiene y sigue con tendencia al debilitamiento, posiblemente alcance condiciones neutrales alrededor de junio del presente año. Este fenómeno no suprime la primera temporada de lluvias la cual se inició con un retraso, tal como lo venía anunciando el IDEAM”.

20 de abril: “al coincidir la llegada de la primera temporada de lluvias y el debilitamiento o etapa final del fenómeno el Niño, los impactos en el país se han reducido en los últimos días”.

5 de mayo de 2010: “al coincidir la llegada de la primera temporada de lluvias y el debilitamiento o etapa final del fenómeno el Niño, los impactos por reducción de lluvias y altas **temperaturas han disminuido**”.

4 de junio: “actualmente las condiciones atmosféricas y oceánicas en la cuenca del pacífico tropical muestran **condiciones neutrales**, probabilidad de transición hacia el fenómeno de la niña durante los meses de junio-agosto”.

Informes de la NOAA

4 de junio de 2009: Estado de Alerta de ENSO: Vigilancia de El Niño

“Condiciones son favorables para una transición de ENSO-neutral a condiciones de El Niño durante junio-agosto 2009”.

9 de julio de 2009: Estado de Alerta de ENSO: Advertencia de El Niño

“Condiciones de El Niño continuarán desarrollándose y se espera que duren hasta el Invierno del Hemisferio Norte 2009-2010”. **Se confirma**

6 de agosto de 2009: Estado de Alerta de ENSO: Advertencia de El Niño

“Se espera que las condiciones de El Niño se fortalezcan y que duren hasta el Invierno del Hemisferio Norte 2009-2010”.

10 de septiembre de 2009: Estado de Alerta de ENSO: Advertencia de El Niño

“Se espera que El Niño se fortalezca y permanezca hasta el invierno del Hemisferio Norte 2009-2010”.

8 de octubre de 2009: Estado de Alerta de ENSO: Advertencia de El Niño

“Se espera que El Niño se fortalezca y permanezca hasta el invierno del Hemisferio Norte 2009-2010”.

5 de noviembre de 2009: Estado de Alerta de ENSO: Advertencia de El Niño

“Se espera que El Niño continúe fortaleciéndose y persista hasta por lo menos el invierno 2009-2010 del Hemisferio Norte”.

10 de diciembre de 2009: Estado de Alerta de ENSO: Advertencia de El Niño

“Se espera que El Niño continúe y persista hasta por lo menos la primavera del 2010 del Hemisferio Norte”.

6 de mayo de 2010: Estado de Alerta de ENSO: Advertencia de El Niño

“Se espera una transición a condiciones de ENSO neutral para junio del 2010 y esto continuara hasta el verano del 2010 en el Hemisferio Norte. El Niño se debilitó en el mes de abril de 2010 con las anomalías de las temperaturas de la superficie del mar”.

3 de junio de 2010: Estado de Alerta de ENSO: Vigilancia de La Niña/ Advertencia Final de El Niño

“Condiciones favorables para la transición hacia condiciones de La Niña durante junio – agosto 2010. El Niño se disipó durante el mes de mayo 2010 ya que las anomalías positivas de la temperatura de superficie del mar ecuatorial (SST por sus siglas en inglés)

disminuyeron rápidamente a través del Océano Pacífico Ecuatorial y las anomalías negativas de las SST surgieron a través de la mitad este del Pacífico”

Tabla 3 - 5: influencia del anuncio de inicio de Niño en el precio de bolsa, 2009 - 2010

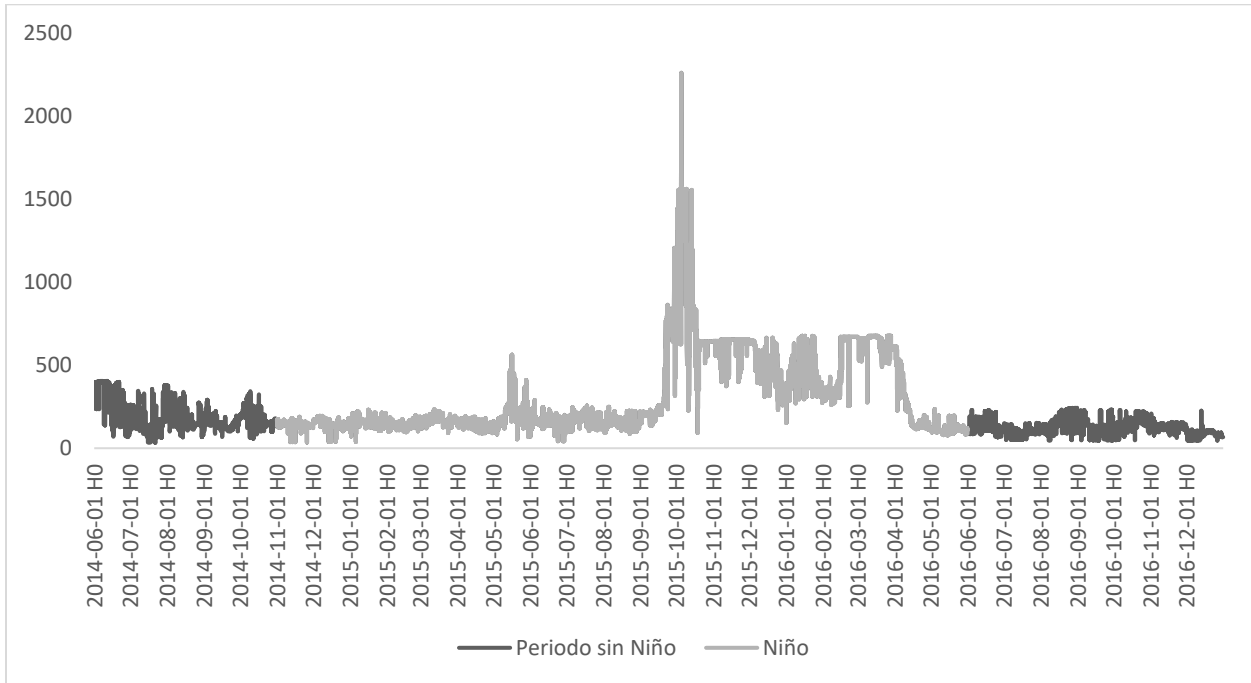
Fecha anuncio	Porcentaje de cambio del precio con respecto al anuncio a los						
	5 días	10 días	15 días	20 días	25 días	30 días	35 días
IDEAM: 17 de septiembre de 2009	-6,03	19,09	48,83	24,45	2,69	-14,70	-30,08

Se concluye: El primer aumento abrupto de precios ocurre 5 días después del anuncio de Niño por parte del IDEAM el 17 de septiembre, aunque la generación térmica no es de igual magnitud en este mes, como en diciembre de 2009 y enero de 2010, los precios de bolsa son bastante altos. Los siguientes picos de precios coinciden con los efectos físicos del fenómeno del Niño, debido a la alta generación a partir de recursos térmicos en diciembre de 2009 y enero y febrero de 2010. A partir de marzo de 2010 los precios empiezan a disminuir, y esto coincide con el anuncio del IDEAM de que el Niño se está debilitando y con la normalización de aportes hídricos.

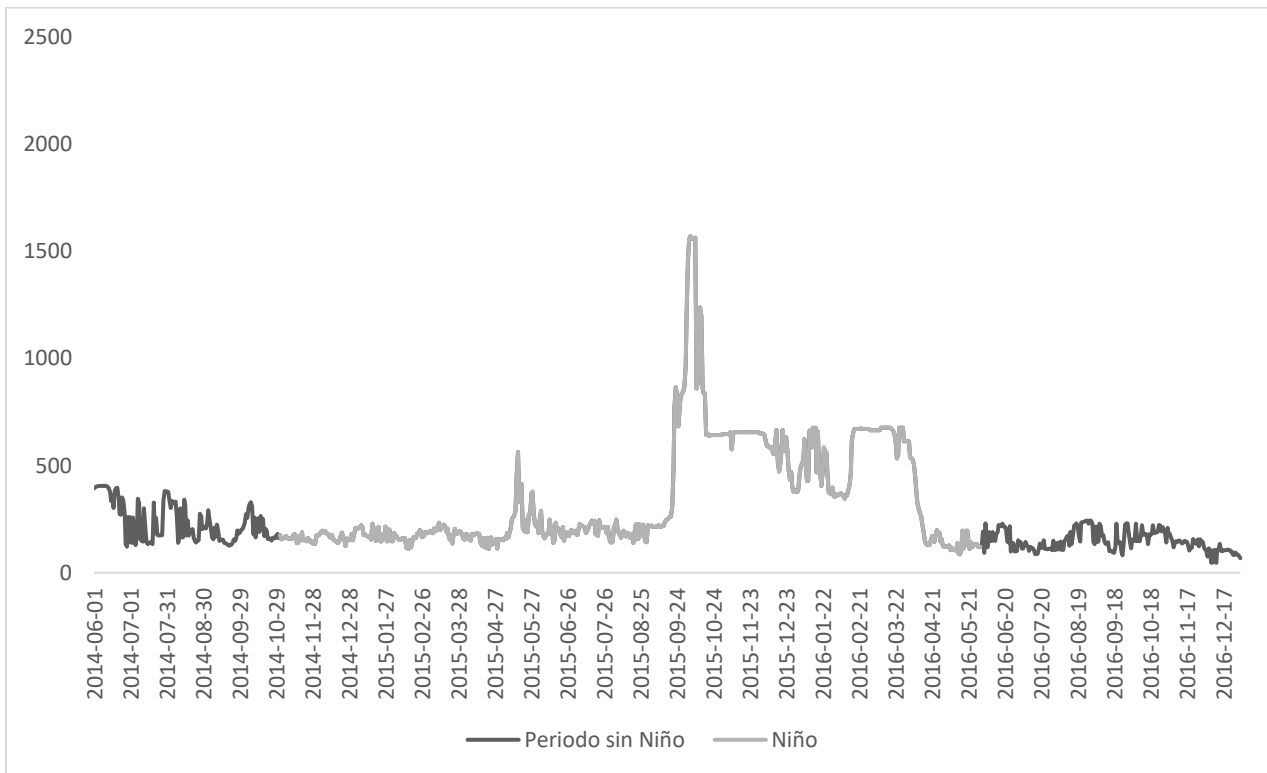
3.2.6 Niño 2014 – 2016

Físicamente el Niño empezó en noviembre de 2014 y finalizó en mayo de 2016, su duración fue de 19 meses, el más largo hasta el momento desde que inició el mercado mayorista de energía eléctrica. Los mayores picos de precios horarios ocurrieron los días 4 de octubre a las 9 p.m., el 5 de octubre a las 8 a.m. y el 9 de octubre a las 10 a.m., todos en el año 2015. Los días con mayores precios promedios fueron los días 3,8 y 9 de octubre de 2015. Los meses con mayores precios promedio fueron octubre y noviembre de 2015 además de marzo de 2016.

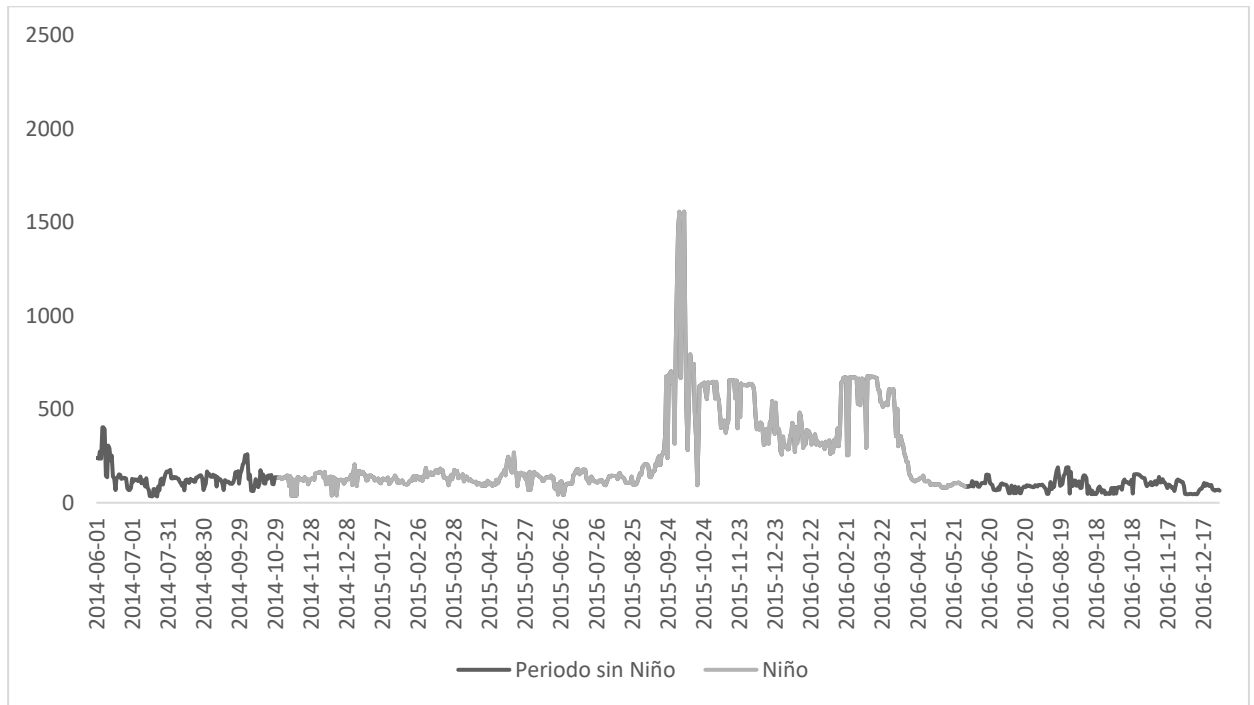
Gráfica 3 - 89: Niño noviembre de 2014 a mayo de 2016, precios horarios



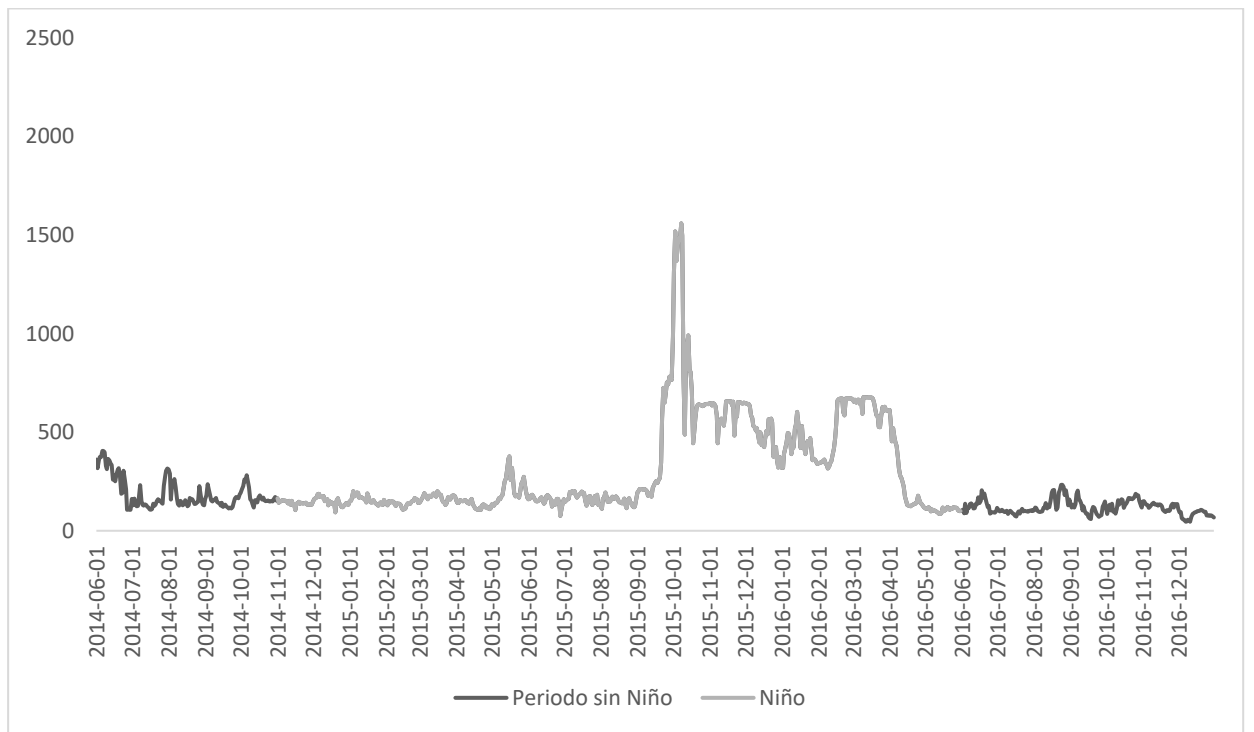
Gráfica 3 - 90: Niño noviembre de 2014 a mayo de 2016, precios horarios hora pico

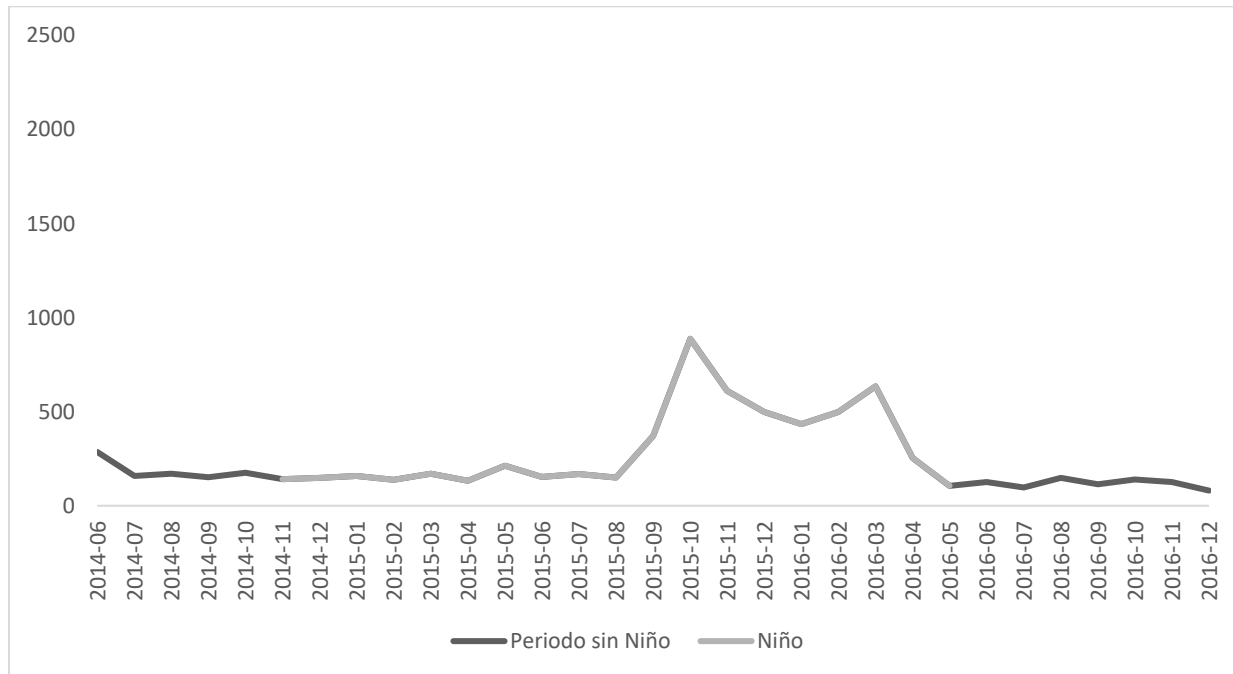


Gráfica 3 - 91: Niño noviembre de 2014 a mayo de 2016, precios horarios hora valle

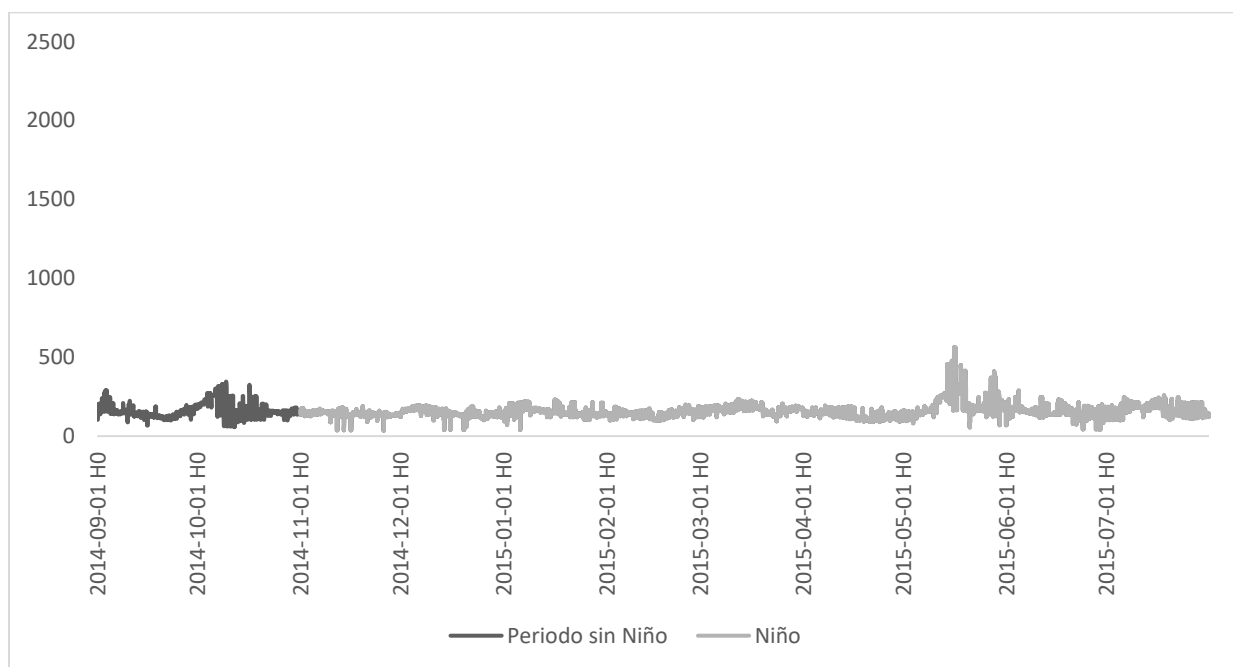


Gráfica 3 - 92: Niño noviembre de 2014 a mayo de 2016, promedios diarios

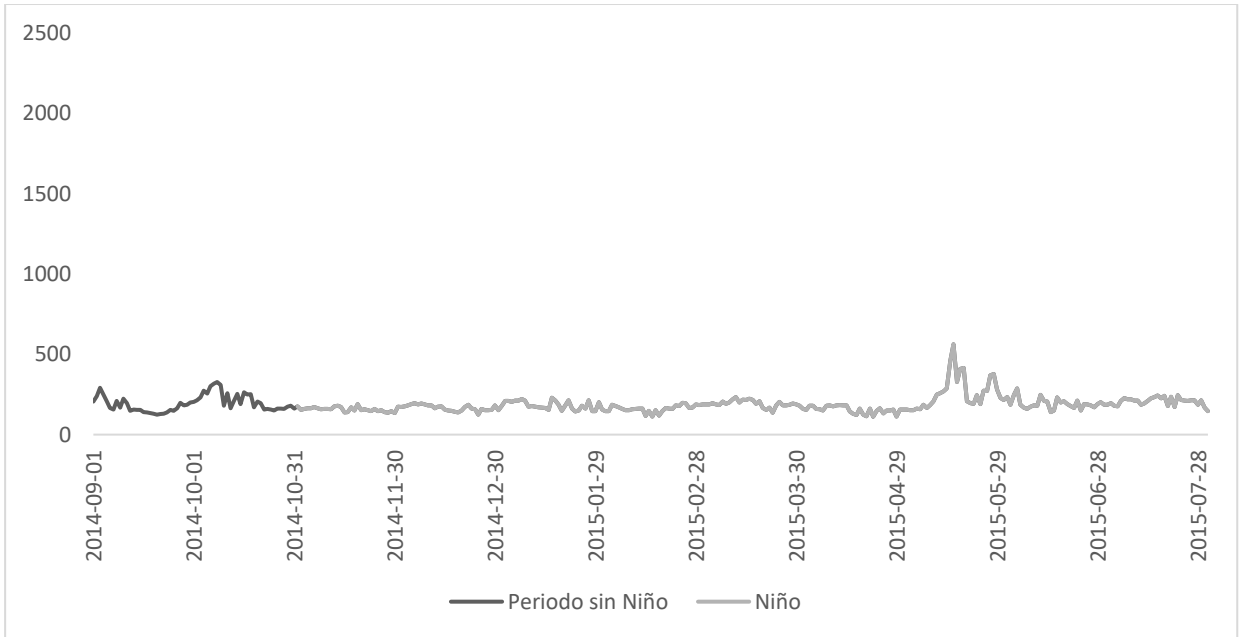


Gráfica 3 - 93: Niño noviembre de 2014 a mayo de 2016, promedios mensuales

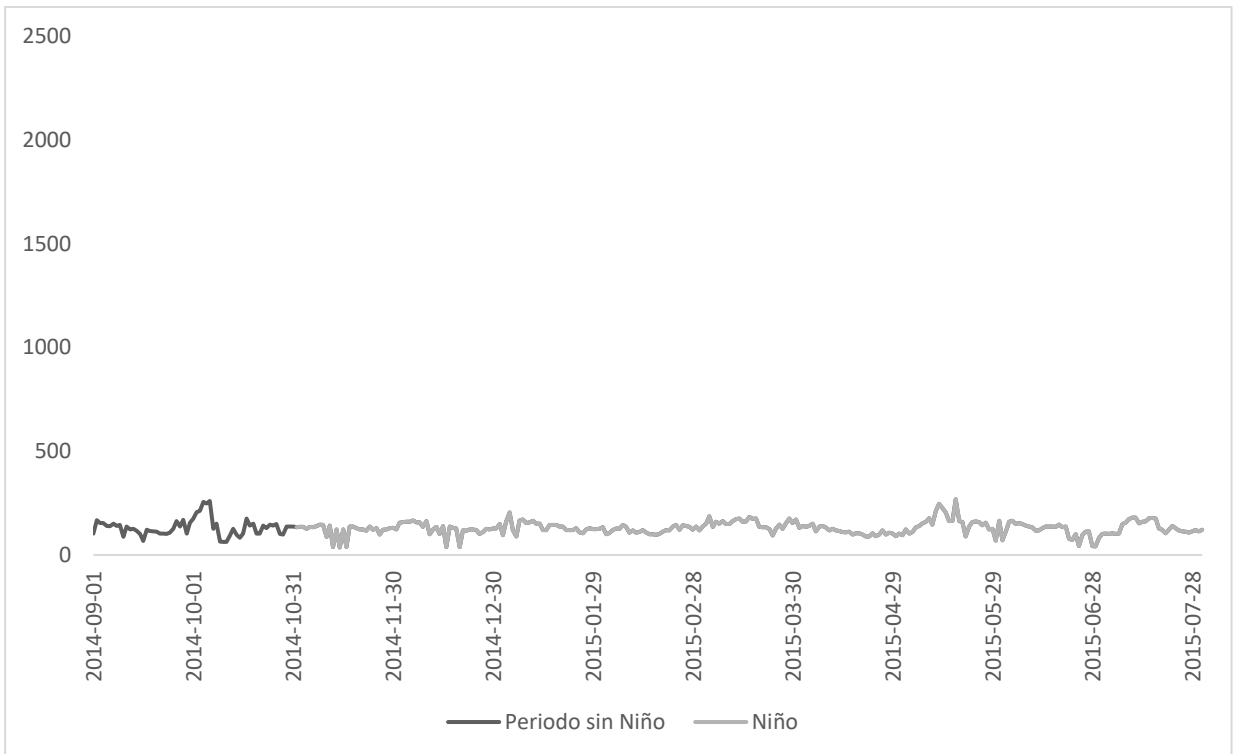
Hay un pequeño incremento de los precios el 15 de mayo de 2015, pero no se considera como un incremento súbito de los precios.

