



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Ingeniería

Carrera de Ingeniería Civil

Análisis de Escenarios de Cambio Climático, determinando parámetros de correlación entre series de datos a escala diaria y horaria en la cuenca del Tomebamba.

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
Ingeniero Civil

Autores:

Gabriel Josué Fajardo Vázquez

C.I: 0301967717

Angel Eduardo Quilli Quezada.

C.I: 1104137573

Director:

Ing. Diego Esteban Mora Serrano, PhD.

C.I: 0102423506

Cuenca – Ecuador

17 de octubre de 2019



Resumen.

El Impacto del Cambio Climático sobre los recursos hídricos constituye una problemática al momento de cuantificar la disponibilidad de recursos para su adecuado uso. Una mayor variabilidad en los eventos extremos de precipitación, así como el aumento de la temperatura superficial media, ponen en evidencia los impactos negativos del Cambio Climático sobre los ecosistemas. En las zonas de montaña los estudios de Cambio Climático son relativamente escasos debido a la baja cobertura de medidores que proporcionen información en resoluciones finas (por ejemplo, horarias) de las variables hidrometeorológicas. En el presente trabajo se realizó tendencias sobre series históricas para precipitación y temperatura, para diferentes estaciones dentro de la cuenca del río Tomebamba. Además, se empleó el escenario de emisión A2, para obtener series futuras de precipitación y analizar su variabilidad con respecto a las series históricas. Debido a que las series históricas y futuras se presentan en una resolución diaria, se empleó métodos de desagregación que permiten obtener series horarias sintéticas, que rescatan las estadísticas de las series diarias observadas. Estos métodos muestran un buen rendimiento al comparar los estadísticos de las series observadas y simuladas. Los resultados de las tendencias muestran mayor variabilidad en el comportamiento de la precipitación para las series futuras proyectadas, así como aumentos en la temperatura media para la zona baja de la cuenca en su registro histórico.

Palabras Clave: Cambio climático. Escalas. Desagregación. Precipitación. Temperatura. Escenario de emisión. Tendencias.



Abstract.

The impact of climate change on water resources is a problem when quantifying the availability of resources for appropriate use. Greater variability in extreme precipitation events, as well as the increase in average surface temperature, highlight the negative impacts of Climate Change on ecosystems. In mountain areas, Climate Change studies are relatively scarce due to the low coverage of meters that provide information in fine resolutions (e.g., hourly) of hydrometeorological variables. In the present work, trends were made on historical series for precipitation and temperature, for different seasons within the Tomebamba river basin. In addition, the A2 emission scenario was used to obtain future rainfall series and analyze their variability with respect to the historical series. Because historical and future series are presented in a daily resolution, disaggregation methods were used to obtain synthetic hourly series, which rescue the statistics of the observed daily series. These methods show a good performance when comparing the statistics of the observed and simulated series. The trend results show greater variability in precipitation behavior for projected future series, as well as increases in mean temperature for the lower zone of the basin in its historical record.

Keywords: Climate change. Scales. Disaggregation. Precipitation. Temperature. Emission scenario. Trends.



Índice General.

Resumen	2
Abstract	3
Índice de Tablas	7
Índice de Figuras	9
Capítulo 1: Introducción	27
1.1. Antecedentes	27
1.2. Justificación	31
1.3. Objetivos	33
1.3.1. Objetivo General	33
1.3.2. Objetivos Específicos	33
Capítulo 2. Marco Teórico	34
2.1. Cambio Climático	34
2.1.1. Impactos del Cambio Climático	35
2.2. Escenarios de Cambio Climático	37
2.3. Modelos Climáticos	39
2.3.1. Modelos Climáticos Globales (MCG)	40
2.3.2. Modelos Climáticos Regionales (MCR)	40
2.4. Reducción de Escala (Downscaling)	41
2.4.1. Downscaling Dinámico	41
2.4.2. Downscaling Estadístico	42
2.5. Desagregación de variables hidrometeorológicas	43
Capítulo 3. Materiales	45
3.1. Área de estudio	45
3.1.1. Características Climatológicas	45
3.1.1.1. Pisos Climáticos	46
3.1.1.2. Temperatura	46
3.1.1.3. Precipitación	46
3.2. Base de Datos	46
3.2.1. Precipitación	46
3.2.2. Temperatura	47
3.3. Modelos Climáticos bajo escenario de cambio A2	48



3.4. Software R.	48
Capítulo 4. Metodología.....	49
4.1. Metodología para Precipitación.....	49
4.1.1. Análisis de base de datos disponible.	49
4.1.2. Desempeño de Modelos Climáticos.	50
4.1.3. Método de Desagregación de Precipitación de escala diaria a horaria.....	50
4.1.4. Validación del Método de desagregación.....	54
4.2. Metodología para Temperatura.....	54
4.2.1. Análisis de la base de datos de Temperatura disponible y Estadística de datos. 54	
4.2.2. Desagregación de datos de Temperatura de resolución diaria a horaria.....	55
4.2.3. Validación del método de desagregación.....	56
4.2.4. Ajuste de datos.	56
4.3. Tendencias con Medias Móviles.	57
Capítulo 5. Resultados y Discusión.	58
5.1. Resultados de Precipitación.....	58
5.1.1. Selección de Modelos Climáticos.....	58
5.1.2. Desagregación de las series diarias a horarias.	60
5.1.3. Validación de precipitación.	72
5.2. Resultados de Temperatura.....	80
5.2.1. Información de temperatura media, máxima y mínima.	80
5.2.2. Desagregación de la temperatura.	82
5.2.3. Validación de la temperatura.	88
5.2.4. Ajuste de la información desagregada de temperatura.....	93
5.3. Tendencias y medias móviles.	98
5.3.1. Precipitación.	98
5.3.1.1. Zona alta. Datos históricos.	98
5.3.1.2. Zona alta. Datos Futuros del escenario de cambio climático A2.	99
5.3.1.3. Zona Media. Datos históricos.	102
5.3.1.4. Zona Media. Datos Futuros del escenario de cambio climático A2.	102
5.3.1.5. Zona baja. Datos históricos.....	106
5.3.1.6. Zona baja. Datos Futuros del escenario de cambio climático A2.	106
5.3.2. Temperatura.	108
Capítulo 6. Conclusiones.	110



6.1. Conclusiones Generales.	110
6.2. Conclusiones Específicas.	110
6.3. Observaciones.....	111
6.4. Recomendaciones.	112
Referencias.....	114
Anexos.	120
Anexo1. Patrones de Precipitación horarios para los diferentes meses de las distintas estaciones en la zona alta, media y baja en la cuenca del río Tomebamba.	120
Anexo 2. Validación del método de desagregación de temperatura diaria en horaria.	133
Anexo 3. Información de Temperatura Máxima, Media y Mínima de la zona alta, media y baja de la cuenca del Río Tomebamba.	140
Anexo 4. Gráficas de Tendencias para series históricas correspondientes a las estaciones de Surucucho y Chirimachay en la zona alta de la cuenca del Río Tomebamba.	150
Anexo 5. Gráficas de Tendencias para series futuras correspondientes a las estaciones de Surucucho y Chirimachay en la zona alta de la cuenca del Río Tomebamba.	158
Anexo 6. Gráficas de Tendencias para series históricas correspondientes a las estaciones de Matadero Sayausi Bajo y Buenos Aires en la zona media de la cuenca del Río Tomebamba.	166
Anexo 7. Gráficas de Tendencias para series futuras correspondientes a las estaciones de Matadero Sayausi Bajo y Buenos Aires en la zona media de la cuenca del Río Tomebamba.	174
Anexo 8. Gráficas de Tendencias para series históricas correspondientes a la estación de Ucubamba en la zona baja de la cuenca del Río Tomebamba.	182
Anexo 9. Gráficas de Tendencias para series futuras correspondientes a la estación de Ucubamba en la zona baja de la cuenca del Río Tomebamba.	186
Anexo 10. Gráficas de Tendencias para series históricas desagregadas de temperatura correspondientes a la estación de Ucubamba en la zona baja de la cuenca del Río Tomebamba.	190



Índice de Tablas

Tabla 1. Estaciones del INAMHI con registros de Precipitación.	47
Tabla 2. Estaciones de ETAPA EP con registros de precipitación.	47
Tabla 3. Modelos Climáticos bajo escenario de emisión A2.	48
Tabla 4.. Agrupación de estaciones en resolución diaria con estaciones en resolución horaria y cada 5 minutos	49
Tabla 5. Parámetros estadísticos para la obtención de las CDF mensual de la estación Llaviucu	60
Tabla 6.Parámetros estadísticos para la obtención de las CDF mensual de la estación Patoquinas.....	61
Tabla 7.Parámetros estadísticos para la obtención de las CDF mensual de la estación Matadero Sayausi.....	61
Tabla 8. Parámetros estadísticos para la obtención de las CDF mensual de la estación Sayausi PTAP	62
Tabla 9.Parámetros estadísticos para la obtención de las CDF mensual de la estación Ucubamba	62
Tabla 10.Desagregación de escala diaria a escala horaria del valor 1.99 mm de precipitación de la estación de Surucucho.....	66
Tabla 11.Desagregación de escala diaria a escala horaria del valor 2.74mm de precipitación de la estación de Matadero Sayausi Bajo.	66
Tabla 12.Desagregación de escala diaria a escala horaria del valor 3.6 mm de precipitación de la estación de Ucubamba.	67
Tabla 13.Resultados de los valore de precipitación horaria reducidos de la estación de Surucucho.....	68
Tabla 14. Resultados de los valore de precipitación horaria reducidos de la estación de Matadero Sayausi Bajo.....	69
Tabla 15. Resultados de los valore de precipitación horaria reducidos de la estación de Ucubamba.	70
Tabla 16. Resultados de las temperaturas desagregadas de los respectivos valores seleccionados en las diferentes zonas de la cuenca del río Tomebamba.....	82
Tabla 17. Temperaturas horarias desagregadas y ajustadas correspondientes al valor diario de 8.81 °C del 1 de enero en la zona alta de la cuenca del río Tomebamba.	95
Tabla 18. Temperaturas horarias desagregadas y ajustadas correspondientes al valor diario de 15.30 °C del 2 de enero en la zona media de la cuenca del río Tomebamba.....	96
Tabla 19 Temperaturas horarias desagregadas y ajustadas correspondientes al valor diario de 16.52 °C del 1 de marzo en la zona media de la cuenca del río Tomebamba.....	97
Tabla 20.Resultados de las tendencias de la estación de Surucucho en la Zona alta de la cuenca del río Tomebamba para el periodo histórico comprendido entre los años 1964.1993.	100
Tabla 21. Resultados de las tendencias de la estación de Surucucho en la Zona alta de la cuenca del río Tomebamba para el periodo futuro comprendido entre los años 2054-2074.....	100



Tabla 22. Resultados de las tendencias de la estación de Chirimachay en la Zona alta de la cuenca del rio Tomebamba para el periodo futuro comprendido entre los años 1964-1993..101

Tabla 23.Resultados de las tendencias de la estación de Chirimachay en la Zona alta de la cuenca del rio Tomebamba para el periodo futuro comprendido entre los años 2054-2074..101

Tabla 24.Resultados de las tendencias de la estación de Buenos Aires en la Zona media de la cuenca del rio Tomebamba para los valores históricos 1964.1993.....104

Tabla 25.Resultados de las tendencias de la estación de Buenos Aires en la Zona media de la cuenca del rio Tomebamba para los valores futuros 2054-2074.104

Tabla 26 Resultados de las tendencias de la estación de Matadero Sayausi Bajo en la Zona media de la cuenca del rio Tomebamba para los valores históricos 1964.1993.105

Tabla 27. Resultados de las tendencias de la estación de Matadero Sayausi Bajo en la Zona media de la cuenca del rio Tomebamba para los valores futuros 2054-2074.105

Tabla 28.Resultados de las tendencias de la estación de Ucubamba en la Zona baja de la cuenca del rio Tomebamba para los valores históricos 1964.1993.....107

Tabla 29.Resultados de las tendencias de la estación de Ucubamba en la Zona baja de la cuenca del rio Tomebamba para los valores futuros 2054-2074.107

Tabla 30.valores de los incrementos o disminuciones de temperatura en la zona baja de la cuenca del rio Tomebamba.109



Índice de Figuras.

Figura 1. Escenarios de Cambio Climático. El IE-EE presenta 40 escenarios de cambio climático desarrollado sobre 4 líneas evolutivas, que a su vez se dividen en cuatro familias: A1, A2, B1 y B2. Fuente (IPCC, 2000)	38
Figura 2. Mapa de la Cuenca del río Tomebamba. En este mapa se puede apreciar la extensión de la cuenca, así como las estaciones distribuidas dentro de la misma en tres zonas: alta, media y baja.	45
Figura 3. Selección de profundidades de eventos de las CDF para cada mes. Se genera un número aleatorio entre 0 y a y posteriormente se toma la profundidad de precipitación correspondiente a ese número	52
Figura 4. Diagrama de Flujo del método de Desagregación. Se presenta cada uno de los pasos realizados para realizar la desagregación de la precipitación diaria en horaria.	53
Figura 5. Superposición de eventos de todos los días de un mes de los años de registro. Se superpuso los gráficos correspondientes al comportamiento horario de cada día de un determinado mes para todos los años de registro.	54
Figura 6. Comportamiento general de la Temperatura diaria. A partir de una serie de Fourier, se presenta la distribución de la temperatura para cada hora del día.	56
Figura 7. Desempeño de los 5 mejores Modelos Climáticos para la estación de Surucucho en la zona alta.	58
Figura 8. Desempeño de los 5 mejores Modelos Climáticos para la estación de Chirimachay en la zona alta.	58
Figura 9. Desempeño de los 5 mejores Modelos Climáticos para la estación de Sayausi Matadero Bajo en la zona media.	59
Figura 10. Desempeño de los 5 mejores Modelos Climáticos para la estación de Buenos Aires en la zona media.	59
Figura 11. Desempeño de los 5 mejores Modelos Climáticos para la estación de Ucubamba en la zona baja.	60
Figura 12. Patrón de precipitación del mes de marzo correspondiente a la estación Llaviucu ..	63
Figura 13. Patrón de precipitación del mes de julio correspondiente a la estación Llaviucu.	63
Figura 14. Patrón de precipitación del mes de abril correspondiente a la estación Patoquinuas.	63
Figura 15. Patrón de precipitación del mes de agosto correspondiente a la estación Patoquinuas.	63
Figura 16. Patrón de precipitación del mes de enero correspondiente a la estación Matadero Sayausi.	64
Figura 17. Patrón de precipitación del mes de septiembre correspondiente a la estación Matadero Sayausi.	64
Figura 18. Patrón de precipitación del mes de enero correspondiente a la estación Sayausi PTAP.	64



Figura 19. Patrón de precipitación del mes de noviembre correspondiente a la estación Sayausi PTAP.64

Figura 20. Patrón de precipitación del mes de diciembre correspondiente a la estación Ucubamba.65

Figura 21. Histograma de los valores finales obtenidos de la desagregación del día 1.99mm de precipitación de la estación de Surucucho.71

Figura 22. Histograma de los valores finales obtenidos de la desagregación del día 2.74mm de precipitación de la estación de Matadero Sayausi Bajo.71

Figura 23. Histograma de los valores finales obtenidos de la desagregación del día 3.6mm de precipitación de la estación de Ucubamba.71

Figura 24. Valores de la media de los datos observados y simulados de la estación Llaviucu. ...72

Figura 25. Valores de la media de los datos observados y simulados de la estación Patoquinuas.72

Figura 26. Valores de la media de los datos observados y simulados de la estación Matadero Sayausi.73

Figura 27. Valores de la media de los datos observados y simulados de la estación Sayausi PTAP.73

Figura 28. Valores de la media de los datos observados y simulados de la estación Ucubamba.74

Figura 29. Valores de probabilidad de lluvia cero de los datos observados y simulados de la estación Llaviucu.74

Figura 30. Valores de probabilidad de lluvia cero de los datos observados y simulados de la estación Patoquinuas.75

Figura 31. Valores de probabilidad de lluvia cero de los datos observados y simulados de la estación Matadero Sayausi.75

Figura 32. Valores de probabilidad de lluvia cero de los datos observados y simulados de la estación Sayausi PTAP.76

Figura 33. Valores de probabilidad de lluvia cero de los datos observados y simulados de la estación Ucubamba.76

Figura 34. Valores de la varianza de los datos observados y simulados de la estación Llaviucu. 77

Figura 35. Valores de la varianza de los datos observados y simulados de la estación Patoquinuas.77

Figura 36. Valores de la varianza de los datos observados y simulados de la estación Matadero Sayausi.78

Figura 37. Valores de la varianza de los datos observados y simulados de la estación Sayausi PTAP.78

Figura 38. Valores de la varianza de los datos observados y simulados de la estación Ucubamba.79

Figura 39. Valores Máximos, Mínimos y medios de Temperatura para el mes de enero en la zona alta, media y baja de la cuenca del Río Tomebamba.80

Figura 40. Valores Máximos, Mínimos y medios de Temperatura para el mes de febrero en la zona alta, media y baja de la cuenca del Río Tomebamba.81

Figura 41. Temperatura en escala horaria ajustada para la zona alta de la estación de Patoquinuas de la cuenca del río Tomebamba.83



Figura 42. Temperatura en escala horaria ajustada para la zona media de la estación de Matadero Sayausi de la cuenca del rio Tomebamba.....83

Figura 43. Temperatura en escala horaria ajustada para la zona baja de la estación de Ucubamba de la cuenca del rio Tomebamba.84

Figura 44. Temperatura del mes de enero para la zona alta de la estación Patoquinuas de la cuenca del rio Tomebamba a escala horaria desagregada y diaria.....85

Figura 45. Temperatura del mes de enero para la zona media de la estación Matadero Sayausi de la cuenca del rio Tomebamba a escala horaria desagregada y diaria.....86

Figura 46. Temperatura del mes de marzo para la zona baja de la estación Ucubamba de la cuenca del rio Tomebamba a escala horaria desagregada y diaria.87

Figura 47. Resultados de la validación del método de desagregación de Temperatura diaria para la estación de Llaviucu de la cuenca del rio Tomebamba. Como se puede apreciar en la figura, los valores obtenidos del coeficiente de correlación y del parámetro R2 son superiores a 0.5, lo que indica que existe una buena correlación entre los datos simulados y observados...88

Figura 48. Resultados de la validación del método de desagregación de Temperatura diaria para la estación de Patoquinuas de la cuenca del rio Tomebamba. Como se puede apreciar en la figura, los valores obtenidos del coeficiente de correlación y del parámetro R2 son superiores a 0.5, lo que indica que existe una buena correlación entre los datos simulados y observados.89

Figura 49. Resultados de la validación del método de desagregación de Temperatura diaria para la estación de Matadero Sayausi de la cuenca del rio Tomebamba. Como se puede apreciar en la figura, los valores obtenidos del coeficiente de correlación y del parámetro R2 son superiores a 0.5, lo que indica que existe una buena correlación entre los datos simulados y observados.....90

Figura 50. Resultados de la validación del método de desagregación de Temperatura diaria para la estación de Sayausi PTAP de la cuenca del rio Tomebamba. Como se puede apreciar en la figura, los valores obtenidos del coeficiente de correlación y del parámetro R2 son superiores a 0.5, lo que indica que existe una buena correlación entre los datos simulados y observados.91

Figura 51. Resultados de la validación del método de desagregación de Temperatura diaria para la estación de Ucubamba de la cuenca del rio Tomebamba. Como se puede apreciar en la figura, los valores obtenidos del coeficiente de correlación y del parámetro R2 son superiores a 0.5, lo que indica que existe una buena correlación entre los datos simulados y observados...92

Figura 52. Diagrama de caja para la media para la cuenca del río Tomebamba.93

Figura 53. Diagrama de caja para la desviación estándar para la cuenca del río Tomebamba...94

Figura 54. Media móvil de información histórica en la estación de Surucucho para el mes de enero, tendencia y ecuación.98

Figura 55. Media móvil de información histórica en la estación de Chirimachay para el mes de enero, tendencia y ecuación.98

Figura 56. Media móvil de información futura en la estación de Surucucho para el mes de enero, tendencia y ecuación.99

Figura 57. Media móvil de información futura en la estación de Chirimachay para el mes de enero, tendencia y ecuación.99

Figura 58. Media móvil de información histórica en la estación de Matadero Sayausi Bajo para el mes de enero, tendencia y ecuación.....102



Figura 59. Media móvil de información histórica en la estación de Buenos Aires para el mes de enero, tendencia y ecuación. 102

Figura 60. Media móvil de información futura en la estación de Matadero Sayausi bajo para el mes de enero, tendencia y ecuación. 103

Figura 61. Media móvil de información futura en la estación de Buenos Aires para el mes de enero, tendencia y ecuación. 103

Figura 62. Media móvil de información histórica en la estación de Ucubamba para el mes de enero, tendencia y ecuación. 106

Figura 63. Media móvil de información futura en la estación de Ucubamba para el mes de enero, tendencia y ecuación. 106

Figura 64. Media móvil del mes de enero para la temperatura en la zona baja de la estación de Ucubamba. 108

Figura 65. Patrón de precipitación del mes de enero correspondiente a la estación Llaviucu. 120

Figura 66. Patrón de precipitación del mes de febrero correspondiente a la estación Llaviucu. 120

Figura 67. Patrón de precipitación del mes de abril correspondiente a la estación Llaviucu. .. 120

Figura 68. Patrón de precipitación del mes de mayo correspondiente a la estación Llaviucu. 121

Figura 69. Patrón de precipitación del mes de junio correspondiente a la estación Llaviucu. . 121

Figura 70. Patrón de precipitación del mes de agosto correspondiente a la estación Llaviucu. 121

Figura 71. Patrón de precipitación del mes de septiembre correspondiente a la estación Llaviucu..... 121

Figura 72. Patrón de precipitación del mes de octubre correspondiente a la estación Llaviucu. 122

Figura 73. Patrón de precipitación del mes de noviembre correspondiente a la estación Llaviucu..... 122

Figura 74. Patrón de precipitación del mes de diciembre correspondiente a la estación Llaviucu. 122

Figura 75. Patrón de precipitación del mes de enero correspondiente a la estación Patoquinas. 122

Figura 76. Patrón de precipitación del mes de febrero correspondiente a la estación Patoquinas..... 123

Figura 77. Patrón de precipitación del mes de marzo correspondiente a la estación Patoquinas..... 123

Figura 78. Patrón de precipitación del mes de mayo correspondiente a la estación Patoquinas. 123

Figura 79. Patrón de precipitación del mes de junio correspondiente a la estación Patoquinas. 123

Figura 80. Patrón de precipitación del mes de julio correspondiente a la estación Patoquinas. 124

Figura 81. Patrón de precipitación del mes de septiembre correspondiente a la estación Patoquinas..... 124

Figura 82. Patrón de precipitación del mes de octubre correspondiente a la estación Patoquinas..... 124



Figura 83.Patrón de precipitación del mes de noviembre correspondiente a la estación Patoquinas..... 124

Figura 84.Patrón de precipitación del mes de diciembre correspondiente a la estación Patoquinas..... 125

Figura 85.Patrón de precipitación del mes de febrero correspondiente a la estación Matadero Sayausi..... 125

Figura 86.Patrón de precipitación del mes de marzo correspondiente a la estación Matadero Sayausi..... 125

Figura 87.Patrón de precipitación del mes de abril correspondiente a la estación Matadero Sayausi..... 125

Figura 88.Patrón de precipitación del mes de mayo correspondiente a la estación Matadero Sayausi..... 126

Figura 89.Patrón de precipitación del mes de junio correspondiente a la estación Matadero Sayausi..... 126

Figura 90.Patrón de precipitación del mes de julio correspondiente a la estación Matadero Sayausi..... 126

Figura 91.Patrón de precipitación del mes de agosto correspondiente a la estación Matadero Sayausi..... 126

Figura 92.Patrón de precipitación del mes de octubre correspondiente a la estación Matadero Sayausi..... 127

Figura 93.Patrón de precipitación del mes de noviembre correspondiente a la estación Matadero Sayausi. 127

Figura 94.Patrón de precipitación del mes de diciembre correspondiente a la estación Matadero Sayausi. 127

Figura 95.Patrón de precipitación del mes de febrero correspondiente a la estación Sayausi PTAP. 127

Figura 96.Patrón de precipitación del mes de marzo correspondiente a la estación Sayausi PTAP. 128

Figura 97.Patrón de precipitación del mes de abril correspondiente a la estación Sayausi PTAP. 128

Figura 98.Patrón de precipitación del mes de mayo correspondiente a la estación Sayausi PTAP. 128