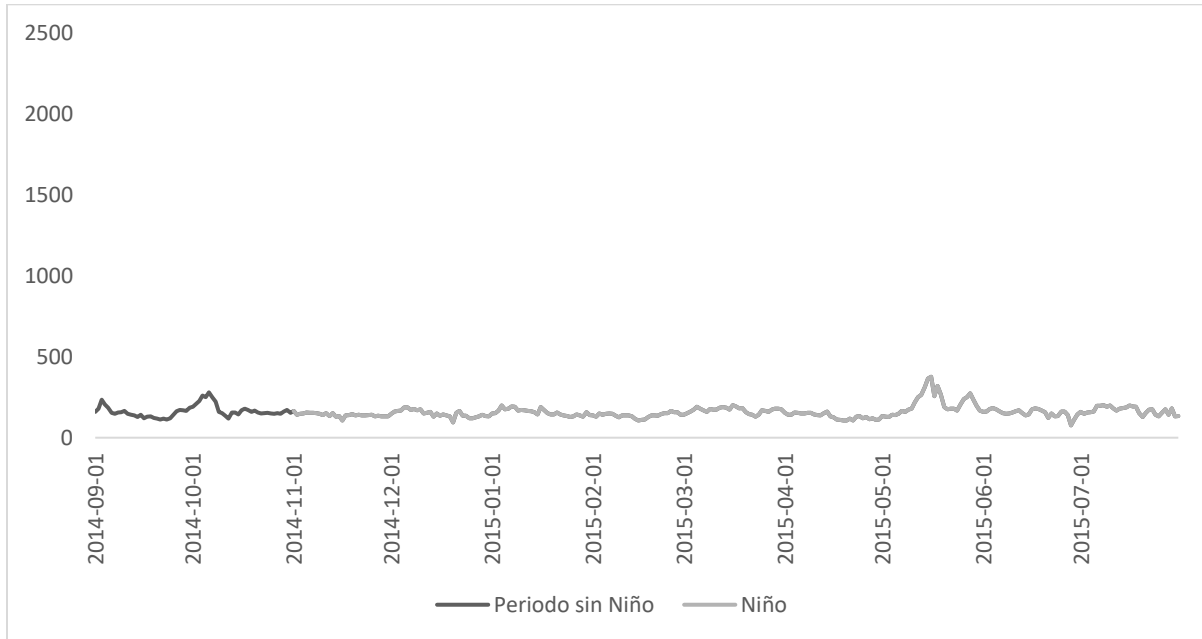
Gráfica 3 - 94: inicio del Niño septiembre de 2014 a julio de 2015, precios horarios

Gráfica 3 - 95: inicio del Niño septiembre de 2014 a julio de 2015, precios horarios hora pico



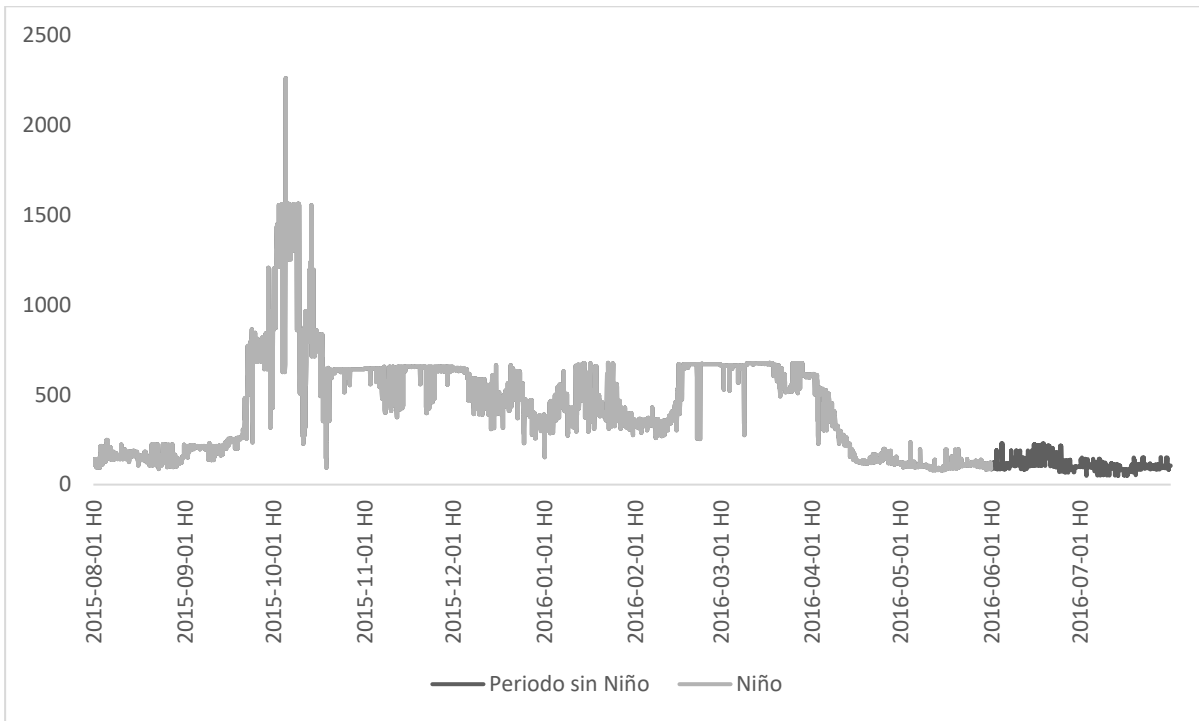
Gráfica 3 - 96: inicio del Niño septiembre de 2014 a julio de 2015, precios horarios hora valle



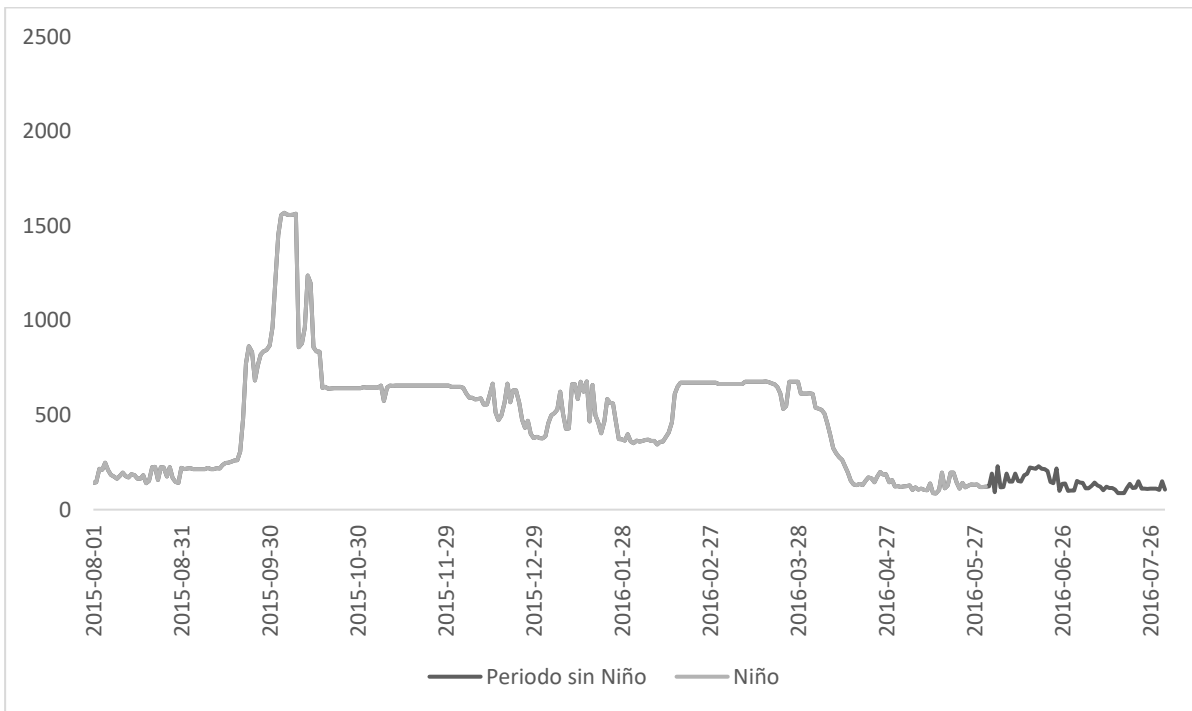
Gráfica 3 - 97: inicio del Niño septiembre de 2014 a julio de 2015, promedios diarios

El incremento súbito ocurre a partir del 20 de septiembre de 2015, aproximadamente 11 meses después de iniciado el Niño, pero entre el 9 de octubre y el 22 del mismo mes los precios caen, pero no hasta el valor que tenían antes de subir repentinamente. Se puede decir que los precios se mantienen estables en un valor medianamente alto, hasta el 2 de abril de 2016 donde los precios caen abruptamente a valores normales dos meses antes de finalizar el Niño.

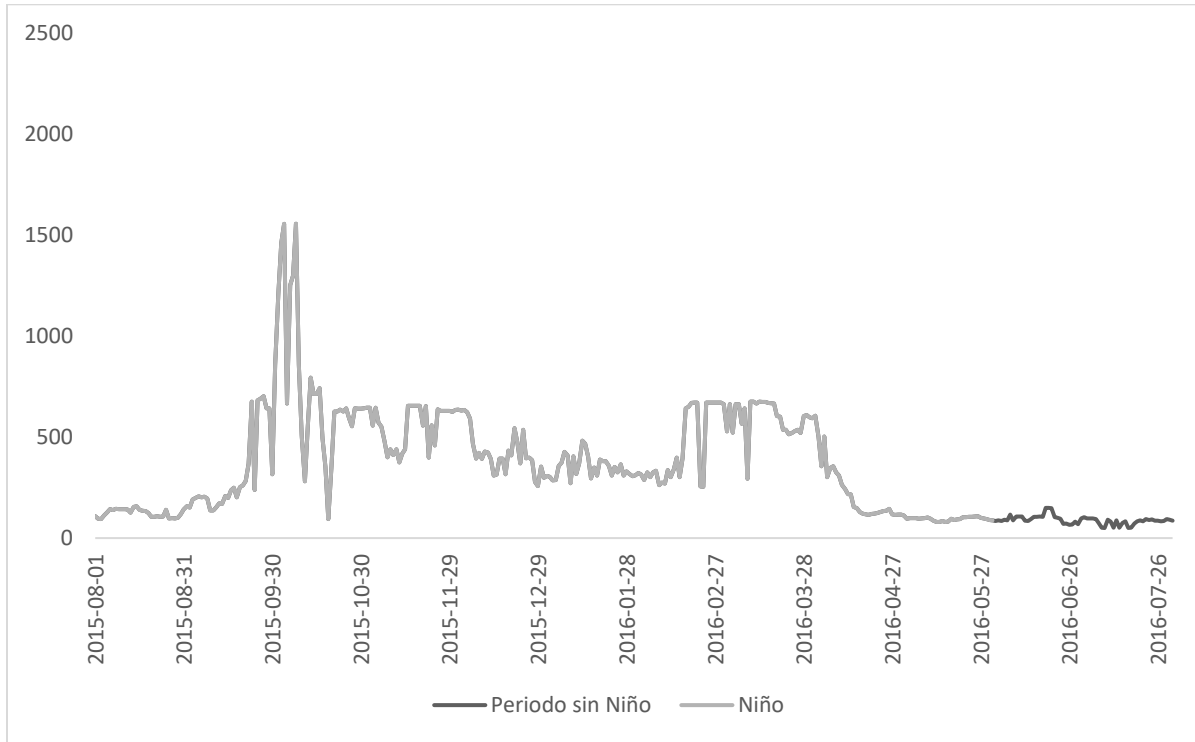
Gráfica 3 - 98: fin del Niño agosto 2015 a julio 2016, precios horarios



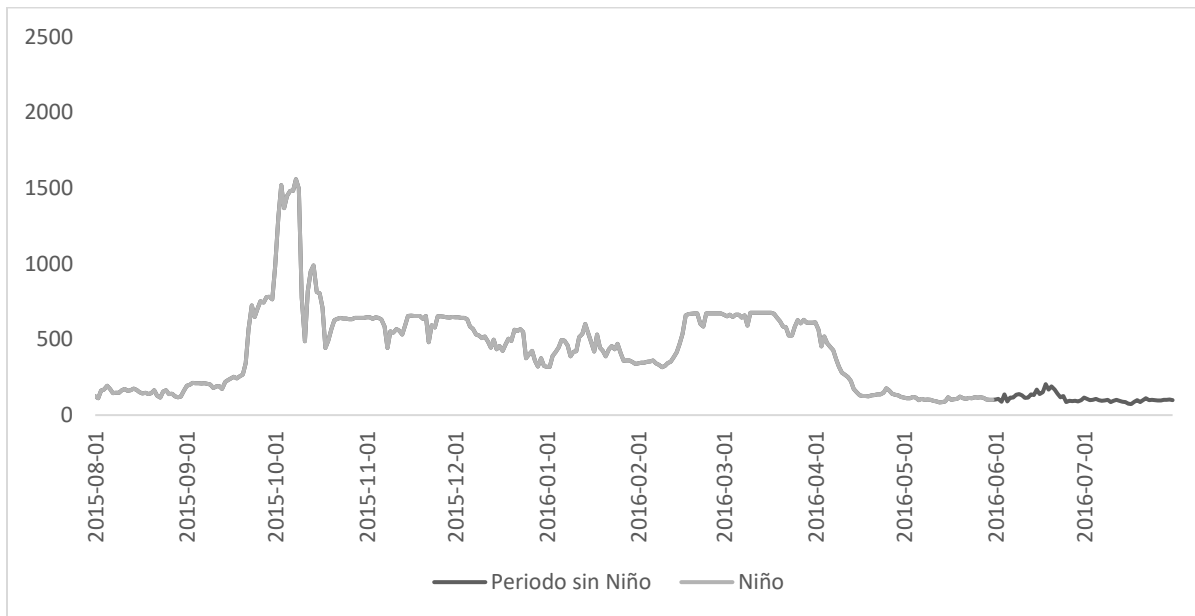
Gráfica 3 - 99: fin del Niño agosto 2015 a julio 2016, precios horarios hora pico



Gráfica 3 - 100: fin del Niño agosto 2015 a julio 2016, precios horarios hora valle

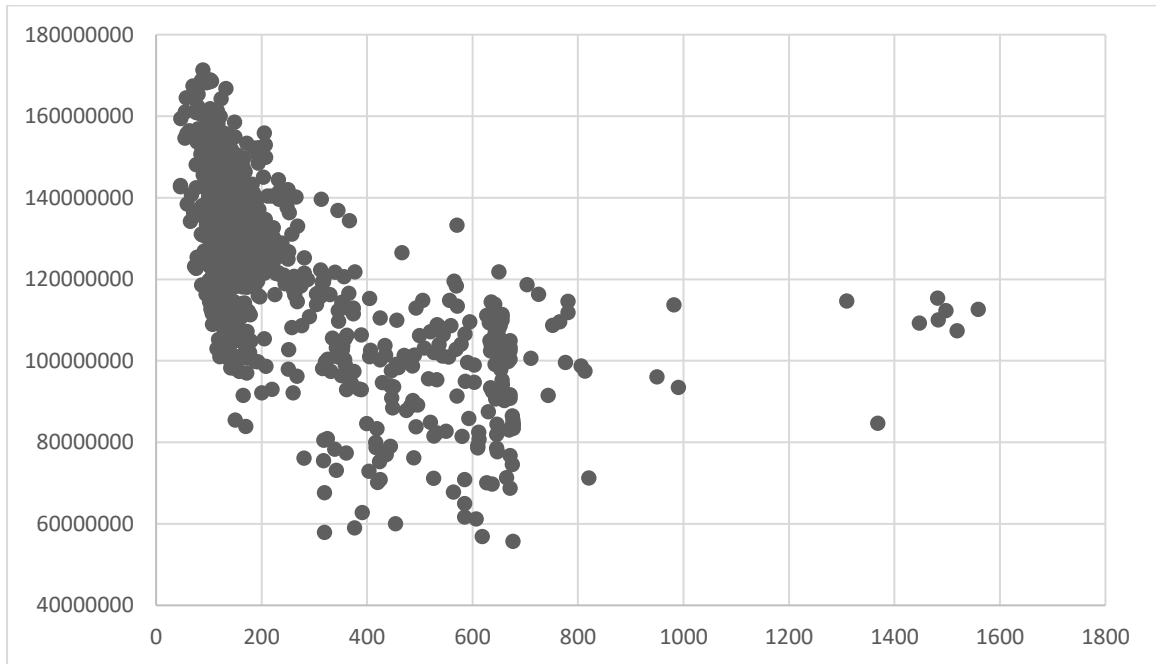


Gráfica 3 - 101: fin del Niño agosto 2015 a julio 2016, promedios diarios

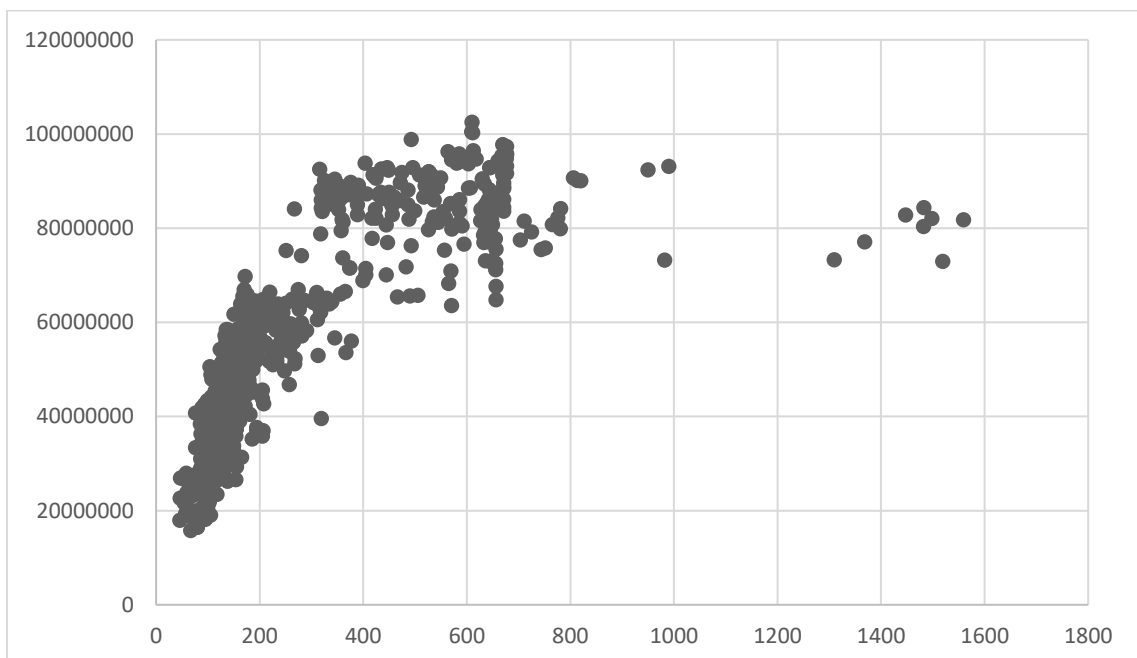


En este último Niño los precios están estrechamente relacionados con el tipo de tecnología de producción de energía.

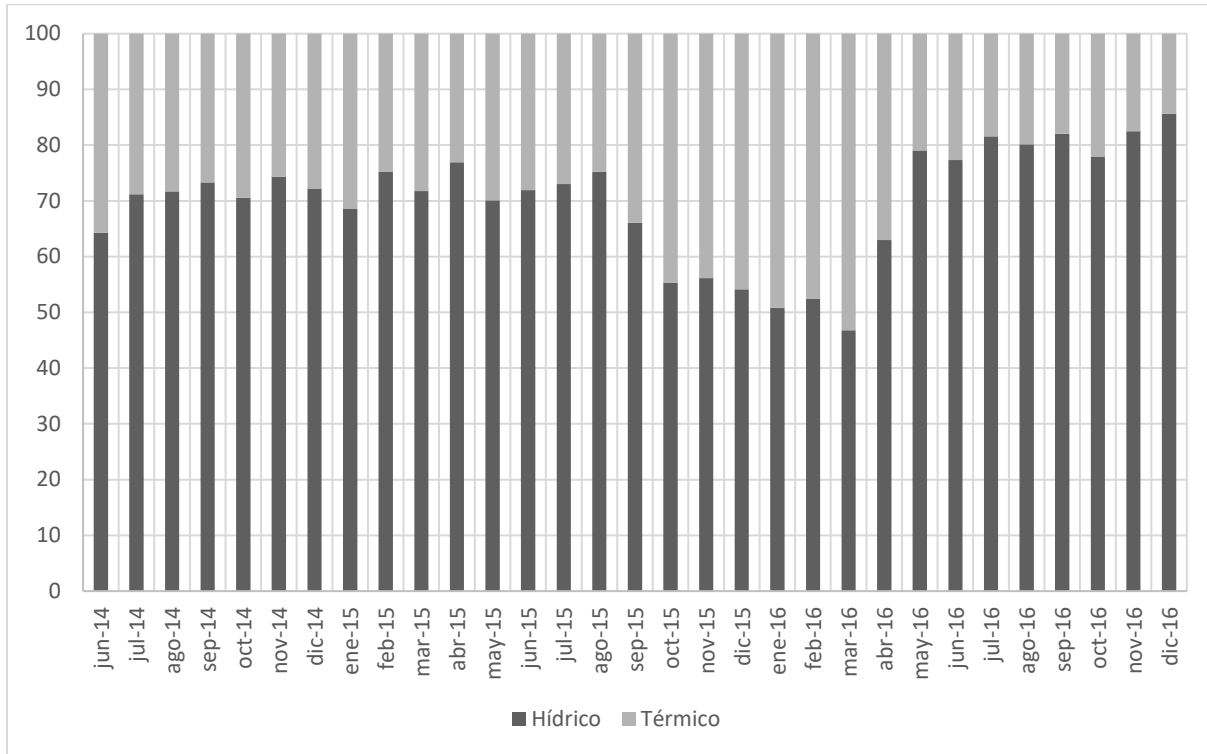
Gráfica 3 - 102: precios de bolsa Vs Generación hidráulica diaria julio 2014 a 2016(kWh)



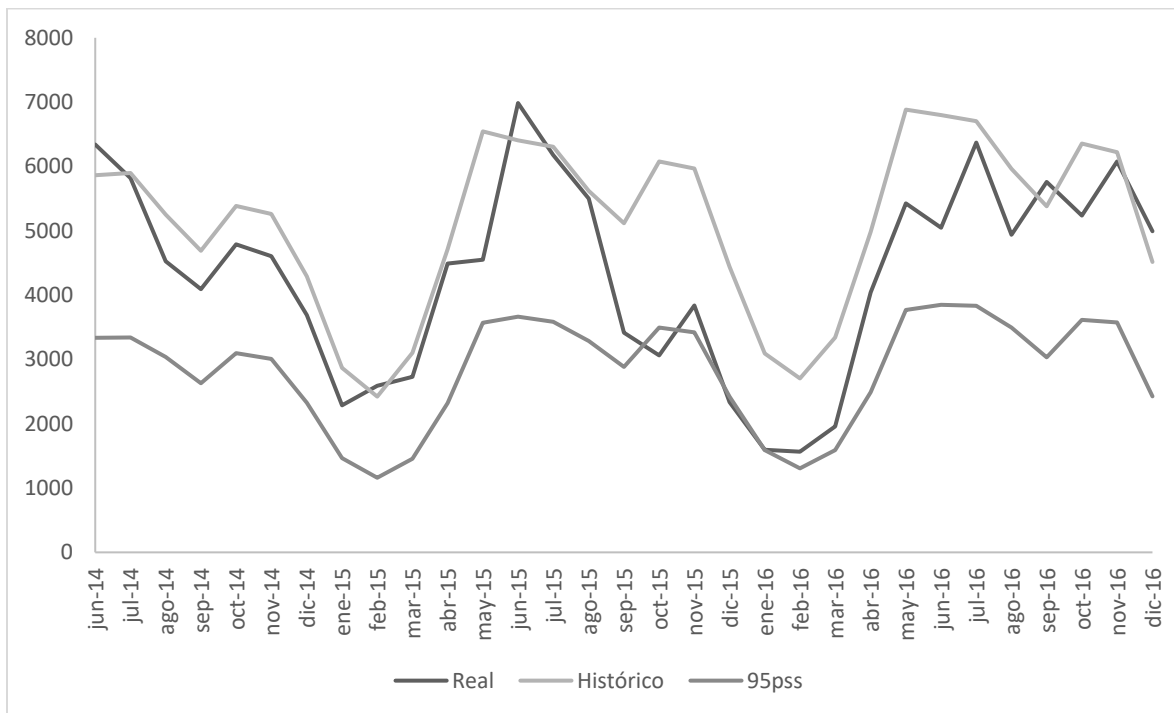
Gráfica 3 - 103: precios de bolsa Vs Generación térmica diaria julio 2014 a 2016(kWh)



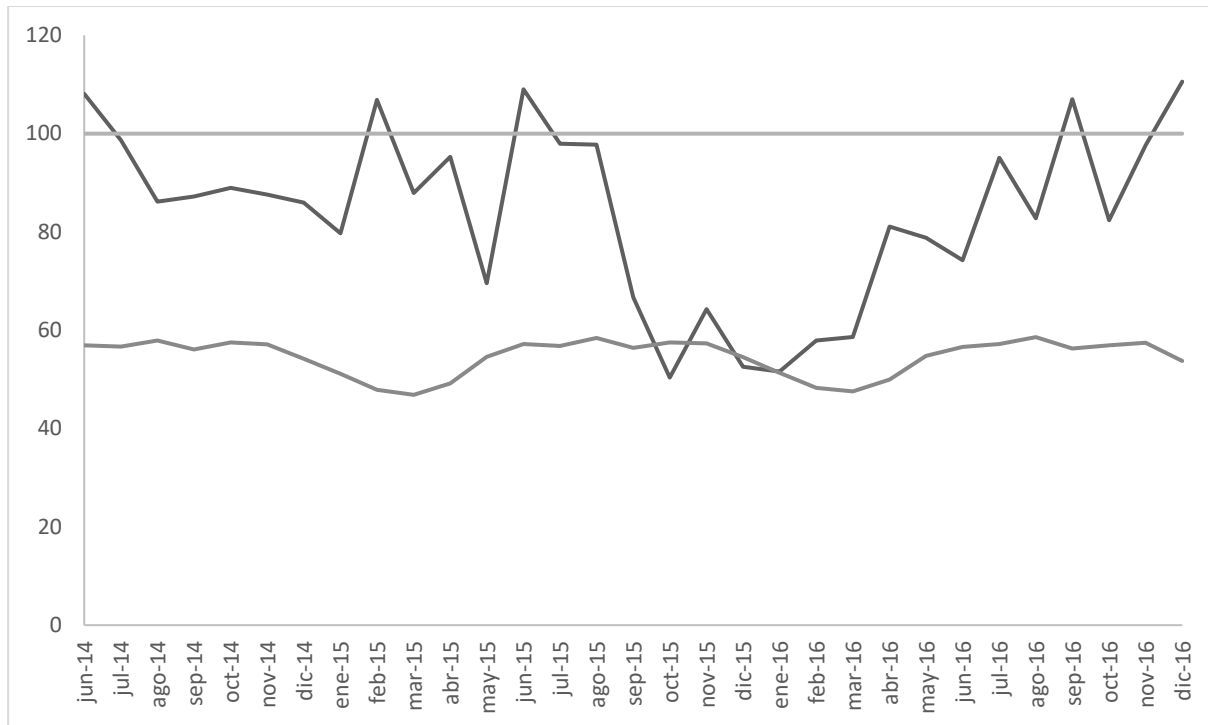
Gráfica 3 - 104: porcentaje de generación por tipo de recurso junio 2014 - 2016



Gráfica 3 - 105: aportes hídricos mensuales (GWh) junio 2014 - 2016



Gráfica 3 - 106: aportes hídricos mensuales porcentaje respecto a la media junio 2014 - 2016



Seguimiento del Niño

Informes IDEAM

12 de noviembre de 2014: “durante las últimas semanas la temperatura de la superficie del océano pacífico se ha incrementado paulatinamente, llegando nuevamente a condiciones para el desarrollo de “el Niño” el cual podría desarrollarse para finales del año 2014 e inicios del 2015”.