Figura 99.Patrón de precipitación del mes de junio correspondiente a la estación Sayausi PTAP. 128

Figura 100.Patrón de precipitación del mes de julio correspondiente a la estación Sayausi PTAP. 129

Figura 101.Patrón de precipitación del mes de agosto correspondiente a la estación Sayausi PTAP. 129

Figura 102.Patrón de precipitación del mes de septiembre correspondiente a la estación Sayausi PTAP..... 129

Figura 103.Patrón de precipitación del mes de octubre o correspondiente a la estación Sayausi PTAP. 129

Figura 104.Patrón de precipitación del mes de diciembre correspondiente a la estación Sayausi PTAP. 130



Figura 105. Patrón de precipitación del mes de enero correspondiente a la estación Ucubamba. 130

Figura 106. Patrón de precipitación del mes de febrero correspondiente a la estación Ucubamba. 130

Figura 107. Patrón de precipitación del mes de marzo correspondiente a la estación Ucubamba. 130

Figura 108. Patrón de precipitación del mes de abril correspondiente a la estación Ucubamba. 131

Figura 109. Patrón de precipitación del mes de mayo correspondiente a la estación Ucubamba. 131

Figura 110. Patrón de precipitación del mes de junio correspondiente a la estación Ucubamba. 131

Figura 111. Patrón de precipitación del mes de julio correspondiente a la estación Ucubamba. 131

Figura 112. Patrón de precipitación del mes de agosto correspondiente a la estación Ucubamba. 132

Figura 113. Patrón de precipitación del mes de septiembre correspondiente a la estación Ucubamba. 132

Figura 114. Patrón de precipitación del mes de octubre correspondiente a la estación Ucubamba. 132

Figura 115. Patrón de precipitación del mes de noviembre correspondiente a la estación Ucubamba 132

Figura 116. Resultados de la validación del método de desagregación de Temperatura diaria para la estación de Patoquinas de la cuenca del río Tomebamba. 133

Figura 117. Resultados de la validación del método de desagregación de Temperatura diaria para la estación de Patoquinas de la cuenca del río Tomebamba. 134

Figura 118. Resultados de la validación del método de desagregación de Temperatura diaria para la estación de Matadero Sayausi de la cuenca del río Tomebamba. 135

Figura 119. Resultados de la validación del método de desagregación de Temperatura diaria para la estación de Matadero Sayausi de la cuenca del río Tomebamba. 136

Figura 120. Resultados de la validación del método de desagregación de Temperatura diaria para la estación de Sayausi PTAP de la cuenca del río Tomebamba. 137

Figura 121. Resultados de la validación del método de desagregación de Temperatura diaria para la estación de Ucubamba de la cuenca del río Tomebamba. 138

Figura 122. Resultados de la validación del método de desagregación de Temperatura diaria para la estación de Ucubamba de la cuenca del río Tomebamba. 139

Figura 123. Valores Máximos, Mínimos y medios de Temperatura para el mes de marzo en la zona alta, media y baja de la cuenca del Río Tomebamba. 140

Figura 124. Valores Máximos, Mínimos y medios de Temperatura para el mes de abril en la zona alta, media y baja de la cuenca del Río Tomebamba 141

Figura 125. Valores Máximos, Mínimos y medios de Temperatura para el mes de mayo en la zona alta, media y baja de la cuenca del Río Tomebamba. 142

Figura 126. Valores Máximos, Mínimos y medios de Temperatura para el mes de junio en la zona alta, media y baja de la cuenca del Río Tomebamba. 143



Figura 127. Valores Máximos, Mínimos y medios de Temperatura para el mes de julio en la zona alta, media y baja de la cuenca del Río Tomebamba.144

Figura 128. Valores Máximos, Mínimos y medios de Temperatura para el mes de agosto en la zona alta, media y baja de la cuenca del Río Tomebamba.145

Figura 129. Valores Máximos, Mínimos y medios de Temperatura para el mes de septiembre en la zona alta, media y baja de la cuenca del Río Tomebamba.146

Figura 130. Valores Máximos, Mínimos y medios de Temperatura para el mes de octubre en la zona alta, media y baja de la cuenca del Río Tomebamba.147

Figura 131. Valores Máximos, Mínimos y medios de Temperatura para el mes de noviembre en la zona alta, media y baja de la cuenca del Río Tomebamba.148

Figura 132. Valores Máximos, Mínimos y medios de Temperatura para el mes de diciembre en la zona alta, media y baja de la cuenca del Río Tomebamba.149

Figura 133. Media móvil de información histórica en la estación de Surucucho para el mes de febrero, tendencia y ecuación.150

Figura 134. Media móvil de información histórica en la estación de Surucucho para el mes de marzo, tendencia y ecuación.150

Figura 135. Media móvil de información histórica en la estación de Surucucho para el mes de abril, tendencia y ecuación.150

Figura 136. Media móvil de información histórica en la estación de Surucucho para el mes de mayo, tendencia y ecuación.151

Figura 137. Media móvil de información histórica en la estación de Surucucho para el mes de junio, tendencia y ecuación.151

Figura 138. Media móvil de información histórica en la estación de Surucucho para el mes de julio, tendencia y ecuación.151

Figura 139. Media móvil de información histórica en la estación de Surucucho para el mes de agosto, tendencia y ecuación.152

Figura 140. Media móvil de información histórica en la estación de Surucucho para el mes de septiembre, tendencia y ecuación.152

Figura 141. Media móvil de información histórica en la estación de Surucucho para el mes de octubre, tendencia y ecuación.152

Figura 142. Media móvil de información histórica en la estación de Surucucho para el mes de noviembre, tendencia y ecuación.153

Figura 143. Media móvil de información histórica en la estación de Surucucho para el mes de diciembre, tendencia y ecuación.153

Figura 144. Media móvil de información histórica en la estación de Chirimachay para el mes de febrero, tendencia y ecuación.153

Figura 145. Media móvil de información histórica en la estación de Chirimachay para el mes de marzo, tendencia y ecuación.154

Figura 146. Media móvil de información histórica en la estación de Chirimachay para el mes de abril, tendencia y ecuación.154

Figura 147. Media móvil de información histórica en la estación de Chirimachay para el mes de mayo, tendencia y ecuación.154

Figura 148. Media móvil de información histórica en la estación de Chirimachay para el mes de junio, tendencia y ecuación.155



Figura 149. Media móvil de información histórica en la estación de Chirimachay para el mes de julio, tendencia y ecuación..... 155

Figura 150. Media móvil de información histórica en la estación de Chirimachay para el mes de agosto, tendencia y ecuación. 155

Figura 151. Media móvil de información histórica en la estación de Chirimachay para el mes de septiembre, tendencia y ecuación..... 156

Figura 152. Media móvil de información histórica en la estación de Chirimachay para el mes de octubre, tendencia y ecuación. 156

Figura 153. Media móvil de información histórica en la estación de Chirimachay para el mes de noviembre, tendencia y ecuación..... 156

Figura 154. Media móvil de información histórica en la estación de Chirimachay para el mes de diciembre, tendencia y ecuación. 157

Figura 155. Media móvil de información futura en la estación de Surucucho para el mes de febrero, tendencia y ecuación..... 158

Figura 156. Media móvil de información futura en la estación de Surucucho para el mes de marzo, tendencia y ecuación. 158

Figura 157. Media móvil de información futura en la estación de Surucucho para el mes de abril, tendencia y ecuación..... 158

Figura 158. Media móvil de información futura en la estación de Surucucho para el mes de mayo, tendencia y ecuación. 159

Figura 159. Media móvil de información futura en la estación de Surucucho para el mes de junio, tendencia y ecuación..... 159

Figura 160. Media móvil de información futura en la estación de Surucucho para el mes de julio, tendencia y ecuación. 159

Figura 161. Media móvil de información futura en la estación de Surucucho para el mes de agosto, tendencia y ecuación. 160

Figura 162. Media móvil de información futura en la estación de Surucucho para el mes de septiembre, tendencia y ecuación..... 160

Figura 163. Media móvil de información futura en la estación de Surucucho para el mes de octubre, tendencia y ecuación. 160

Figura 164. Media móvil de información futura en la estación de Surucucho para el mes de noviembre, tendencia y ecuación..... 161

Figura 165. Media móvil de información futura en la estación de Surucucho para el mes de diciembre, tendencia y ecuación. 161

Figura 166. Media móvil de información futura en la estación de Chirimachay para el mes de febrero, tendencia y ecuación..... 161

Figura 167. Media móvil de información futura en la estación de Chirimachay para el mes de marzo, tendencia y ecuación. 162

Figura 168. Media móvil de información futura en la estación de Chirimachay para el mes de abril, tendencia y ecuación..... 162

Figura 169. Media móvil de información futura en la estación de Chirimachay para el mes de mayo, tendencia y ecuación. 162

Figura 170. Media móvil de información futura en la estación de Chirimachay para el mes de junio, tendencia y ecuación..... 163



Figura 171. Media móvil de información futura en la estación de Chirimachay para el mes de julio, tendencia y ecuación. 163

Figura 172. Media móvil de información futura en la estación de Chirimachay para el mes de agosto, tendencia y ecuación. 163

Figura 173. Media móvil de información futura en la estación de Chirimachay para el mes de septiembre, tendencia y ecuación. 164

Figura 174. Media móvil de información futura en la estación de Chirimachay para el mes de octubre, tendencia y ecuación. 164

Figura 175. Media móvil de información futura en la estación de Chirimachay para el mes de noviembre, tendencia y ecuación. 164

Figura 176. Media móvil de información futura en la estación de Chirimachay para el mes de diciembre, tendencia y ecuación. 165

Figura 177. Media móvil de información histórica en la estación de Matadero Sayausi Bajo para el mes de febrero, tendencia y ecuación. 166

Figura 178. Media móvil de información histórica en la estación de Matadero Sayausi Bajo para el mes de marzo, tendencia y ecuación. 166

Figura 179. Media móvil de información histórica en la estación de Matadero Sayausi Bajo para el mes de abril, tendencia y ecuación. 166

Figura 180. Media móvil de información histórica en la estación de Matadero Sayausi Bajo para el mes de mayo, tendencia y ecuación. 167

Figura 181. Media móvil de información histórica en la estación de Matadero Sayausi Bajo para el mes de junio, tendencia y ecuación. 167

Figura 182. Media móvil de información histórica en la estación de Matadero Sayausi Bajo para el mes de julio, tendencia y ecuación. 167

Figura 183. Media móvil de información histórica en la estación de Matadero Sayausi Bajo para el mes de agosto, tendencia y ecuación. 168

Figura 184. Media móvil de información histórica en la estación de Matadero Sayausi Bajo para el mes de septiembre, tendencia y ecuación. 168

Figura 185. Media móvil de información histórica en la estación de Matadero Sayausi Bajo para el mes de octubre, tendencia y ecuación. 168

Figura 186. Media móvil de información histórica en la estación de Matadero Sayausi Bajo para el mes de noviembre, tendencia y ecuación. 169

Figura 187. Media móvil de información histórica en la estación de Matadero Sayausi Bajo para el mes de diciembre, tendencia y ecuación. 169

Figura 188. Media móvil de información histórica en la estación de Buenos Aires para el mes de febrero, tendencia y ecuación. 169

Figura 189. Media móvil de información histórica en la estación de Buenos Aires para el mes de marzo, tendencia y ecuación. 170

Figura 190. Media móvil de información histórica en la estación de Buenos Aires para el mes de abril, tendencia y ecuación. 170

Figura 191. Media móvil de información histórica en la estación de Buenos Aires para el mes de mayo, tendencia y ecuación. 170

Figura 192. Media móvil de información histórica en la estación de Buenos Aires para el mes de junio, tendencia y ecuación. 171



Figura 193. Media móvil de información histórica en la estación de Buenos Aires para el mes de julio, tendencia y ecuación..... 171

Figura 194. Media móvil de información histórica en la estación de Buenos Aires para el mes de agosto, tendencia y ecuación. 171

Figura 195. Media móvil de información histórica en la estación de Buenos Aires para el mes de septiembre, tendencia y ecuación..... 172

Figura 196. Media móvil de información histórica en la estación de Buenos Aires para el mes de octubre, tendencia y ecuación. 172

Figura 197. Media móvil de información histórica en la estación de Buenos Aires para el mes de noviembre, tendencia y ecuación..... 172

Figura 198. Media móvil de información histórica en la estación de Buenos Aires para el mes de diciembre, tendencia y ecuación..... 173

Figura 199. Media móvil de información futura en la estación de Matadero Sayausi bajo para el mes de febrero, tendencia y ecuación..... 174

Figura 200. Media móvil de información futura en la estación de Matadero Sayausi bajo para el mes de marzo, tendencia y ecuación..... 174

Figura 201. Media móvil de información futura en la estación de Matadero Sayausi bajo para el mes de abril, tendencia y ecuación..... 174

Figura 202. Media móvil de información futura en la estación de Matadero Sayausi bajo para el mes de mayo, tendencia y ecuación..... 175

Figura 203. Media móvil de información futura en la estación de Matadero Sayausi bajo para el mes de junio, tendencia y ecuación..... 175

Figura 204. Media móvil de información futura en la estación de Matadero Sayausi bajo para el mes de julio, tendencia y ecuación..... 175

Figura 205. Media móvil de información futura en la estación de Matadero Sayausi bajo para el mes de agosto, tendencia y ecuación. 176

Figura 206. Media móvil de información futura en la estación de Matadero Sayausi bajo para el mes de septiembre, tendencia y ecuación..... 176

Figura 207. Media móvil de información futura en la estación de Matadero Sayausi bajo para el mes de octubre, tendencia y ecuación. 176

Figura 208. Media móvil de información futura en la estación de Matadero Sayausi bajo para el mes de noviembre, tendencia y ecuación..... 177

Figura 209. Media móvil de información futura en la estación de Matadero Sayausi bajo para el mes de diciembre, tendencia y ecuación. 177

Figura 210. Media móvil de información futura en la estación de Buenos Aires para el mes de febrero, tendencia y ecuación..... 177

Figura 211. Media móvil de información futura en la estación de Buenos Aires para el mes de marzo, tendencia y ecuación..... 178

Figura 212. Media móvil de información futura en la estación de Buenos Aires para el mes de abril, tendencia y ecuación..... 178

Figura 213. Media móvil de información futura en la estación de Buenos Aires para el mes de mayo, tendencia y ecuación..... 178

Figura 214. Media móvil de información futura en la estación de Buenos Aires para el mes de junio, tendencia y ecuación..... 179



Figura 215. Media móvil de información futura en la estación de Buenos Aires para el mes de julio, tendencia y ecuación. 179

Figura 216. Media móvil de información futura en la estación de Buenos Aires para el mes de agosto, tendencia y ecuación. 179

Figura 217. Media móvil de información futura en la estación de Buenos Aires para el mes de septiembre, tendencia y ecuación. 180

Figura 218. Media móvil de información futura en la estación de Buenos Aires para el mes de octubre, tendencia y ecuación. 180

Figura 219. Media móvil de información futura en la estación de Buenos Aires para el mes de noviembre, tendencia y ecuación. 180

Figura 220. Media móvil de información futura en la estación de Buenos Aires para el mes de diciembre, tendencia y ecuación. 181

Figura 221. Media móvil de información histórica en la estación de Ucubamba para el mes de febrero, tendencia y ecuación. 182

Figura 222. Media móvil de información histórica en la estación de Ucubamba para el mes de marzo, tendencia y ecuación. 182

Figura 223. Media móvil de información histórica en la estación de Ucubamba para el mes de abril, tendencia y ecuación. 182

Figura 224. Media móvil de información histórica en la estación de Ucubamba para el mes de mayo, tendencia y ecuación. 183

Figura 225. Media móvil de información histórica en la estación de Ucubamba para el mes de junio, tendencia y ecuación. 183

Figura 226. Media móvil de información histórica en la estación de Ucubamba para el mes de julio, tendencia y ecuación. 183

Figura 227. Media móvil de información histórica en la estación de Ucubamba para el mes de agosto, tendencia y ecuación. 184

Figura 228. Media móvil de información histórica en la estación de Ucubamba para el mes de septiembre, tendencia y ecuación. 184

Figura 229. Media móvil de información histórica en la estación de Ucubamba para el mes de octubre, tendencia y ecuación. 184

Figura 230. Media móvil de información histórica en la estación de Ucubamba para el mes de noviembre, tendencia y ecuación. 185

Figura 231. Media móvil de información histórica en la estación de Ucubamba para el mes de diciembre, tendencia y ecuación. 185

Figura 232. Media móvil de información futura en la estación de Ucubamba para el mes de febrero, tendencia y ecuación. 186

Figura 233. Media móvil de información futura en la estación de Ucubamba para el mes de marzo, tendencia y ecuación. 186

Figura 234. Media móvil de información futura en la estación de Ucubamba para el mes de abril, tendencia y ecuación. 186

Figura 235. Media móvil de información futura en la estación de Ucubamba para el mes de mayo, tendencia y ecuación. 187

Figura 236. Media móvil de información futura en la estación de Ucubamba para el mes de junio, tendencia y ecuación. 187



Figura 237. Media móvil de información futura en la estación de Ucubamba para el mes de julio, tendencia y ecuación. 187

Figura 238. Media móvil de información futura en la estación de Ucubamba para el mes de agosto, tendencia y ecuación. 188

Figura 239. Media móvil de información futura en la estación de Ucubamba para el mes de septiembre, tendencia y ecuación. 188

Figura 240. Media móvil de información futura en la estación de Ucubamba para el mes de octubre, tendencia y ecuación. 188

Figura 241. Media móvil de información futura en la estación de Ucubamba para el mes de noviembre, tendencia y ecuación. 189

Figura 242. Media móvil de información futura en la estación de Ucubamba para el mes de diciembre, tendencia y ecuación. 189

Figura 243. Media móvil del mes de febrero para la temperatura en la zona baja de la estación de Ucubamba. 190

Figura 244. Media móvil del mes de marzo para la temperatura en la zona baja de la estación de Ucubamba. 190

Figura 245. Media móvil del mes de abril para la temperatura en la zona baja de la estación de Ucubamba. 190

Figura 246. Media móvil del mes de mayo para la temperatura en la zona baja de la estación de Ucubamba. 191

Figura 247. Media móvil del mes de junio para la temperatura en la zona baja de la estación de Ucubamba. 191

Figura 248. Media móvil del mes de julio para la temperatura en la zona baja de la estación de Ucubamba. 191

Figura 249. Media móvil del mes de agosto para la temperatura en la zona baja de la estación de Ucubamba. 192

Figura 250. Media móvil del mes de septiembre para la temperatura en la zona baja de la estación de Ucubamba. 192

Figura 251. Media móvil del mes de octubre para la temperatura en la zona baja de la estación de Ucubamba. 192

Figura 252. Media móvil del mes de noviembre para la temperatura en la zona baja de la estación de Ucubamba. 193

Figura 253. Media móvil del mes de diciembre para la temperatura en la zona baja de la estación de Ucubamba. 193



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Gabriel Josué Fajardo Vázquez en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación “Análisis de Escenarios de Cambio Climático, determinando parámetros de correlación entre series de datos a escala diaria y horaria en la cuenca del Tomebamba”, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 17 de octubre de 2019.

Gabriel Josué Fajardo Vázquez

C.I: 0301967717



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Angel Eduardo Quilli Quezada en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Análisis de Escenarios de Cambio Climático, determinando parámetros de correlación entre series de datos a escala diaria y horaria en la cuenca del Tomebamba", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 17 de octubre de 2019.

Angel Eduardo Quilli Quezada

C.I: 1104137573



Cláusula de Propiedad Intelectual

Gabriel Josue Fajardo Vázquez autor del trabajo de titulación “Análisis de Escenarios de Cambio Climático, determinando parámetros de correlación entre series de datos a escala diaria y horaria en la cuenca del Tomebamba”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 17 de octubre de 2019.

Gabriel Josue Fajardo Vázquez

C.I: 0301967717



Cláusula de Propiedad Intelectual

Angel Eduardo Quilli Quezada autor del trabajo de titulación “Análisis de Escenarios de Cambio Climático, determinando parámetros de correlación entre series de datos a escala diaria y horaria en la cuenca del Tomebamba”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 17 de octubre de 2019.

Angel Eduardo Quilli Quezada

C.I: 1104137573



Dedicatoria.

Dedico este trabajo a todas aquellas personas que con su apoyo y ejemplo han sido una motivación para alcanzar esta meta. En especial a mis madres Elena, Ana y Rosa, sin ustedes esto no hubiese sido posible.

Agradecimiento.

En primer lugar, agradezco a Dios y a la vida por ser mi fuente de fortaleza e inspiración para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

A mis amadas Madres Elena, Ana y Rosa, motores de mi vida, que gracias a su amor, trabajo y sacrificio a lo largo de todo este tiempo hoy he culminado con esta etapa importante en mi camino. Gracias por formarme y hacerme quien soy.

A mis primos Jorge y Valeria, por ser una motivación en mi vida. Son mi ejemplo a seguir.

Al Doctor Diego Mora Serrano por compartir sus conocimientos y ser el guía de nuestro trabajo.



Dedicatoria.

A mis padres Angel y Hilda, a mis hermanos Pablo, Walter, Diego y hermana Zoila por darme ese apoyo, ayuda y consejo pese a todos los obstáculos y así ser una persona perseverante para alcanzar esta meta, al resto de mi familia que estuvieron también dándome ánimo y apoyo.

A mis amigos por todas esas excelentes experiencias lo largo de la carrera.

Agradecimiento.

En primer lugar, agradezco a Dios por esta larga lucha, a mi familia por ser ese apoyo cada día y pilar fundamental para alcanzar este objetivo universitario, a la ciudad de cuenca por brindarme esta oportunidad de cumplir una meta más en la vida, a los docentes de la universidad de cuenca de la facultad de ingeniería por brindarme su tiempo y conocimiento.



Capítulo 1: Introducción.

1.1. Antecedentes.

El cambio climático mundial y sus efectos sobre los recursos hídricos constituye uno de los principales factores al momento de cuantificar los recursos disponibles en escenarios futuros para tomar decisiones oportunas en cuanto a su adecuado uso (Arnell et al., 2008). Tales efectos se manifiestan con variaciones en los patrones climáticos, así lo demuestran los diferentes registros de observaciones y proyecciones climáticas, los cuales, dan evidencias de los fuertes impactos sobre los ecosistemas y sus habitantes (IPCC., 2008). Durante los últimos años se ha observado un cambio constante en las condiciones climáticas en el mundo, que ha tenido como consecuencia aumentos de la frecuencia y severidad de fenómenos como inundaciones y sequías (Stehr et al., 2010). Según el cuarto informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, IPCC por sus siglas en inglés, los cuatro principales impactos del cambio climático en la región de los Andes tropicales son: un claro aumento en la temperatura superficial media, la desaparición de los glaciares en Colombia, Ecuador, Perú y Bolivia causada por cambios en la temperatura y humedad, mayor variabilidad en los eventos extremos de lluvia (Parry et al., 2007) y la disminución de las precipitaciones en la cuenca del Amazonas (Villar et al., 2009).

El sistema climático es altamente no lineal, mostrando interacciones complejas entre las variables climáticas, que causan señales oscilatorias complejas. Como consecuencia, la predicción de los escenarios climáticos futuros es un desafío (Campozano, 2017). Es así, que se han desarrollado proyecciones que han evolucionado rápidamente en los últimos veinte años (Perry & Falzon, 2015). Tales predicciones consisten en cuantificar riesgos y probabilidades. Los cambios en las distribuciones de las lluvias podrían tener un impacto mucho mayor que el riesgo más frecuente del calentamiento global, pero la cuantificación sistemática de la probabilidad de tales cambios recién está comenzando. No se puede esperar predecir el clima exacto de 2050, aún menos el clima en un día en particular, pero se puede evaluar la probabilidad relativa de diferentes tendencias a largo plazo dadas las limitaciones proporcionadas por las observaciones y la comprensión física disponible en la actualidad (Allen & Ingram, 2002). Los climatólogos han adoptado nuevas herramientas, como el monitoreo satelital, la modelación con supercomputadores y las redes de estaciones de monitoreo remoto en tierra y mar, para reunir información de todo el planeta por medio de indicadores climáticos en tiempo real. Esta información sirve para desarrollar modelos de predicción del clima, comúnmente llamados Modelos Climáticos Globales (MCG), los cuales son las principales herramientas para entender, en gran escala y baja resolución (por ejemplo: global, continental o subcontinental), los patrones climáticos y predecir las condiciones del clima a futuro (Perry & Falzon, 2015).

Los MCG son útiles para comprender los patrones climáticos generales y describir, a nivel muy general, las condiciones futuras a las cuales un sitio pudiera estar expuesto. La capacidad para predecir con precisión el clima a futuro se limita a unas pocas décadas, y funciona mejor con la temperatura que con la precipitación. La falta de precisión acerca de la precipitación y predicciones a largo plazo es una limitación significativa en las estrategias de planificación del manejo de un sitio.

Un MCG puede ser 'afinado' para la modelación del clima a una resolución espacial más pequeña. La afinación se basa en la agregación de factores que influyen en el clima local, tales como la presencia de cadenas montañosas, grandes cuerpos de agua (por ejemplo: líneas



costeras, lagos) y gradientes altitudinales. Tal afinación genera los llamados Modelos Climáticos Regionales (MCR), los cuales, pueden ofrecer predicciones más precisas para las condiciones futuras (Perry & Falzon, 2015). Sin embargo, los MCR requieren mucho tiempo para ejecutarse y, por lo general, solo una pequeña cantidad de ejecuciones de modelos está disponible para una determinada región de interés (Buytaert et al., 2010).

El impacto del cambio climático en los sistemas hidrológicos está recibiendo mayor atención durante las últimas décadas debido a sus consecuencias sobre los recursos hídricos, especialmente relacionados con las sequías y las inundaciones (Nijssen et al., 2001; Hirabayashi et al., 2008; Urrutia & Vuille, 2009; Dirmeyer et al., 2012). Esta problemática ha llevado a realizar diferentes investigaciones en cuencas hidrográficas a nivel mundial. Dibike & Coulibaly (2005) realizaron un estudio del Impacto hidrológico del cambio climático en la cuenca del Saguenay, en el cual se aplicó dos tipos de técnicas de reducción de escala (downscaling) estadística (estocástica y de regresión) para generar los posibles valores futuros de variables meteorológicas locales como la precipitación y la temperatura en la subcuenca de Chute-du-Diable de la cuenca del Saguenay en el norte de Quebec, Canadá. Los datos reducidos se utilizaron como entrada para dos modelos hidrológicos diferentes para simular el régimen de flujo futuro correspondiente en la cuenca. Aunque las dos técnicas de reducción de escala no proporcionaron resultados idénticos, las series de tiempo generadas por ambos métodos indicaron una tendencia creciente general en los valores medios de temperatura diaria. En cuanto a la precipitación, se obtuvo como resultado una tendencia creciente en la media y la variabilidad de los valores de precipitación diaria usando la técnica de reducción de escala basada en la regresión (Dibike & Coulibaly, 2005).

Nijssen et al. (2000), estudiaron la sensibilidad hidrológica de los ríos globales al Cambio Climático. Para este propósito utilizaron predicciones climáticas de cuatro MCG de última generación para evaluar la sensibilidad hidrológica al cambio climático de nueve grandes cuencas continentales (Amazonas, Amur, Mackenzie, Mekong, Misisipi, Dviná Septentrional, Xi, Amarillo, Yenisei). Los cuatro modelos climáticos usados (HCCPR-CM2, HCCPR-CM3, MPI-ECHAM4 y DOE-PCM3) predijeron la respuesta climática transitoria a las cambiantes concentraciones de gases de efecto invernadero e incorporaron parametrizaciones modernas de la superficie terrestre. Los cambios de temperatura y precipitación mensuales promedio pronosticados por el modelo se redujeron al nivel de la cuenca hidrográfica para ajustar el sesgo del MCG. Además, utilizaron el modelo hidrológico de macro escala de capacidad de infiltración variable para calcular los cambios correspondientes en los flujos hidrológicos (especialmente el flujo de las corrientes y la evapotranspiración) y los depósitos de humedad. Las simulaciones del modelo hidrológico se realizaron durante décadas centradas en 2025 y 2045. Además, se realizó un estudio de sensibilidad en el que la temperatura y la precipitación se incrementaron de forma independiente en 2 °C y 10%, respectivamente, durante cada una de las cuatro estaciones. Todos los MCG predicen un calentamiento para las nueve cuencas, con el mayor calentamiento previsto durante los meses de invierno en las latitudes más altas. La precipitación generalmente aumenta, pero la señal de precipitación mensual varía más entre los modelos que la temperatura. Los mayores cambios en el ciclo hidrológico se predicen para las cuencas dominadas por la nieve de latitudes medias a altas. Esto se debe en parte a la mayor cantidad de calentamiento pronosticado para estas regiones, pero más importante, debido al relevante papel de la nieve en el equilibrio hídrico. Las respuestas al cambio climático son algo diferentes



para las cuencas más frías dominadas por la nieve que para aquellas con regímenes de nieve más transitorios. En las cuencas más frías, la respuesta al calentamiento es un aumento del pico del flujo de la corriente primaveral, mientras que para las cuencas de transición la escorrentía de la primavera disminuye. En cambio, las cuencas de transición tienen grandes aumentos en los caudales de invierno. La respuesta hidrológica de la mayoría de las cuencas tropicales y de latitud media a las condiciones más cálidas y algo más húmedas que predicen los MCG es una reducción en el caudal anual, aunque, una vez más, existe un gran desacuerdo entre los diferentes MCG. Por el contrario, para las cuencas de alta latitud los aumentos en el volumen de flujo anual se predicen en la mayoría de los casos.

A nivel de Continente, Marengo et al. (2009), efectuaron un estudio referente a los cambios futuros de temperaturas y precipitaciones extremas en América del Sur. En este trabajo se utilizó el sistema de modelación climático regional PRECIS, el cual se ha utilizado para desarrollar escenarios regionales de cambio climático en todo el mundo, para analizar la distribución de precipitaciones y temperaturas extremas en un pasado reciente (1961-1990) y en un clima futuro (2071-2100) bajo los escenarios de emisiones IPCC SRES A2 y B2. Los resultados mostraron que, para el clima actual, el modelo simula bien la distribución espacial de la temperatura extrema y los eventos de lluvia en comparación con las observaciones. En todos los escenarios climáticos futuros considerados, todas las partes de la región experimentarían cambios significativos y a menudo diferentes en las precipitaciones y las temperaturas extremas. En el futuro, se prevé que la ocurrencia de noches cálidas sea más frecuente en toda Sudamérica tropical, mientras que la ocurrencia de eventos nocturnos fríos es probable que disminuya. También se proyectan cambios significativos en los extremos de lluvia y sequías. Estos incluyen el aumento de la intensidad de los eventos de precipitación extrema en la mayor parte del sureste de América del Sur y la Amazonia occidental, de acuerdo con las tendencias crecientes proyectadas en la precipitación total en estas regiones. En el noreste de Brasil y la Amazonia oriental, se observan cambios menores o nulos en la intensidad de la lluvia proyectada, aunque se observan cambios significativos en la frecuencia de días secos consecutivos.

El cambio climático del siglo XX en los Andes tropicales está poco documentado debido a la inadecuada cobertura de datos espaciales y temporales. La retirada de los glaciares tropicales andinos a lo largo de este siglo, sin embargo, indica que tal cambio está realmente en marcha (Ames & Hastenrath, 1996). Vuille et al. (2003), realizaron un análisis de tendencia lineal de datos observacionales combinado con diagnósticos de un MCG para buscar mecanismos potenciales relacionados con la retirada glaciaria observada en los Andes tropicales entre 1950 y 1998. Las observaciones mostraron que los cambios en la cantidad de precipitación o la nubosidad sobre las últimas décadas son menores en la mayoría de las regiones y, por lo tanto, es poco probable que hayan causado la retirada observada. La única excepción es en el sur de Perú y el oeste de Bolivia, donde hay una tendencia general hacia condiciones ligeramente más secas. También se determinó que la temperatura cercana a la superficie ha aumentado significativamente en la mayoría de los Andes tropicales. Para reproducir de manera objetiva la tendencia de calentamiento observado, realizaron simulaciones con el modelo ECHAM-4 utilizando como datos de entrada las temperaturas globales observadas de la superficie del mar. Los resultados del modelo sugieren que una fracción significativa del calentamiento observado se puede atribuir a un aumento simultáneo de la temperatura de la superficie del mar en el Pacífico ecuatorial y que las tendencias marcadamente diferentes en la nubosidad al este y oeste



de los Andes contribuyeron a un calentamiento menos marcado al este del Andes en el modelo. Se argumenta que los cambios en la temperatura y la humedad son la causa principal del retroceso observado en los glaciares durante la segunda mitad del siglo XX en los Andes tropicales.

Las proyecciones generadas por los Modelos Climáticos Globales son tratadas mediante técnicas de reducción de escala dinámicas o estadísticas (Fowler et al., 2007) y los resultados son utilizados para correr modelos hidrológicos de menor escala (Salathé et al., 2007). Este proceso es susceptible a grandes incertidumbres en varios niveles de la predicción. Particularmente se sabe que los MCG contienen grandes errores, debido a la simplificación de la representación climática, supuestos potencialmente erróneos sobre los procesos climáticos, resolución espacial y temporal limitada y errores en los datos de entrada (Allen & Ingram, 2002; Stainforth et al., 2007). En este sentido, Buytaert et al. (2009), realizaron un estudio para examinar el impacto de las incertidumbres relacionadas con los MCG en los estudios de impacto hidrológico en los Andes tropicales. Para esto calibraron un modelo hidrológico conceptual a partir de datos de cuatro cuencas montañosas de mesoescala en el sur de Ecuador. Las entradas del modelo fueron perturbadas con anomalías proyectadas por 20 MCG disponibles del Centro de Distribución de Datos del IPCC. Los resultados muestran que, en promedio, no se espera que la descarga mensual promedio cambie drásticamente. Sin embargo, las descargas simuladas por diferentes modelos de clima mundial que fuerzan los datos pueden diferir ampliamente, con rangos de predicción que a menudo superan la descarga actual.

Adicionalmente, Buytaert et al. (2010), realizaron un estudio para determinar las Incertidumbres en las proyecciones del cambio climático y la reducción de escala regional en los Andes tropicales. Para este trabajo se comparó el Modelo Climático Regional PRECIS con el conjunto de modelos del IPCC AR4, determinando así que el MCR captura los gradientes locales mejor que los modelos globales, pero localmente el modelo es propenso a grandes discrepancias entre la precipitación observada y modelada. Concluyeron que es necesario un aumento adicional en la resolución para representar correctamente los gradientes locales. Además, para evaluar la incertidumbre en el proceso de reducción de escala, debería implementarse un conjunto de modelos climáticos regionales. Finalmente, la traducción de las variables climáticas al flujo de las corrientes utilizando un modelo hidrológico constituye una fuente de incertidumbre más pequeña pero no despreciable.

A nivel regional, la cuenca del río Paute es una de las cuencas más monitoreadas, debido a su importancia en la generación de energía hidroeléctrica. La cuenca se encuentra en la Depresión Inter-Andina que separa la Cordillera Occidental y Real en el sur de Ecuador (Coltorti & Ollier, 2000). Debido a esta importancia se han llevado a cabo muchos estudios dentro de la cuenca del río Paute, como es el caso del trabajo presentado por Mora et al. (2012), en el cual realizaron un análisis estadístico sobre el desempeño de los modelos climáticos mundiales y regionales para la cuenca. Para ello, trabajaron sobre diferentes simulaciones de Modelos Climáticos Globales del IPCC AR4, así como simulaciones del Modelo Climático Regional PRECIS. Esta cuenca tiene una amplia gama de elevaciones topográficas y cubre diferentes regímenes hidrológicos, representados en aquel estudio por seis estaciones meteorológicas. Los resultados de la simulación de control de los modelos climáticos se verificaron estadísticamente para detectar inconsistencias al cuantificar las diferencias entre el período de control y los datos históricos de series de tiempo de lluvia y temperatura. Esto se hizo para valores anuales, mensuales y diarios



con respecto al período de devolución. Además, se calcularon los criterios estadísticos de error cuadrático medio relativo, sesgo y correlación. Los resultados muestran que ningún modelo se desempeñó bien para todos los criterios, pero algunos modelos en general fueron mejores que otros. El conjunto de modelos de mejor rendimiento, sin embargo, difería de una estación a otra. Otro resultado que se obtuvo fue que varios MCG mostraron mejores resultados que los MCR para las precipitaciones. Los resultados que obtuvieron presentan que un fuerte aumento en la resolución espacial del modelo climático no necesariamente da como resultado una descripción más precisa de las propiedades climáticas locales. Por lo tanto, las técnicas de reducción de escala estadística son cruciales en los estudios de impacto del cambio climático para estas regiones.

Adicionalmente, Mora et al. (2014), realizaron una investigación sobre los indicios de cambio climático para variables correspondientes a precipitación y temperatura a lo largo de la cuenca del río Paute, en el sur de la región Andina ecuatoriana. Para ello utilizaron un enfoque de perturbación basado en cuantiles para generar los procesos de reducción de escala del clima, y se estudió el impacto del cambio climático en la escorrentía para dos cuencas acogidas dentro de la cuenca del río Paute. El enfoque de perturbación basado en cuantiles es un método para transferir la señal del cambio climático desde un nivel del sistema climático representado por modelos climáticos al nivel del sistema hidrológico representado por modelos hidrológicos. El análisis fue ejecutado haciendo uso de series diarias largas de precipitación y temperatura correspondientes a siete sitios representativos a lo largo del área de estudio y considerando las señales de cambio climático proporcionadas por modelos climáticos globales y regionales para los escenarios del IPCC SRES A1B, A2 y B1. Para determinar la escorrentía utilizaron un modelo general agrupado de precipitación-escorrentía. Este estudio encontró que existe un incremento anual promedio de aproximadamente $+2.0$ °C, generando un rango de cambios en la temperatura homogéneo para casi toda la región. Sin embargo, observaron que las épocas más cálidas del año muestran cambios menores que las épocas más frías. En el caso de las precipitaciones, los resultados del proyecto de escala reducida aumentan la profundidad media anual de las precipitaciones y las intensidades de lluvias extremas diarias a lo largo de la cuenca para todos los sitios y todos los escenarios. Los cambios más altos en las intensidades de lluvia extrema son para la región más húmeda.

1.2. Justificación.

El empleo de modelos de clima constituye una herramienta importante para abordar estudios relativos a la gestión del agua bajo escenarios de cambio climático. Existe una fuerte demanda por parte de los formuladores de políticas de predicciones sobre los impactos potenciales del cambio climático en los recursos hídricos. Los modelos ambientales integrados, que combinan modelos climáticos e hidrológicos, a menudo se utilizan para este propósito (Buytaert et al., 2009). El aumento de esta demanda se debe en gran medida a las afecciones generadas sobre la biodiversidad. Desde tiempos preindustriales, actividades humanas como la quema de combustibles fósiles y los cambios en la cobertura y uso del suelo, han sido las responsables del incremento de las concentraciones de gases de efecto invernadero. Estos factores, junto a las fuerzas naturales, se encuentran asociados a los cambios en el clima mundial, los cuales se presentan en problemas como: aumentos en la temperatura de la superficie terrestre y marina, cambios en los patrones espaciales y temporales de las precipitaciones, aumento del nivel del mar, y aumento en la frecuencia e intensidad de los fenómenos asociados a El Niño (IPCC, 2003).



De igual manera, se sabe que los cambios significativos en las condiciones climáticas también tendrán un efecto en los sistemas sociales y económicos en muchas regiones a través de cambios en la demanda, el suministro y la calidad del agua. En regiones que actualmente son sensibles al estrés hídrico (regiones montañosas áridas y semiáridas), cualquier déficit en el suministro de agua mejorará la competencia por el uso del agua para una amplia gama de aplicaciones económicas, sociales y ambientales. En el futuro, tal competencia se agudizará como resultado de poblaciones más grandes, lo que llevará a una mayor demanda de riego y tal vez también de industrialización, a expensas del agua potable (Noble & Gitay, 1998). Las disputas armadas sobre los recursos hídricos bien pueden ser una consecuencia social significativa en un ambiente degradado por la contaminación y estresado por el cambio climático (Beniston, 2002; Glantz, 1998).

Por otro lado, las regiones montañosas en muchas partes del mundo son susceptibles a los impactos de un clima que cambia rápidamente, y proporcionan lugares interesantes para la detección temprana y el estudio de las señales del cambio climático y sus impactos en los sistemas hidrológicos, ecológicos y sociales. Una razón para esto es que, a medida que el clima cambia rápidamente con la altura en distancias horizontales relativamente cortas, también lo hace la vegetación y la hidrología (Whiteman, 2000). En este sentido, realizar estudios de cambio climático en estas regiones resulta de vital importancia, ya que constituyen importantes fuentes de agua, energía, minerales, bosques y productos agrícolas. Además, el 40% de la población mundial vive en las cuencas hidrográficas de los ríos que se originan en las diferentes cadenas montañosas del planeta (Beniston, 2003).

Debido a que más del 50% de los ríos del mundo provienen de regiones montañosas, los impactos del cambio climático en la hidrología probablemente tendrán repercusiones significativas, no solo en las zonas altas de las regiones montañosas, sino también en las regiones de tierras bajas pobladas que dependen de los recursos hídricos de las montañas, energía y fines industriales. Los recursos hídricos para los poblados en las tierras bajas de las montañas, están influenciados por los climas de las montañas y la vegetación. Los sistemas hidrológicos también están controlados por la humedad del suelo, que en gran medida determina la distribución de los ecosistemas, la recarga de aguas subterráneas y la escorrentía; los dos últimos factores sostienen el flujo del río y pueden conducir a inundaciones (Beniston, 2003).

América Latina representa el 35% de agua dulce mundial. Se espera que los impactos del cambio climático ocurran en las regiones más áridas del continente, las cuales tienden a asociarse con las influencias de lluvia de la cordillera de los Andes (IPCC, 1998). En Ecuador, por ejemplo, las tierras altas andinas (llamadas localmente Sierra), que comprenden aproximadamente el 34% de la superficie total del país, son un sistema de recursos naturales único no solo para el agua dulce sino también para el desarrollo sostenible de la sociedad. Si los recursos hídricos de estos ecosistemas de alta montaña no se desarrollan y gestionan adecuadamente, disminuirán rápidamente, lo que provocará no solo una pérdida de biodiversidad sino también una distorsión de la capacidad de regulación del agua de los ecosistemas húmedos de los Andes. (Célleri & Feyen, 2009).

La complejidad y la interdependencia mutua de los sistemas ambientales y socioeconómicos de las regiones andinas plantean problemas importantes para los estudios de impactos climáticos (Beniston, 1997). Adicionalmente el conocimiento de los posibles impactos en estas regiones es



menos extenso, debido a la falta de datos lo que ocasiona dificultad en la calibración y validación de modelos y, además no permite una evaluación de las incertidumbres de predicción de los mismos.

Es por ello que la presente investigación pretende realizar un análisis de escenarios de cambio climático, determinando parámetros de correlación entre series de datos a escala diaria y horaria en la cuenca del Tomebamba. Esta cuenca pertenece a la cuenca del río Paute y es de vital importancia, ya que es una fuente importante de agua potable para la ciudad de Cuenca. Conocer toda la problemática que genera en si el cambio climático, permitirá tomar decisiones a niveles gubernamentales, que permitirán un adecuado manejo de la cuenca.

1.3. Objetivos.

1.3.1. Objetivo General.

Analizar escenarios de cambio climático en la cuenca del Tomebamba, mediante el uso de datos de diferente resolución temporal a escala diaria y escala horaria.

1.3.2. Objetivos Específicos.

- Procesar los datos de las estaciones de la cuenca del Tomebamba.
- Determinar parámetros de correlación entre series de datos a escala diaria y horaria e implementación de los mismos en plausibles escenarios de cambio climático.
- Establecer las tendencias de los parámetros hidrometeorológicos a diferentes escalas temporales.
- Realizar un análisis de las frecuencias de escala horaria sobre las series diarias de los modelos climáticos.



Capítulo 2. Marco Teórico.

2.1. Cambio Climático.

El Cambio Climático es un problema que ha trascendido los ámbitos de la investigación científica, para introducirse en los problemas de la sociedad no ya como un problema futuro, sino como una realidad a la que se debe adaptar. Se manifiesta a escala global en fenómenos como aumentos en la temperatura, cambios en la precipitación, elevación del nivel medio del mar y aumentos en la intensidad y frecuencia de los fenómenos climáticos extremos que producen mayor variabilidad en el clima. Estos hechos se derivan principalmente de la actividad humana en la emisión de Gases de Efecto Invernadero, originando el problema del calentamiento global, el cual tiene el potencial de cambiar los patrones climáticos en todo el planeta (IPCC, 2014).

El IPCC (2008) define al cambio climático como la variación del estado del clima, determinable en las variaciones del valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades. Estas variaciones se pueden determinar mediante pruebas estadísticas, y persisten durante periodos largos de tiempo, por ejemplo, decenios. El cambio climático se atribuye a procesos internos naturales o a forzamientos externos tales como modulaciones de los ciclos solares, erupciones volcánicas o cambios antropógenos constantes de la composición de la atmósfera o del uso del suelo, así como a la acción directa o indirecta de la actividad humana que altera la composición de la atmósfera global.

Los países desarrollados son los principales emisores de gases de efecto invernadero, lo que ha causado una gran repercusión en los países en vías de desarrollo, así lo demuestran los pronósticos sobre cambio de clima, los cuales muestran los impactos sobre los mismos.

Estas circunstancias han llevado a tomar medidas de mitigación en muchos lugares del planeta, principalmente para preservar las fuentes de recursos naturales indispensables para el desarrollo de la vida.

Hoy en día, el ser humano tiene el potencial de afectar directamente el sistema climático, debido a actividades que lo relacionan con la utilización de combustibles fósiles, que emiten grandes concentraciones de gases de efecto invernadero hacia la atmósfera. Estudios realizados muestran evidencia clara del aumento de la temperatura global de 0.6°C durante el siglo XX, como consecuencia de la emisión creciente de gases de efecto invernadero a la atmósfera, observándose un incremento acelerado desde los años 70 y presentándose gradientes crecientes durante el siglo XXI. Este incremento medio de la temperatura global tiene la capacidad de repercutir directamente sobre los sistemas biológicos del planeta (Duarte, 2006).

En el estudio del Cambio Climático se puede tener muchas incertidumbres derivadas del desconocimiento parcial de las causas del clima, del uso de modelos y derivadas de los propios escenarios de emisiones. En el sistema climático se producen interacciones complejas que generan retroalimentaciones en los procesos y que le dan un carácter no lineal al sistema climático. Cuando se analiza en conjunto los procesos que se dan en el sistema climático, se observa que existe dependencia entre los mismos, es decir, unos influyen en otros; la acción de dependencia de dichos procesos considerados aisladamente tiene influencia en sus propias causas; por lo tanto, realizar un tratamiento analítico sobre dichos procesos es muy complicado, por lo que resulta adecuado la correspondiente simulación mediante modelos. Los modelos



realizan aproximaciones de la realidad mediante varias simplificaciones que generan incertidumbres. Por ejemplo, los modelos realizan discretizaciones espaciales para poder obtener resultados en tiempos razonables, es por esto que, los resultados de simulaciones no se pueden aplicar directamente sobre escalas locales. Por lo tanto, los modelos también presentan limitaciones al momento de anticipar posibles respuestas no lineales, es por esto que se puede producir cambios inesperados en el estado del sistema, como podría ser los cambios de clima rápido. Un ejemplo de esto podría ser la recesión de los glaciares con sus efectos de retroalimentación sobre el albedo global (Duarte, Carlos, 2006).

Sin embargo, pese a las incertidumbres mencionadas, se ha obtenido resultados satisfactorios al modelar el clima actual para luego poder realizar proyecciones hacia el futuro bajo distintos escenarios. Estos resultados, junto con las observaciones sobre los impactos de la actividad humana sobre el sistema climático, han llevado a establecer que el Cambio Climático es una realidad en la que ya se está inmerso y que considerarlo como una suposición o como un problema futuro es una idea errónea que retrasa la adopción de medidas de adaptación y mitigación, y que agrava los impactos de este problema (Duarte, Carlos, 2006).

2.1.1. Impactos del Cambio Climático.

En los últimos años, los impactos atribuibles al cambio climático han tenido repercusión sobre los sistemas naturales y humanos en todo el mundo. Estos impactos ponen en evidencia la vulnerabilidad de dichos sistemas al clima cambiante. Las evidencias de los impactos del cambio climático ocasionados sobre los sistemas naturales son más concisas y claras que sobre los sistemas humanos, ya que en estos últimos se manifiestan de manera heterogénea globalmente debido a que además de los factores climáticos, se ven afectados por factores sociales y económicos (IPCC, 2014).