20 de enero de 2015: “hace más de 4 meses el IDEAM ha venido informado sobre las condiciones del océano pacífico para un posible desarrollo de “el Niño”, debido a los diferentes escenarios que se presentaron típicos de este fenómeno en el segundo semestre del 2014, pero las condiciones de la atmósfera no se acoplaron del todo con el océano durante este tiempo, por lo que no se declaró la presencia de “el Niño” a pesar de que las condiciones oceánicas las tuviera presentes, por lo que ha sido alta la incertidumbre”.

6 de febrero de 2015: “el instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales, cumpliendo con sus funciones de monitoreo y vigilancia al sistema climático nacional, y como apoyo técnico al sistema nacional de gestión del riesgo de desastres, ha venido previniendo en la fase de desarrollo de un probable fenómeno de el Niño de intensidad débil”.

12 de marzo de 2015: “se confirma la consolidación del fenómeno del Niño de intensidad débil”

11 de mayo de 2015: “el consenso de los modelos climáticos indica una probabilidad de que mantengan las condiciones “el Niño” durante mayo y junio de 2015, señalando que el evento podría extenderse hasta el tercer trimestre del año”.

15 de junio de 2015: “las condiciones “el Niño” continúan fortaleciéndose gradualmente en el pacífico ecuatorial, es muy probable que este fenómeno se continúe hasta a mediados del segundo semestre del 2015”.

15 de julio de 2015: “se esperan condiciones de intensidad moderada de “el Niño”, sin embargo existe una alta probabilidad de convertirse en un fenómeno fuerte durante el segundo semestre de 2015”.

14 de agosto de 2015: “es altamente probable que el Niño se presente con intensidad moderada a fuerte durante los meses de septiembre y octubre de 2015, de igual forma, su influencia sobre Colombia se podría extender hasta inicios del 2016”.

16 de septiembre de 2015: “el Niño alcanza **la categoría fuerte**; es altamente probable que su máxima intensidad se registre entre noviembre y diciembre de 2015. los mayores efectos en el clima nacional se esperan para final de diciembre de 2015 y comienzos de 2016. Adicionalmente al ONI, el índice multivariado MEI, muestra también que el actual evento, se ubica entre uno de los más fuertes desde 1950; cabe mencionar, que dicho indicador es considerado uno de los más robustos debido a que involucra variables oceánicas y atmosféricas del pacífico tropical”.

16 de octubre de 2015: “actualmente se presenta un fenómeno el Niño de categoría fuerte y es probable que se intensifique todavía más antes del final del año 2015. Las condiciones actuales indican que podría ser muy parecido al fenómeno de 1997-1998”.

17 de noviembre de 2015: “continúa el fenómeno “el Niño” con una tendencia hacia su máxima intensidad en su fase de madurez y se ubica entre uno de los más fuertes desde 1950”.

15 de diciembre de 2015: “el fenómeno de “el Niño” esta es su máxima intensidad es altamente probable que los efectos del evento sobre las lluvias y la temperatura en Colombia sean muy intensos especialmente para los próximos dos meses”.

15 de enero de 2016: “el fenómeno del Niño ha presentado efectos históricos sobre la temperatura en Colombia, se espera que el evento persista con una máxima intensidad por cerca de dos meses, propiciando la baja cantidad de lluvias en el país”.

16 de febrero de 2016: “el fenómeno del Niño sigue presente en el océano pacifico tropical con intensidad fuerte, sin embargo, en las últimas semanas **se ha presentado la aparición de aguas frías subsuperficiales** en la zona occidental de la cuenca. a pesar de esta condición, el fenómeno seguirá incidiendo en volúmenes deficitarios de lluvia y aumentos de temperatura en la mayor parte de las regiones andina y caribe”.

16 de marzo de 2016: “**el fenómeno ha mostrado condiciones de debilitamiento**, pero sigue con intensidad fuerte. a pesar de esta condición, el fenómeno seguirá incidiendo en volúmenes deficitarios de lluvia y aumentos de temperatura en la mayor parte del país”.

16 de abril de 2016: “**el fenómeno está en su etapa final**; es posible que se presenten condiciones de normalidad entre mayo y junio de 2016, coincidiendo con la temporada de lluvias en gran parte del país, por lo cual se estiman volúmenes importantes de lluvia en buena parte del territorio nacional”.

12 de mayo de 2016: “el fenómeno **está en su etapa final**, perdiendo incidencia en las condiciones climáticas del país y coincidiendo con la primera temporada de lluvias, por lo cual se estiman volúmenes importantes de precipitación durante los próximos dos meses”.

17 de junio 2016: “**el fenómeno del Niño ha finalizado**. actualmente se presentan condiciones de neutralidad en el pacífico tropical, con una probabilidad significativa de presentarse entre julio y agosto condiciones propicias para el inicio de un fenómeno de “la niña”, el cual podría consolidarse a final del 2016”.

Informes de la NOAA:

6 de noviembre de 2014: estatus del sistema de alerta del ENSO: vigilancia del Niño.

“En el invierno del hemisferio norte hay una probabilidad de 58% para el Niño, y es favorable que se extienda hasta la primavera de 2015 en el hemisferio norte”.

8 de enero de 2014: estatus del sistema de alerta del ENSO: vigilancia del Niño. “existe aproximadamente entre 50 – 60% de probabilidad de presencia de condiciones del Niño durante los próximos dos meses, con condiciones ENSO-neutral favorecidas luego”.

5 de febrero de 2014: estatus del sistema de alerta del ENSO: vigilancia del Niño. “existe aproximadamente entre 50 – 60% de probabilidad de presencia de condiciones el Niño”.

5 de marzo de 2015: estatus del sistema de alerta del ENSO: advertencia del Niño. “existe aproximadamente entre 50 y 60% de probabilidad de que continúen condiciones de el Niño hasta el verano del 2015 en el hemisferio norte”.

9 de abril de 2015: “estatus del sistema de alerta del ENSO: advertencia del Niño. existe una probabilidad aproximada de 70% de que el Niño continúe durante el verano del hemisferio norte de 2015, y un porcentaje mayor de 60% de que persista hasta el otoño”.

14 de mayo de 2015: “estatus del sistema de alerta del ENSO: advertencia del Niño
sinopsis: existe una probabilidad aproximada de 90% de que el Niño continúe durante el verano del hemisferio norte de 2015, y un porcentaje mayor de 80% de que persista a través del 2015”.

13 de agosto de 2015 estatus del sistema de alerta del ENSO: “advertencia del Niño
sinopsis: existe una probabilidad mayor de 90% de que el Niño continuará durante el invierno del hemisferio norte de 2015-16 y alrededor de 85% de probabilidad de que

persista hasta principios de la primavera de 2016. En este momento, el consenso unánime de los pronosticadores favorece el Niño fuerte”

10 de septiembre de 2015: “estatus del sistema de alerta del ENSO: advertencia del Niño
sinopsis: hay una probabilidad aproximada de 95% para que el Niño continúe durante el invierno del hemisferio norte 2015-16, y se debilitara gradualmente durante la primavera de 2016. se refleja un Niño fuerte”

8 de octubre de 2015: “estatus del sistema de alerta del ENSO: advertencia del Niño
sinopsis: hay una probabilidad aproximada de 95% para que el Niño continúe durante el invierno del hemisferio norte 2015-16, debilitándose gradualmente durante la primavera de 2016”.

12 de noviembre de 2015: “estatus del sistema de alerta del ENSO: advertencia del Niño
sinopsis: el Niño probablemente llegará a su máximo durante el invierno 2015-16 del hemisferio norte, anticipando la transición a un ENSO neutral durante la culminación de la primavera o inicio del verano 2016”.

10 de diciembre de 2015: “estatus del sistema de alerta del ENSO: advertencia del Niño
sinopsis: se espera que el Niño continúe fuerte durante el invierno 2015-16 del hemisferio norte, anticipándose una transición a un ENSO neutral tarde durante la primavera o temprano durante el verano 2016”.

14 de enero de 2016: “estatus del sistema de alerta del ENSO: advertencia del Niño
sinopsis: se espera que el Niño fuerte comience a debilitarse gradualmente a través de la primavera del 2016, y comience la transición a un ENSO-neutral durante la culminación de la primavera o a inicios del verano 2016”.

11 de febrero de 2016: “estatus del sistema de alerta del ENSO: advertencia del Niño
sinopsis: es probable una transición a ENSO-neutral tarde en la primavera o temprano en verano 2016 del hemisferio norte, con una posible transición a condiciones de la niña durante el otoño”.

10 de marzo de 2016: “estatus del sistema de alerta del ENSO: advertencia del Niño una transición a ENSO-neutral tarde en la primavera o temprano en el verano 2016 del hemisferio norte es bien probable, con cerca de un 50% de probabilidad a una transición a condiciones de la niña durante el otoño. todos los modelos indican que el Niño se debilitará, con una transición bien probable a ENSO-neutral tarde en la primavera o temprano en el verano 2016”.

14 de abril de 2016: “estatus del sistema de alerta del ENSO: advertencia del Niño/vigilancia de la niña sinopsis: una transición a ENSO-neutral es probable tarde en la primavera del hemisferio norte o temprano en el verano 2016, con un aumento en la probabilidad de la niña durante la segunda mitad del año”.

12 de mayo de 2016: “estatus del sistema de alerta del ENSO: advertencia del Niño/vigilancia de la niña sinopsis: es favorecido un desarrollo de la niña durante el verano del 2016 en el hemisferio norte, con una posibilidad de 75% de la niña durante el otoño y el invierno del 2016-17”.

9 de junio de 2016: “estatus del sistema de alerta del ENSO: advertencia final del Niño /vigilancia de la niña sinopsis: es favorecido un desarrollo de la niña durante el verano del 2016 en el hemisferio norte, con una posibilidad de 75% de la niña durante el otoño y el invierno del 2016-17”.

Tabla 3 - 6: influencia del anuncio de inicio del Niño en el precio, 2014-2016

Fecha anuncio	Porcentaje de cambio con respecto al precio el día del anuncio a los									
	5 días	10 días	15 días	20 días	25 días	30 días	35 días	40 días	45 días	50 días
IDEAM: 16 de septiembre de 2015	41,94	209,33	304,11	509,79	100,90	231,66	157,95	160,43	164,45	164,58

Tabla 3 - 7: influencia del anuncio de fin del Niño en el precio, 2014 - 2016

Fecha anuncio	Porcentaje de cambio con respecto al precio el día del anuncio a los								
	5 días	10 días	15 días	20 días	25 días	30 días	35 días	40 días	45 días
IDEAM: 16 de marzo de 2016 debilitamiento Niño	-13,54	-7,31	-9,89	-29,82	-58,52	-77,85	-80,71	-73,83	-82,32

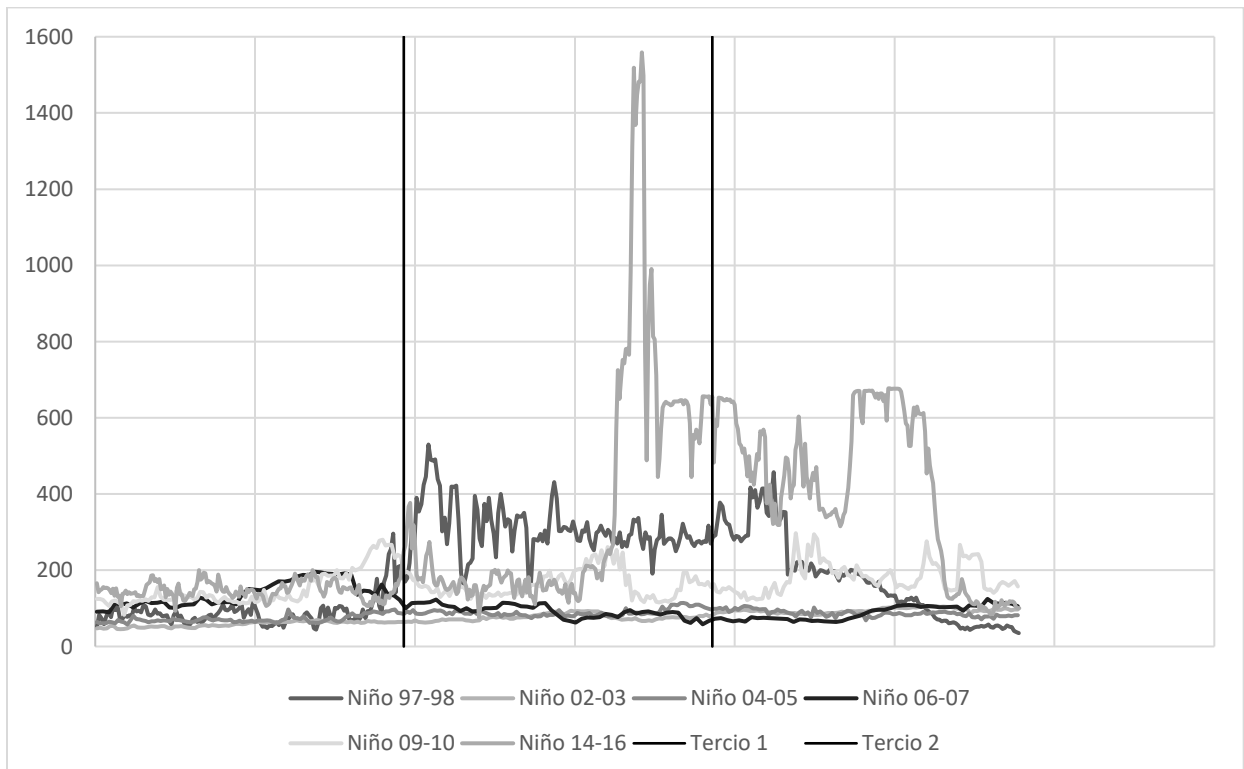
Se concluye: Según la **gráfica 3-104** los meses donde se debieron obtener los mayores precios de bolsa son marzo, enero y febrero de 2016, sin embargo esto no fue del todo cierto ya que el mes con mayores precios promedios fue octubre de 2015 seguido de marzo de 2016. El incremento abrupto de precios ocurre a partir del 20 de septiembre de 2016, tan solo cuatro días después de que el IDEAM anunciara que el Niño alcanzaba la categoría fuerte, además en septiembre el porcentaje de aportes hídricos con respecto a la media cayó a un 66%, mientras que en agosto había sido cerca del 97%. Todo esto indica que, aunque el porcentaje de generación a partir de recursos térmicos no fue tan alto en octubre de 2015 como en marzo de 2016 el alza de precios fue mayor debido a la alarma de Niño fuerte y a la reducción de aportes hídricos. En los primeros días de octubre de 2015 se presentaron los precios más altos de este periodo de Niño, pero de octubre a noviembre los aportes hídricos aumentaron un poco, lo que permitió que los precios cayeran también un poco. A partir de noviembre los precios empiezan a estabilizarse en un valor alto, pero no extremo como los de octubre. El fenómeno empieza a debilitarse a partir de enero como lo indican los centros especializados en especial la NOAA y el aumento de aportes hídricos, sin embargo los precios vuelven a aumentar a partir del 15 de febrero de 2016 debido a un incidente importante en el sistema, que produjo la salida de operación de uno de los embalses más importantes de Colombia, como lo es Guatapé, esto produjo que durante los días restantes de febrero y los iniciales de marzo de 2016 aumentaran

los precios nuevamente. El 10 y 16 de marzo los reportes de la NOAA y del IDEAM respectivamente, hablan del debilitamiento del Niño y del paso a condiciones neutrales, esto sumado al aumento de los aportes hídricos, y a las noticias sobre las reparaciones de Guatapé [27] permiten que los precios caigan a partir del abril.

3.3 Comparación de los fenómenos del Niño

Para el siguiente análisis la duración de cada Niño se dividió en tres tercios de igual número de días. En general el mayor aumento de los precios de bolsa ocurrió en los Niños de mayor intensidad, el de 1997-1998 y el ocurrido en 2014 – 2016, después le siguen los fenómenos de intensidad o categoría moderada, Niño 2002 – 2003 y Niño 2009 – 2010, y finalmente en los Niños de categoría débil 2004 – 2005 y 2006 – 2007, se observa el menor incremento de precios. También es común que durante el fenómeno el mayor aumento de precios ocurra en el segundo tercio del Niño que es equivalente a la fase de madurez del fenómeno, esto fue excepción en el Niño 2006 – 2007 donde el aumento de precios ocurrió en el primer mes del Niño.

Gráfica 3 - 107: comportamiento de los precios en cada Niño



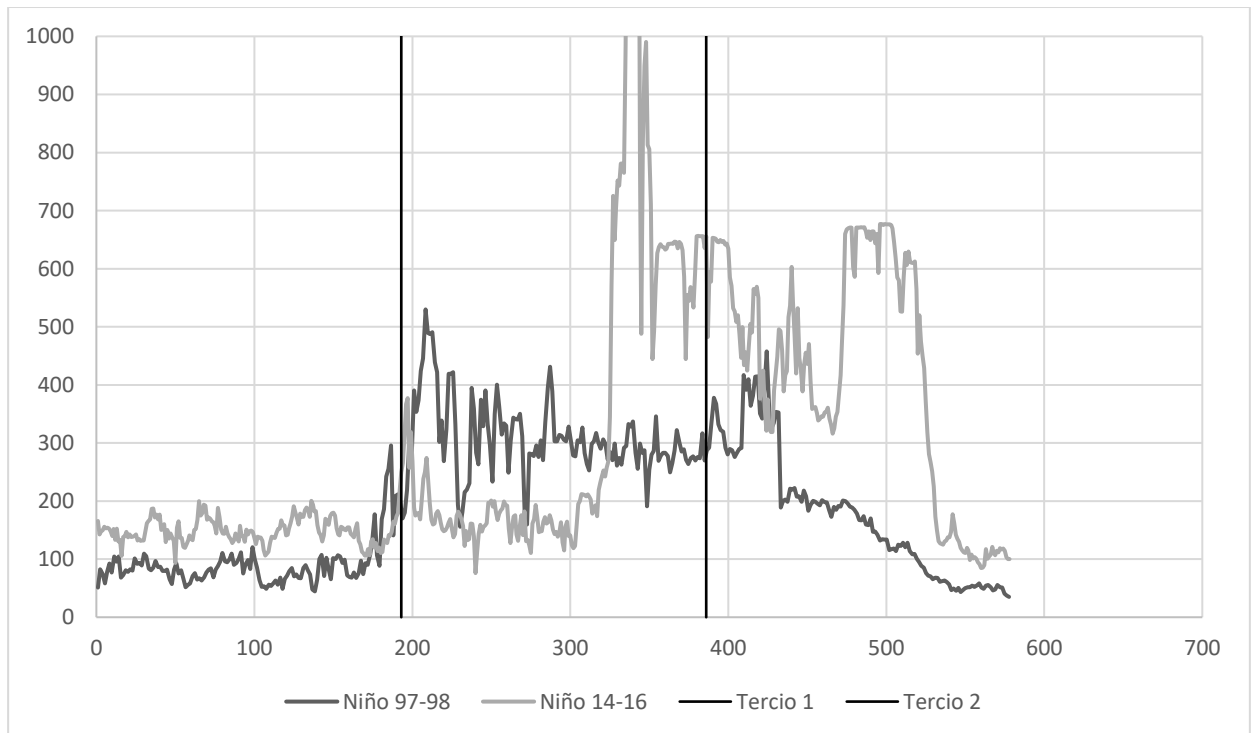
Comportamientos similares

En los fenómenos de categoría fuerte, se presentó un aumento súbito de precios en el segundo tercio del Niño seguido de un periodo estable con precios altos, y finalmente disminución de los precios en el último tercio del Niño. El primer aumento súbito de precios está asociado al anuncio de Niño y los efectos de la etapa temprana del fenómeno, el periodo estable a los efectos físicos del Niño en la fase de madurez, y la disminución de precios está asociada al anuncio de fin de Niño y los efectos físicos del debilitamiento del Niño.

En los dos fenómenos de categoría moderada que se analizaron, ocurren tres pequeños periodos de tiempo donde los precios aumentan y disminuyen durante la ocurrencia del Niño. En el fenómeno del año 2009 -2010 este comportamiento es más evidente y el alza de precios es de mayor magnitud.

En los fenómenos de categoría débil en general se observa que no se afecta mucho el precio de bolsa, el alza de precios en el fenómeno del año 2006 – 2007 se asocia al anuncio repentino de ocurrencia de Niño.

Gráfica 3 - 108: fenómenos de categoría fuerte



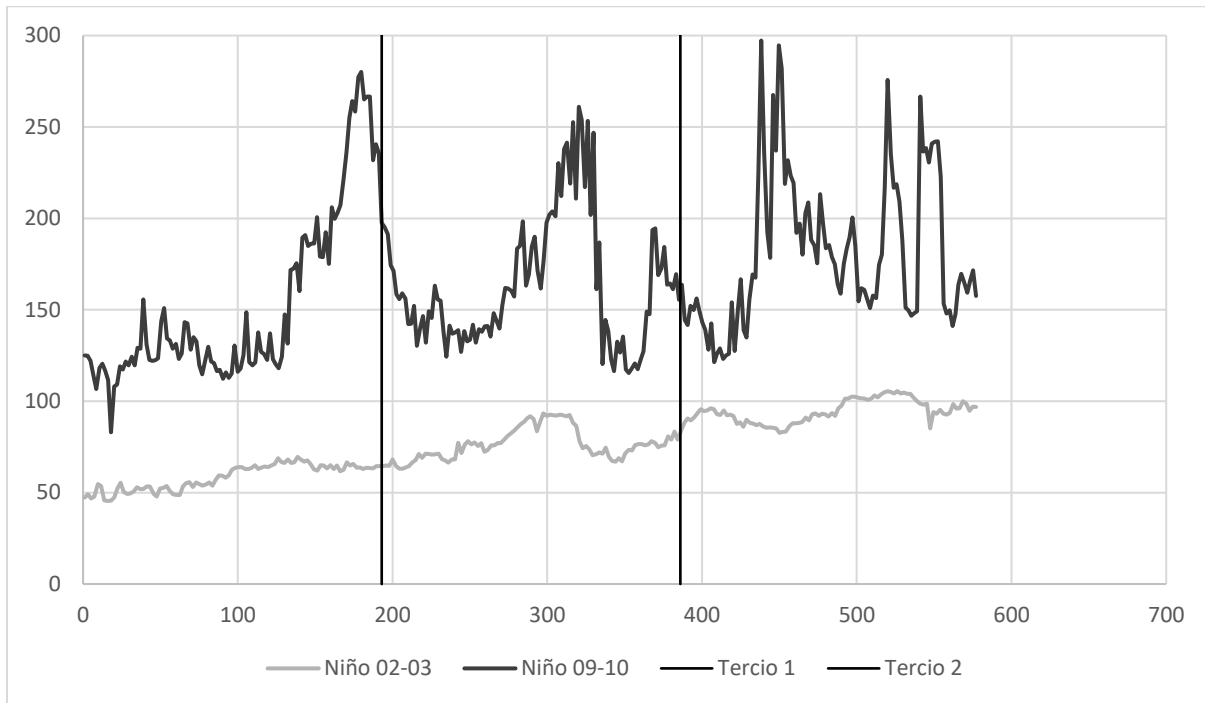
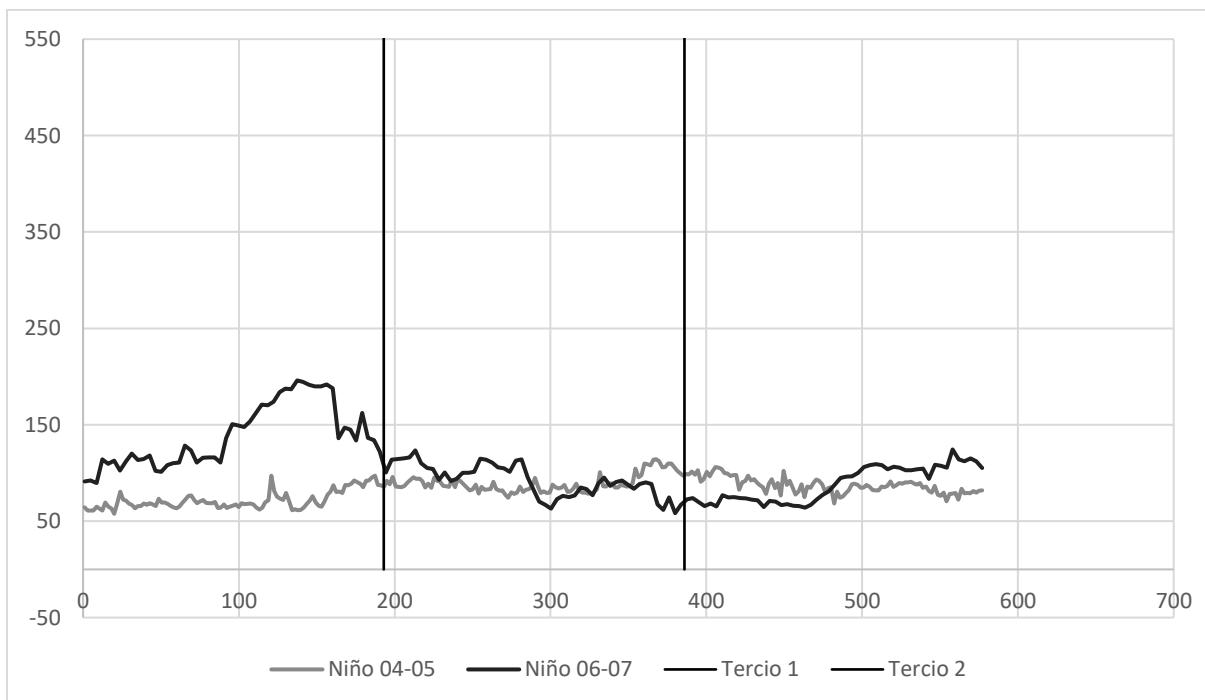
Gráfica 3 - 109: fenómenos de categoría moderada**Gráfica 3 - 110:** fenómenos de categoría débil

Tabla 3 - 8: comparación de los diferentes fenómenos del Niño

Niño	Duración	Categoría	Tiempo transcurrido desde el inicio físico hasta el anuncio	Días transcurridos después del anuncio, hasta el inicio de alza de precios	Mayor porcentaje de cambio respecto al precio el día del anuncio
Mayo 1997 - mayo 1998	13 Meses	Fuerte	3 meses Niño fuerte (No hay fecha exacta de anuncio, referencia 31 de agosto)	1	498% entre 15 y 20 días después
Junio 2002 - febrero 2003	9 meses	Moderado	4 meses	1	26%, entre 15 y 20 días después
Julio 2004 - abril 2005	10 meses	Débil	No fue anunciado por IDEAM	No fue anunciado por IDEAM	No hubo cambios importantes en el precio
Septiembre 2006 - enero 2007	5 meses	Débil	19 días	5	58% entre 15 y 20 días después
Julio 2009 - abril 2010	10 meses	Moderado	1 mes y medio	5	50 % entre 15 y 20 días después
Noviembre 2014 - mayo 2016	19 meses	Fuerte	10 meses Niño débil 15 meses y medio/ anuncio niño fuerte	3	541 % entre 20 y 25 días después

4. Conclusiones

4.1 Conclusiones

El proceso de aumento de precios de electricidad de condiciones normales a precios extremos altos está determinado por la categoría del fenómeno, su intensidad y el seguimiento informativo que haga el IDEAM al fenómeno, este seguimiento es mucho más determinante que el que realiza la NOAA.