En varias regiones del planeta, los cambios presentados en las precipitaciones o problemas como el derretimiento de la nieve y hielo, han afectado fuertemente sobre los sistemas hidrológicos, repercutiendo directamente sobre la disponibilidad y calidad de los recursos hídricos. Otro problema presentado es el retroceso de los glaciares en muchas regiones, lo que afecta sobre la escorrentía y sobre los recursos hídricos aguas abajo de tales regiones. Adicionalmente, se ha observado aumentos en las frecuencias de olas de calor en varios países de Europa y Asia, debido a los cambios a escala global que se ha observado en la frecuencia e intensidad de las temperaturas extremas diarias. Este problema ha generado que el número de días y noches cálidos hayan aumentado (IPCC, 2014).

Según Buytaert et al. (2010), se espera que el aumento de las temperaturas genere un incremento de la evapotranspiración y, por lo tanto, un aumento en el contenido de agua atmosférico. Este problema puede generar variaciones en los patrones de precipitación a gran escala, así como cambios en las frecuencias de eventos extremos. El resultado de estas alteraciones, se ve reflejado fuertemente en las afecciones generadas en la humedad del suelo, los cursos de agua y en el almacenamiento de agua subterránea. El entendimiento de estos procesos hidrológicos es de suma importancia, ya que permite el manejo sostenible de los recursos hídricos a largo plazo mediante estrategias de planificación.



Buytaert et al. (2011) establece que el cambio climático modificará los límites de los ecosistemas, disminuyendo en gran medida la superficie de las regiones alpinas tropicales húmedas. Estas regiones se producen en las cordilleras tropicales de los Andes, donde se las conoce comúnmente como páramos.

Los páramos son conocidos por su excelente capacidad de regulación del agua, ya que proporcionan un flujo constante a los ríos. Las zonas bajas adyacentes presentan condiciones climáticas generalmente más secas, por lo tanto, el agua proveniente de los páramos resulta importante para el suministro de agua en las ciudades. Debido al efecto orográfico, en los páramos se genera mayor cantidad de precipitación, lo que produce condiciones propicias para el desarrollo de humedales, los cuales ayudan a mejorar la recarga de aguas subterráneas, la acumulación de sedimentos y la eliminación de la contaminación. Por otro lado, la ausencia de árboles y vegetación densa, a diferencia de las zonas montañosas, hace de los Páramos verdaderos almacenes de agua, lo cual manifiesta la importancia de los suelos de los Páramos como verdaderos cuerpos de agua fundamentales en el ciclo hidrológico. A pesar de su área limitada, estas regiones proporcionan beneficios ambientales tanto a escala Local como Global, entre las que se destacan: la preservación de la biodiversidad, almacenamiento de carbono, y quizá la más importante, proporcionar de agua para las ciudades, agricultura y la producción de energía hidroeléctrica. Además, estas regiones generan endemismos, ya que poseen especies únicas de flora y fauna (Buytaert et al., 2011).

Los cambios en los patrones de precipitación y las alteraciones en las propiedades del suelo debido al cambio climático, afectarán directamente en la disponibilidad de recursos hídricos en los páramos. Muchas regiones experimentan ya reducciones significativas de flujo en las corrientes de agua. La tendencia y magnitud de gran parte de estos efectos depende en su mayoría de las condiciones climáticas, hidrológicas y ecológicas de cada región, por lo tanto, los cambios extremos en estas condiciones significan un impacto negativo en el manejo sostenible de estos ecosistemas frágiles. Esto repercute directamente en la extinción de especies y en la pérdida de la biodiversidad (Buytaert et al., 2011).

Ecuador presenta una alta vulnerabilidad ante las variaciones climáticas y, por ende, a los impactos generados por el Cambio Climático, así lo demuestran, por ejemplo, los daños ocasionados por la corriente de El Niño (Dumas, 2007). Estudios realizados muestran que los efectos producidos por los cambios de precipitación y temperatura, además del retroceso de los glaciares Andinos, afectarán fuertemente la economía del país. Esto se debe a que la producción ecuatoriana posee una gran dependencia del sector agro-exportador primario y las industrias manufactureras asociadas a tal sector. Por otro lado, existe una fuerte dependencia de los centros urbanos alto andinos de los recursos hídricos provenientes de los sistemas de alta montaña y glaciares para abastecer de agua potable a la población. Es por ello que los impactos del cambio climático tendrán repercusiones negativas sobre el desarrollo del Ecuador (Ludeña & Wilk, 2013).

En el país se ha observado un incremento de eventos climáticos anómalos entre el período de 1970 y 2007, principalmente en las regiones Costanera y Amazónica. Esto ha ocasionado que el



68% de emergencias o desastres en el país sea atribuible a los eventos climáticos. Por lo tanto, se ha originado un 78% del total de muertes y un 84% del total de viviendas afectadas (Ludeña & Wilk, 2013).

Por otro lado, se ha observado un incremento en el valor medio de la temperatura anual de 0.8°C entre 1960 y 2006. A nivel regional, se ha observado un incremento en el norte y una disminución en el centro y sur del país en el período comprendido entre 1975 y 2008, mientras que entre los años 1995 y 2008, se revierte el signo de la anomalía de temperatura generándose un enfriamiento especialmente en el centro y sur del Ecuador (Ludeña & Wilk, 2013).

En cuanto a la precipitación, se ha observado un incremento en la región Costa de un 33% y en la región Interandina de un 8%. En el período comprendido entre los años 2000 y 2006, se ha observado un desfase en el inicio y fin de la época lluviosa en la ciudad de Guayaquil (Ludeña & Wilk, 2013).

De igual manera, se ha observado una disminución de la cobertura glaciar de un 28% entre los años 1997 y 2006. Un ejemplo de ello es el volcán Cotopaxi, en el que se ha observado la pérdida de un 40% del área de glaciares, produciéndose un 12% de esta pérdida en los últimos años del período comprendido entre 1976 y 2006 (Ludeña & Wilk, 2013).

Estudios de impactos futuros del Cambio Climático estiman que la generación de la Central Hidroeléctrica Paute-Molino, la cual genera más de la mitad de energía eléctrica del país, incremente entre 5% y 43% entre los años 2070 y 2100. Mientras que, en la Central Hidroeléctrica El Carmen, se prevé una disminución en el caudal promedio del 22%, esto bajo escenarios de disminución de la precipitación del 15% (Ludeña & Wilk, 2013).

2.2. Escenarios de Cambio Climático.

La simulación del clima actual se realiza sobre condiciones perfectamente conocidas, es decir, se tiene estudios sobre la evolución de la composición atmosférica hasta llegar a las condiciones actuales. Sin embargo, realizar simulaciones del clima proyectándolo hacia futuro es una tarea complicada, ya que se parte de la incertidumbre de la evolución del clima en las condiciones presentes. Esto se debe, a que se desconoce la certeza sobre cuáles serán las emisiones de gases de efecto invernadero y aerosoles en la atmósfera. El problema es complicado, ya que las emisiones dependen de factores como la evolución de la población mundial, de los sistemas socioeconómicos, el uso de tecnologías amigables con el medio ambiente, aparición de nuevas tecnologías, el respeto de los países sobre los acuerdos internacionales en las limitaciones de emisiones, la evolución de la situación geopolítica global, etc. Para simplificar este problema, se realizan hipótesis acerca de la evolución de las emisiones, las cuales reciben el nombre de Escenarios de Emisiones (Duarte, Carlos, 2006).

Los Escenarios son panoramas alternativos de lo que se puede suscitar en un futuro, y constituyen una herramienta adecuada para analizar la forma en que los factores o fuerzas determinantes (crecimiento demográfico, desarrollo social, cambio tecnológico) influirán sobre las emisiones futuras, y para evaluar el nivel de incertidumbre de tal análisis. Los escenarios son de gran ayuda para realizar análisis del cambio climático, puntualmente hablando, se los utiliza

para la creación de modelos del clima, para realizar evaluaciones de los impactos del Cambio Climático y para tomar iniciativas de adaptación y mitigación de impactos. Se debe considerar que la posibilidad de que en la realidad las emisiones evolucionen tal como se describe en alguno de estos escenarios es incierta y remota (IPCC, 2000).

En el Informe Especial sobre Escenarios de Emisiones (IE-EE) se presentan 40 escenarios de Cambio Climático, los cuales se desarrollan sobre cuatro líneas evolutivas diferentes, con el propósito de describir las relaciones entre las fuerzas determinantes de las emisiones y su evolución y para poder contextualizar la cuantificación de los escenarios. Cada línea evolutiva representa un cambio o tendencia demográfica, social, económica, tecnológica y medioambiental, que se pueden valorar positiva o negativamente. El conjunto de escenarios basados en una misma línea evolutiva constituye una familia de escenarios, así se distinguen cuatro familias: A1, A2, B1 y B2. Seis grupos de escenarios se derivan de las cuatro familias: un grupo de cada una de las familias A2, B1 y B2 y tres grupos de la familia A1 (IPCC, 2000).

Dentro de cada familia y grupo de escenarios existen dos subdivisiones adicionales: una subdivisión de escenarios marcados con las letras "HS", que comparten supuestos armonizados sobre la población mundial, el producto interno bruto y la energía, y la subdivisión marcada con las letras "OS", que corresponde a escenarios que plantean las incertidumbres relacionadas con las fuerzas determinantes más allá de los escenarios armonizados (IPCC, 2000).

Todo lo anterior mencionado se presenta de manera esquemática en la Figura 1, en la que se puede observar adicionalmente el número de escenarios que corresponden a las categorías mencionadas "HS" o "OS":

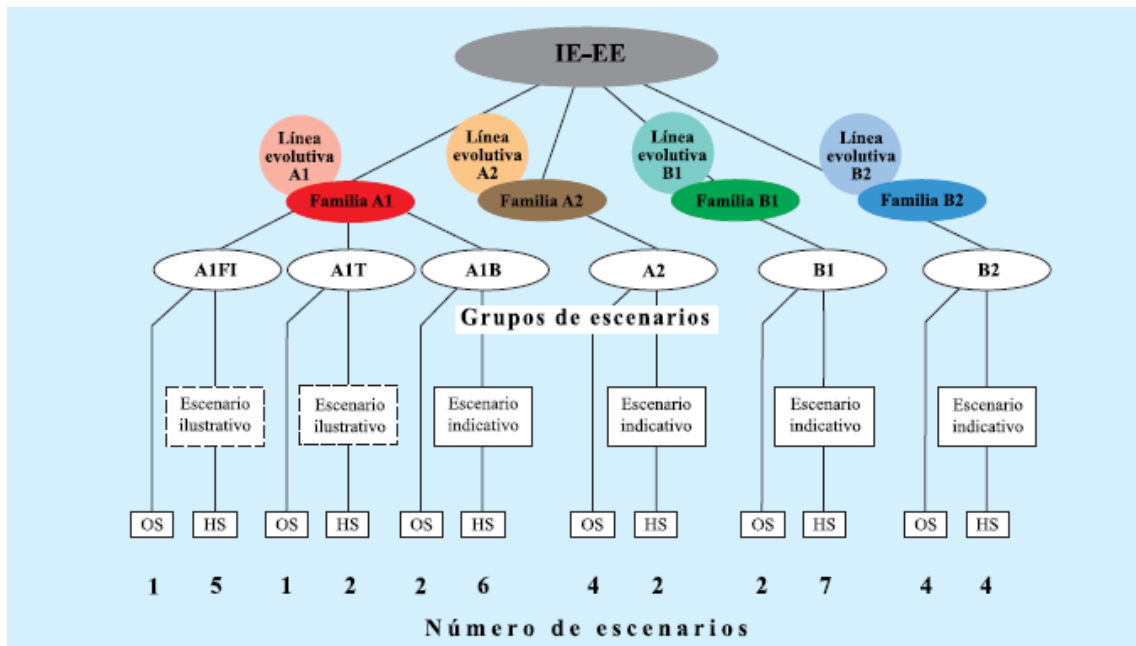


Figura 1. Escenarios de Cambio Climático. El IE-EE presenta 40 escenarios de cambio climático desarrollado sobre 4 líneas evolutivas, que a su vez se dividen en cuatro familias: A1, A2, B1 y B2. Fuente (IPCC, 2000)

En IPCC (2000) se presenta una breve descripción de las líneas evolutivas mencionadas y de las familias de escenarios de Cambio Climático, las cuales se muestran a continuación:





- 1. Línea evolutiva y familia de escenarios A1:** Se caracteriza por presentar escenarios de un mundo futuro en el que se tiene un rápido crecimiento de la economía, una población mundial que alcanza su máximo a mediados del siglo y que posteriormente disminuye y una introducción con gradiente creciente de tecnologías nuevas y más eficientes.
- 2. Línea evolutiva y familia de escenarios A2:** Describe un mundo de más heterogeneidad que se caracteriza por la autosuficiencia y la preservación de las identidades locales. Plantea una población mundial en continuo crecimiento debido a la convergencia lenta de las pautas de fertilidad. Presenta un desarrollo económico orientado a lo regional y un crecimiento económico por habitante y un cambio tecnológico lentos.
- 3. Línea evolutiva y familia de escenarios B1:** Al igual que el escenario A1, presenta un mundo con un máximo poblacional hacia mediados del siglo y que desciende posteriormente, pero con cambios en las estructuras económicas acompañadas de una reducción en la explotación intensiva de los materiales, introducción de tecnologías amigables y un aprovechamiento eficaz de recursos. Presentan características de sostenibilidad económica, social y medioambiental, así como mayor igualdad.
- 4. Línea evolutiva y familia de escenarios B2:** Es un escenario que se centra en los niveles locales y regionales y plantea un mundo con un aumento de población a un gradiente menor que en el escenario A2, con niveles de crecimiento económico intermedios. Está orientado a la protección del medio ambiente y a la igualdad social. Presenta un cambio tecnológico menor que en los escenarios B1 y A1.

Pese a las incertidumbres obvias que se tiene al realizar las proyecciones futuras, los escenarios planteados por el IE-EE son una herramienta que brindan a los actores políticos globales de contextos sobre posibilidades futuras para la oportuna toma de decisiones presentes para la mitigación y adaptación de los impactos del Cambio Climático.

2.3. Modelos Climáticos.

En los últimos años, el problema del clima y su evolución han sido un tema que ha generado preocupación en los ámbitos académicos y políticos, debido a los estudios realizados que evidencian sobre los impactos de las actividades humanas sobre el clima actual y sus repercusiones agravadas a futuro. La herramienta principal utilizada para realizar los estudios relacionados con la evolución futura del clima la constituyen los modelos climáticos, los cuales realizan simulaciones sobre el funcionamiento del sistema climático. Los modelos climáticos constituyen una base indispensable, ya que facilitan la comprensión y reproducción de los principales procesos del sistema climático, integrado por sus diferentes componentes (atmósfera, océano, criósfera, superficie terrestre, vegetación, etc.) y sus interacciones, permitiendo abordar el análisis climático. Los modelos reproducen a manera relativa certera el comportamiento del sistema climático, en la medida de su capacidad para brindar simulaciones realistas de los patrones de circulación a gran escala y de otros factores climáticos. Antes de realizar estimaciones sobre la posible evolución del clima en la Tierra, es necesario realizar evaluaciones exhaustivas de los modelos frente a las observaciones, ya que esto disminuirá su grado de incertidumbre (Casado Calle, 2011).



2.3.1. Modelos Climáticos Globales (MCG).

Los MCG son modelos tridimensionales que simulan a la atmósfera planetaria, océanos, temperatura en la superficie terrestre y cuerpos de agua a nivel global. En la atmósfera se incluyen los vientos, humedad, nubes y la concentración de los diferentes gases que la componen, realizando análisis sobre su variación temporal y con respecto a la altura. En el océano estos modelos estudian las variaciones con respecto al tiempo y al espacio de las corrientes marinas, temperatura y salinidad. Para realizar estas simulaciones, los modelos resuelven las ecuaciones básicas de la física en los sistemas mencionados (atmósfera, océano, continente). Las soluciones de las ecuaciones, brindan las condiciones particulares de los sistemas en un número de puntos de malla, los cuales se obtienen al particionar la superficie del Planeta en una serie de rectángulos, de tal forma que se obtenga por resultado una malla o rejilla regular. Existen Modelos Climáticos Globales recientes que generan estos rectángulos con una resolución entre 2° a 5° latitud por longitud, lo que da como resultado la generación de mallas que abarcan espacialmente entre 200 y 400 Km; por otro lado, los MCG incluyen desde 6 hasta 50 niveles atmosféricos en la vertical (Magaña et al., 2014).

Por lo planteado anteriormente, los MCG presentan limitaciones en cuanto a la resolución espacial, ya que presentan patrones climáticos generales, siendo inadecuado su aplicación a condiciones específicas para realizar estudios regionales o locales. Por otro lado, el tiempo que se requiere para realizar las simulaciones numéricas es grande, lo que implica otra desventaja de los MCG (Magaña et al., 2014).

Sin embargo, para realizar las simulaciones de las condiciones globales de temperatura, precipitación y radiación, los Modelos Climáticos Globales lo hacen bajo condiciones presentes o bajo condiciones de una duplicación de dióxido de carbono, referidas como 1xCO₂ y 2xCO₂, respectivamente. El dióxido de carbono es un gas de efecto invernadero cuyo incremento en su emisión se relaciona directamente con la actividad humana, por lo tanto, la condición de 2xCO₂ es empleada para simular el Cambio Climático (Magaña et al., 2014).

Los MCG pueden presentar diferencias y limitaciones respecto a su alcance, es decir, a la cantidad de componentes climáticos que representan. Es así, que un modelo puede tratar de representar solo la atmósfera terrestre, mientras que otro modelo de mayor alcance podría incluir la atmósfera, el océano y las biósferas terrestre y marina (IPCC, 2000). Es por esta razón que ningún MCG es universalmente correcto, por lo que la mayoría de investigadores sugieren que se debe usar varios modelos y expresar las condiciones futuras como un promedio de todas las predicciones. No obstante, es indispensable la incorporación de la varianza entre los modelos como una medida de incertidumbre (Perry & Falzon, 2015).

2.3.2. Modelos Climáticos Regionales (MCR).

El uso de Modelos Climáticos Regionales (MCR) en estudios relacionados con el Cambio Climático ha crecido de una manera rápida en las últimas décadas. Esto se debe a que los MCR proporcionan información climática regional a través de herramientas de reducción de escala dinámicas para la comprensión del Cambio Climático y sus impactos. Los MCR parten de información detallada de los procesos físicos y de la alta resolución espacial que resuelve la topografía compleja, el contraste entre tierra y mar y el uso de la tierra, generando así información regional realista sobre el clima, la cual es consistente con la información a gran



escala proporcionada por los datos de reanálisis global o por un Modelo Climático Global (Wang et al., 2004).

Además de usarse para la reducción de escala dinámica de las simulaciones de Cambio Climático de los MCG, los MCR también han sido utilizados para las predicciones estacionales del clima, con el fin de obtener información útil sobre el clima regional. De esta manera, los MCR se han convertido en un componente crítico en la evaluación de los sistemas de predicción, donde estos cierran el margen espacial entre los MCG y otros factores de modelado (Wang et al., 2004).

Los MCR pueden proporcionar simulaciones más precisas para las condiciones futuras, ya que presentan una mayor discretización de la superficie, formando una malla de rectángulos con resoluciones que abarcan entre 10 y 50 Km. Sin embargo, esta afinación exige muchos datos y recursos. Por otro lado, la accesibilidad de MCR es limitada, ya que se encuentran disponibles para ciertas áreas limitadas, de las cuales se posee mucha información. Se espera que para un futuro se cuente con más modelos que abarquen más regiones del planeta (Perry & Falzon, 2015).

Los MCR proporcionan una mejor descripción de los efectos orográficos, el contraste tierra-mar y las características de la superficie terrestre, debido a su resolución más alta. También tienen la capacidad de realizar análisis mejorados de los procesos físicos y dinámicos a escala fina y generan patrones realistas de circulación de mesoescala que no se encuentran presentes en los MCG, debido a que generan datos que son coherentes tanto espacial como temporalmente, y a través de múltiples variables climáticas, los cuales son consistentes con el paso de los sistemas climáticos. Todo esto hace que los MCR puedan reproducir de manera creíble una amplia gama de climas en el mundo, lo que aumenta la confianza en estos modelos para reproducir los climas futuros (Maraun et al., 2010).

Pese a los adelantos en la representación de los sistemas y procesos que intervienen en el sistema climático, los MCR se deben evaluar para establecer la medida en que representan las condiciones reales. Para ello se debe validar, realizando comparaciones entre datos observados y modelados en períodos largos que permitan estudiar las características de la región de interés definiendo su climatología (Andrade et al., 2010).

2.4. Reducción de Escala (Downscaling).

La reducción de escala (Downscaling) es un proceso mediante el cual se resuelve la discrepancia de escala entre los escenarios de cambio climático y la resolución que se requiere para la evaluación de los impactos a niveles locales o regionales. Se basa en la hipótesis de que el clima a gran escala o global presenta una fuerte influencia en el clima a escala local, sin embargo, se ignora cualquier efecto inverso de las escalas locales sobre las escalas globales. Existen dos enfoques de downscaling: los dinámicos y los estadísticos (Maraun et al., 2010).

2.4.1. Downscaling Dinámico.

El downscaling dinámico se basa en la anidación de un modelo de clima regional en un modelo de clima global para la representación de la física atmosférica, clima o cambio climático, con una resolución de malla más alta dentro de un área de interés limitada (Maraun et al., 2010). La gran parte de los modelos de impacto requieren información en escalas de 50 Km o menos, de tal manera que este método de reducción dinámico es útil y necesario para proporcionar



información requerida en escalas menores a los MCG. Para ello el método utiliza un MCR de alta resolución, cuyas condiciones de frontera son una función del tiempo derivadas de los MCG (Amador & Alfaro, 2009).

El método de reducción dinámico presenta algunas ventajas y desventajas debido a la incertidumbre asociada a la naturaleza de las relaciones entre los diferentes componentes del sistema climático. Una de las ventajas más relevantes de este método es que en la actualidad, los modelos dinámicos consideran el estado del arte sobre la física y dinámica conocida del sistema climático. Un punto importante de este método es que el proceso se puede implementar utilizando retroalimentación dinámica, es decir, se realiza una transferencia de los procesos físicos y dinámicos que ocurren en los MCR hacia los MCG, a través de los dominios de anidamiento cada cierto tiempo de integración, realizando así modificaciones en los procesos de escala global de tal manera que esta información es transferida nuevamente en el tiempo al MCR a través de un proceso de continua interacción. En este sentido, este método requiere la identificación del MCG que mejor proporcione información climática al MCR, por lo que se debe realizar una evaluación de los MCG disponibles para identificar el modelo o grupo de modelos que mejor brinde información sobre las condiciones de contorno para la generación de escenarios climáticos regionales de alta resolución. Por otro lado, la aplicación de este método requiere un buen conocimiento acerca del clima y la variabilidad climática regional, buena experiencia en el modelado climático y un requerimiento alto de uso computacional, en algunos casos similar a los utilizados para correr los MCG, lo cual supone una desventaja del método (Amador & Alfaro, 2009).

2.4.2. Downscaling Estadístico.

Los métodos de reducción de escala estadístico usan las salidas de los MCG y permiten la generación de escenarios climáticos para sitios individuales o regiones con resoluciones a diferentes escalas temporales como la diaria, mensual y la estacional, utilizando para este fin información estadística de series de tiempo históricas. Estos métodos permiten realizar evaluaciones rápidas de escenarios climáticos locales a un costo bajo. Son métodos relativamente flexibles que usan agrupaciones estadísticas de escenarios climáticos, lo que permite un análisis relativamente confiable del par riesgo/incertidumbre. Se basan en relaciones empíricas entre los predictores de gran escala derivados de los MCG (por ejemplo, viento, precipitación, temperatura) y los predicantes regionales o locales. Estos métodos se diferencian principalmente en la forma de determinar la función matemática de transferencia y en el proceso del ajuste estadístico. En algunos casos, estas técnicas presentan la particularidad de que las relaciones predictor-predicante son no estacionarias, lo que permite simular mejor el comportamiento real del sistema climático (Amador & Alfaro, 2009).

Como desventajas, estos métodos dependen de la certeza del forzamiento en la frontera del MCG, por lo que la selección del tamaño del dominio y su localización afectan los resultados. Por otro lado, estos métodos requieren de datos de muy buena calidad para la calibración del modelo. La selección de las variables que se usarán como predictores afectan los resultados, así como la selección del esquema empírico de la función de transferencia. A diferencia de los métodos de downscaling dinámicos, los estadísticos no retroalimentan al MCG. Además, la variabilidad climática de frecuencia baja se torna problemática, especialmente si se usan series cortas de tiempo (Amador & Alfaro, 2009).



2.5. Desagregación de variables hidrometeorológicas.

En muchos casos, los procesos estocásticos hidrológicos deben estudiarse en diferentes escalas de tiempo. Esto lleva al planteamiento de cómo generar series de tiempo consistentes tanto de tiempo más gruesa o de mayor nivel y en una escala de tiempo más fina o de menor nivel. Puntualmente, cuando se trata de precipitación, existe una gran cantidad de medidores o pluviómetros diarios que han registrado profundidades de precipitación a lo largo de muchas décadas. Sin embargo, el número de medidores que registran datos con resolución horaria es menor en aproximadamente un orden de magnitud. Esta situación muestra una escasez relativa general de datos de precipitación en escalas de tiempo de una hora o menos, tanto en medidores como en información histórica registrada. La necesidad de datos pluviométricos en escala horaria para aplicaciones hidrológicas, sugiere el uso de métodos o técnicas para afinar la información diaria disponible y proporcionar a los usuarios las posibles relaciones de precipitación por hora que se agregan hasta los datos diarios medidos. Estas técnicas brindan una herramienta de simulación continua para el diseño y gestión de los hidrosistemas y reciben el nombre de modelos de desagregación (Demetris Koutsoyiannis, 2003).

Desde la década de los 70 se han desarrollado varios modelos, los cuales han sido utilizados en diversas aplicaciones hidrológicas como la simulación de tormentas e inundaciones y para mejorar los registros históricos de precipitación. Algunos de estos modelos de desagregación son de propósito general, ya que no son específicos de un determinado proceso o aplicación hidrológica, es por esto que no son siempre aplicables al proceso de precipitación, especialmente en escalas de tiempo finas, debido a ciertas peculiaridades que exhibe. Esto originó el desarrollo de técnicas especializadas para el proceso de precipitación (Demetris Koutsoyiannis, 2003).

El interés generado en los investigadores en las cuestiones relacionadas con el clima, como la reducción de escala de los escenarios de cambio climático, ha generado un interés renovado en los métodos de desagregación. Por lo general los escenarios de cambio climático son desarrollados en una escala de tiempo aproximada y se presenta la necesidad de convertirlos en una escala de tiempo más fina. Sin embargo, cabe recalcar que la desagregación no es similar a la reducción de escala, ya que esta última se enfoca en generar series de tiempo de escala más fina con las estadísticas requeridas, pero no necesariamente se suma a ningún total de escala gruesa dada. No obstante, en ambos enfoques, las series sintéticas de escala fina generadas deberían reproducir las características estadísticas importantes de los procesos hidrológicos relacionados con la escala de tiempo (Demetris Koutsoyiannis, 2003).

Socolofsky et al. (2001), propusieron un método de desagregación estocástico de precipitación diaria que genera estimaciones de la precipitación horaria, con aplicación a modelos de cuencas de simulación continua. El método hace uso de datos de precipitación en escala horaria medidos en estaciones cercanas, correspondientes al mismo régimen climatológico que los datos en escala diaria que se desea desagregar; y, muestrea los datos por hora medidos directamente, en lugar de muestrear distribuciones estadísticas analíticas. No se permiten eventos parciales, y los tiempos de inicio de cada evento se toman de una distribución de probabilidad uniforme. Se debe estimar un parámetro de calibración, el cual designa el umbral de evento más pequeño para cada mes y estación. En comparación con los datos registrados por hora, el método reproduce bien la varianza, coeficiente de correlación lag-1 y la probabilidad de lluvia cero.



Este método será aplicado en el presente trabajo y se mostrará con más detalle en la sección de metodología.

Capítulo 3. Materiales.

3.1. Área de estudio.

El área de estudio comprende la cuenca del río Tomebamba (Figura 2), la misma que pertenece a la cuenca del río Paute y se encuentra localizada en la cordillera de los Andes, en la región austral del Ecuador en la provincia del Azuay, cantón Cuenca. La cuenca posee una superficie de 380.42 Km², la misma que se distribuye en las parroquias Sayausí con un 80% de su territorio, San Joaquín 14% y Cuenca 6%. Constituye una de las principales fuentes de abastecimiento de agua potable para la ciudad de Cuenca (Pesántez, 2015).

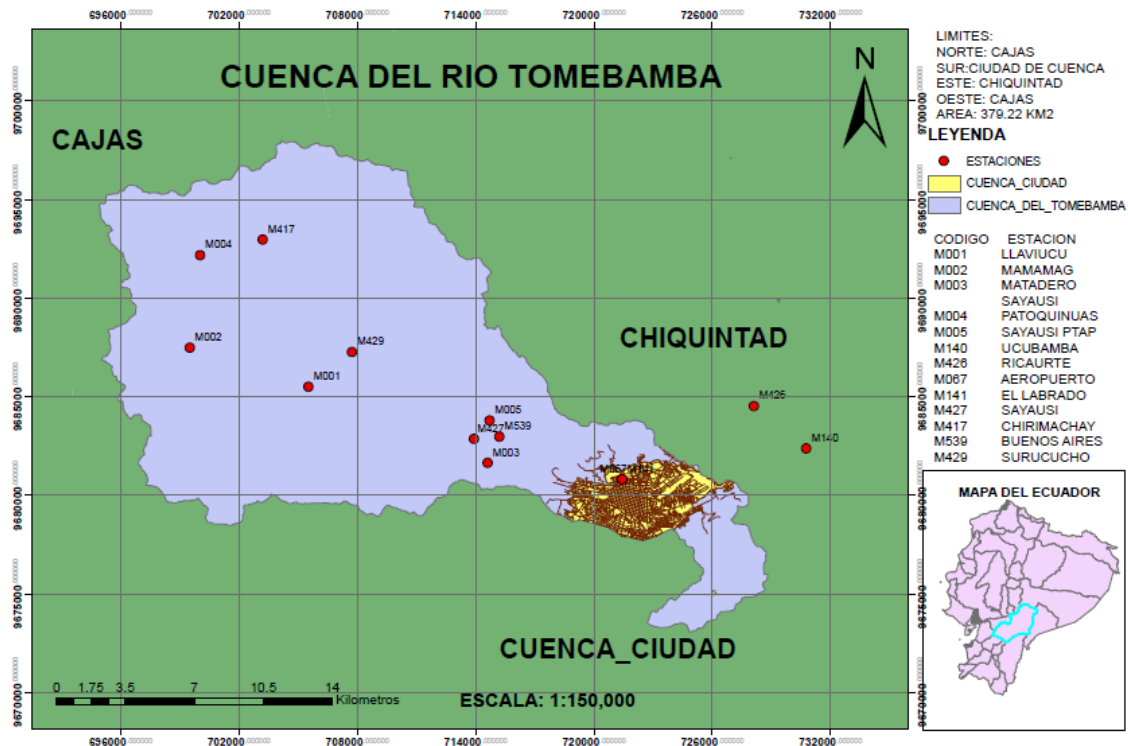


Figura 2. Mapa de la Cuenca del río Tomebamba. En este mapa se puede apreciar la extensión de la cuenca, así como las estaciones distribuidas dentro de la misma en tres zonas: alta, media y baja.

En la parte alta de la Cuenca los recursos se encuentran afectados debido a prácticas relacionadas con actividades turísticas sin control, prácticas ganaderas, agrícolas, de piscicultura y plantación de especies exóticas como el pino. Por otro lado, en la cuenca media se producen actividades de agricultura, forestación con especies exóticas, prácticas de quema, deforestación para la ampliación de la frontera agrícola y una urbanización creciente, lo que genera presiones sobre el territorio. La zona baja está sujeta a una urbanización total. Pese a estos problemas, los cursos de agua son limpios y el deterioro se presenta a medida que se aproxima a los centros poblados (Pesántez, 2015).

3.1.1. Características Climatológicas.

Pesántez (2015), muestra las siguientes características climatológicas de la cuenca del río Tomebamba.



3.1.1.1. Pisos Climáticos.

La cuenca del río Tomebamba posee dos tipos de pisos climáticos, el piso climático frío Andino y el piso climático templado Interandino.

- **Piso Climático Frío Andino:** Este clima se genera especialmente en las zonas de páramo de la región andina y corresponde a aquellos lugares cuya elevación varía entre los 3200 hasta los 4700 msnm. Las temperaturas varían entre 1°C y 10°C y se caracteriza por la presencia de torrenciales aguaceros, neblinas espesas, y lloviznas casi constantes.
- **Piso Climático Templado Interandino:** Corresponde a los lugares cuyas elevaciones fluctúan entre los 2500 hasta los 3200 msnm, con temperaturas que varían entre los 10°C a 15°C. Se caracteriza por la presencia de vientos frecuentes en época lluviosa templada, y por vientos fuertes y aire seco y cálido en época seca.

3.1.1.2. Temperatura.

En las zonas altas de la cuenca del río Tomebamba se presentan gradientes de temperatura media anual que varían desde los 4°C a los 8°C, mientras que, en las zonas más bajas, los gradientes de temperatura media anual varían entre los 12°C y 15°C.

3.1.1.3. Precipitación.

En las zonas altas de páramo y bosques de la cuenca, la presencia de precipitación es alta, mientras que en las zonas bajas de viviendas y cultivos la precipitación se da en un nivel medio. En general fluctúa entre los 750 mm a los 1400 mm de precipitación.

3.2. Base de Datos.

3.2.1. Precipitación.

Se cuenta con un registro histórico de datos correspondientes al período comprendido entre los años 1964 – 1993. Estos datos se encuentran en una resolución diaria y corresponden a las estaciones de: Chirimachay, Surucucho, Buenos Aires, Sayausí (Matadero-bajo) y Ucubamba. Las estaciones fueron agrupadas dentro de la cuenca en tres zonas: alta, media y baja, con el objetivo de tener una cobertura óptima sobre toda la cuenca. Estos datos fueron proporcionados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). Todo lo mencionado anteriormente se presenta a manera de resumen en la Tabla 1, en la que además se puede observar la localización geográfica de las estaciones dentro de la cuenca.

Por otro lado, esta información fue utilizada para simular los Modelos Climáticos bajo escenario de emisión A2 y obtener datos proyectados futuros para cada modelo y para cada estación desde el año 2046 hasta el año 2076.



Tabla 1. Estaciones del INAMHI con registros de Precipitación.

Estaciones INAMHI						
Código	Nombre	Latitud	Longitud	Altura	Zona	Entidad
M417	Chirimachay	-2.8131	-79.149	3270	Alta	INAHMI
M429	Surucucho	-2.8269	-79.131	2800	Alta	INAHMI
M539	Buenos Aires	-2.8667	-79.064	2750	Media	INAHMI
M427	Sayausí (Matadero-bajo)	-2.8665	-79.076	2780	Media	INAHMI
M140	Ucubamba	-2.8707	-78.924	2560	Baja	INAHMI

Estas estaciones presentan registros históricos de medición y se encuentran en una resolución diaria. Las estaciones fueron agrupadas dentro de la cuenca en tres zonas: Alta, media y baja.

Además, se cuenta con datos con resolución diaria, horaria y con registro cada 5 minutos, los cuales fueron proporcionados por la Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (ETAPA EP), a través de la Ingeniera Verónica Rodas. Estos datos corresponden a las estaciones de: Llaviucu, Patoquinuas, Matadero Sayausí, Sayausi PTAP y Ucubamba y cuentan con un periodo de registro comprendido entre los años 2014 - 2017. De igual manera, estos datos fueron agrupados en zonas dentro de la cuenca. En la Tabla 2 se presente a modo de resumen lo mencionado anteriormente.

Tabla 2. Estaciones de ETAPA EP con registros de precipitación.

Estaciones ETAPA EP						
Simbología	Nombre	Latitud	Longitud	Altura	Zona	Entidad
M001	Llaviucu	-2.844	-79.151	3154	Alta	ETAPA EP
M004	Patoquinuas	-2.7837	-79.201	3708	Alta	ETAPA EP
M003	Matadero Sayausi	-2.8786	-79.069	2693	Media	ETAPA EP
M005	Sayausi PTAP	-2.8593	-79.068	2847	Media	ETAPA EP
M140	Ucubamba	-2.8707	-78.924	2560	Baja	ETAPA EP

Estas estaciones presentan registros de medición para el año 2014 hasta el 2017 y se encuentran en una resolución diaria, horaria de cada 5 minutos. Las estaciones fueron agrupadas dentro de la cuenca en tres zonas: Alta, media y baja.

3.2.2. Temperatura.

En cuanto a la temperatura se cuenta con una sola estación con datos históricos correspondientes a temperatura media de la estación Ucubamba. Esta estación cuenta con registros desde el año 1959 hasta el año 1990 a una escala mensual y se obtuvo del INAMHI. Además, se cuenta con datos de temperatura máxima, mínima y media en resolución diaria, horaria y cada 5 minutos correspondientes a las estaciones de Llaviucu, Patoquinuas, Matadero Sayausí, Sayausi PTAP y Ucubamba. Esta información fue proporcionada por ETAPA EP y cuenta con un periodo de registro abarcado entre los años 2014 – 2017.



3.3. Modelos Climáticos bajo escenario de cambio A2.

En la Tabla 3 se presentan los Modelos Climáticos bajo escenario A2 utilizados en el presente estudio para la generación de datos de precipitación proyectados al periodo comprendido entre los años 2046 - 2076. Mora et al. (2012), utilizaron algunos de estos Modelos Globales, así como el Modelo Climático Regional PRECIS, para evaluar su desempeño en la cuenca del Tomebamba. Una característica que se observa es que el conjunto de modelos de mejor rendimiento varía de una estación a otra.

Tabla 3. Modelos Climáticos bajo escenario de emisión A2.

Escenario de Emisión A2		
bccr_bcm2_0_run1	iap_fgoals1_0_g_run2	mri_cgcm2_3_2a_run1
cccma_cgcm3_1_run1	iap_fgoals1_0_g_run3	mri_cgcm2_3_2a_run2
cccma_cgcm3_1_run2	ingv_echam4_run1	mri_cgcm2_3_2a_run3
cccma_cgcm3_1_run3	inmcm3_0_run1	mri_cgcm2_3_2a_run4
cccma_cgcm3_1_t63_run1	ipsl_cm4_run1	mri_cgcm2_3_2a_run5
cnrm_cm3_run1	miroc3_2_hires_run1	ncar_ccsm3_0_run3
csiro_mk3_0_run1	miroc3_2_medres_run1	ncar_ccsm3_0_run5
csiro_mk3_5_run1	miroc3_2_medres_run2	ncar_ccsm3_0_run6
gfdl_cm2_0_run1	miub_echo_g_run1	ncar_ccsm3_0_run7
giss_aom_run1	miub_echo_g_run2	ncar_ccsm3_0_run8
giss_model_e_r_run1	miub_echo_g_run3	ncar_pcm1_run1
iap_fgoals1_0_g_run1	mpi_echam5_run4	

Se presentan 35 Modelos Climáticos, los cuales son aplicables para las condiciones de la zona de estudio.

Fuente: (Mora et al., 2012)

3.4. Software R.

R es un lenguaje de programación orientado a objetos (las variables, datos, funciones, resultados, etc., se guardan en la memoria del computador en forma de objetos con un nombre específico) interpretado, de libre distribución, bajo licencia GNU, el cual presenta un entorno o ambiente para el cómputo estadístico y gráfico. Los resultados de análisis estadísticos se presentan en la pantalla, y algunos valores intermedios como coeficientes de regresión se pueden guardar, exportar o utilizarse en procesos o cálculos posteriores. El lenguaje R permite a los usuarios realizar la programación de bucles para realizar análisis sobre conjuntos sucesivos de datos. También permite realizar en un solo programa la combinación de varias funciones estadísticas para realizar análisis más complejos (Santana & Farfán, 2014).

R es un software que se caracteriza por su flexibilidad. A diferencia de otros programas que presentan directamente en pantalla los resultados de un análisis, R almacena los resultados como “objetos”, lo cual permite realizar posteriores análisis sobre los mismos sin la necesidad de mostrar los resultados de una manera inmediata. Esto permite a los usuarios extraer o utilizar aquella parte de los resultados que es de interés en el análisis (Santana & Farfán, 2014).

Debido a que la sintaxis de R es simple e intuitiva y a la facilidad que el software presenta para manejar grandes grupos de datos, se utilizó el mismo en el presente trabajo para la implementación del método de desagregación de datos de escala diaria a horaria.





Capítulo 4. Metodología.

4.1. Metodología para Precipitación.

4.1.1. Análisis de base de datos disponible.

Los datos proporcionados fueron sometidos a un análisis y validación para determinar la consistencia de los mismos. Se analizó que los datos presenten registros continuos y consistentes para así, poder detectar errores y corregirlos.

Las estaciones correspondientes al INAMHI, proporcionadas a través del Ingeniero Diego Mora Serrano, corresponden a series históricas diarias (1964 - 1993), las cuales no presentan inconsistencia alguna, ya que han sido tratadas previamente. Estas series originalmente presentaban porcentajes de datos faltantes, los cuales han sido rellenados previamente con el método "GAP FILLING BASED ON A QUANTILE PERTURBATION FACTOR TECHNIQUE", desarrollado por Mora et al. (2014).

Por otro lado, las estaciones proporcionadas por ETAPA EP, las cuales presentan una resolución diaria, horaria y cada 5 minutos, no presentaron inconsistencias, por lo cual, fueron seleccionadas para el posterior análisis.

Una vez validada la información disponible, es necesario agrupar las estaciones que presentan registros más recientes con datos en resoluciones horarias y de 5 minutos con las estaciones que poseen registros históricos diarios, de tal manera que sirvan de una base de datos para la aplicación del posterior método de desagregación. El método requiere de una base de datos en resolución horaria de una estación cercana o que pertenezca al mismo régimen climático para desagregar la serie diaria. Por lo tanto, en base a su cercanía y considerando la zona alta, media o baja de la cuenca, las estaciones se agruparon como se presenta en la Tabla 4. En la zona baja de la cuenca, se cuenta únicamente con la estación de Ucubamba, la cual posee registros históricos diarios y registros recientes en escala horaria y cada 5 minutos.

Tabla 4.. Agrupación de estaciones en resolución diaria con estaciones en resolución horaria y cada 5 minutos

Estación	Código	Resolución	Período de registro	Zona
Chirimachay	M417	Diaria	1964 - 1993	Alta
Patoquinas	M004	Horaria/5min	2014 - 2017	
Surucucho	M429	Diaria	1964 - 1993	Alta
Llaviucu	M001	Horaria/5min	2014 - 2017	
Sayausi (Matadero Bajo)	M427	Diaria	1964 - 1993	Media
Matadero Sayausi	M003	Horaria/5min	2014 - 2017	
Buenos Aires	M539	Diaria	1964 - 1993	Media
Sayausi PTAP	M005	Horaria/5min	2014 - 2017	
Ucubamba	M140	Diaria/Horaria/5min	1964-1993/2014-2017	Baja

Se puede observar la agrupación de las estaciones en las distintas zonas de la cuenca. Esta agrupación servirá para la aplicación del posterior método de desagregación.



4.1.2. Desempeño de Modelos Climáticos.

Mora et al. (2012) establece que se debe realizar una verificación de la consistencia de las series de precipitación proporcionadas por los Modelos Climáticos con respecto a las series observadas, con el propósito de filtrar determinados Modelos que son adecuados para las ubicaciones particulares en la zona de estudio. Las estadísticas de rendimiento de los Modelos utilizadas para este propósito son: Error cuadrático medio (RSME), el cual da una idea del promedio del grado de correspondencia entre pares individuales de valores pronosticados y valores observados; Sesgo (BIAS), el cual proporciona información sobre la tendencia del modelo a sobreestimar o subestimar una variable; y, el coeficiente de autocorrelación de Pearson (Corr), el cual es una medida de la correspondencia o relación lineal entre los valores simulados y observados.

Sea $\{(X_p)_j\}$ la serie temporal con los valores de precipitación de la simulación del modelo de control p , donde $p \in \{1, \dots, M\}$, donde M es el número de Modelos, y sea $\{(Y_q)_j\}$ la serie temporal con valores de precipitación observados de la estación q , donde $q \in \{1, \dots, S\}$, donde S es el número de estaciones observadas y sea n el número de años, meses o registros diarios (Mora et al., 2012), las estadísticas de rendimiento se determinan de la siguiente manera:

$$RMSE_{p,q} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left(\frac{(X_p)_j - (Y_q)_j}{(Y_q)_j} \right)^2} \times 100$$

$$BIAS_{p,q} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left(\frac{(X_p)_j - (Y_q)_j}{(Y_q)_j} \right) \times 100$$

$$Corr = \frac{\sum_{j=1}^n ((X_p)_j - \bar{X}_p) ((Y_q)_j - \bar{Y}_q)}{\sqrt{\sum_{j=1}^n ((X_p)_j - \bar{X}_p)^2 \sum_{j=1}^n ((Y_q)_j - \bar{Y}_q)^2}}$$

Finalmente, con las estadísticas de rendimiento determinadas para cada modelo, se seleccionó los 5 mejores modelos, que presentan las mejores características, para realizar un promedio de sus series temporales, y así obtener una serie única con la que se procederá a aplicar el respectivo método de desagregación para convertir la serie de resolución diaria a horaria. Perry & Falzon (2015) sugieren realizar un promedio de las predicciones de varios modelos, debido a que estos no son universalmente correctos.

4.1.3. Método de Desagregación de Precipitación de escala diaria a horaria.

El método de desagregación utilizado en este trabajo es el planteado por Socolofsky et al. (2001), el cual presenta un método de desagregación estocástico que permite romper la precipitación diaria medida de una estación en patrones de precipitaciones horarias, seleccionando muestras de estadísticas de eventos horarios medidos en una estación cercana a la estación diaria que se desea desagregar. Los eventos horarios no corresponden al mismo día



ni al mismo año de los eventos diarios que se desea desagregar, sino al mismo régimen climático. Un evento se define como una sucesión o secuencia continua de precipitación separadas por al menos una hora de clima seco.

En primera instancia, el método plantea la construcción de las curvas o funciones de probabilidad acumulada (CDF) para cada mes, utilizando la base de datos horaria medida de la estación cercana. Sin embargo, debido a que el periodo de registro de la base de datos con la que se contó para este estudio corresponde a unos pocos años (2014 – 2017), se utilizó la información en resolución de 5 minutos correspondientes a la misma estación y para el mismo periodo, con el objetivo de obtener una base de datos más robusta para la implementación del método. Para este propósito, la base de datos en resolución de 5 minutos fue ajustado a una función de distribución Gamma, la cual es ampliamente utilizada para la descripción de las profundidades de precipitación según Chow et al., (1994), y viene expresada por la ecuación:

$$f(x) = \frac{\lambda^\beta x^{\beta-1} e^{-\lambda x}}{\Gamma(\beta)}$$

Donde:

$$\lambda = \frac{\bar{x}}{s_x^2}$$

$$\beta = \frac{\bar{x}^2}{s_x^2}$$

$$\Gamma(\beta) = \int_0^\infty u^{\beta-1} e^{-u} du$$

Siendo:

λ : Parámetro lambda de la distribución Gamma.

β : Parámetro beta de la distribución Gamma.

\bar{x} : Media de los valores analizados.

s_x^2 : Varianza de los valores analizados.

$\Gamma(\beta)$: Función Gamma.

Así, la Función de distribución acumulada se expresa como:

$$F(x) = \int f(x) = \int \frac{\lambda^\beta x^{\beta-1} e^{-\lambda x}}{\Gamma(\beta)}$$

Posteriormente, dada una profundidad de precipitación diaria medida D_T , el método busca primero en la CDF mensual respectiva la ordenada correspondiente a D_T . Luego se genera un número aleatorio entre cero y la ordenada obtenida, y se lee de la CDF la profundidad de evento D_i (Figura 3) que luego será restada de D_T , actualizando su valor. El proceso se repite para el nuevo D_T actualizado. Para evitar un número excesivo de eventos individuales desagregados D_i , a cada mes se le asigna un umbral mínimo denominado como ϵ (el cual representa el evento esperado más pequeño), de tal manera que cuando el valor actualizado D_T sea menor al mismo,

el proceso iterativo concluye. Con los eventos individuales desagregados D_i , la duración para estos se toma de la base de datos horaria correspondientes a la estación cercana. Si dos eventos de la base de datos poseen la misma profundidad igual a D_i , se selecciona el primer evento cronológicamente de la base de datos para tomar su duración y asignarla al evento desagregado D_i . Por último, los tiempos de inicio para cada evento desagregado se toman de una distribución de probabilidad uniforme, restringida para que no haya eventos que se superpongan a la media noche. Los eventos que se superpongan entre si durante un día se suman. Este método presenta la ventaja de que la magnitud de la profundidad de los eventos seleccionados, D_i , se deriva de la CDF mensual correspondiente ($F_{mes}(x)$), de tal manera que la precipitación simulada sigue la misma función de probabilidad observada (Socolofsky et al., 2001).