Los fenómenos de categoría moderada y fuerte son los que producen un mayor aumento de los precios. Durante el inicio del fenómeno los efectos físicos, como lo son la disminución de aportes hídricos lo que a su vez produce un aumento en la generación a partir de recursos térmicos, producen un alza inicial de los precios gradual y no muy considerable, pero el anuncio de que está ocurriendo un fenómeno moderado o fuerte puede intensificar esta alza de precios.

El anuncio de un Niño de categoría débil no afecta en gran medida los precios de bolsa.

El anuncio de un Niño de categoría fuerte o moderada puede producir un aumento de precios de bolsa dentro de los primeros cinco días.

El anuncio de fenómeno del Niño de categoría moderada puede producir un aumento de hasta el 50% de los precios de bolsa pasados entre 15 y 20 días.

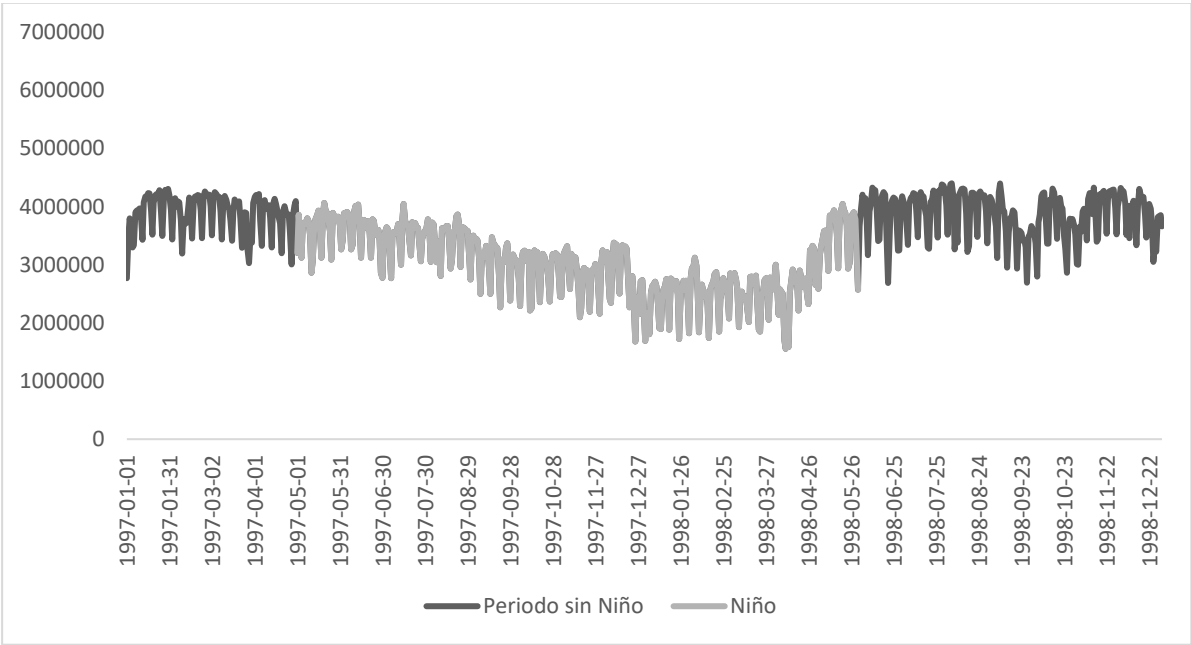
El anuncio de fenómeno del Niño de categoría fuerte puede producir un aumento de hasta el 500% de los precios de bolsa pasados entre 15 y 25 días.

Después de aproximadamente 25 días del anuncio de un Niño moderado o fuerte los precios caen a un valor superior a las condiciones normales pero menor a los picos extremos, y están determinados por los efectos físicos del fenómeno.

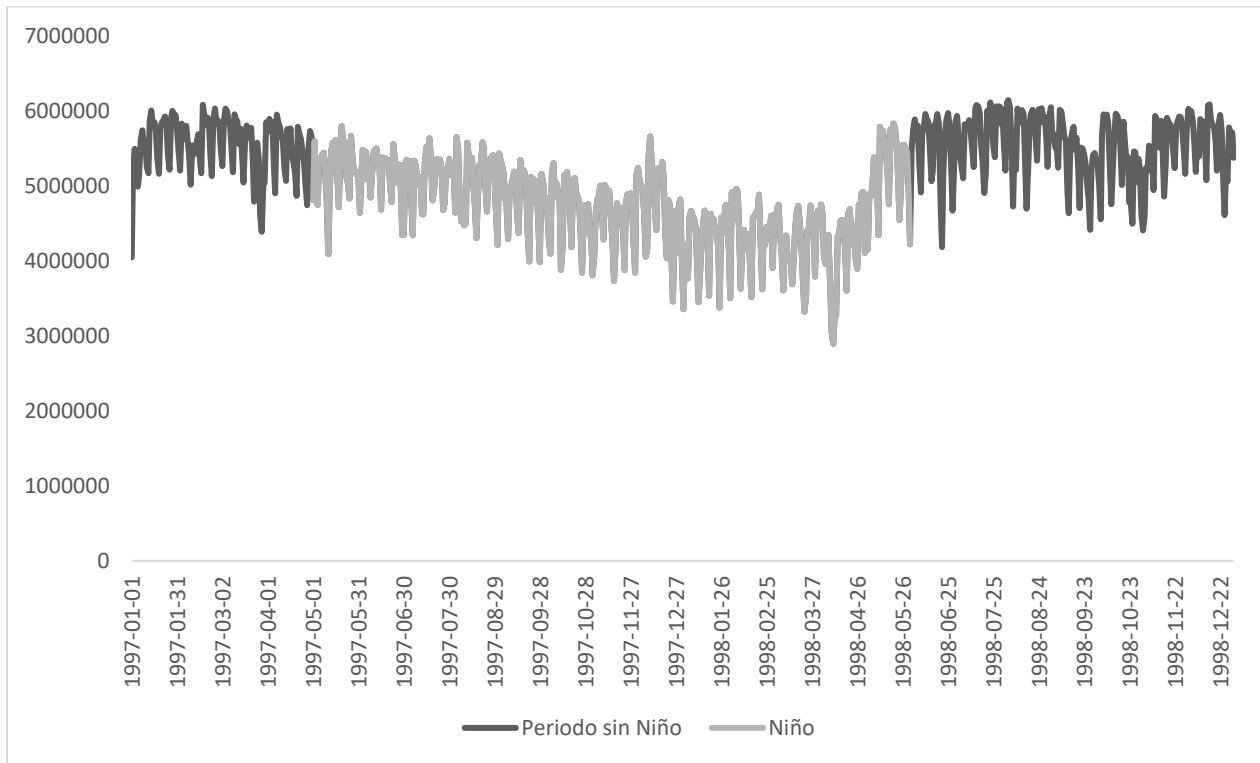
Los precios empiezan a disminuir a medida que disminuyen los efectos del fenómeno, cuando se hace un anuncio de que el fenómeno se está debilitando o ha terminado por completo, se intensifica la caída de los precios a valores normales. Mientras que el alza de precios se da de forma abrupta a picos extremos, cuando los precios disminuyen ocurren dos etapas, primero caen a valores estables que están por encima de condiciones normales y que son principalmente determinados por los efectos del Niño (producción a partir de recursos térmicos), luego debido al debilitamiento del Niño impulsado por los anuncios de fin de Niño se normalizan totalmente.

A. Anexo: Gráficas complementarias sobre generación

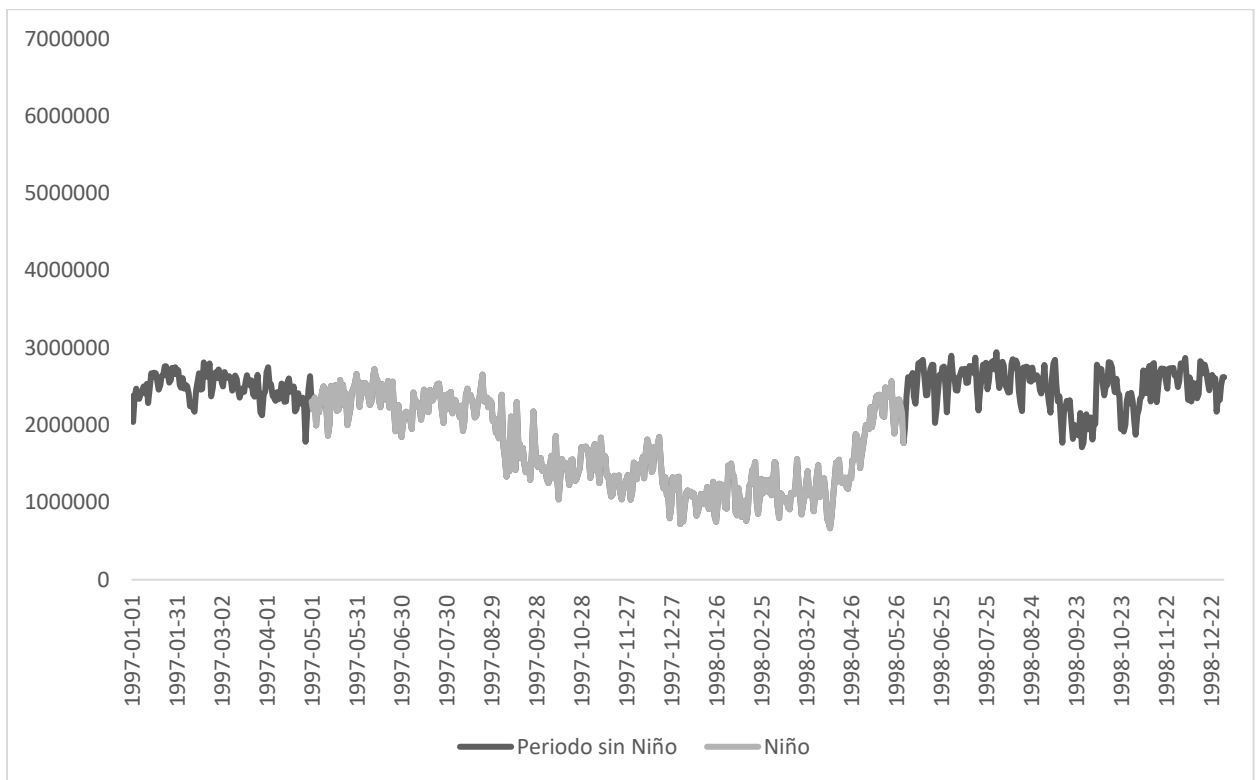
Gráfica A - 1: generación hidráulica diaria promedio (kWh) 1997 - 1998



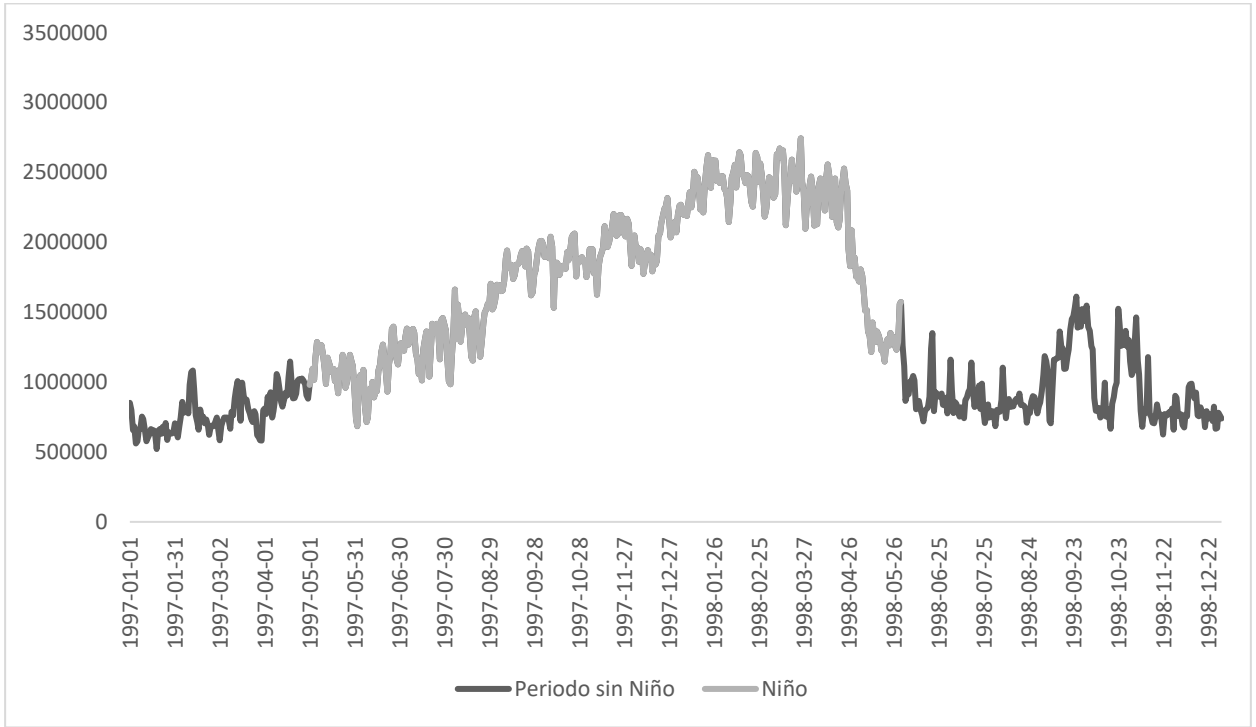
Gráfica A - 2: generación hidráulica en hora pico (kWh) 1997 - 1998



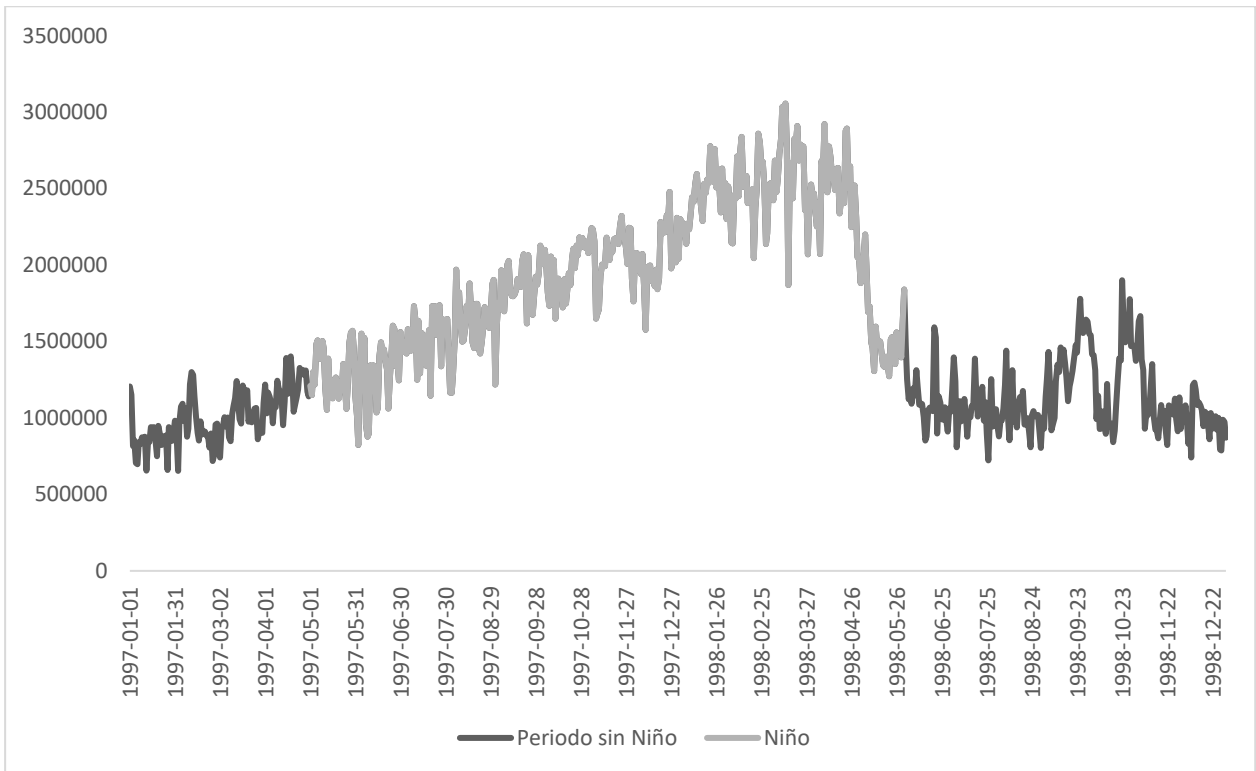
Gráfica A - 3: generación hidráulica en hora valle (kWh) 1997 - 1998



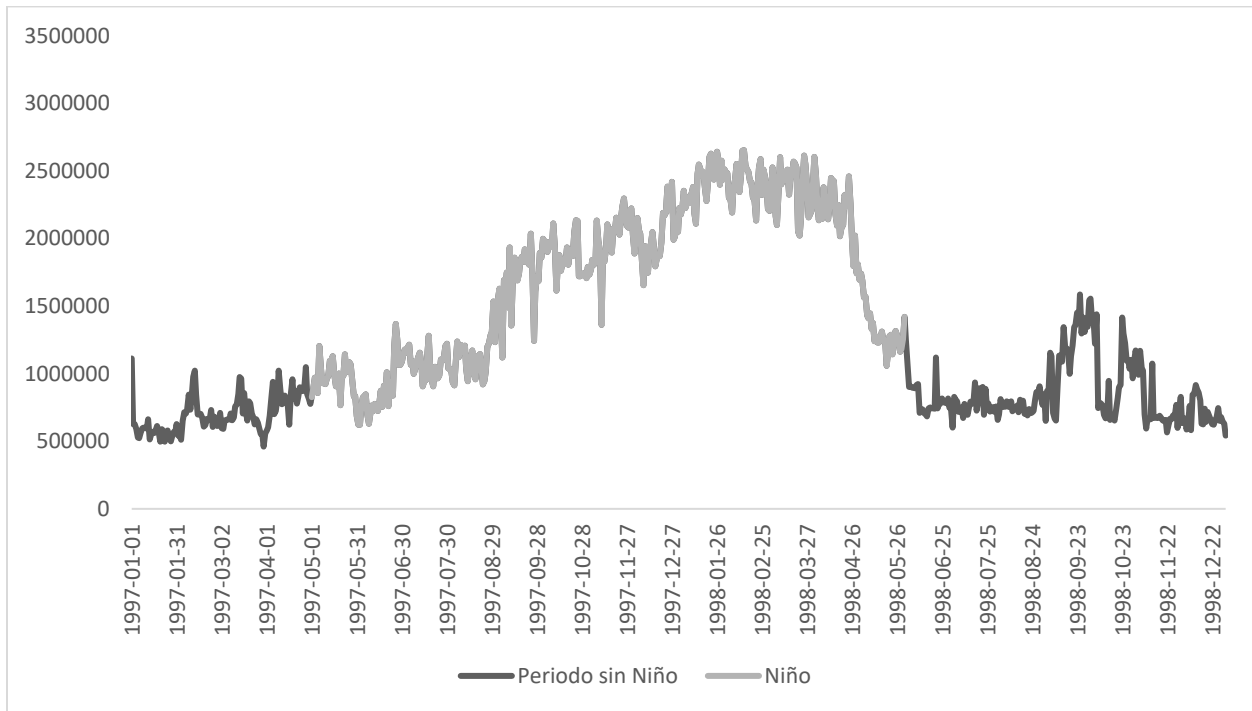
Gráfica A - 4: generación térmica diaria promedio (kWh) 1997 - 1998



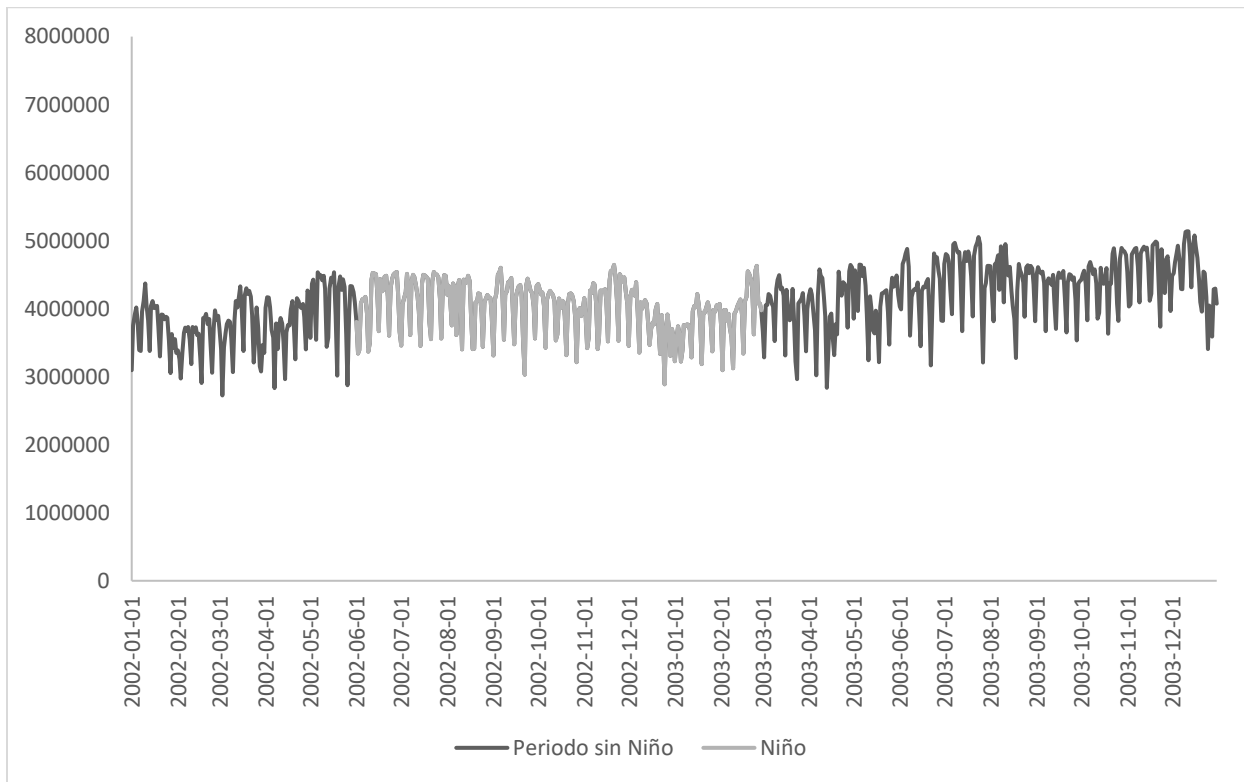
Gráfica A - 5: generación térmica en hora pico (kWh) 1997 - 1998