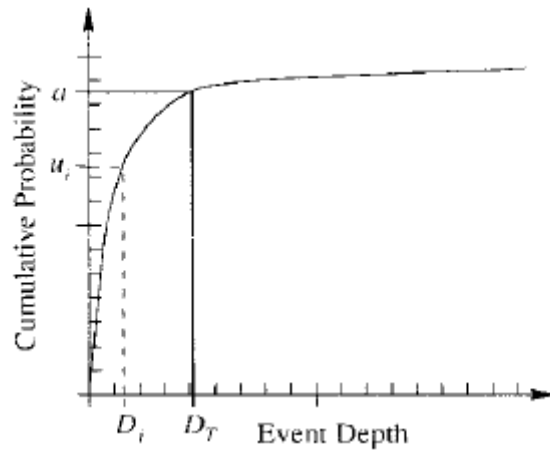


Figura 3. Selección de profundidades de eventos de las CDF para cada mes. Se genera un número aleatorio entre 0 y a y posteriormente se toma la profundidad de precipitación correspondiente a ese número
Fuente: (Socolofsky et al., 2001).

A continuación, se presenta a modo de resumen los pasos a seguir para la aplicación del método de desagregación. Por otro lado, en la Figura 4 se presenta un diagrama de flujo del método empleado:

1. Se define la profundidad de precipitación en resolución diaria D_T que se va a desagregar.
2. Se obtiene de la CDF mensual la probabilidad acumulada "a" correspondiente a la precipitación diaria D_T .

$$a = F_{mes}(D_T)$$

3. Se genera un número aleatorio "u" a partir de una distribución uniforme entre 0 y a, y se lee de la CDF respectiva la profundidad de lluvia D_i correspondiente al número aleatorio "u"

$$D_i = F_{mes}^{-1}(u)$$

4. Se actualiza el valor de la variable D_T , restándolo menos D_i , es decir:

$$D_T = D_T - D_i$$



5. Si D_T determinado en el paso 4 es menor o igual que ε , la desagregación termina. Si es mayor que ε , se regresa al paso 2.
6. De la tabla de eventos con registros horarios, se encuentra la duración t para las distintas magnitudes D_i , desagregadas desde el paso 3 a 5.
7. La hora de inicio de las magnitudes desagregadas se toma aleatoriamente de una distribución de probabilidad uniforme.
8. Si existen eventos que se superponen según su tiempo de inicio y duración se suman para así obtener el hietograma horario.

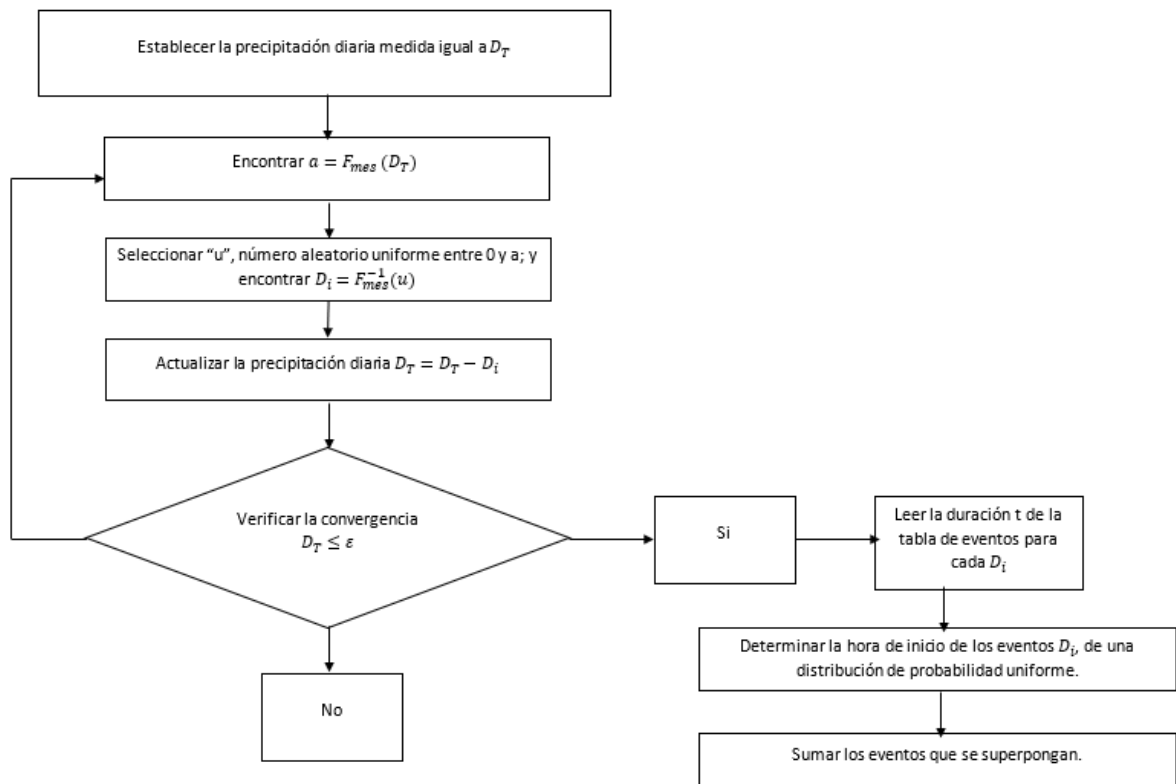


Figura 4. Diagrama de Flujo del método de Desagregación. Se presenta cada uno de los pasos realizados para realizar la desagregación de la precipitación diaria en horaria.

Fuente: (Socolofsky et al., 2001).

El Software R fue empleado para la implementación de este método de desagregación, debido a la facilidad que presenta para el manejo estadístico de datos.

En este trabajo se presentó una variación del Método de Socolofsky en cuanto a la selección de las horas de inicio de los eventos desagregados. En lugar de tomar la hora de inicio de una distribución de probabilidad uniforme, se analizó la base de datos de registros horarios observados para encontrar una firma de precipitación general para cada mes.



Para este propósito se graficó el comportamiento de la distribución de la precipitación horaria para cada día de cada mes de todos los años de registro como se aprecia en la Figura 5, y se superpuso en un solo gráfico para estudiar el patrón de comportamiento de los eventos de precipitación.

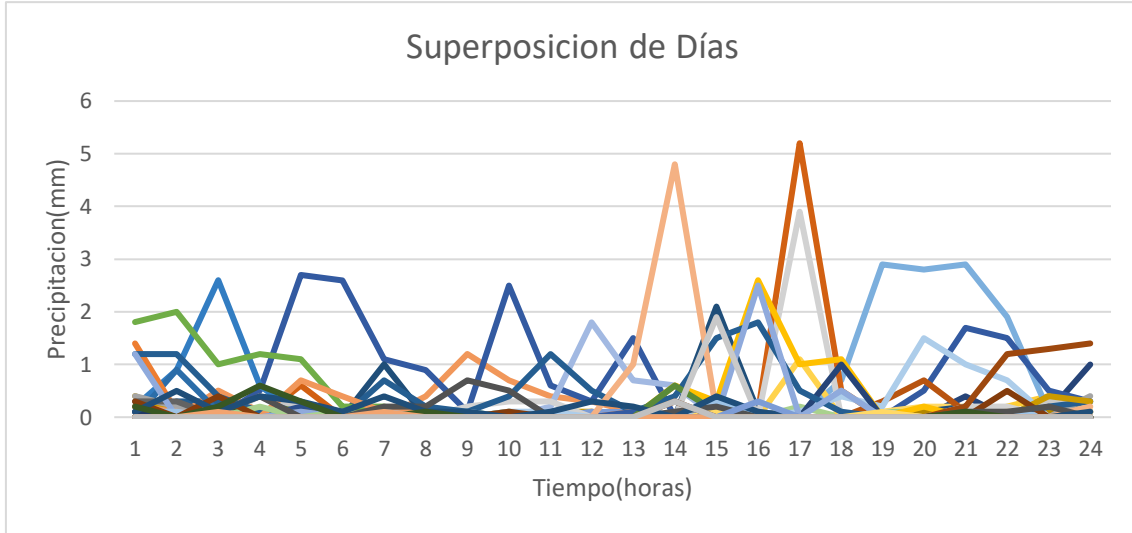


Figura 5. Superposición de eventos de todos los días de un mes de los años de registro. Se superpuso los gráficos correspondientes al comportamiento horario de cada día de un determinado mes para todos los años de registro.

Por último, se analizó el comportamiento de cada uno de los gráficos para encontrar similitudes entre los mismos, y seleccionar las horas correspondientes que servirán para asignar el comportamiento observado a los datos de precipitación desagregados.

4.1.4. Validación del Método de desagregación.

Las series de precipitación horaria desagregadas no presentan un buen desempeño cuando se comparan con las series de precipitación horarias medidas en las estaciones dentro de la cuenca debido a la incertidumbre en los tiempos de inicio de los eventos de precipitación individuales desagregados, es por esto que, para realizar la evaluación del desempeño o rendimiento del método, se lo hace a partir de la comparación de estadísticas como la varianza, media y probabilidad de lluvia cero (Socolofsky et al., 2001), entre las series horarias observadas de cada estación con respecto a las series obtenidas mediante la desagregación para el período de registro comprendido entre los años 2014 – 2017. Cada una de estas estadísticas se calculan mensualmente para las series de tiempo medidas y desagregadas.

4.2. Metodología para Temperatura.

4.2.1. Análisis de la base de datos de Temperatura disponible y Estadística de datos.

Se analizó la información proporcionada de temperatura para determinar la consistencia de la misma, y para determinar que las estaciones proporcionadas presenten registros continuos de medición.

La información histórica correspondiente a la estación de Ucubamba para el período comprendido entre los años 1959 – 1990, presenta una serie de registros mensuales completos.



Por lo tanto, la misma no presenta inconsistencia alguna y puede ser utilizada para análisis posteriores en el presente trabajo.

En cuanto a las estaciones que presentan datos en resolución diaria y horaria correspondientes al período comprendido entre los años 2014 – 2017, se encontró que algunas de ellas presentan discontinuidades en los períodos de registro. Estas estaciones son: Llaviucu en la zona alta y Sayausi PTAP en la zona media. Estas estaciones fueron descartadas para su posterior análisis estadístico; sin embargo, fueron utilizadas para la validación del método de desagregación de datos de Temperatura. Por otro lado, los registros correspondientes a las estaciones de Patoquinas en la zona alta, Matadero Sayausi en la zona media y Ucubamba en la zona baja, presentan registros de series continuas, por lo tanto, se utilizaron para realizar el respectivo análisis estadístico, así como para la validación del método de desagregación utilizado.

Posteriormente, Con la información en resolución diaria de las tres estaciones seleccionadas para la zona alta, media y baja de la cuenca, se procedió a rescatar sus estadísticas mediante la determinación de parámetros como la media y desviación. Estos parámetros servirán para ajustar posteriormente los datos simulados a una distribución normal.

Debido a que la información histórica de la estación de Ucubamba posee una resolución mensual, se utilizó pesos ponderados para obtener información en resolución diaria. Para ello, se promedió los valores de temperatura correspondientes a cada día de los años de registro para el período 2014 - 2017 (es decir, todos los días 1 de enero, etc.) para obtener un solo valor representativo. Posteriormente, se obtuvo el porcentaje de este valor diario con respecto a la media mensual. Así, se obtienen pesos para cada día, que posteriormente al multiplicarlos por los respectivos valores de la serie histórica mensual, proporcionarán series históricas diarias.

4.2.2. Desagregación de datos de Temperatura de resolución diaria a horaria.

Debido a que los datos históricos de temperatura consisten generalmente en mediciones diarias de temperaturas máxima, mínima y media, es necesario la aplicación de un método para realizar estimaciones de temperatura horaria durante todo un día. Campbell & Norman (1998), plantearon un método para este propósito, el cual utiliza las Temperaturas máximas y mínimas diarias medidas para la generación de temperaturas horarias utilizando un proceso basado en la descomposición de Fourier. Por su puesto que no existe forma alguna de saber cuáles eran las temperaturas por hora, pero se puede hacer una suposición partiendo de la hipótesis de que las temperaturas mínimas normalmente ocurren justo antes del amanecer y las temperaturas máximas normalmente ocurren aproximadamente dos horas después del mediodía solar, con lo que se obtiene una curva suave presentada en la Figura 6, la cual sigue este patrón. Esta curva se obtiene ajustando dos términos de una serie de Fourier al promedio de muchos días de datos de temperatura por hora que se normalizaron, de modo que el mínimo fuera 0 y el máximo 1. La función de temperatura diurna adimensional que obtuvieron es la siguiente:

$$\Gamma(t) = 0.44 - 0.46 \sin(\omega t + 0.9) + 0.11 \sin(2\omega t + 0.9)$$

Donde $\omega = \pi/12$, y t es la hora del día en horas ($t = 12$ al mediodía solar). Usando esta función, la temperatura para cualquier hora del día está dada por:

$$T(t) = T_{x,i-1}\Gamma(t) + T_{n,1} [1 - \Gamma(t)] \quad 0 < t \leq 5$$



$$T(t) = T_{x,i}\Gamma(t) + T_{n,1} [1 - \Gamma(t)] \quad 5 < t \leq 14$$

$$T(t) = T_{x,i}\Gamma(t) + T_{n,i+1} [1 - \Gamma(t)] \quad 14 < t < 24$$

Aquí, T_x es la temperatura máxima diaria y T_n es la temperatura mínima. El subíndice i representa el presente; $i - 1$ representa al día anterior y $i + 1$ represente al día siguiente.

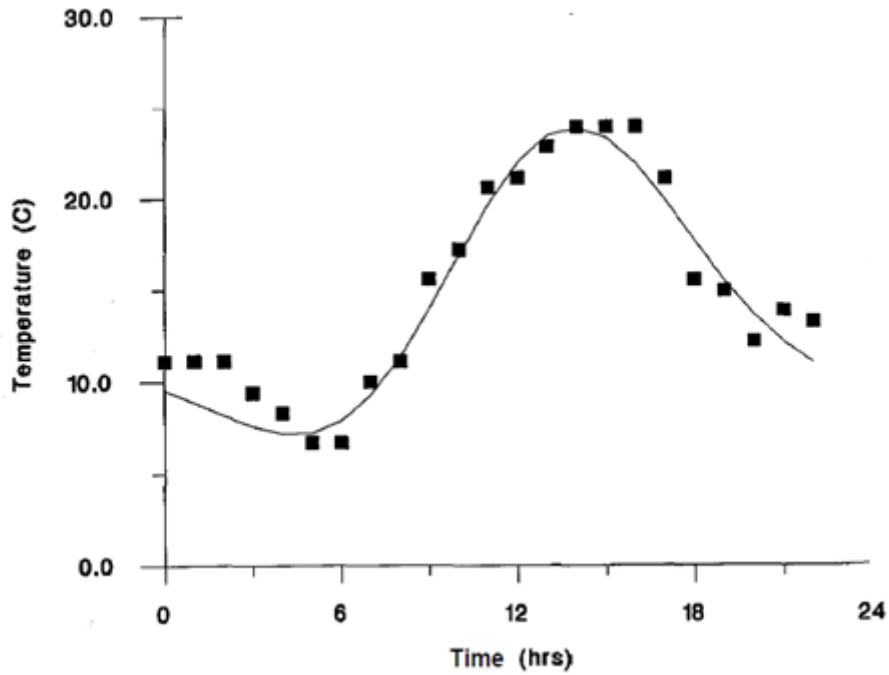


Figura 6. Comportamiento general de la Temperatura diaria. A partir de una serie de Fourier, se presenta la distribución de la temperatura para cada hora del día.
Fuente: (Campbell & Norman, 1998).

4.2.3. Validación del método de desagregación.

El método se validó utilizando los registros horarios disponibles de las estaciones proporcionadas por ETAPA EP. Debido a que estas estaciones también proporcionan información diaria, se procedió a desagregar estos valores y los resultados simulados se compararon con los registros observados. Se utilizó los parámetros de R^2 , media y desviación estándar para determinar la calidad de la información simulado versus la observada.

4.2.4. Ajuste de datos.

Con los datos históricos desagregados a resolución horaria, se procedió a realizar un ajuste a una distribución uniforme, usando como media y desviación estándar, las rescatadas de la información horaria observada para esta estación. El ajuste a la distribución normal obedece a la siguiente ecuación:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} * \exp\left\{-\frac{(x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right\}$$



Donde:

μ = Media de los datos.

σ^2 = Varianza.

4.3. Tendencias con Medias Móviles.

El método de las medias móviles es una herramienta que permite estimar valores futuros de series meteorológicas, así como proporcionar información de tendencias que podría ser ocultada por una simple media de los datos históricos. Este método permite detectar cambios en la tendencia a mediano plazo de las series estadísticas analizadas.

Para la aplicación de esta metodología se debe poseer series cronológicas completas, las cuales deben poseer a períodos uniformes o continuos de medición.

En este trabajo se utilizó Medias Móviles Simples de N períodos, en donde el promedio móvil corresponde al promedio de los datos observados en los últimos N períodos en el tiempo t, lo que se expresa en la siguiente fórmula:

$$MMS_t = \frac{D_t + D_{t-1} + \dots + D_{t-N+1}}{N}$$

Donde:

MMS_t : Media Móvil del período t.

$D_j, j = t, t - 1, \dots, t - N + 1$: Promedio período j.

N: Número de períodos.

Para utilizar el método de las medias móviles, se utilizó un período móvil de 24 horas.

Capítulo 5. Resultados y Discusión.

5.1. Resultados de Precipitación.

5.1.1. Selección de Modelos Climáticos.

En base a las estadísticas de rendimiento aplicadas sobre las series de precipitación futuras proporcionadas por los Modelos Climáticos utilizados en este trabajo, se obtuvo el rendimiento de los modelos para cada estación. Los resultados se muestran en las Figuras 7, 8, 9, 10 y 11 para las estaciones de la zona alta, media y baja respectivamente, en las que se presenta las estadísticas de los 5 mejores modelos para cada estación.

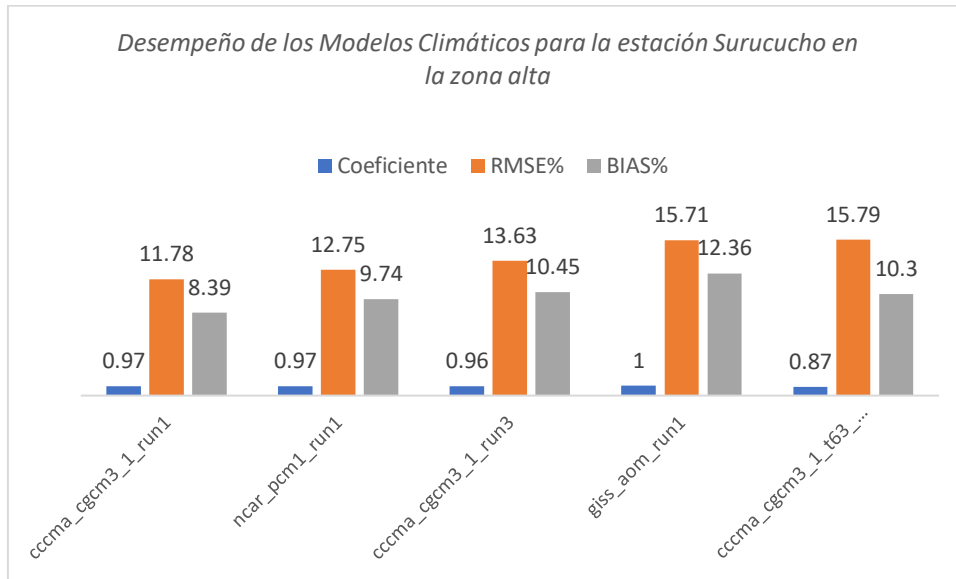


Figura 7. Desempeño de los 5 mejores Modelos Climáticos para la estación de Surucucho en la zona alta.

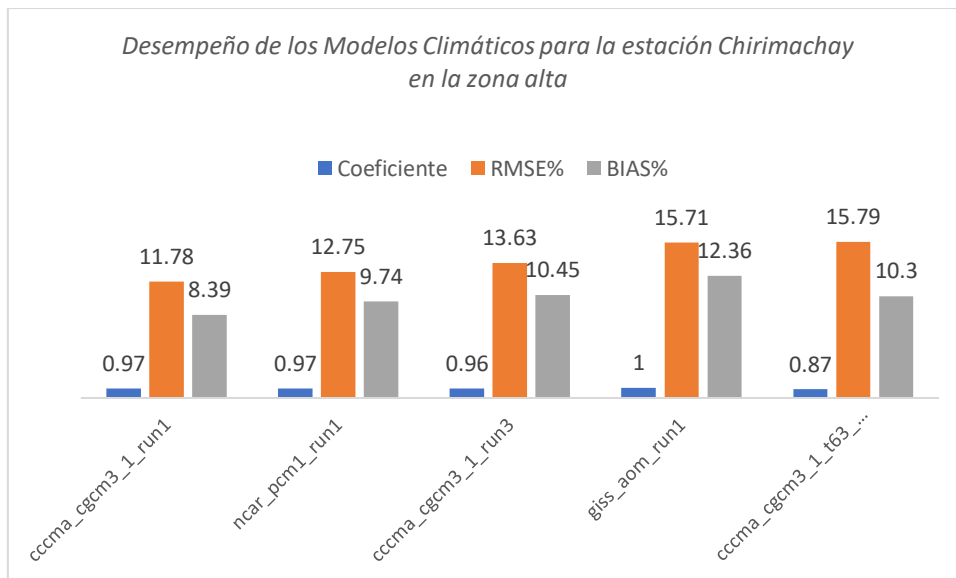


Figura 8. Desempeño de los 5 mejores Modelos Climáticos para la estación de Chirimachay en la zona alta.

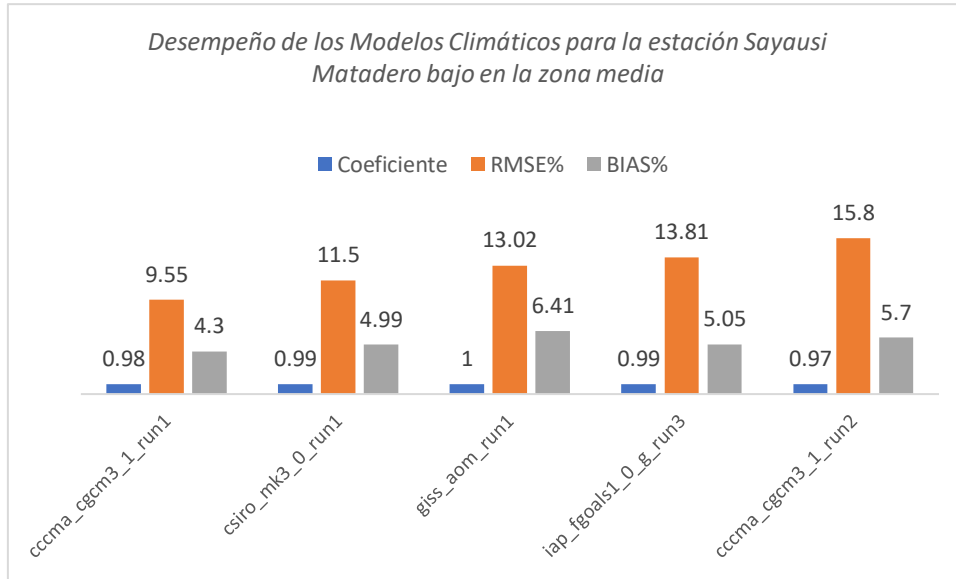


Figura 9. Desempeño de los 5 mejores Modelos Climáticos para la estación de Sayausi Matadero Bajo en la zona media.