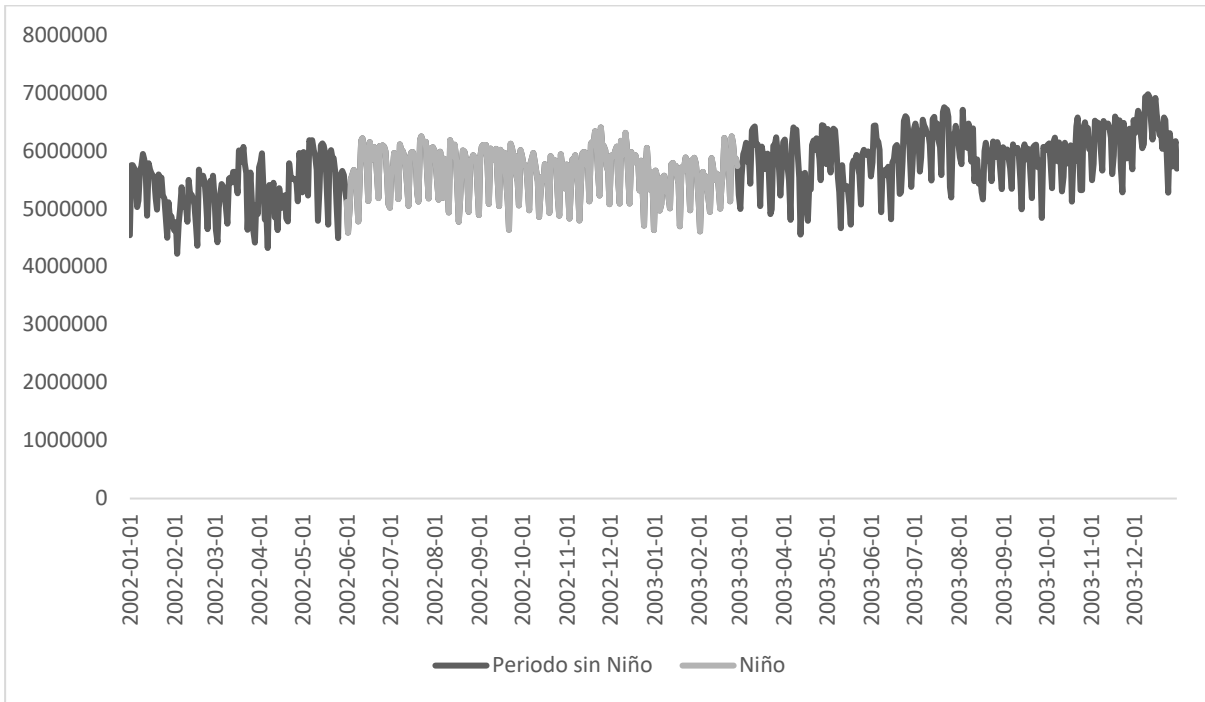
Gráfica A - 6: generación térmica en hora valle (kWh) 1997 - 1998



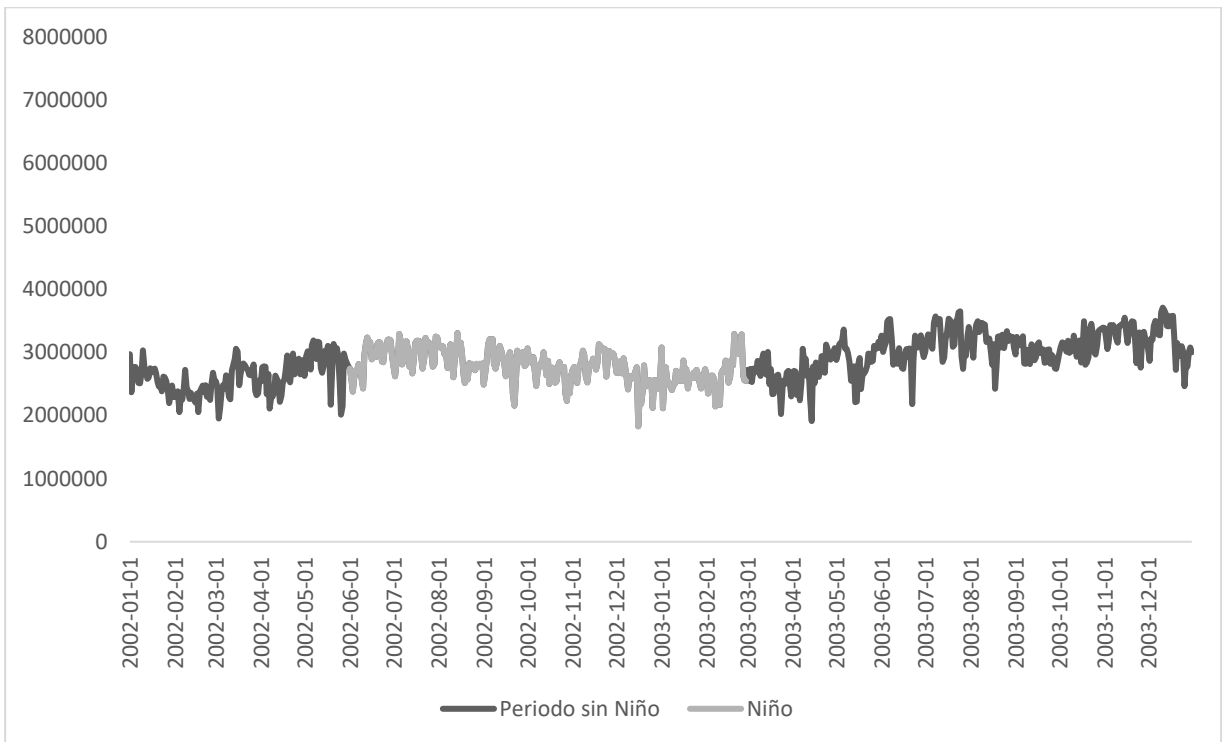
Gráfica A - 7: generación hidráulica diaria promedio (kWh) 2002 - 2003



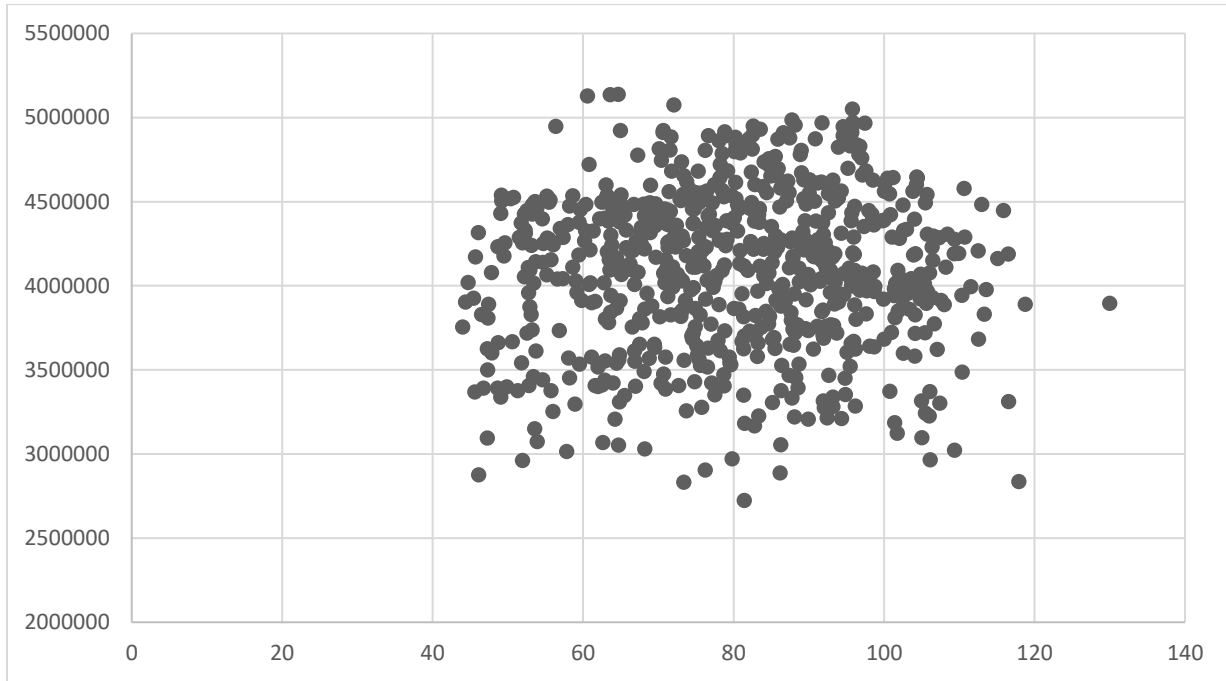
Gráfica A - 8: generación hidráulica en hora pico (kWh) 2002 - 2003



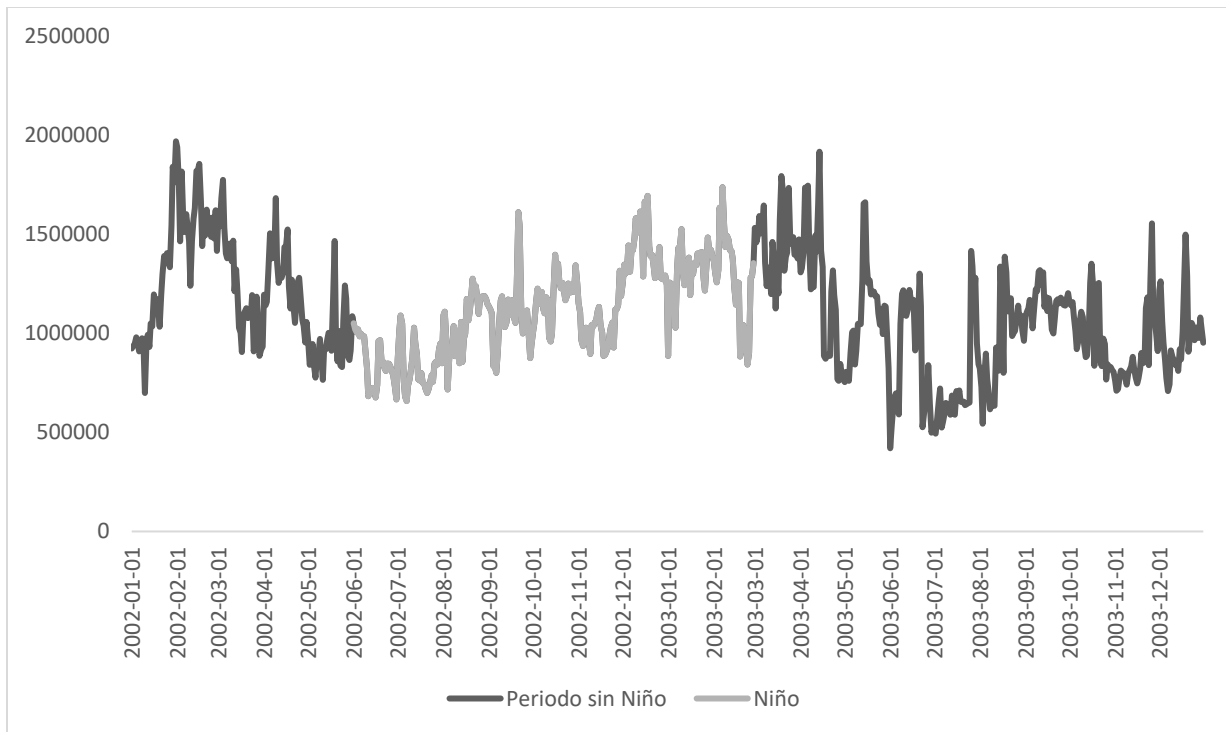
Gráfica A - 9: generación hidráulica en hora valle (kWh) 2002 - 2003



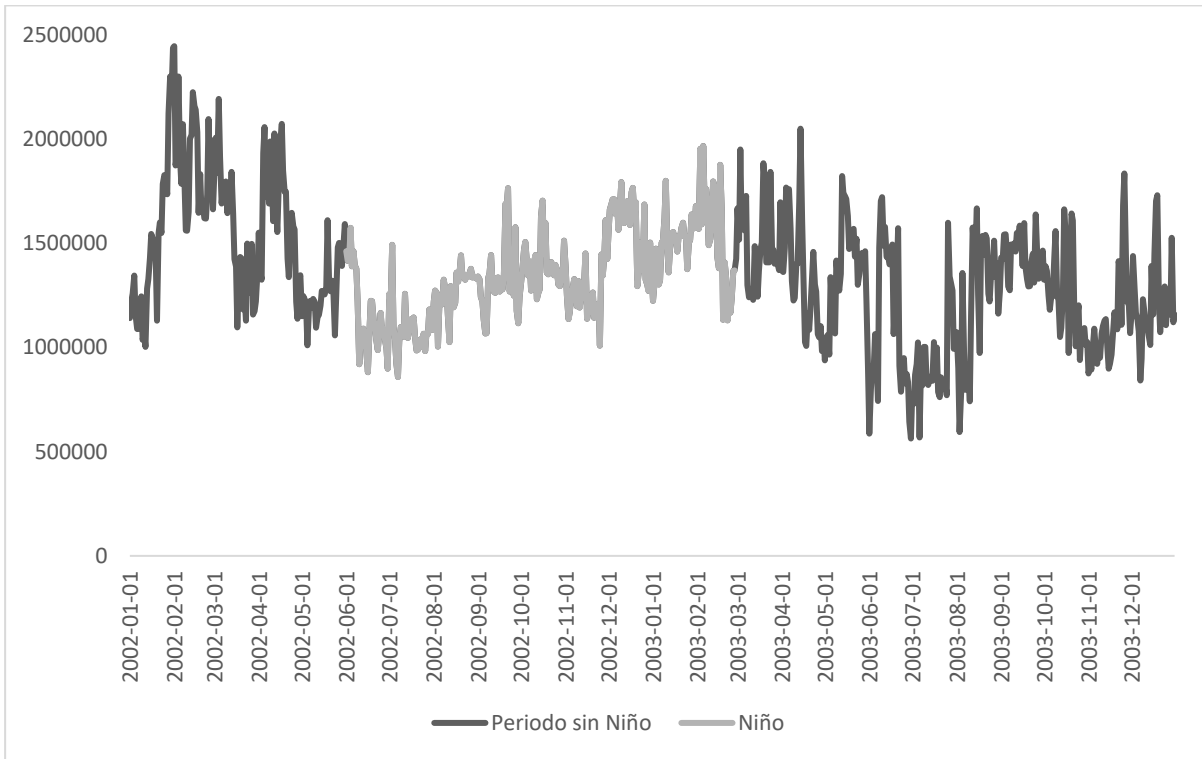
Gráfica A - 10: precios de bolsa VS generación hidráulica (kWh) promedios diarios 2002 - 2003



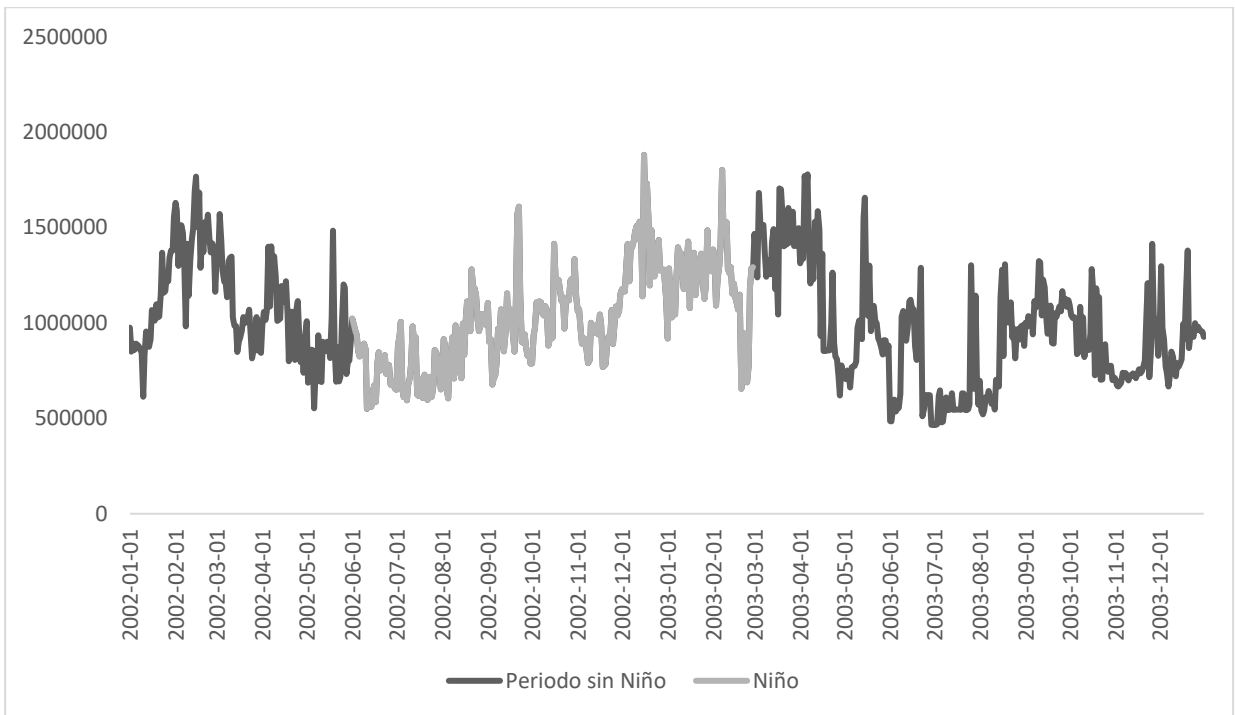
Gráfica A - 11: generación térmica diaria promedio (kWh) 2002 - 2003



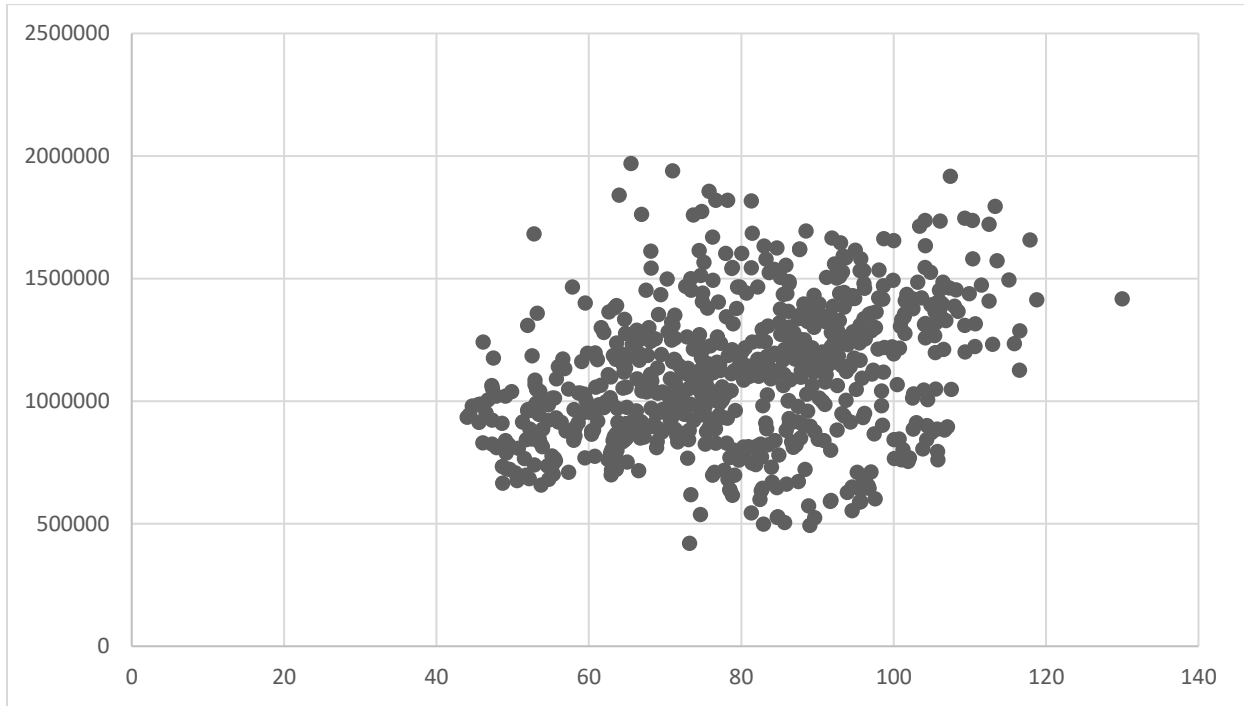
Gráfica A - 12: generación térmica en hora pico (kWh) 2002 - 2003



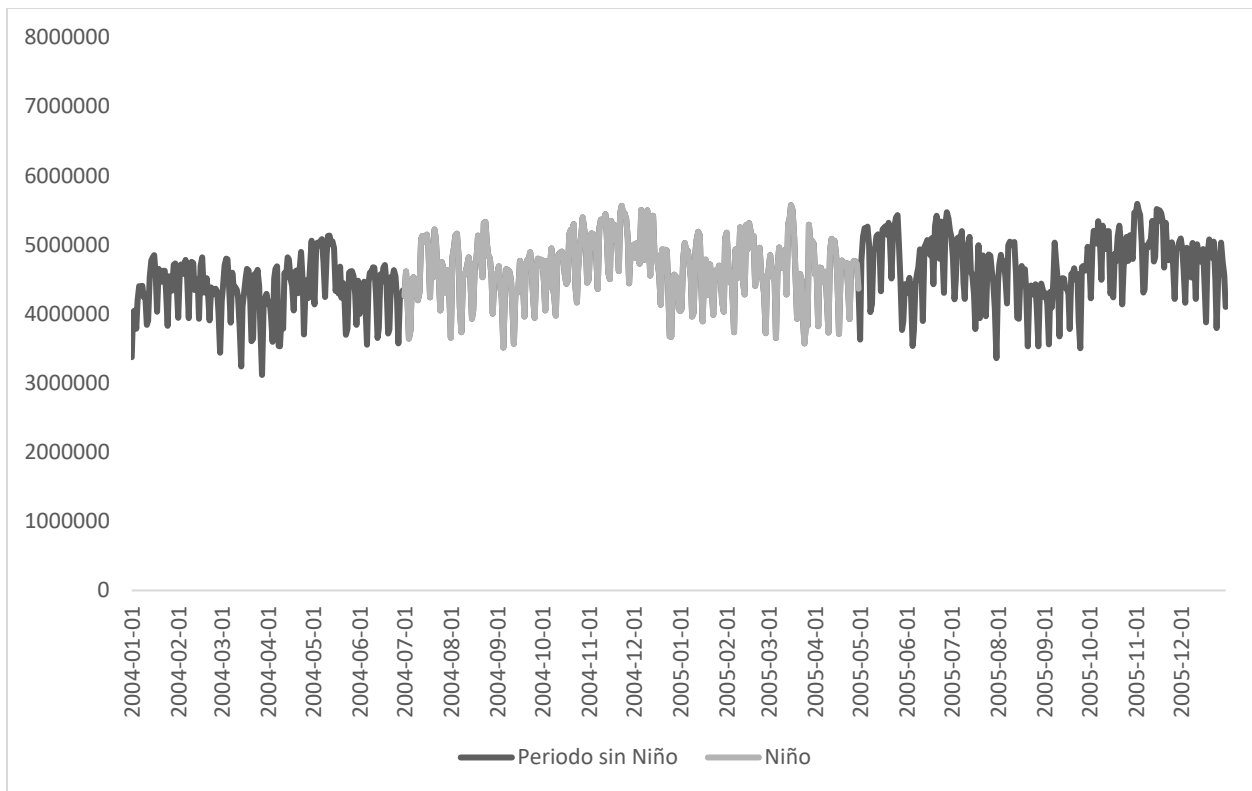
Gráfica A - 13: generación térmica en hora valle (kWh) 2002 - 2003



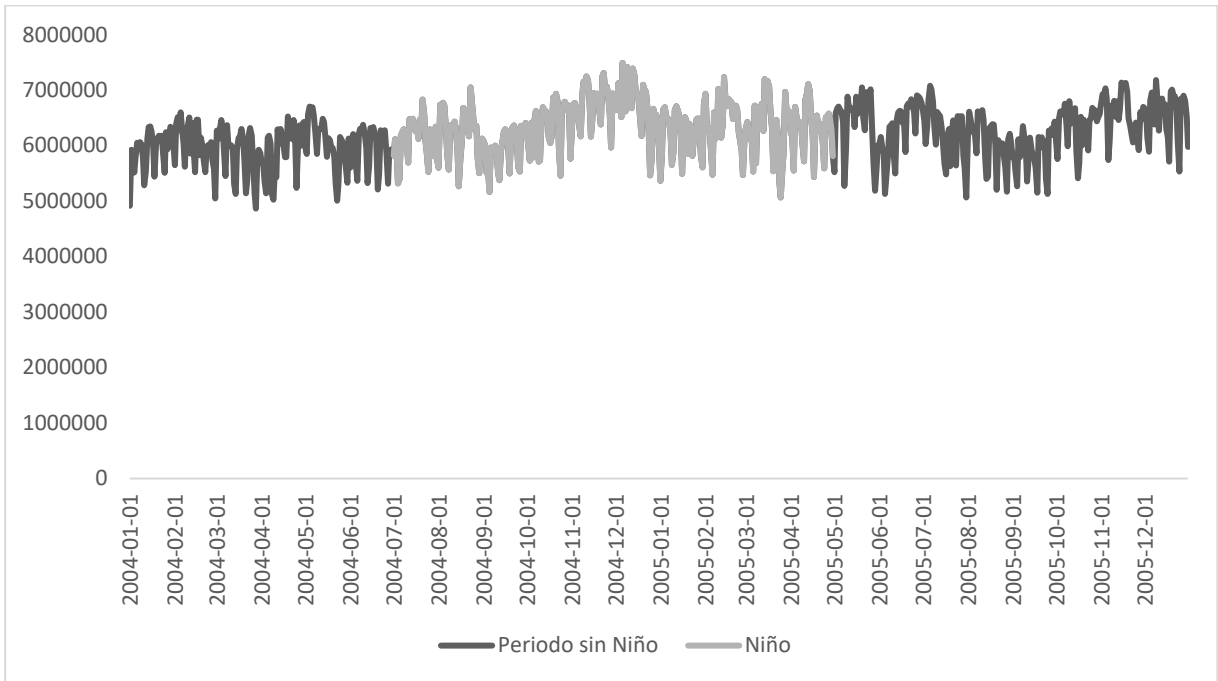
Gráfica A - 14: precios de bolsa Vs generación térmica (kWh) promedios diarios 2002 - 2003



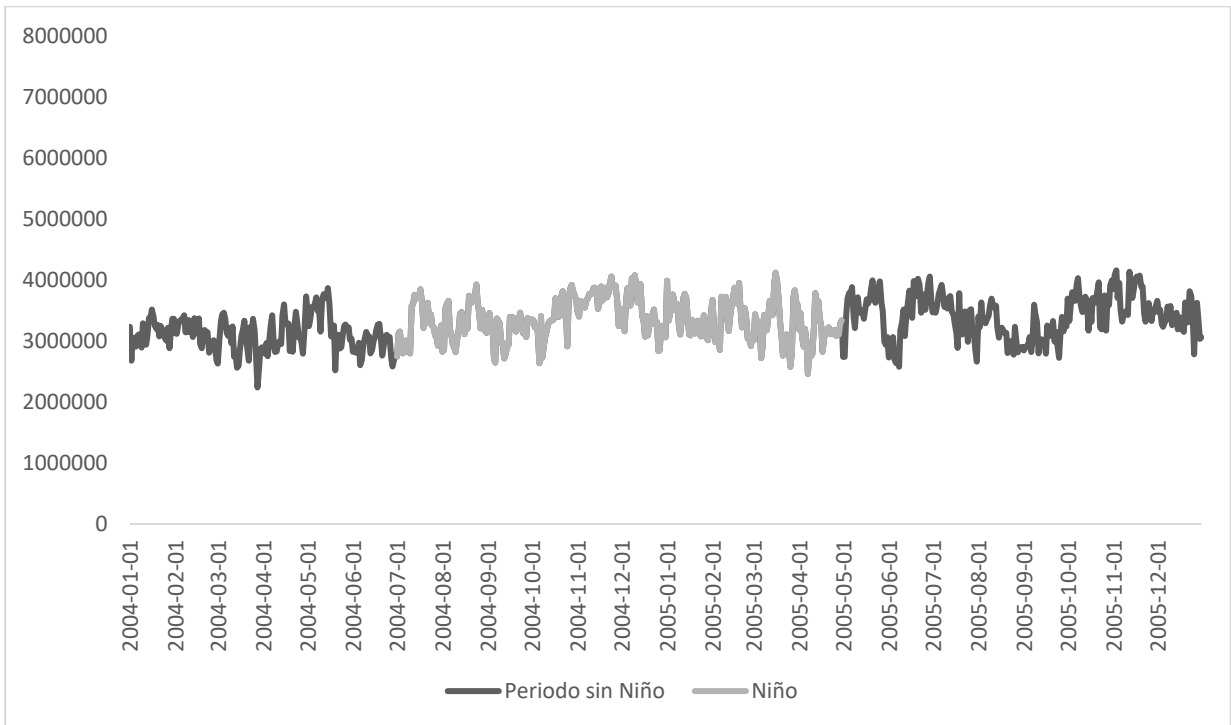
Gráfica A - 15: generación hidráulica diaria promedio (kWh) 2004 - 2005



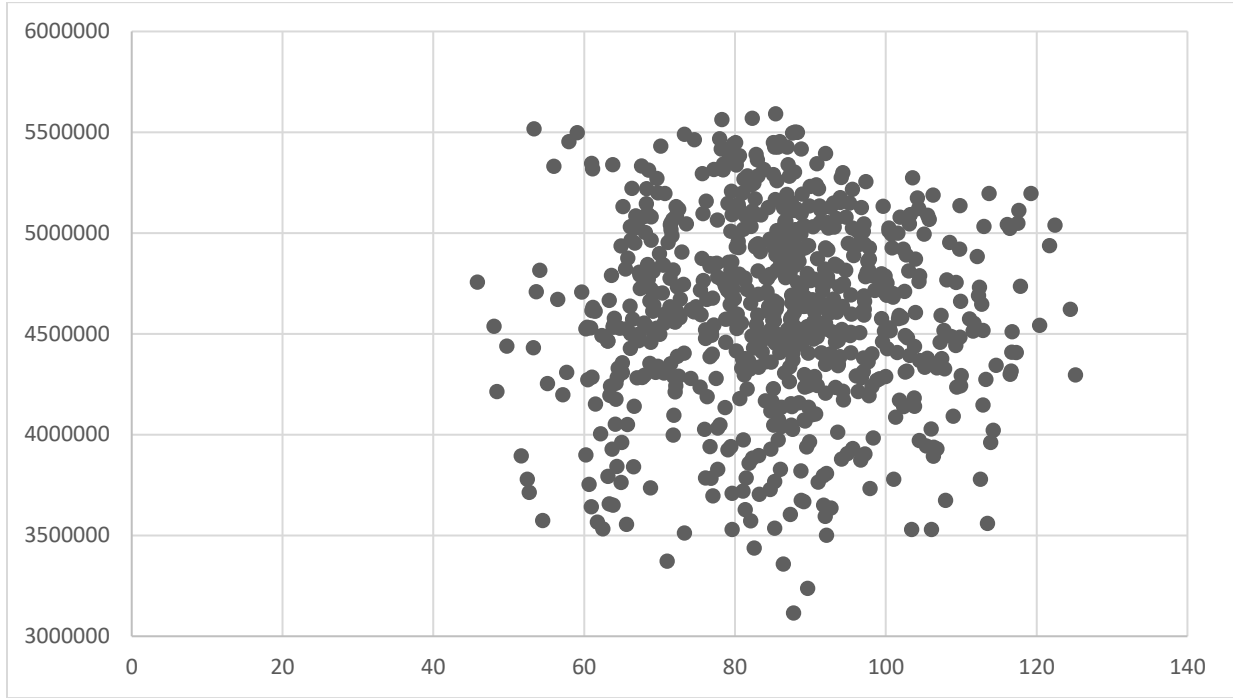
Gráfica A - 16: generación hidráulica en hora pico (kWh) 2004 - 2005



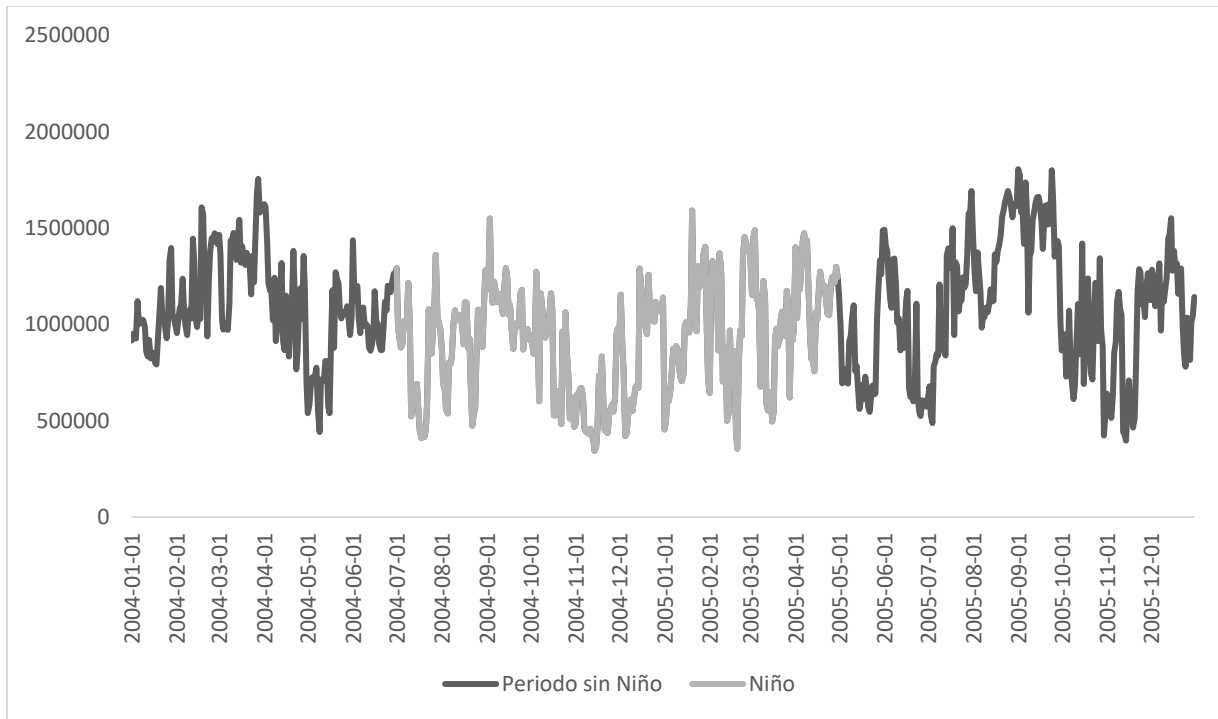
Gráfica A - 17: generación hidráulica en hora valle (kWh) 2004 - 2005



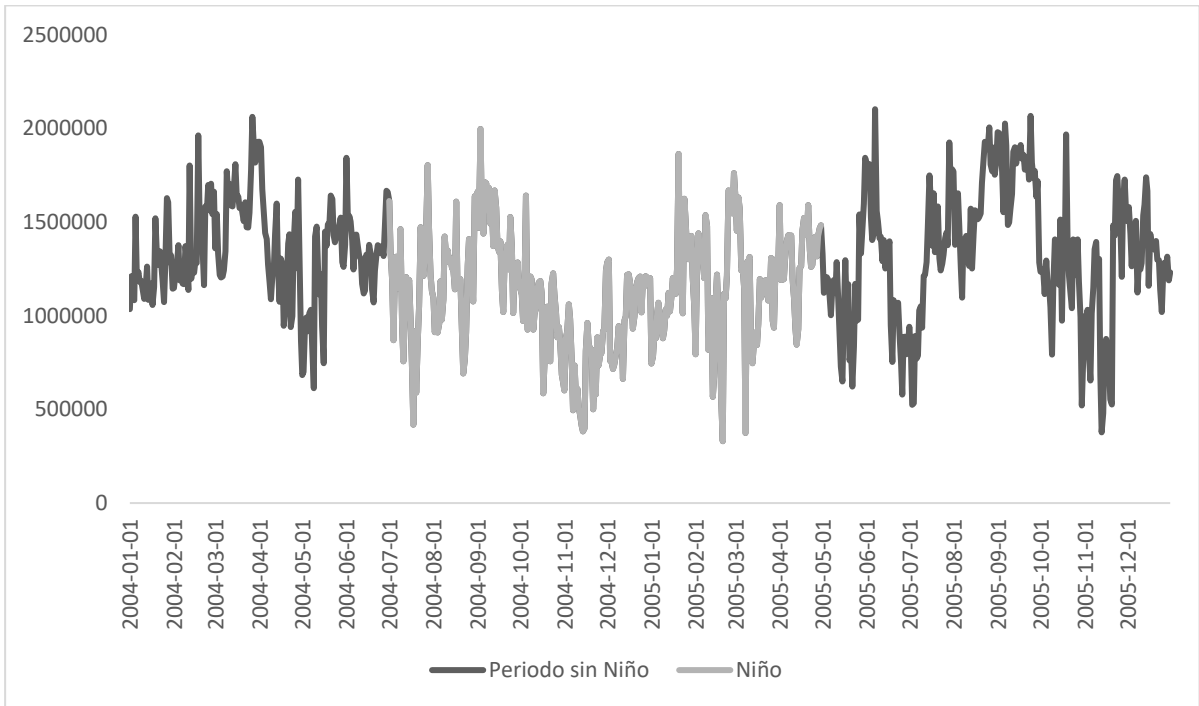
Gráfica A - 18: precios de bolsa Vs generación hidráulica (kWh) promedios diarios 2004 - 2005



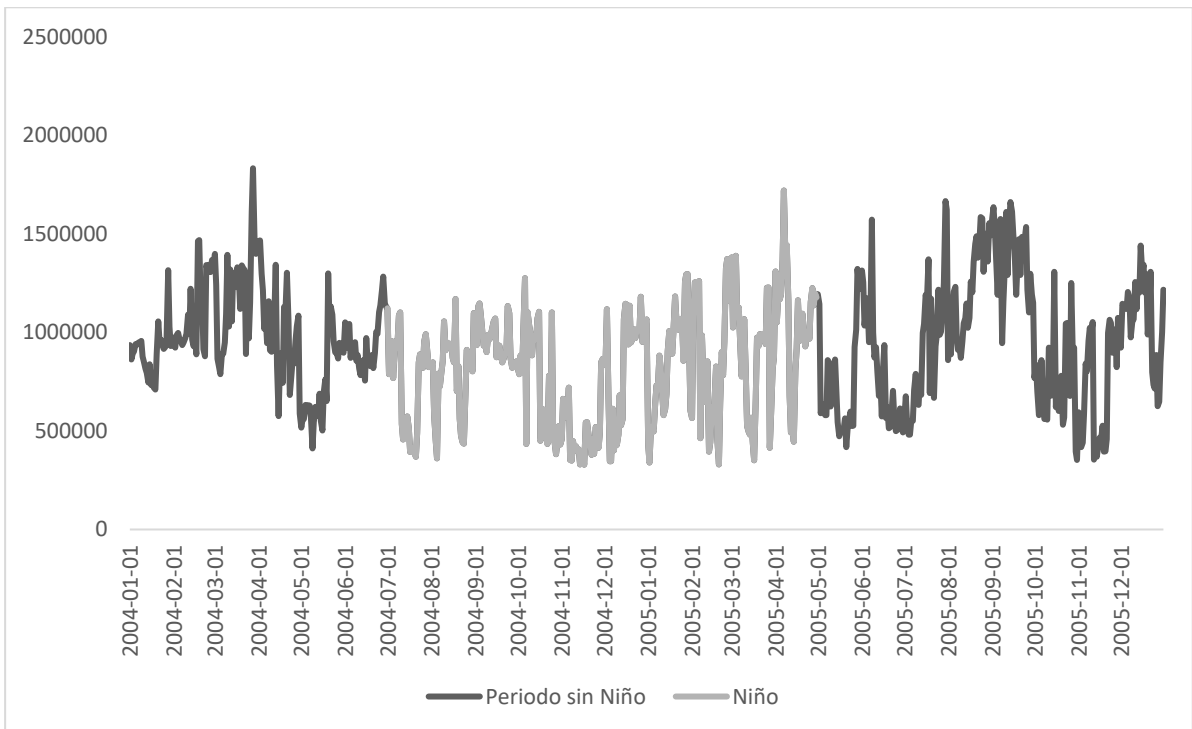
Gráfica A - 19: generación térmica diaria promedio (kWh) 2004 - 2005



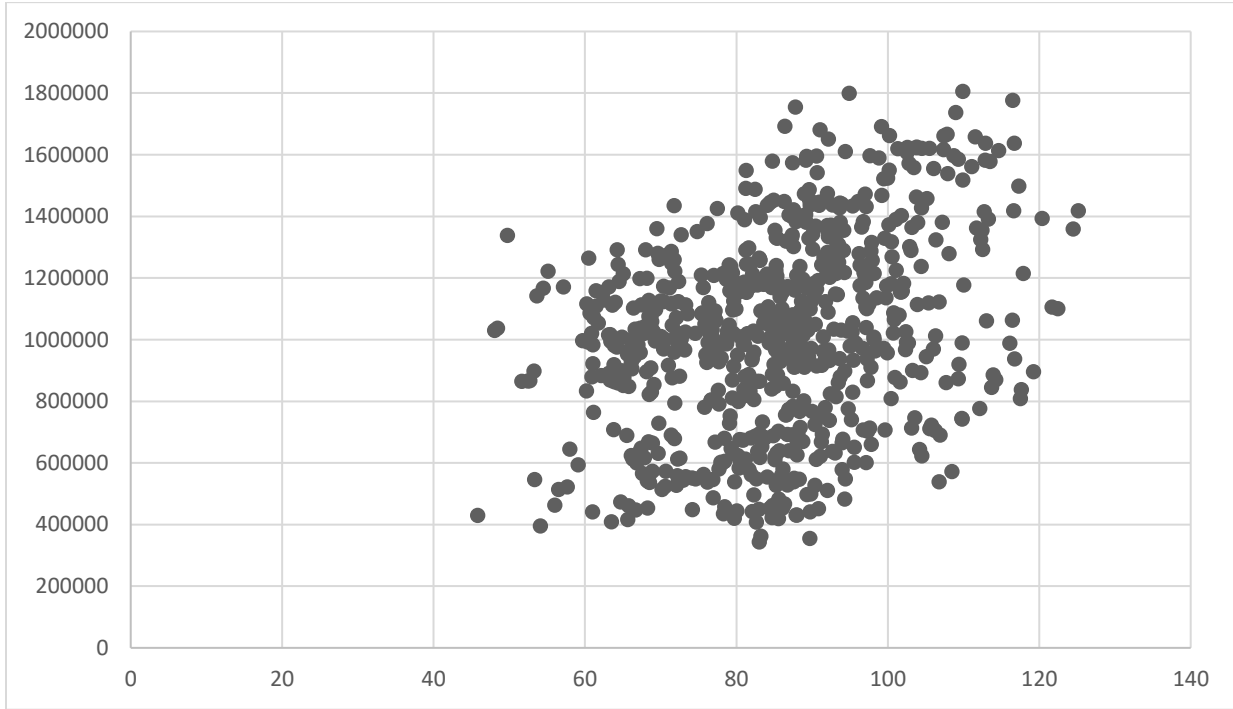
Gráfica A - 20: generación térmica en hora pico (kWh) 2004 - 2005



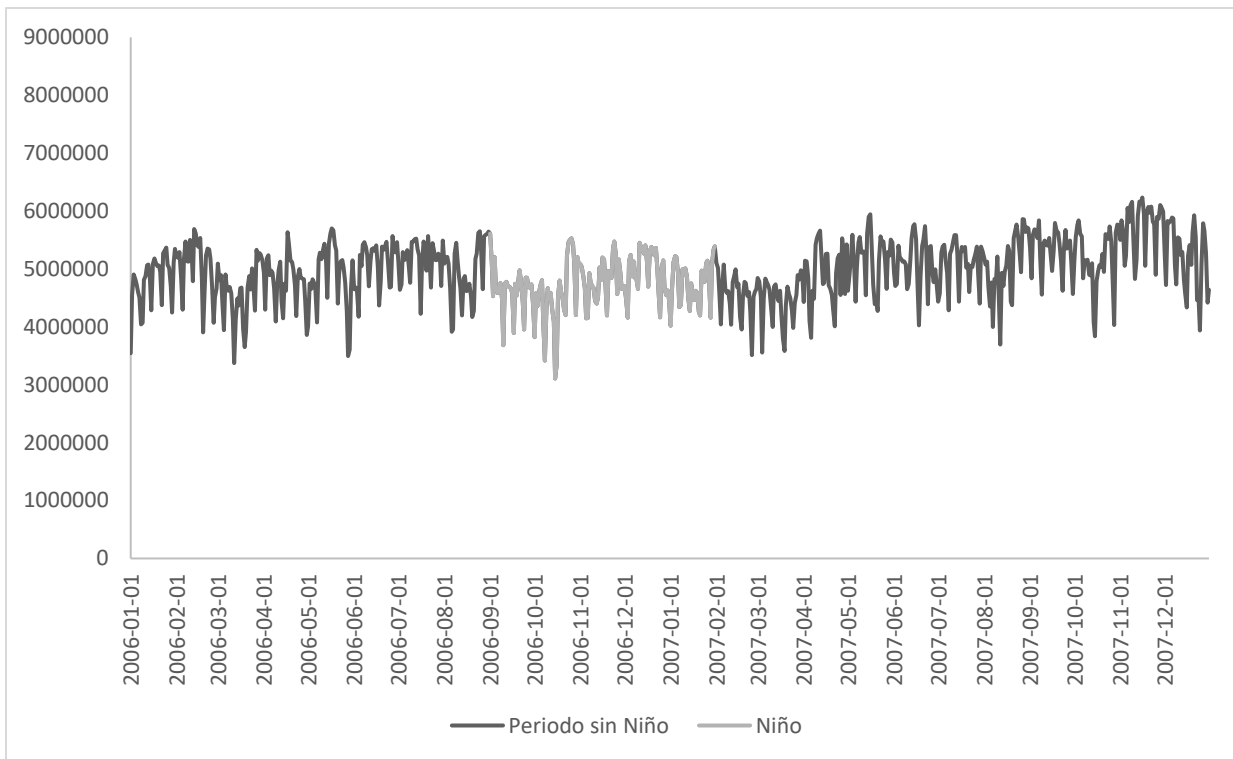
Gráfica A - 21: generación térmica en hora valle (kWh) 2004 - 2005



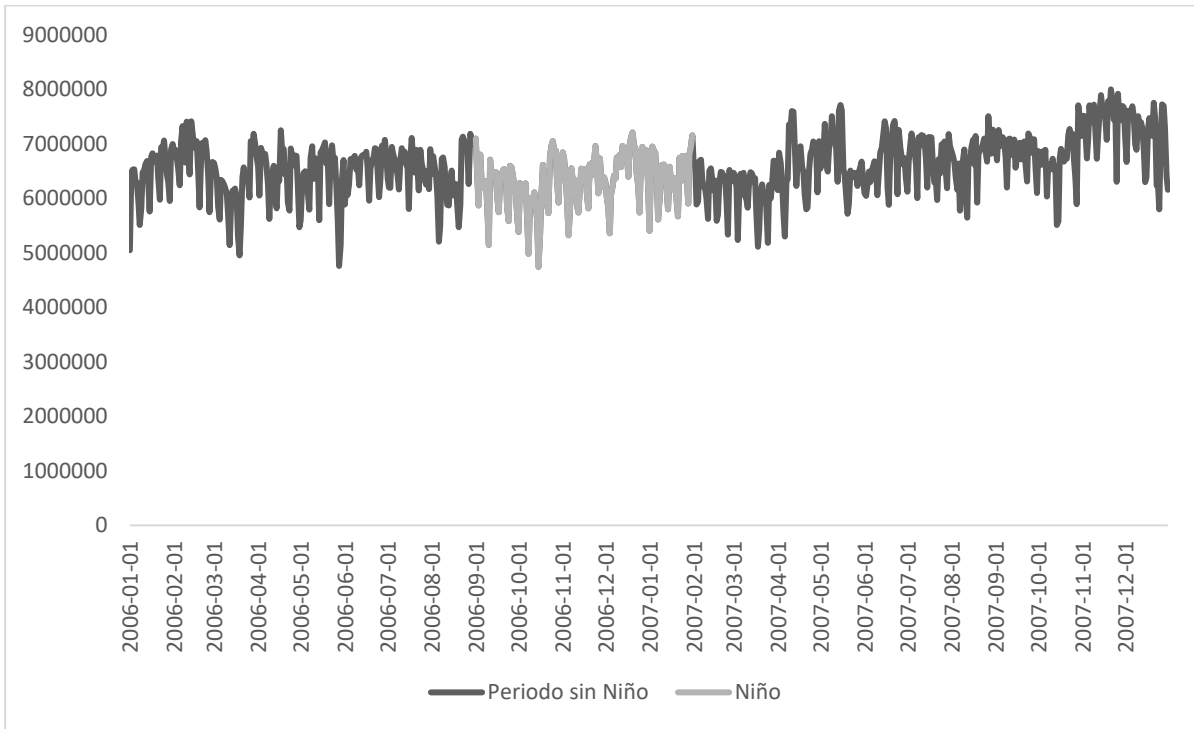
Gráfica A - 22: precios de bolsa Vs generación térmica (kWh) promedios diarios 2004 - 2005



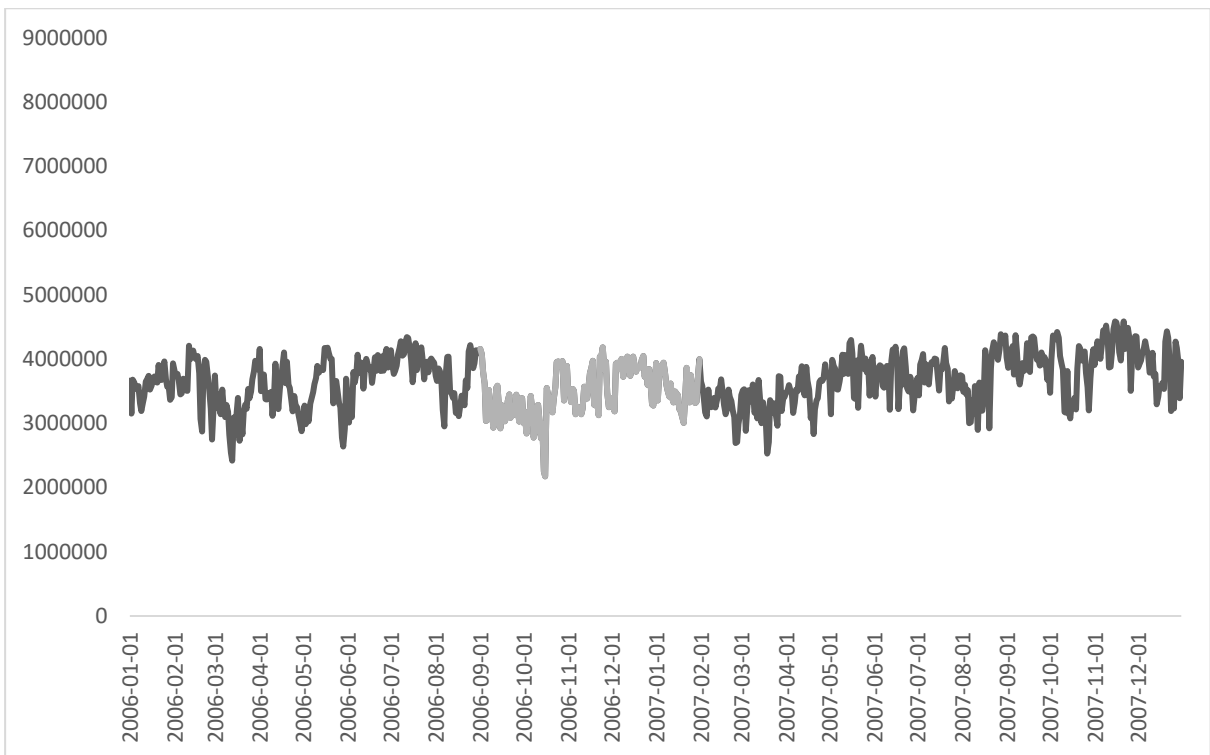
Gráfica A - 23: generación hidráulica diaria promedio (kWh) 2006 - 2007