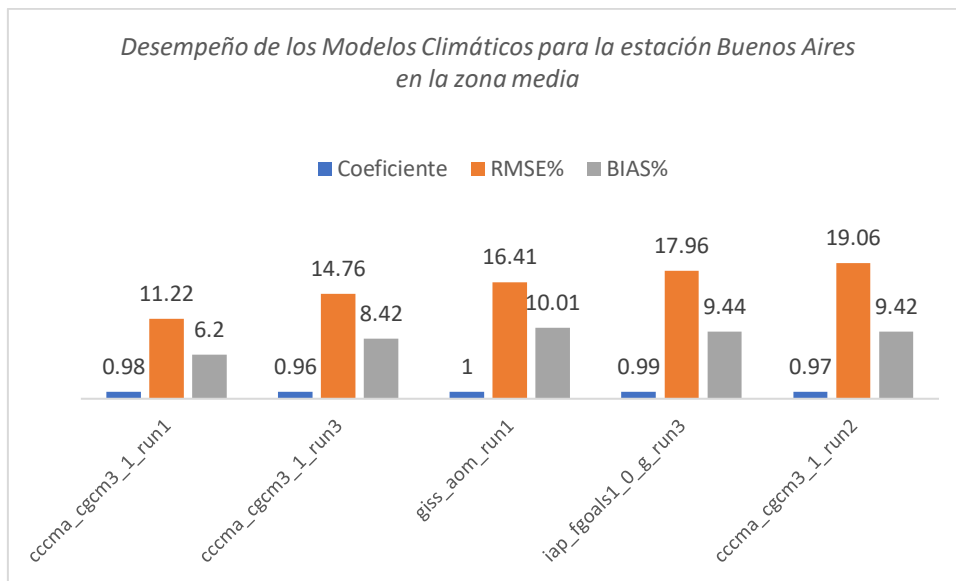


Figura 10. Desempeño de los 5 mejores Modelos Climáticos para la estación de Buenos Aires en la zona media.

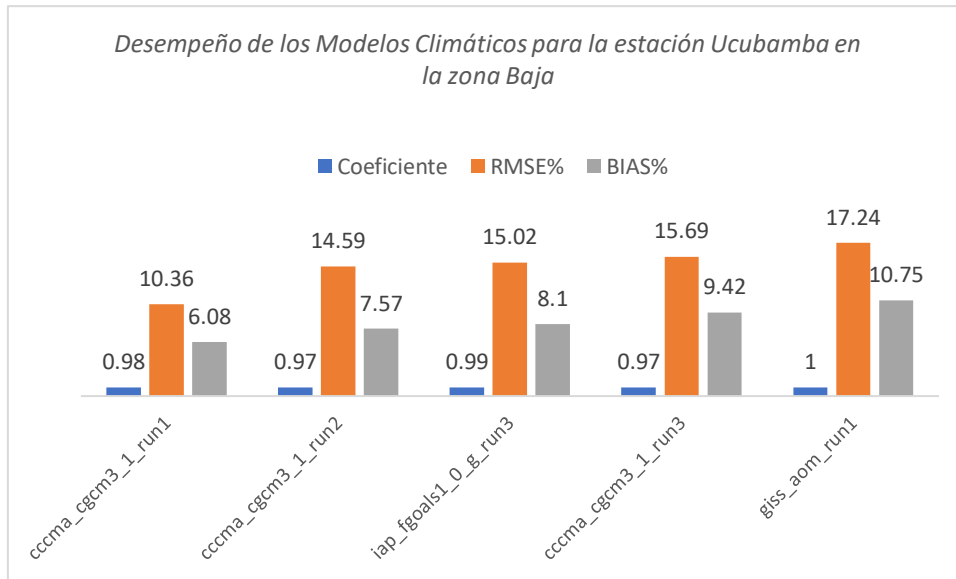


Figura 11. Desempeño de los 5 mejores Modelos Climáticos para la estación de Ucubamba en la zona baja.

Como se puede apreciar en cada una de las figuras presentadas, el modelo cccma_cgcm3_1_run1 es el que presenta el mejor rendimiento para cada una de las 5 estaciones seleccionadas. Sin embargo, el resto de modelos proporciona resultados diferentes para cada estación. Se promedió los resultados de los 5 mejores modelos para cada estación, para de esta manera obtener una serie única de registro diario proyectado a futuro.

El criterio de selección del mejor modelo se basó en elegir los que presenten los menores valores de RMSE y BIAS, ya que estos son los que poseen menor error. El parámetro del coeficiente de correlación de Pearson mostró valores altos para cada modelo en las diferentes estaciones, lo que significa que existe una buena correlación entre los datos históricos y proyectados en todos los modelos.

5.1.2. Desagregación de las series diarias a horarias.

Se elaboró las curvas de distribución acumulada utilizando las series en resolución de 5 minutos de las estaciones proporcionadas por ETAPA EP. Para este propósito, los parámetros λ y β fueron obtenidos en función de la media y desviación estándar de los datos. Los resultados se presentan desde la Tabla 5 hasta la Tabla 9:

Tabla 5. Parámetros estadísticos para la obtención de las CDF mensual de la estación Llaviucu

Parámetros de la estación Llaviucu zona alta				
Mes	Media	Desviación estándar	λ	β
Enero	0.013	0.073	2.439	0.032
Febrero	0.011	0.074	2.009	0.022
Marzo	0.019	0.082	2.826	0.054
Abril	0.019	0.105	1.723	0.033
Mayo	0.012	0.076	2.078	0.025
Junio	0.012	0.05	4.8	0.058
Julio	0.003	0.021	6.803	0.02



Agosto	0.003	0.02	7.5	0.023
Septiembre	0.01	0.068	2.163	0.022
Octubre	0.005	0.058	1.486	0.007
Noviembre	0.007	0.116	0.52	0.004
Diciembre	0.012	0.072	2.315	0.028

Tabla 6. Parámetros estadísticos para la obtención de las CDF mensual de la estación Patoquinas

Parámetros de la estación Patoquinas zona alta				
Mes	Media	Desviación estándar	λ	β
Enero	0.013	0.06	3.611	0.047
Febrero	0.012	0.066	2.755	0.033
Marzo	0.014	0.065	3.314	0.046
Abril	0.011	0.056	3.508	0.039
Mayo	0.007	0.04	4.375	0.031
Junio	0.006	0.032	5.859	0.035
Julio	0.008	0.05	3.2	0.026
Agosto	0.004	0.08	0.625	0.003
Septiembre	0.006	0.042	3.401	0.02
Octubre	0.008	0.046	3.781	0.03
Noviembre	0.007	0.059	2.011	0.014
Diciembre	0.009	0.061	2.419	0.022

Tabla 7. Parámetros estadísticos para la obtención de las CDF mensual de la estación Matadero Sayausi

Parámetros de la estación matadero Sayausi zona media				
Mes	Media	Desviación estándar	λ	β
Enero	0.007	0.14	0.357	0.003
Febrero	0.006	0.06	1.667	0.01
Marzo	0.021	0.116	1.561	0.033
Abril	0.014	0.103	1.32	0.018
Mayo	0.012	0.1	1.2	0.014
Junio	0.007	0.051	2.691	0.019
Julio	0.005	0.042	2.834	0.014
Agosto	0.003	0.033	2.755	0.008
Septiembre	0.002	0.026	2.959	0.006
Octubre	0.005	0.056	1.594	0.008
Noviembre	0.005	0.081	0.762	0.004
Diciembre	0.006	0.063	1.512	0.009



Tabla 8. Parámetros estadísticos para la obtención de las CDF mensual de la estación Sayausi PTAP

Parámetros de la estación de Sayausi PTAP zona media				
Mes	Media	Desviación estándar	λ	β
Enero	0.009	0.08	1.406	0.013
Febrero	0.006	0.077	1.012	0.006
Marzo	0.018	0.13	1.065	0.019
Abril	0.012	0.108	1.029	0.012
Mayo	0.008	0.078	1.315	0.011
Junio	0.007	0.048	3.038	0.021
Julio	0.006	0.046	2.836	0.017
Agosto	0.003	0.047	1.358	0.004
Septiembre	0.004	0.049	1.666	0.007
Octubre	0.014	0.114	1.077	0.015
Noviembre	0.008	0.09	0.988	0.008
Diciembre	0.008	0.082	1.19	0.01

Tabla 9. Parámetros estadísticos para la obtención de las CDF mensual de la estación Ucubamba

Parámetros de la estación de Ucubamba zona baja				
Mes	Media	Desviación estándar	λ	β
Enero	0.011	0.176	0.355	0.004
Febrero	0.006	0.051	2.307	0.014
Marzo	0.025	0.201	0.619	0.015
Abril	0.011	0.112	0.877	0.01
Mayo	0.007	0.084	0.992	0.007
Junio	0.006	0.063	1.512	0.009
Julio	0.003	0.025	4.8	0.014
Agosto	0.003	0.087	0.396	0.001
Septiembre	0.002	0.024	3.472	0.007
Octubre	0.008	0.083	1.161	0.009
Noviembre	0.008	0.109	0.673	0.005
Diciembre	0.01	0.144	0.482	0.005

Estos parámetros sirvieron de entrada en el software R para la generación de las respectivas funciones de densidad acumulada para cada mes de todas las estaciones presentadas anteriormente. Adicionalmente, es necesario definir el valor de umbral mínimo para cada mes de cada estación, con la finalidad de que el método converja en un número no excesivo de iteraciones. El valor utilizado para este propósito es de 0.1 mm, el cual se asignó a todos los meses de todas las estaciones presentadas anteriormente.

Los patrones de precipitación fueron obtenidos en base al análisis de las series de datos en resolución horaria. A continuación, desde la Figura 12 hasta la Figura 20, se presentan los correspondientes a casos particulares para cada estación.:

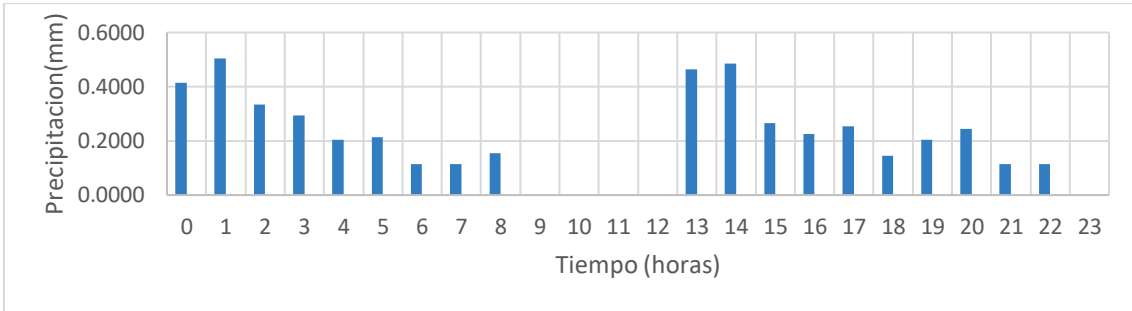


Figura 12. Patrón de precipitación del mes de marzo correspondiente a la estación Llaviucu

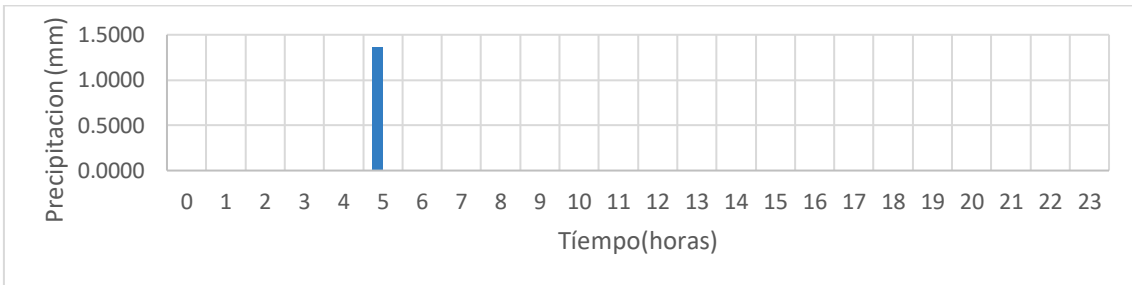


Figura 13. Patrón de precipitación del mes de julio correspondiente a la estación Llaviucu.

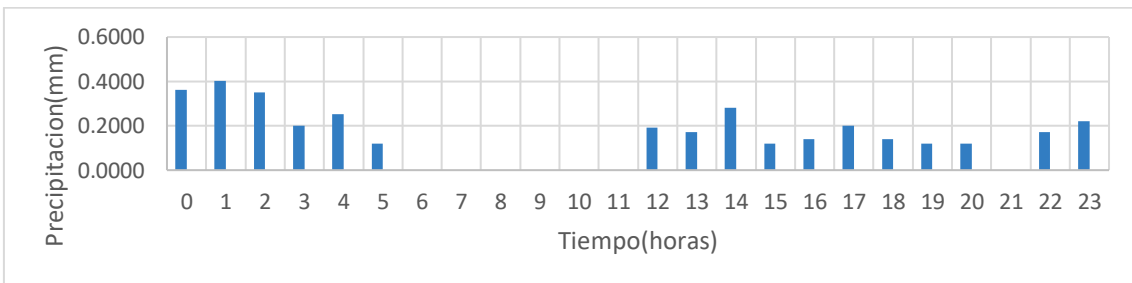


Figura 14. Patrón de precipitación del mes de abril correspondiente a la estación Patoquinas.

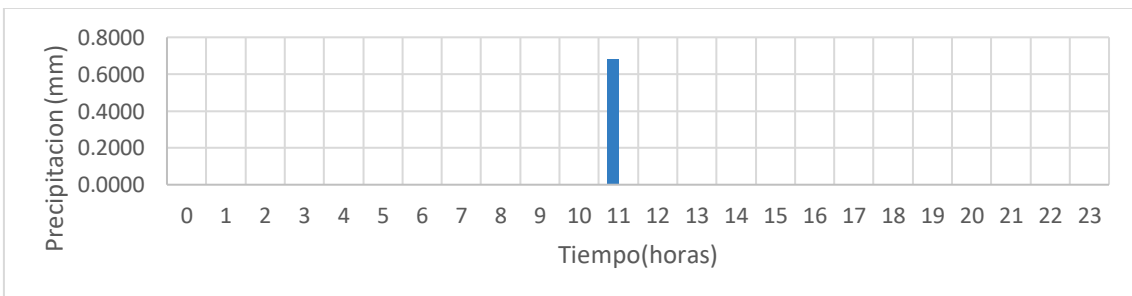


Figura 15. Patrón de precipitación del mes de agosto correspondiente a la estación Patoquinas.

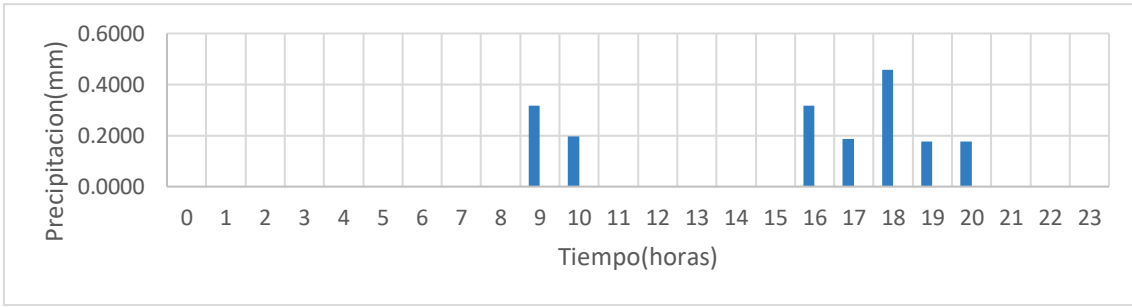


Figura 16. Patrón de precipitación del mes de enero correspondiente a la estación Matadero Sayausi.

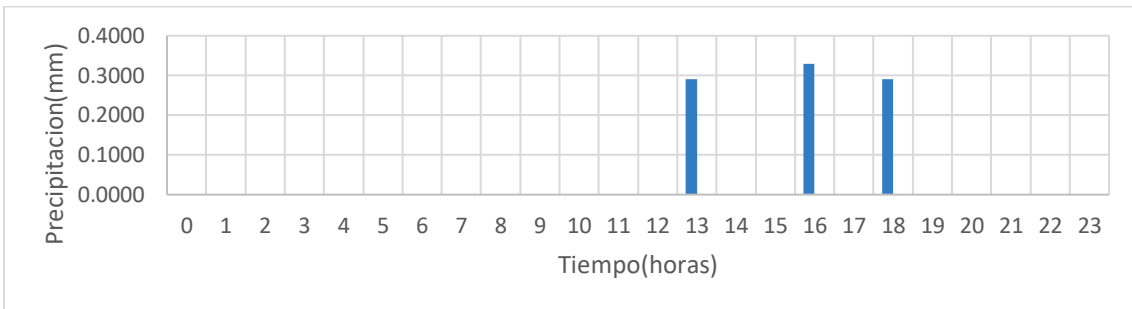


Figura 17. Patrón de precipitación del mes de septiembre correspondiente a la estación Matadero Sayausi.

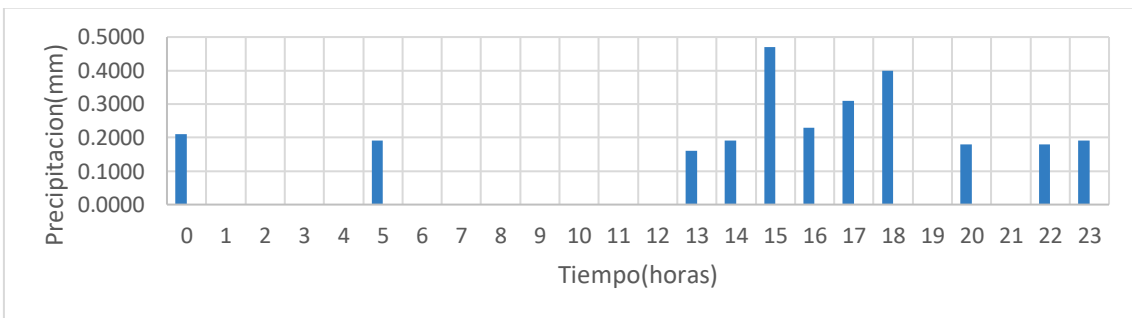


Figura 18. Patrón de precipitación del mes de enero correspondiente a la estación Sayausi PTAP.

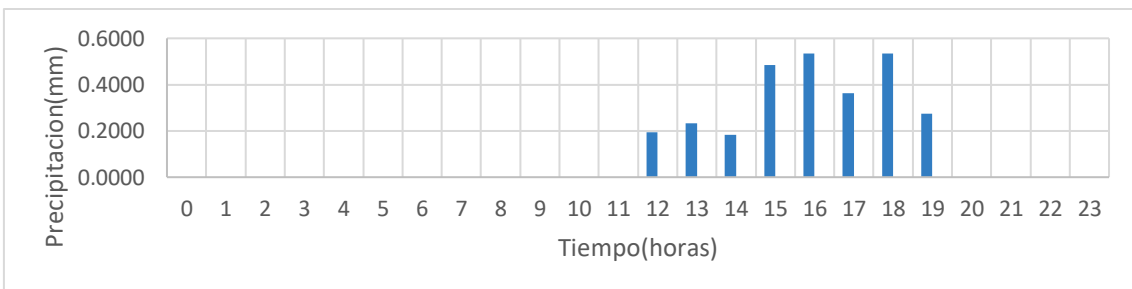


Figura 19. Patrón de precipitación del mes de noviembre correspondiente a la estación Sayausi PTAP.

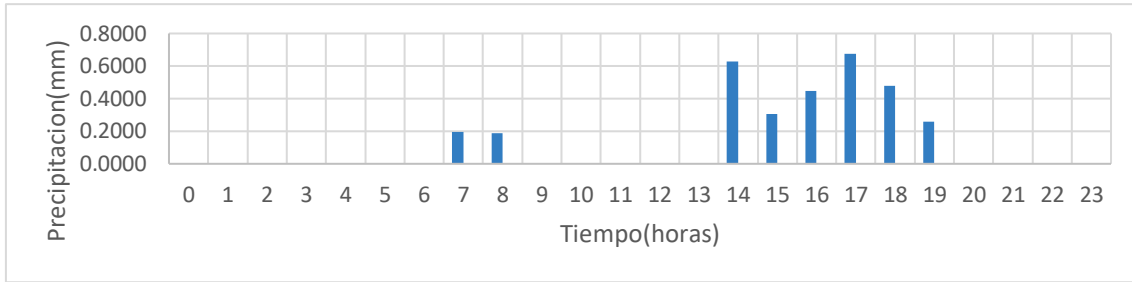


Figura 20. Patrón de precipitación del mes de diciembre correspondiente a la estación Ucubamba.

Como se puede apreciar en las Figuras 13 y 15 para el mes de julio en la estación de Llaviucu y para el mes de agosto en la estación de Patoquinas respectivamente, se presenta una concentración de los eventos de precipitación en una sola hora del día, esto se debe a que en el análisis de las series horarias respectivas se observó un gran número de eventos con lluvia cero. Caso contrario ocurre en las Figuras 12, 14, 16, 17, 18, 19 y 20, en las que se aprecia una mejor distribución de los eventos de precipitación en las horas del día, debido a la baja cantidad de eventos con lluvia cero.

Los patrones de precipitación para los demás meses de las respectivas estaciones se presentan en Anexo 1.

El método de desagregación se aplicó a las series de precipitación horaria de cada estación de la cuenca del río Tomebamba, a continuación, se eligió las estaciones de Surucucho, Matadero Sayausi y Ucubamba, correspondientes a las zonas alta, media y baja respectivamente para la demostración del método. Para este propósito, se seleccionó los valores medidos de profundidad de precipitación diaria de 1.99 mm, 2.74 mm y 3.6 mm correspondientes al 2 de enero del 2014, 7 de marzo de 2014 y 4 de junio de 2014 respectivamente, para las correspondientes estaciones mencionadas.

Se utilizó el software R para desarrollar la desagregación debido que se necesita de varias iteraciones para cumplir con las condiciones del método.

En las Tabla 10, 11 y 12 se presentan los resultados de los valores de precipitación horaria desagregada. En la columna denominada "valor" se presentan los datos desagregados de precipitación en función de la probabilidad gamma; la columna denominada "inicio" corresponde a la hora de inicio de los eventos que se asignó en función de las gráficas de patrones de precipitación para el mes correspondiente a la zona. Posteriormente, de la tabla de eventos de las series de precipitación horaria observadas, se seleccionó la duración de los eventos parciales desagregados. Por último, la columna denominada "final" es la suma de la hora de inicio del evento con su respectiva duración.

Finalmente, se suma los valores de precipitación que se superponen en las mismas horas.



Tabla 10. Desagregación de escala diaria a escala horaria del valor 1.99 mm de precipitación de la estación de Surucucho.

Valor	Duración	
	Inicio	Final
0.03	13	14
0.09	14	15
0.14	17	18
0.06	14	15
0.07	6	7
0.06	18	19
0.01	13	14
0.21	13	14
0.10	6	7
0.18	19	20
0.09	14	15
0.04	15	16
0.10	14	15
0.02	13	14
0.21	16	17
0.04	18	19
0.06	6	7
0.07	6	7
0.06	19	20
0.05	13	14
0.05	4	5

La zona alta el valor desagregado de precipitación es de 1.99mm de la estación de Surucucho para el mes de enero.

Tabla 11. Desagregación de escala diaria a escala horaria del valor 2.74mm de precipitación de la estación de Matadero Sayausi Bajo.

Duración			Duración			Duración		
Valor	Inicio	Final	Valor	Inicio	Final	Valor	Inicio	Final
0.013	3	4	0.019	17	18	0.026	13	14
0.067	8	9	0.091	21	22	0.001	10	11
0.004	21	22	0.002	7	8	0.021	18	19
0.016	10	11	0.008	7	8	0.019	19	20
0.030	1	2	0.027	12	13	0.010	10	11
0.005	6	7	0.007	16	17	0.010	1	2
0.010	19	20	0.020	8	9	0.036	12	13
0.029	2	3	0.017	9	10	0.030	9	10
0.044	10	11	0.008	14	15	0.069	6	7
0.014	19	20	0.015	7	8	0.087	6	7
0.001	1	2	0.005	10	11	0.030	0	1
0.009	4	5	0.025	3	4	0.013	11	12
0.009	17	18	0.045	1	2	0.043	15	16



0.013	12	13	0.030	8	9	0.016	20	21
0.091	23	24	0.006	8	9	0.089	3	4
0.001	21	22	0.038	18	19	0.010	23	24
0.012	9	10	0.064	18	19	0.012	19	20
0.012	23	24	0.004	21	22	0.013	20	21
0.009	15	16	0.009	16	17	0.029	17	18
0.089	20	21	0.018	21	22	0.007	8	9
0.019	4	5	0.039	19	20	0.029	19	20
0.016	9	10	0.101	21	22	0.020	16	17
0.009	13	14	0.002	5	6	0.027	14	15
0.060	1	2	0.031	17	18	0.030	5	6
0.004	5	6	0.019	11	12	0.032	21	22
0.015	23	24	0.016	7	8	0.019	12	13
0.017	20	21	0.030	20	21	0.032	9	10
0.015	7	8	0.078	23	24	0.039	11	12
0.007	21	22	0.028	5	6	0.026	15	16
0.008	18	19	0.013	23	24	0.030	20	21
0.013	17	18	0.028	14	15	0.002	14	15
0.035	3	4	0.007	6	7	0.022	2	3
0.035	17	18	0.038	16	17	0.035	7	8
0.004	15	16	0.025	21	22	0.042	12	13
						0.017	21	22

La zona media el valor desagregado de precipitación es de 2.74mm de la estación de Matadero Sayausi Bajo para el mes de abril.