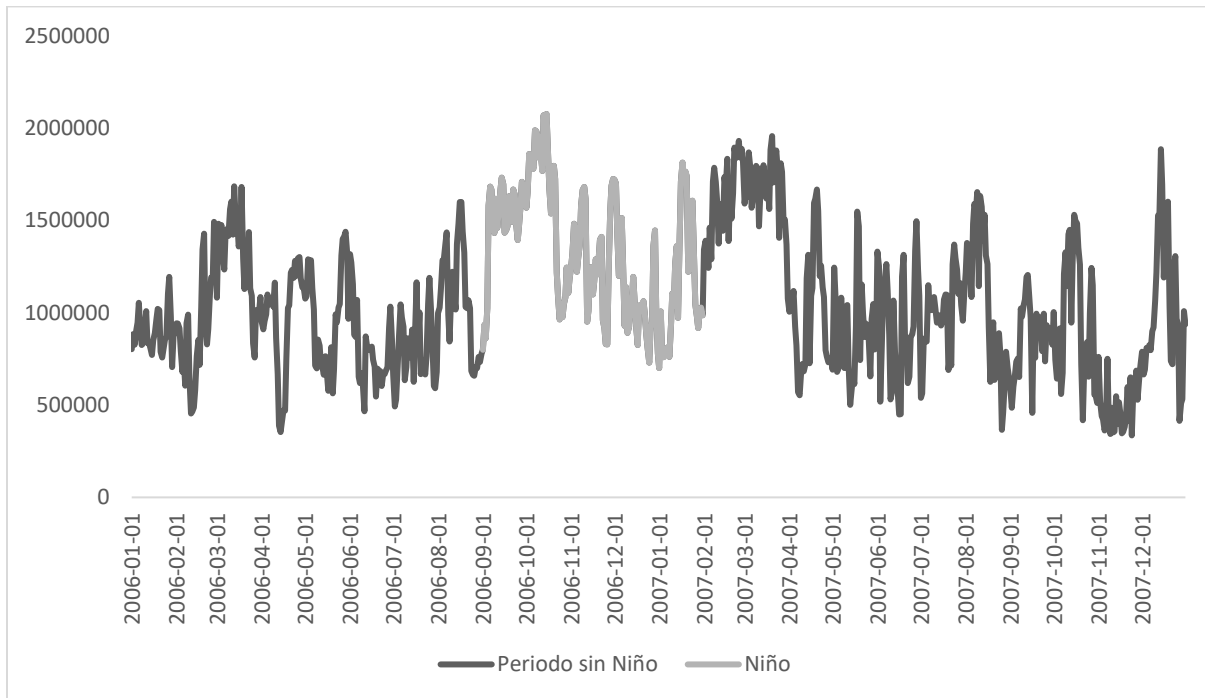
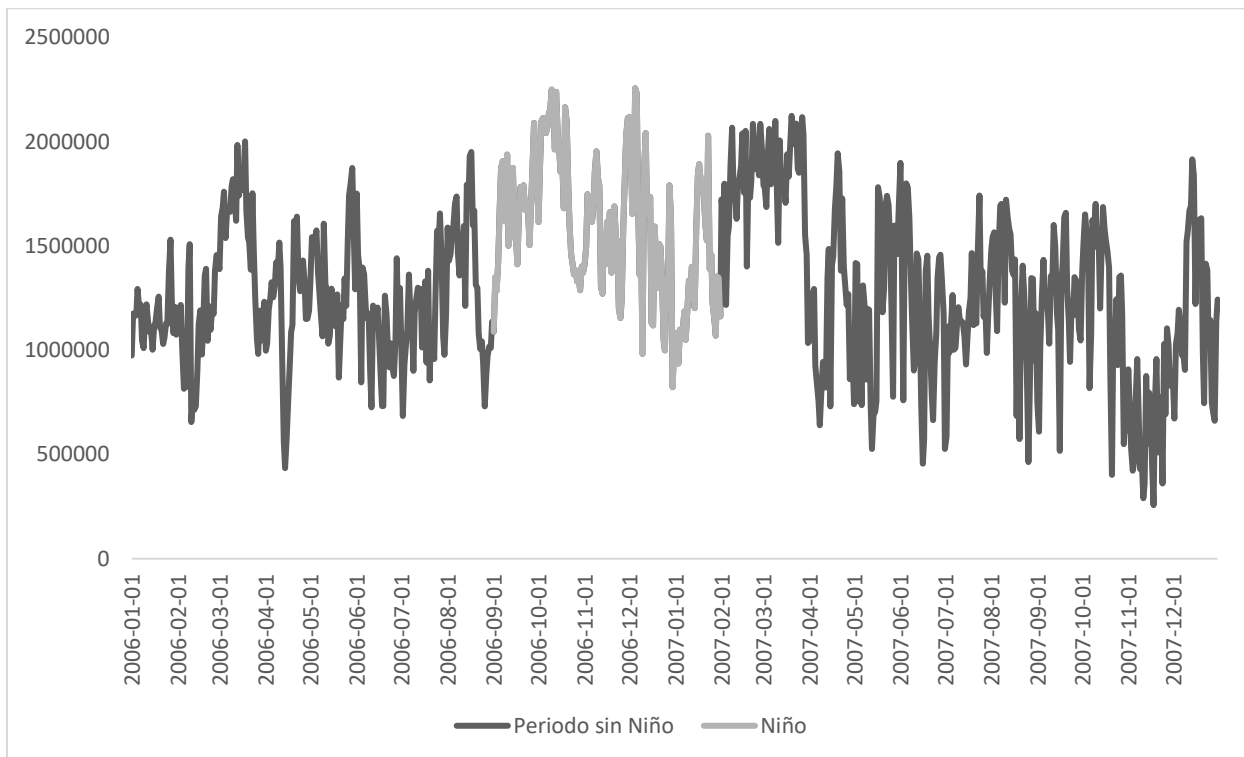


Gráfica A - 24: generación hidráulica en hora pico (kWh) 2006 - 2007

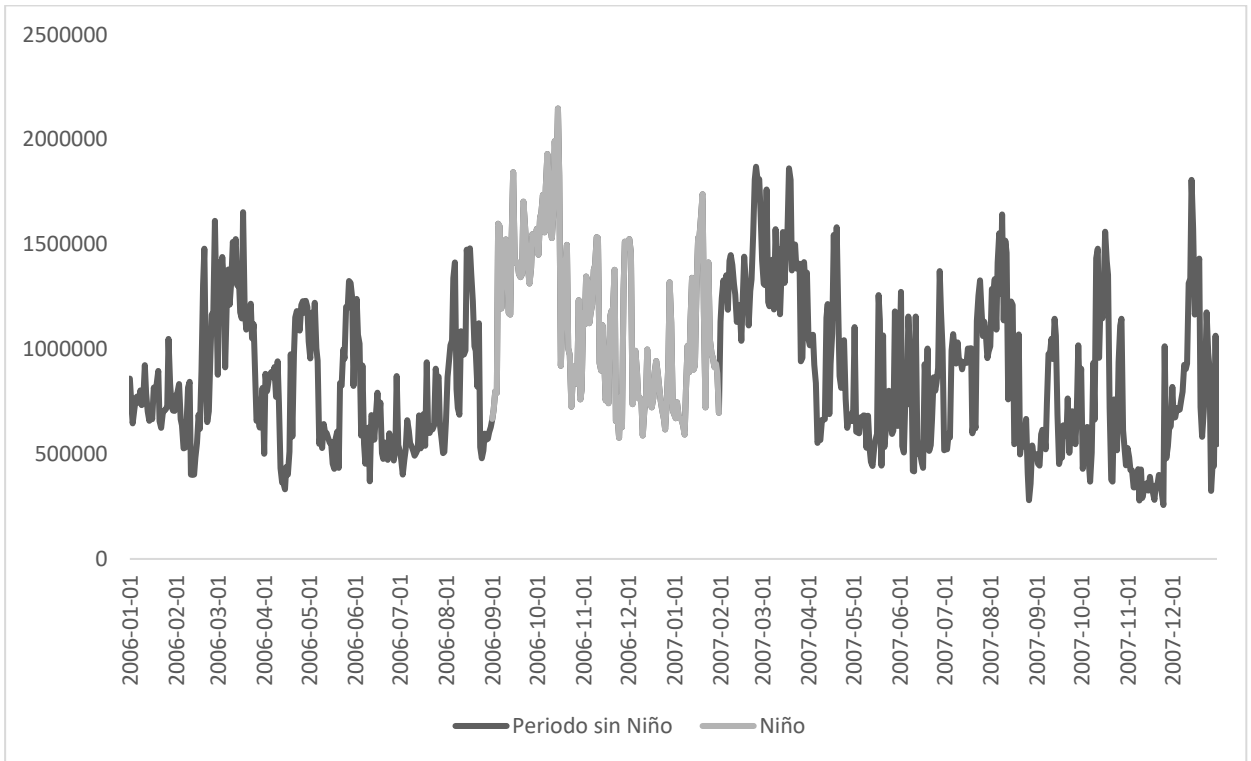


Gráfica A - 25: generación hidráulica en hora valle (kWh) 2006 - 2007

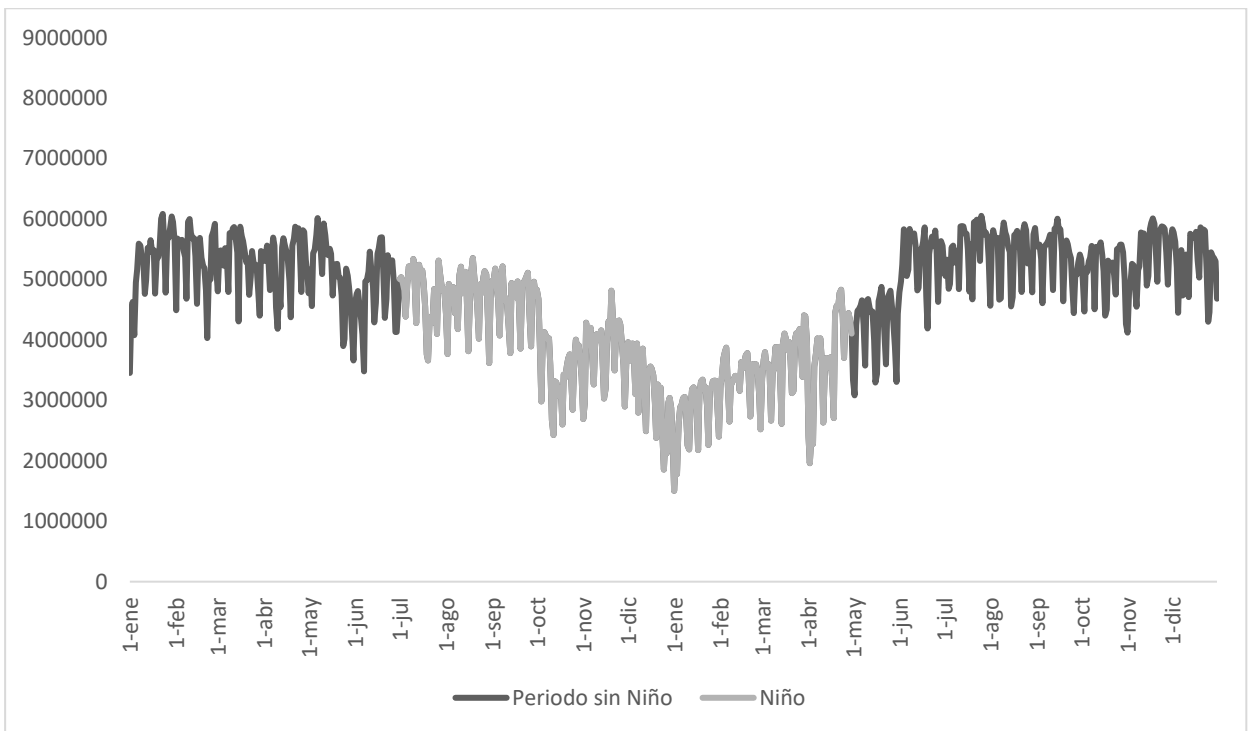


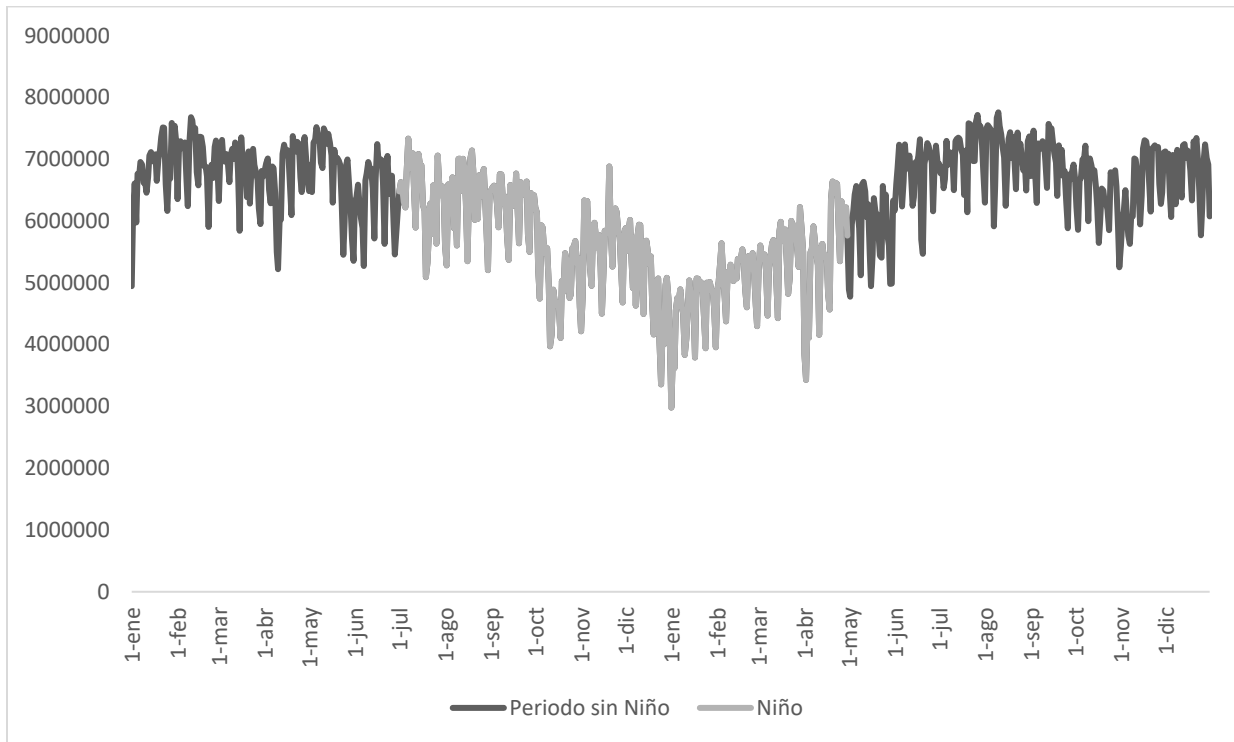
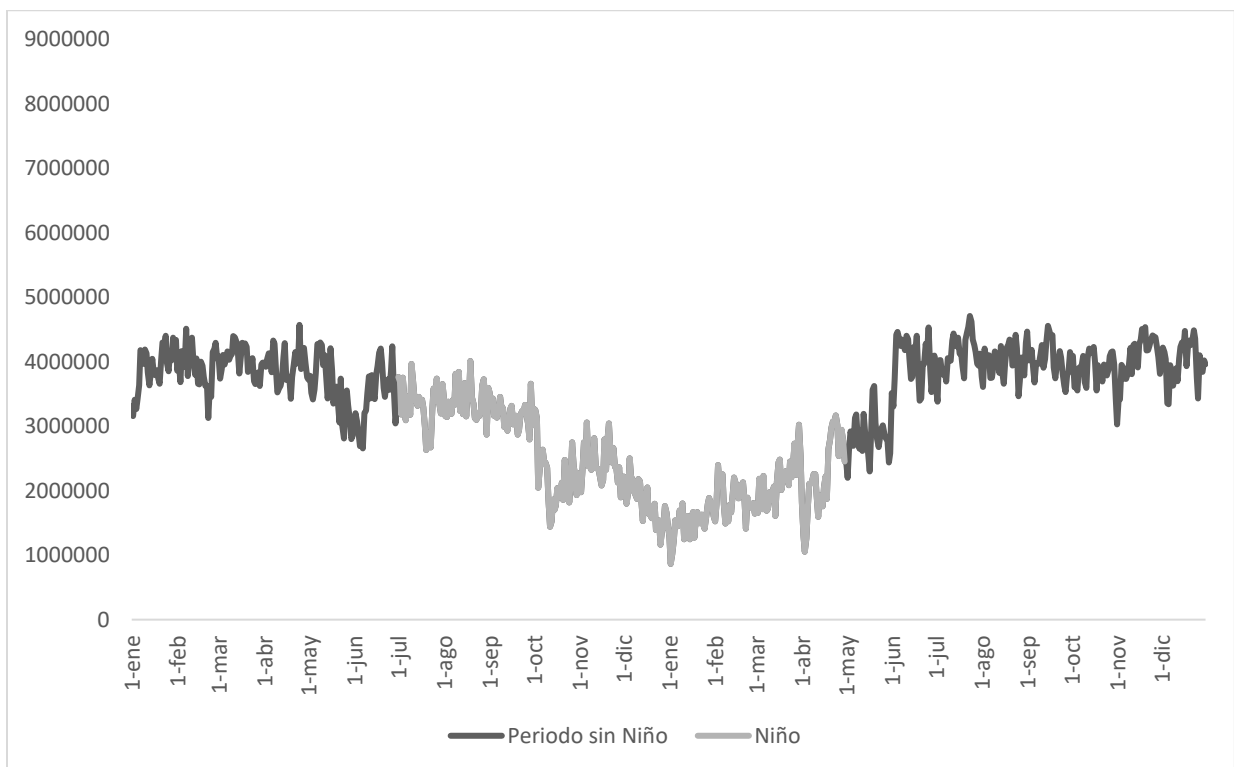
Gráfica A - 26: generación térmica diaria promedio (kWh) 2006 - 2007**Gráfica A - 27:** generación térmica en hora pico (kWh) 2006 - 2007

Gráfica A - 28: generación térmica en hora valle (kWh) 2006 - 2007

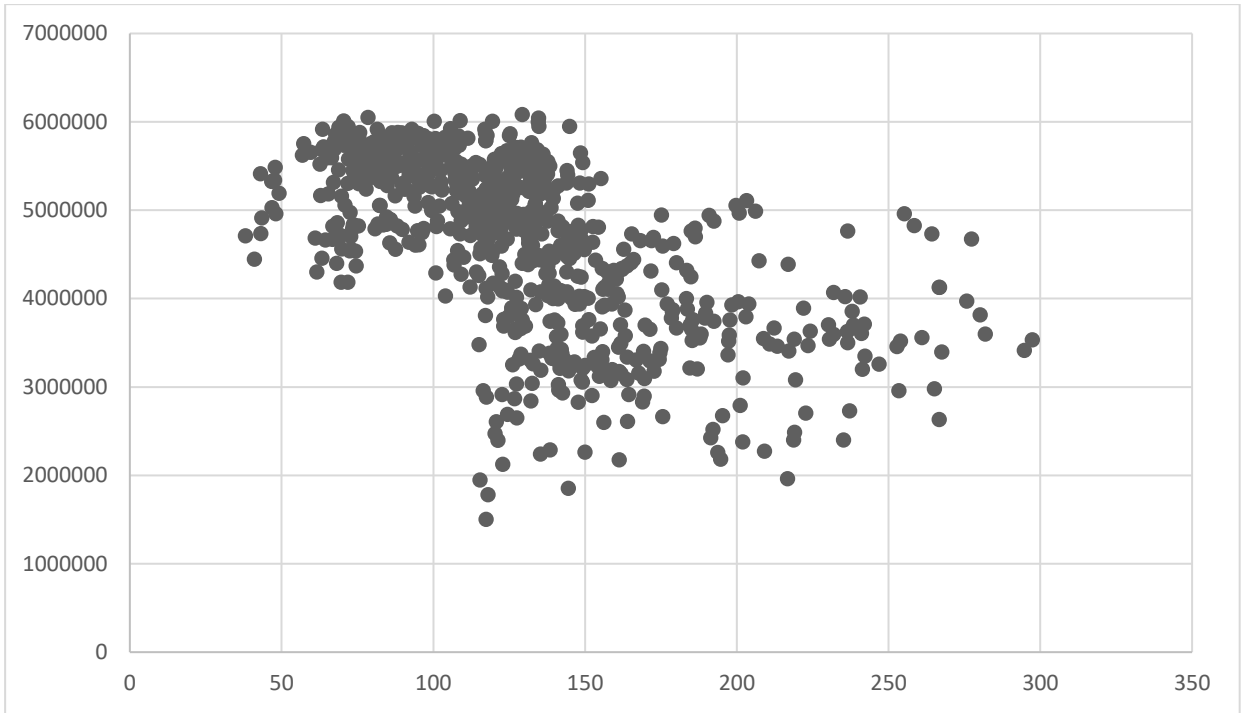


Gráfica A - 29: generación hidráulica promedio (kWh) 2009 - 2010

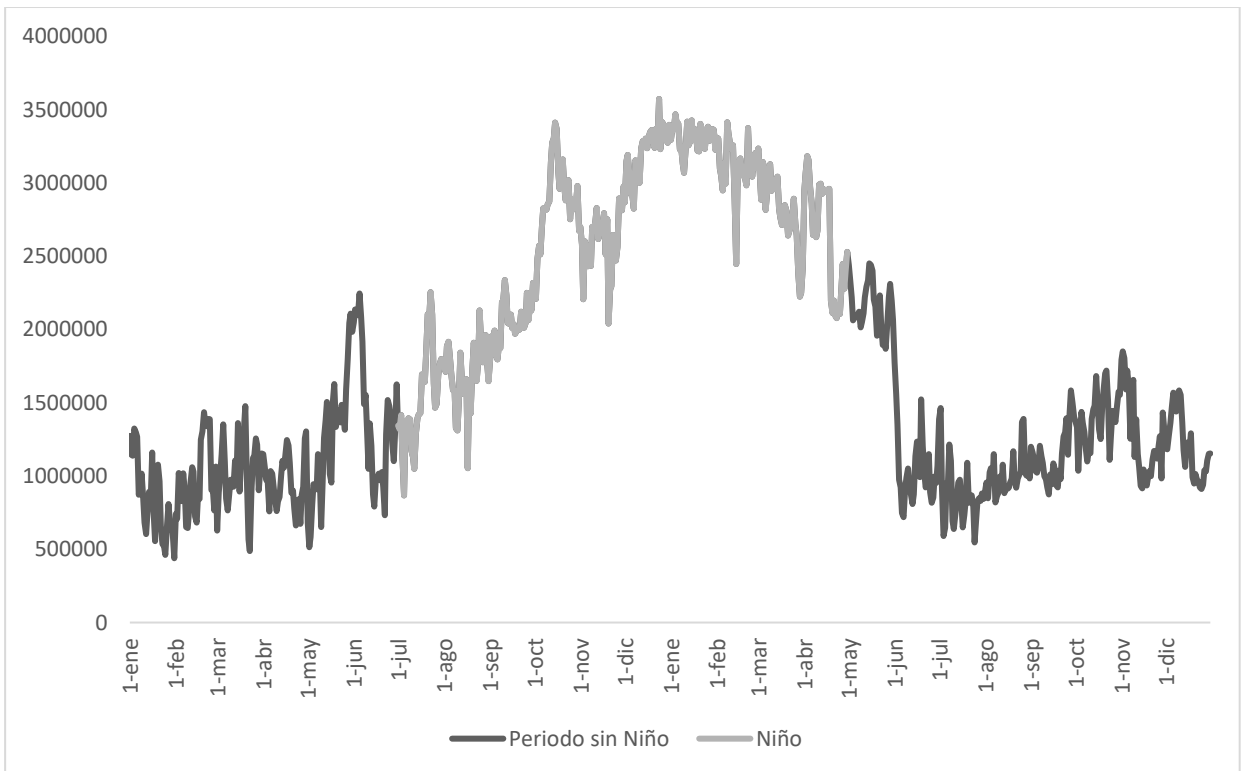


Gráfica A - 30: generación hidráulica en hora pico (kWh) 2009 - 2010**Gráfica A - 31:** generación hidráulica en hora valle (kWh) 2009 - 2010

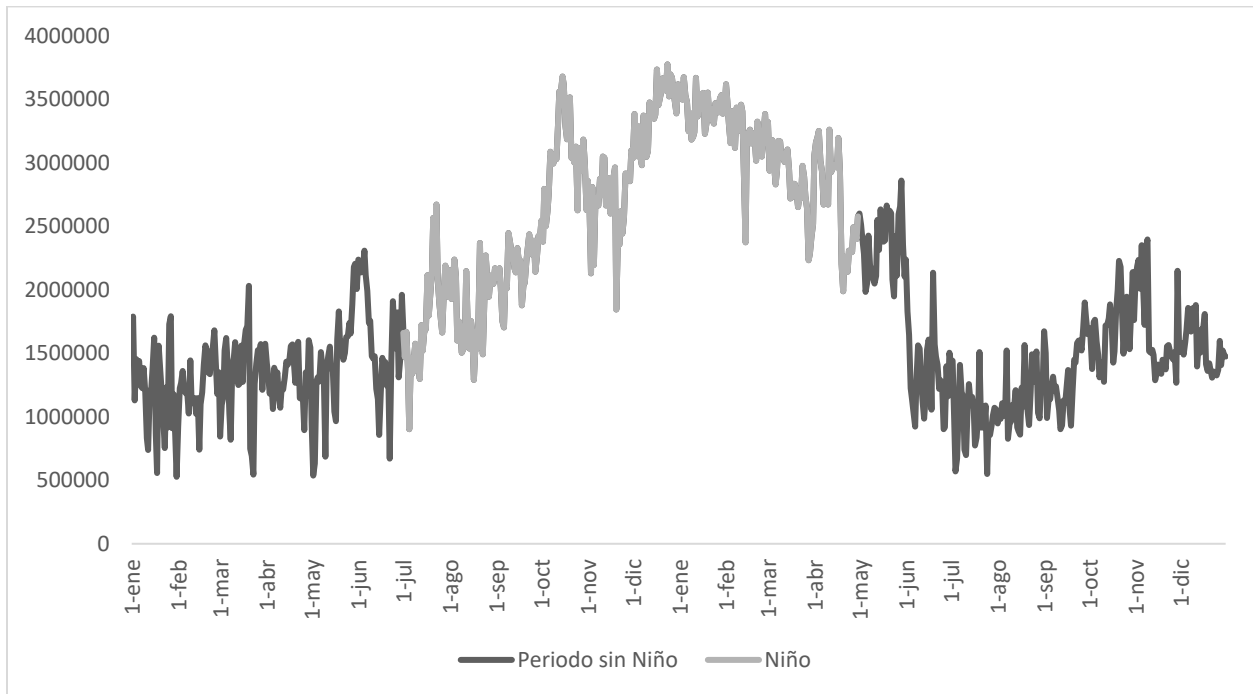
Gráfica A - 32: precios de bolsa Vs generación hidráulica (kWh) promedios diarios 2009 - 2010



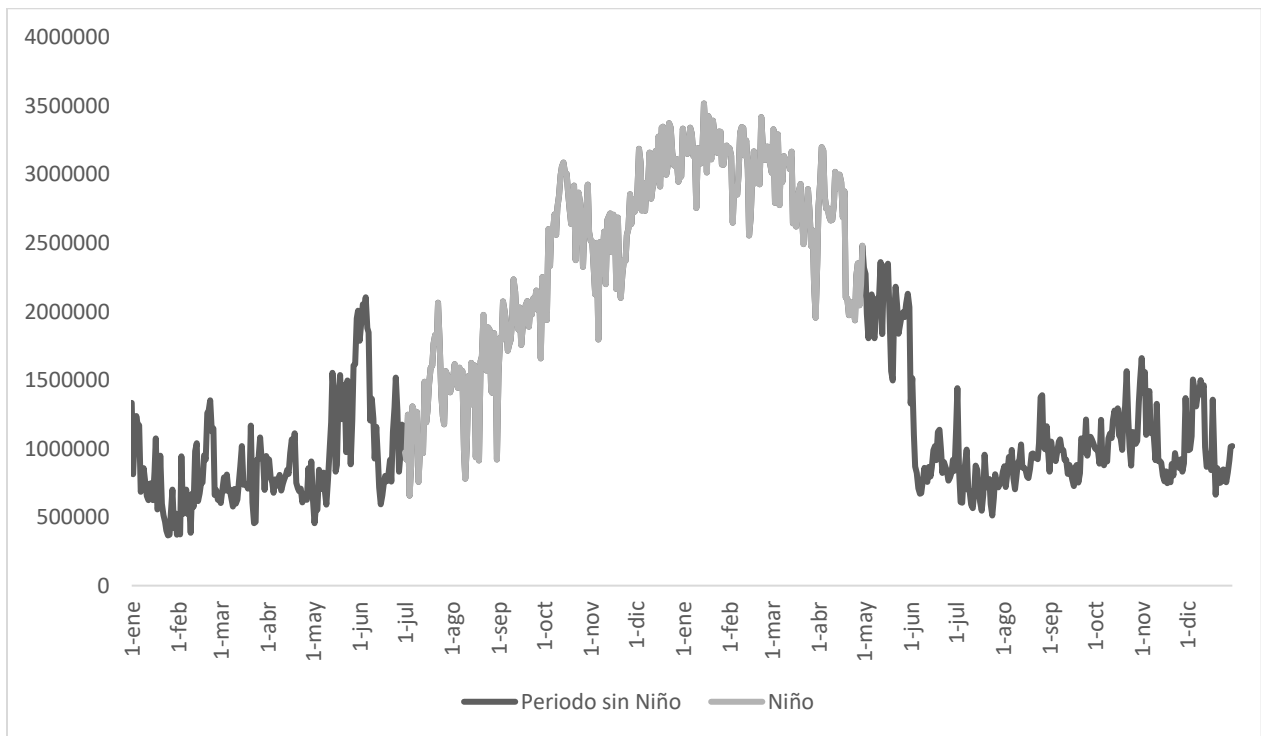
Gráfica A - 33: generación térmica diaria promedio (kWh) 2009 - 2010



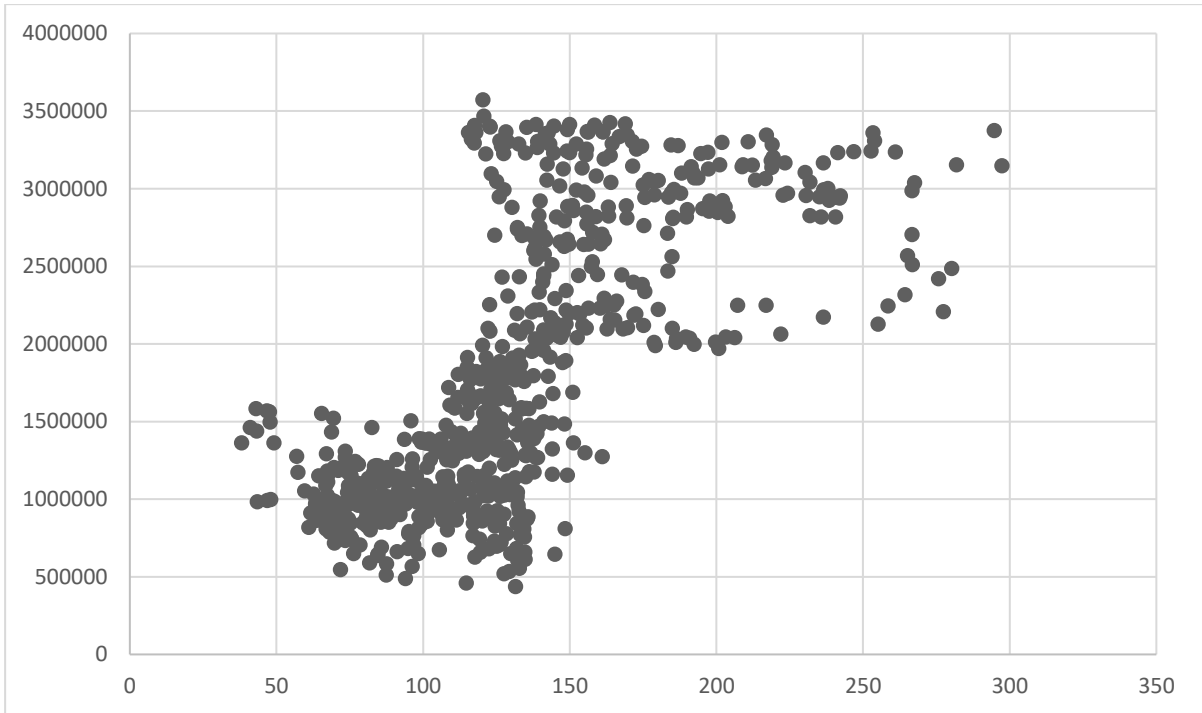
Gráfica A - 34: generación térmica en hora pico (kWh) 2009 - 2010



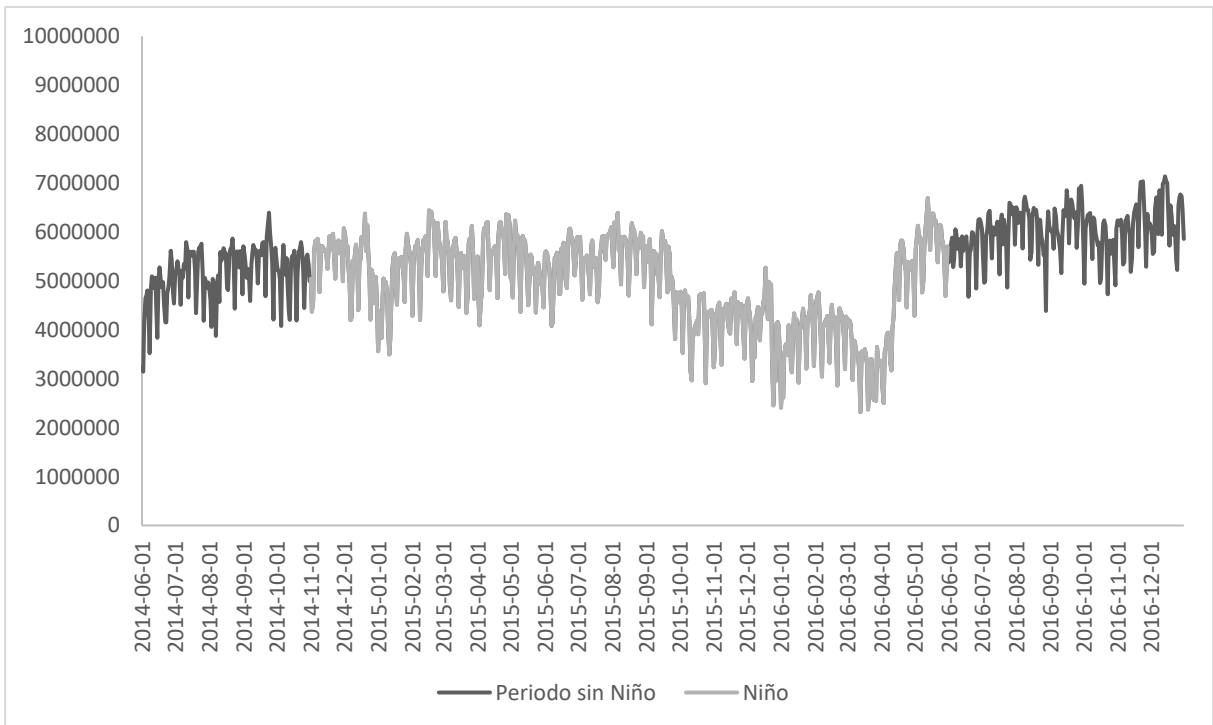
Gráfica A - 35: generación térmica en hora valle (kWh) 2009 - 2010



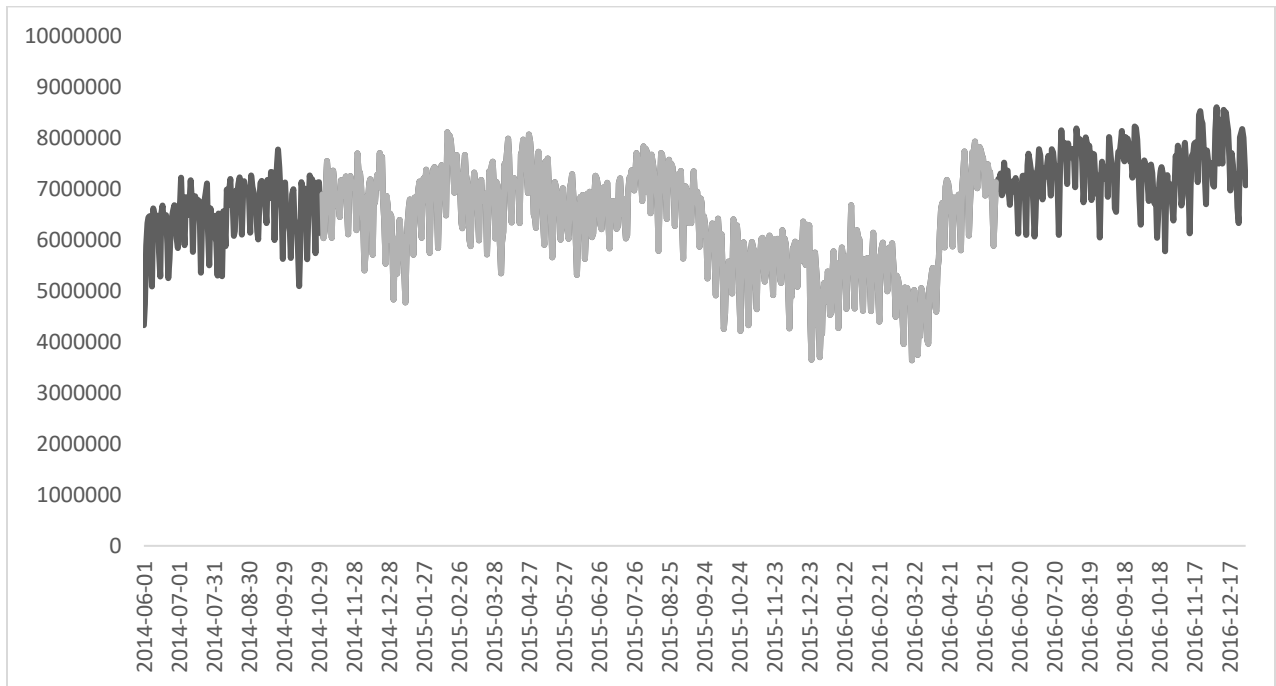
Gráfica A - 36: precios de bolsa Vs generación térmica (kWh) promedios diarios 2009 - 2010



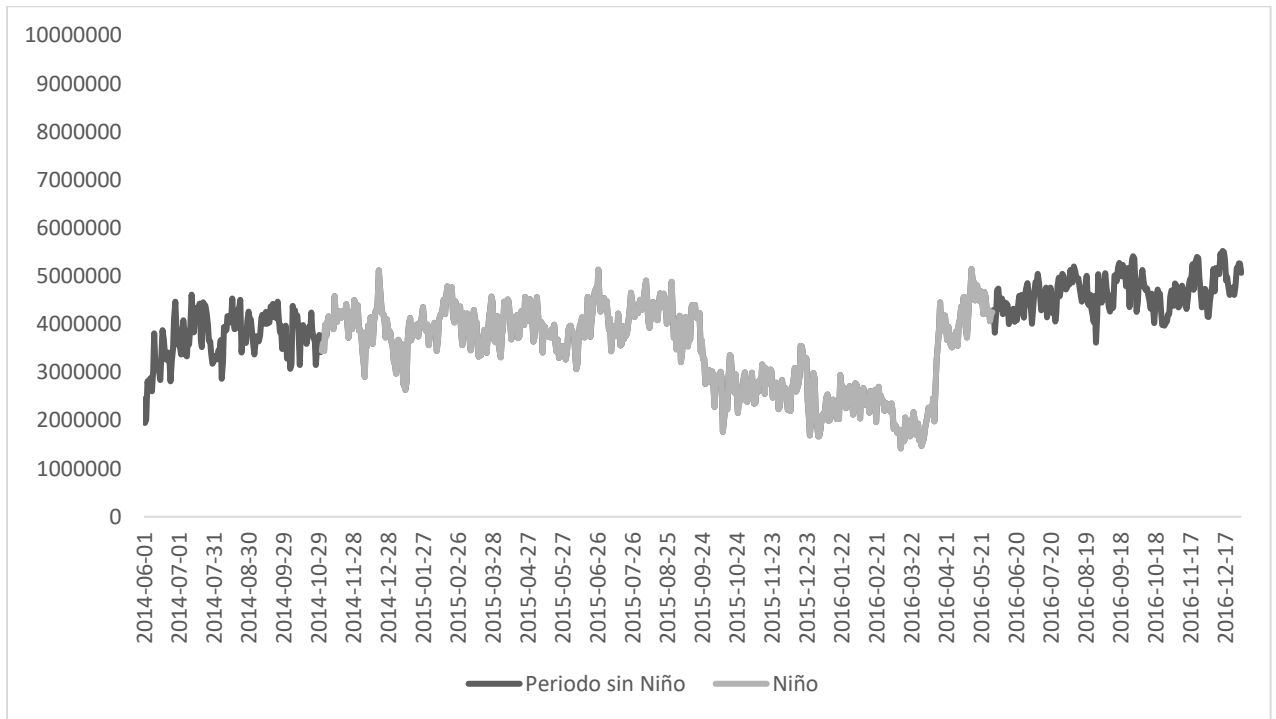
Gráfica A - 37: generación hidráulica diaria promedio (kWh) junio 2014 - 2016



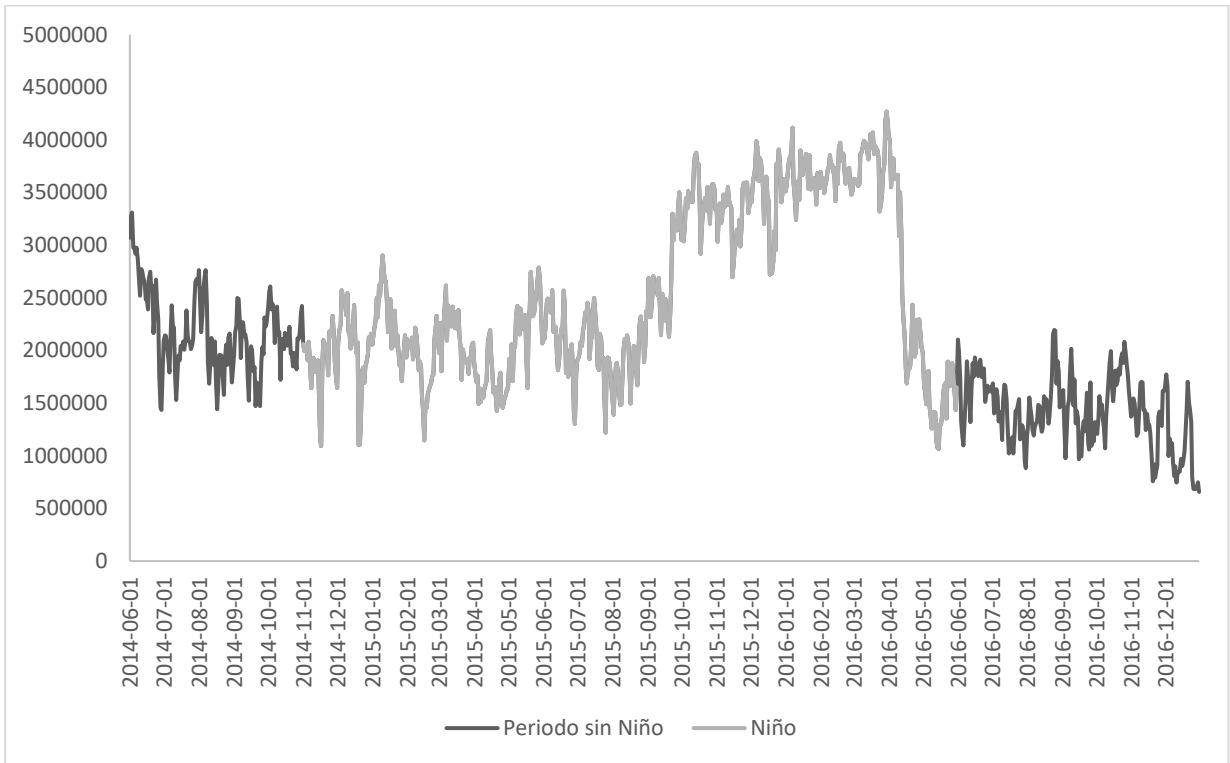
Gráfica A - 38: generación hidráulica en hora pico (kWh) junio 2014 - 2016



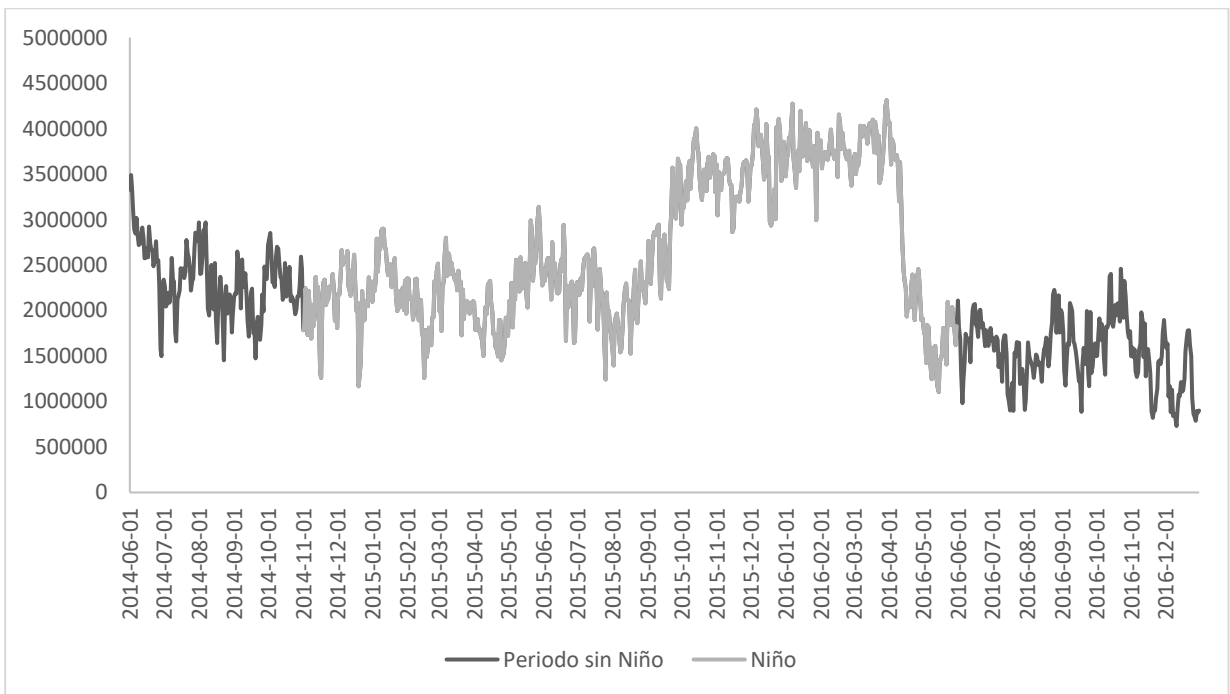
Gráfica A - 39: generación hidráulica en hora valle (kWh) junio 2014 - 2016

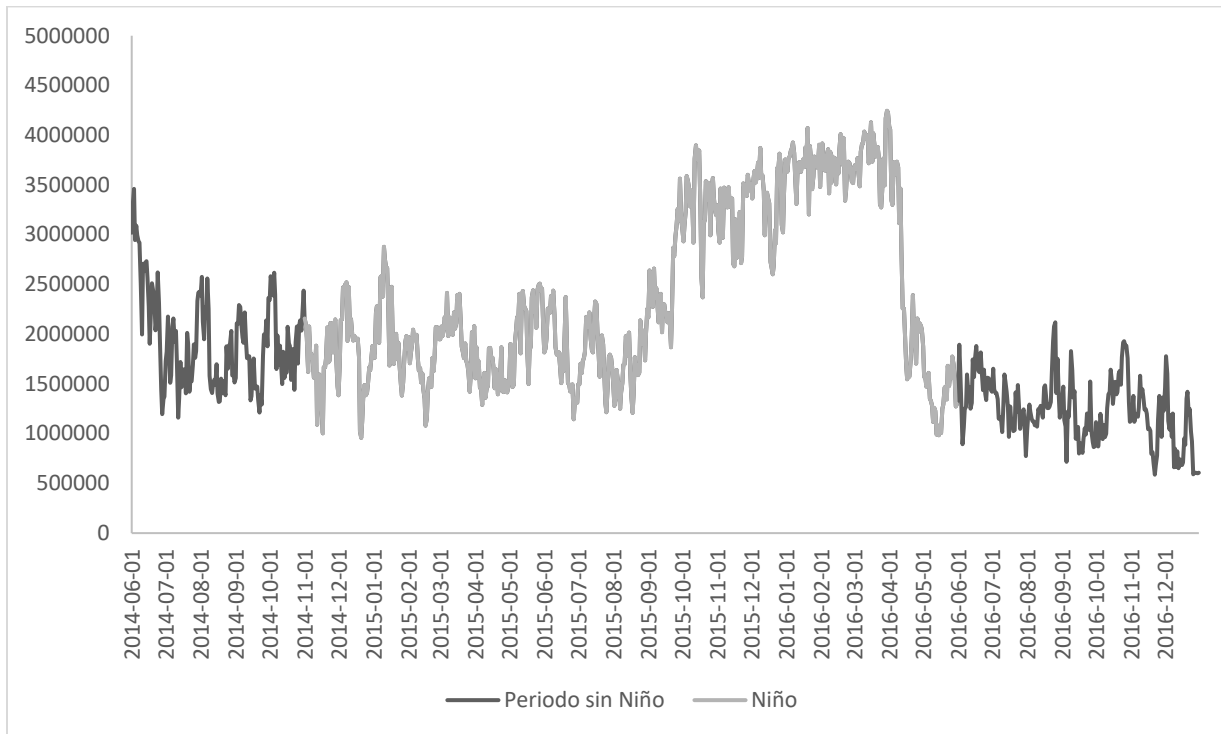


Gráfica A - 40: generación térmica diaria promedio (kWh) junio 2014 - 2016



Gráfica A - 41: generación térmica en hora pico (kWh) junio 2014 - 2016



Gráfica A - 42: generación térmica en hora valle (kWh) junio 2014 - 2016

Bibliografía

- [1] W. K. Härdle and S. Trück, "The dynamics of hourly electricity prices," *Econ. Risk*, p. 24, 2010.
- [2] J. D. Velásquez Henao, "Construcción de Escenarios de Pronóstico del Precio de Electricidad en Mercados de Corto Plazo," Universidad Nacional de Colombia, 2008.
- [3] R. Weron, "Electricity price forecasting: A review of the state-of-the-art with a look into the future," *Int. J. Forecast.*, vol. 30, no. 4, pp. 1030–1081, 2014.
- [4] UPME Unidad de planeación minero energética, "Una visión del mercado eléctrico colombiano," 2004.
- [5] P. Chapman, J. Clinton, R. Kerber, T. Khabaza, T. Reinartz, C. Shearer, and R. Wirth, "Crisp-Dm 1.0," *CRISP-DM Consortium*. p. 76, 2000.
- [6] IBM, "Manual CRISP-DM de IBM SPSS Modeler." p. 56, 2012.
- [7] Unidad de Planeación Minero Energética UPME, "Informe Mensual De Variables De Generación y del Mercado Eléctrico Colombiano," 2015.
- [8] XM S.A. E.S.P., "Descripción del Sistema Eléctrico Colombiano." [Online]. Available: <http://www.xm.com.co/Pages/DescripciondelSistemaElectricoColombiano.aspx>. [Accessed: 20-Oct-2016].
- [9] CREG Comisión de Regulación de Energía y Gas, "Misión y Visión." [Online]. Available: <http://www.creg.gov.co/index.php/es/creg/quienes-somos/mision-vision>. [Accessed: 20-Oct-2016].
- [10] XM Compañía de Expertos en Mercados S.A, "Histórico Transacciones y Precio." [Online]. Available: <http://informacioninteligente10.xm.com.co/transacciones/Paginas/HistoricoTransacciones.aspx>. [Accessed: 24-Oct-2016].
- [11] Climate Prediction Center Internet Team, "Cold & Warm Episodes by Season," 2016. [Online]. Available: http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml. [Accessed: 24-Oct-2016].

- [12] XM S.A. E.S.P., "Informe de Operación del SIN y Administración del Mercado 2015," 2016.
- [13] XM S.A. E.S.P., "Parámetros Técnicos del SIN." [Online]. Available: <http://paratec.xm.com.co/paratec/SitePages/Default.aspx>. [Accessed: 25-Oct-2016].
- [14] IDEAM, "Fenómeno El Niño y La Niña." [Online]. Available: <http://www.pronosticosyalertas.gov.co/pronosticos-alertas/fenomenos-el-nino-y-la-nina>. [Accessed: 19-May-2017].
- [15] NOAA, "Climate Prediction Center - El Niño Southern Oscillation Diagnostic Discussion Archive." [Online]. Available: http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/expert_assessment/ENSO_DD_archive.shtml. [Accessed: 19-May-2017].
- [16] Interconexión Eléctrica S.A. E.S.P., "Informe de operación 1997," 1997.
- [17] IDEAM, "Probabilidad de la afectación de la precipitación en Colombia por el fenómeno El Niño - Nota técnica IDEAM-METEO/002-97," 1997.
- [18] IDEAM, *Posibles efectos naturales y socio-económicos del fenómeno El Niño en el período 1997-1998 en Colombia*. 1997.
- [19] IDEAM, *Preparémonos para recibir el fenómeno del Niño en los municipios colombianos*. Santa Fé de Bogotá D.C, 1997.
- [20] IDEAM, "Efectos sobre el medio físico natural de Colombia ocasionados por el fenómeno El Niño durante el período marzo - noviembre de 1997 y proyección de los posibles efectos en los próximos meses," 1997.
- [21] Caracol radio, "Para mediados de este año se prevé fenómeno del Niño en Colombia," 2002. [Online]. Available: http://caracol.com.co/radio/2002/01/09/nacional/1010559600_031064.html. [Accessed: 12-May-2017].
- [22] IDEAM-DGPAD, "Efectos naturales y socioeconómicos del fenómeno del El Niño en Colombia," Bogotá DC, 2002.
- [23] El Tiempo, "SE AVECINA NIÑO MODERADO - Archivo Digital de Noticias de Colombia y el Mundo desde 1.990 - eltiempo.com." [Online]. Available: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-1342592>. [Accessed: 12-May-2017].
- [24] Prensa Presidencia, "IDEAM ANUNCIA INICIO DEL FENÓMENO DEL NIÑO PARA

- FINALES DEL AÑO.” [Online]. Available: <http://www.alvarouribevelez.com.co/es/content/ideam-anuncia-inicio-del-fenomeno-del-nino-para-finales-del-ano>. [Accessed: 12-May-2017].
- [25] El tiempo, “REGRESA EL FENÓMENO DE EL NIÑO : - Archivo Digital de Noticias de Colombia y el Mundo desde 1.990 - eltiempo.com.” [Online]. Available: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-1592132>. [Accessed: 12-May-2017].
- [26] fenacle, “Index of /archivos.” [Online]. Available: <http://www.fenalce.org/archivos/>. [Accessed: 19-May-2017].
- [27] El Colombiano, “Todo listo para la reparación de la hidroeléctrica de Guatapé.” [Online]. Available: <http://www.elcolombiano.com/antioquia/todo-listo-para-la-reparacion-de-la-hidroelectrica-de-guatape-DK3804445>. [Accessed: 18-May-2017].