Tabla 12. Desagregación de escala diaria a escala horaria del valor 3.6 mm de precipitación de la estación de Ucubamba.

Valor	Duración		Valor	Duración	
	Inicio	Final		Inicio	Final
0.0333	7	8	0.1261	9	10
0.0806	2	3	0.0218	6	7
0.0923	9	10	0.1274	23	24
0.1479	2	3	0.1051	5	6
0.0401	23	24	0.0790	3	4
0.1804	20	21	0.0833	12	13
0.0427	8	9	0.0766	3	4
0.1030	12	13	0.0739	8	9
0.0300	3	4	0.0491	21	22
0.0667	8	9	0.1098	7	8
0.0681	12	13	0.1049	12	13
0.0957	5	6	0.0796	22	23
0.0723	20	21	0.0658	11	12
0.0659	9	10	0.0540	9	10
0.0770	20	21	0.0550	20	21
0.0735	8	9	0.0649	1	2



0.0752	12	13	0.0191	5	6
0.0926	7	8	0.0276	23	24
0.0491	20	21	0.1040	22	23
0.0361	7	8	0.0957	9	10
0.0443	0	1	0.0440	0	1
0.1132	22	23	0.0536	2	3
0.0564	8	9	0.0726	6	7
0.0214	22	23			

La zona abaja el valor desagregado de precipitación es de 3.60mm de la estación de Ucubamba para el mes de julio.

En las tablas 13, 14 y 15, se presentan los resultados finales del proceso de desagregación, para los valores seleccionados en esta demostración. Como se puede observar, los eventos que se superponen han sido debidamente sumados, obteniéndose así los respectivos hidrogramas de precipitación presentados en las Figuras 21, 22 y 23. Estos hidrogramas, siguen el mismo comportamiento de los patrones de precipitación obtenidos para el respectivo mes de cada estación correspondiente.

Tabla 13. Resultados de los valores de precipitación horaria reducidos de la estación de Surucucho.

Estación Surucucho. Precipitación diaria: 1.99 mm		
Hora Inicio	Hora Final	Precipitación horaria desagregada (mm)
0	1	0
1	2	0
2	3	0
3	4	0
4	5	0.2
5	6	0
6	7	0.28
7	8	0
8	9	0
9	10	0
10	11	0
11	12	0
12	13	0
13	14	0.31
14	15	0.33
15	16	0.1
16	17	0.2
17	18	0.13
18	19	0.11
19	20	0.33
20	21	0
21	22	0
22	23	0
23	24	0
Total		1.99

La suma total del día 1.99 mm de precipitación de la estación de Surucucho para la zona alta de la cuenca del rio Tomebamba.





Tabla 14. Resultados de los valores de precipitación horaria reducidos de la estación de Matadero Sayausi Bajo.

Estación Matadero Sayausi bajo. Precipitación diaria: 2.74 mm		
Hora Inicio	Hora Final	Precipitación horaria desagregada (mm)
0	1	0.17
1	2	0.16
2	3	0.14
3	4	0.15
4	5	0.15
5	6	0.13
6	7	0
7	8	0
8	9	0
9	10	0
10	11	0
11	12	0
12	13	0
13	14	0.1
14	15	0.19
15	16	0.24
16	17	0.16
17	18	0.1
18	19	0.3
19	20	0.1
20	21	0.2
21	22	0.21
22	23	0
23	24	0.24
Total		2.74

La suma total del día 2.74 mm de precipitación de la estación de Matadero Sayausi Bajo para la zona media de la cuenca del río Tomebamba.



Tabla 15. Resultados de los valores de precipitación horaria reducidos de la estación de Ucubamba.

Estación Ucubamba. Precipitación diaria: 3.60 mm		
Hora Inicio	Hora Final	Precipitación horaria desagregada (mm)
0	1	0.1
1	2	0.1
2	3	0.28
3	4	0.19
4	5	0
5	6	0.22
6	7	0.1
7	8	0.27
8	9	0.31
9	10	0.43
10	11	0
11	12	0.1
12	13	0.4
13	14	0
14	15	0
15	16	0
16	17	0
17	18	0
18	19	0
19	20	0
20	21	0.4
21	22	0.1
22	23	0.32
23	24	0.28
Total		3.6

La suma total del día 3.60 mm de precipitación de la estación de Ucubamba para la zona baja de la cuenca del río Tomebamba.

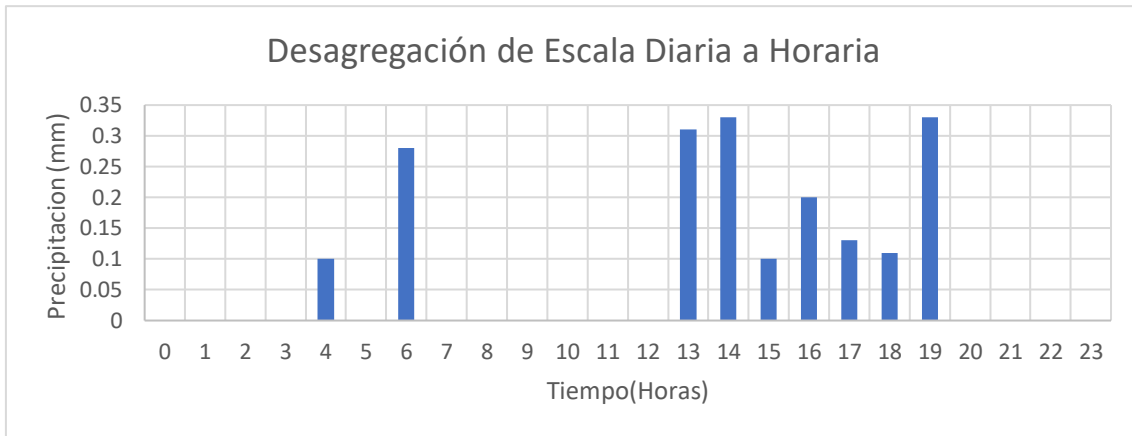


Figura 21. Histograma de los valores finales obtenidos de la desagregación del día 1.99mm de precipitación de la estación de Surucucho.

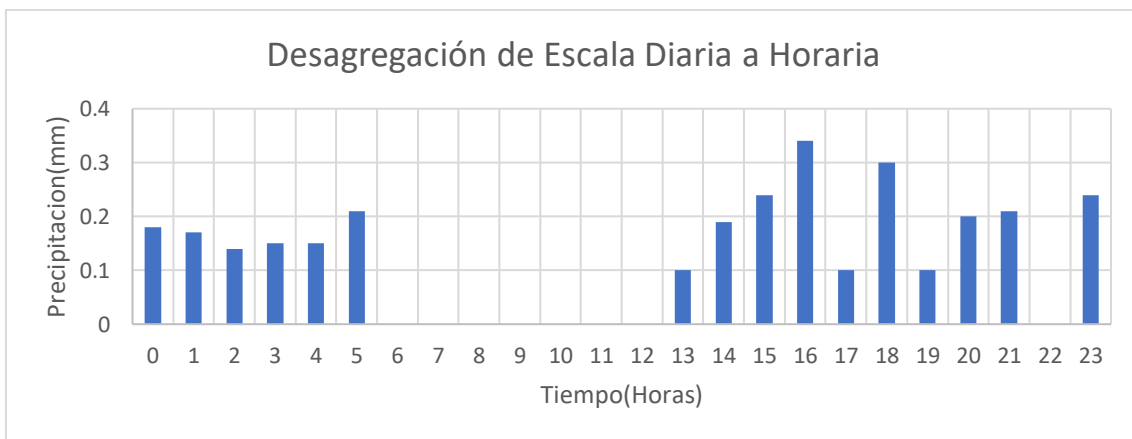


Figura 22. Histograma de los valores finales obtenidos de la desagregación del día 2.74mm de precipitación de la estación de Matadero Sayausi Bajo.

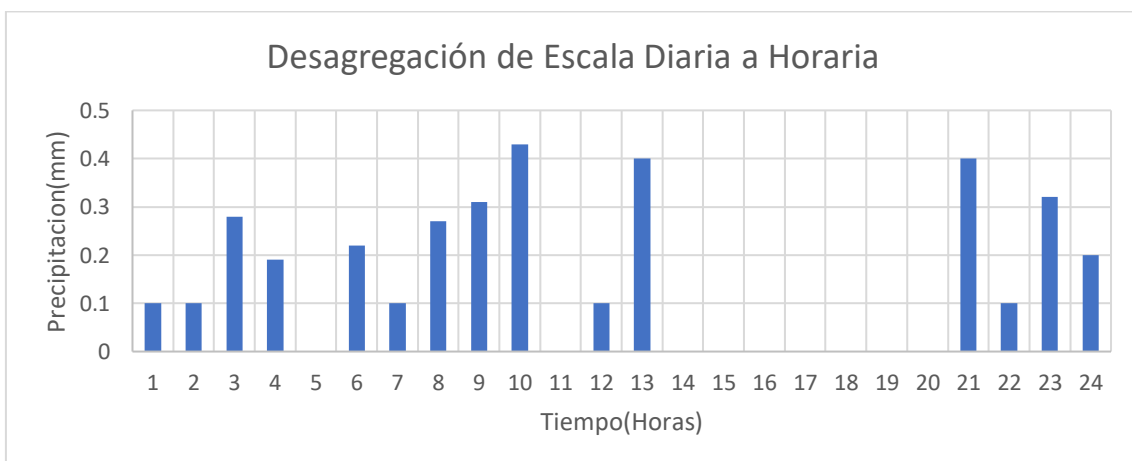


Figura 23. Histograma de los valores finales obtenidos de la desagregación del día 3.6mm de precipitación de la estación de Ucubamba.

5.1.3. Validación de precipitación.

La validación se realizó comparando parámetros estadísticos de las series desagregadas con las series observadas.

En la Figura 24 hasta la Figura 28 se presenta un diagrama comparativo entre la media de las series de precipitación observadas y simuladas. Como se puede apreciar, la diferencia entre estos valores es mínima, debido a que el método de desagregación genera una serie sintética que conserva de una manera aceptable las estadísticas de las series observadas; por lo tanto, se tiene una serie desagregada aceptable.

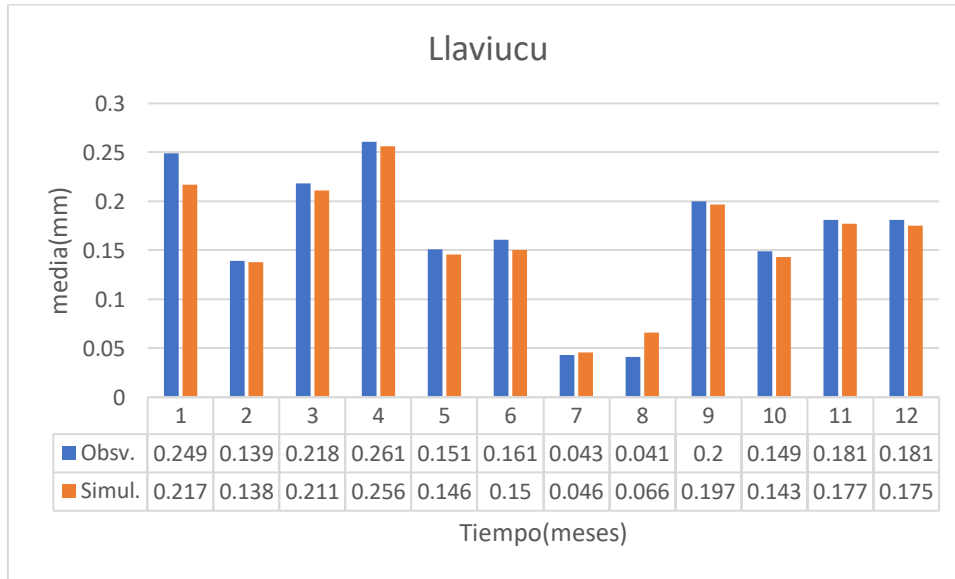


Figura 24. Valores de la media de los datos observados y simulados de la estación Llaviucu.

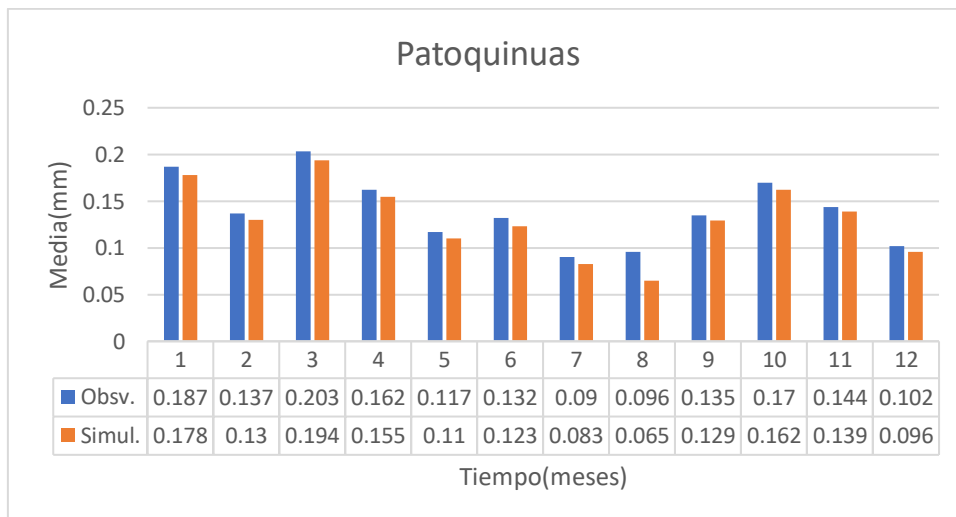


Figura 25. Valores de la media de los datos observados y simulados de la estación Patoquinas.

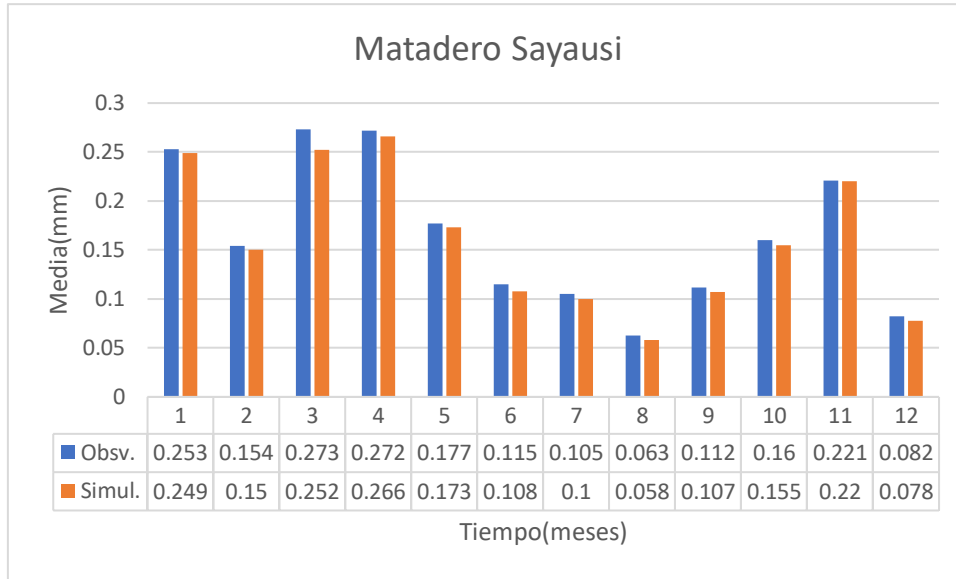


Figura 26. Valores de la media de los datos observados y simulados de la estación Matadero Sayausi.

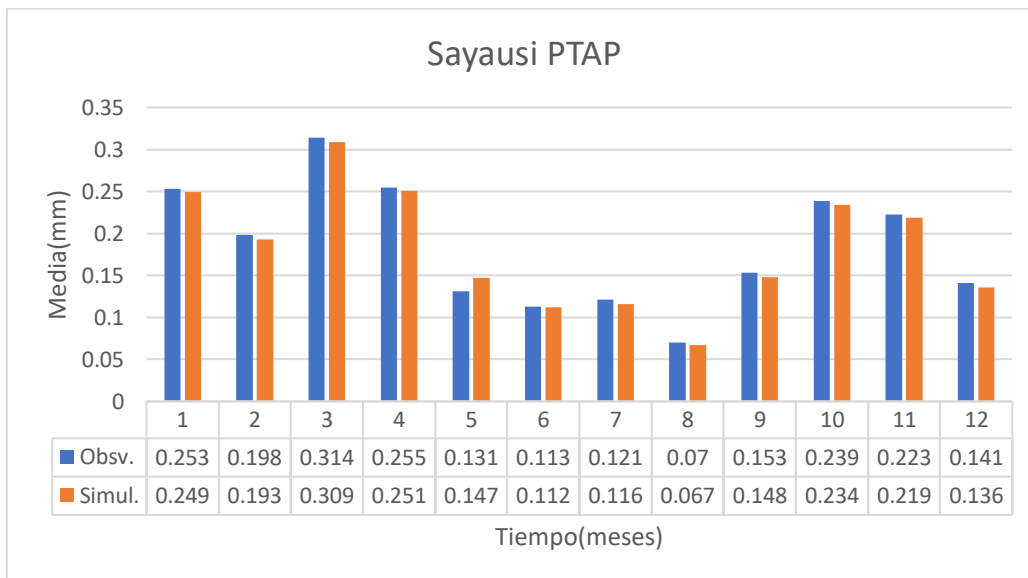


Figura 27. Valores de la media de los datos observados y simulados de la estación Sayausi PTAP.

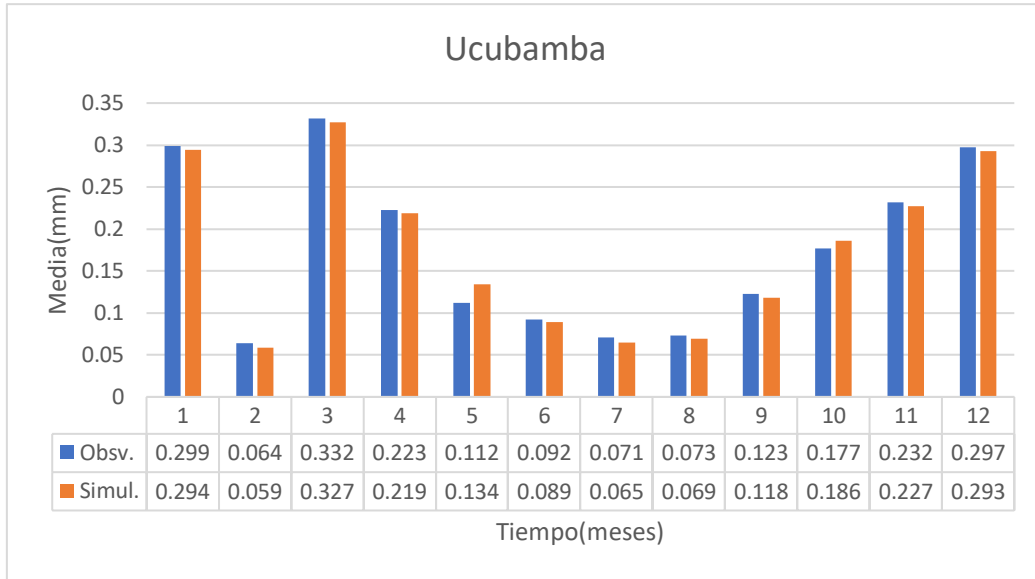


Figura 28. Valores de la media de los datos observados y simulados de la estación Ucubamba.

En las Figuras 29, 30, 31, 32 y 33, se presenta la comparación del parámetro de probabilidad de lluvia cero entre las series de precipitación observadas y simuladas. Como se puede observar, a nivel general se tiene una discrepancia mínima entre los valores de este parámetro de las series observadas y simuladas, generándose mayor variabilidad en los meses que tienen eventos de precipitación variables.

El método subestima el valor de este parámetro en los meses en los que existe una mayor cantidad de eventos de precipitación. Esto se debe a que el método genera series sintéticas con una mayor cantidad de eventos individuales de precipitación en comparación con las series observadas.

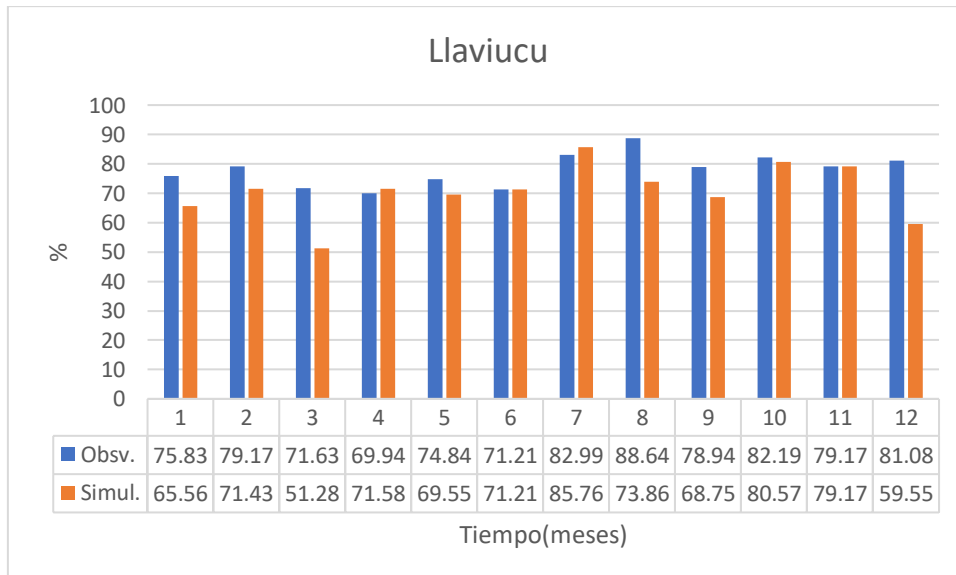


Figura 29. Valores de probabilidad de lluvia cero de los datos observados y simulados de la estación Llaviucu.

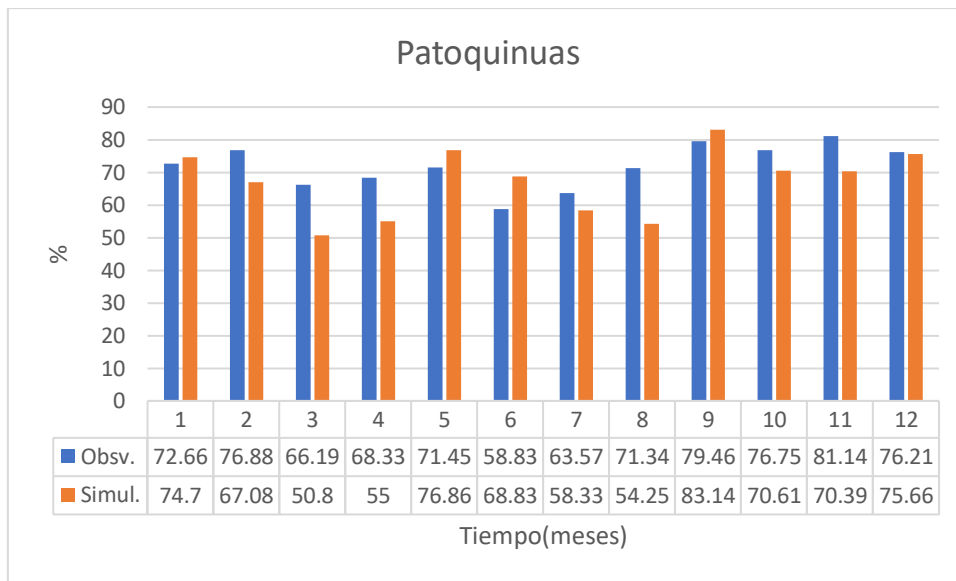


Figura 30. Valores de probabilidad de lluvia cero de los datos observados y simulados de la estación Patoquinas.

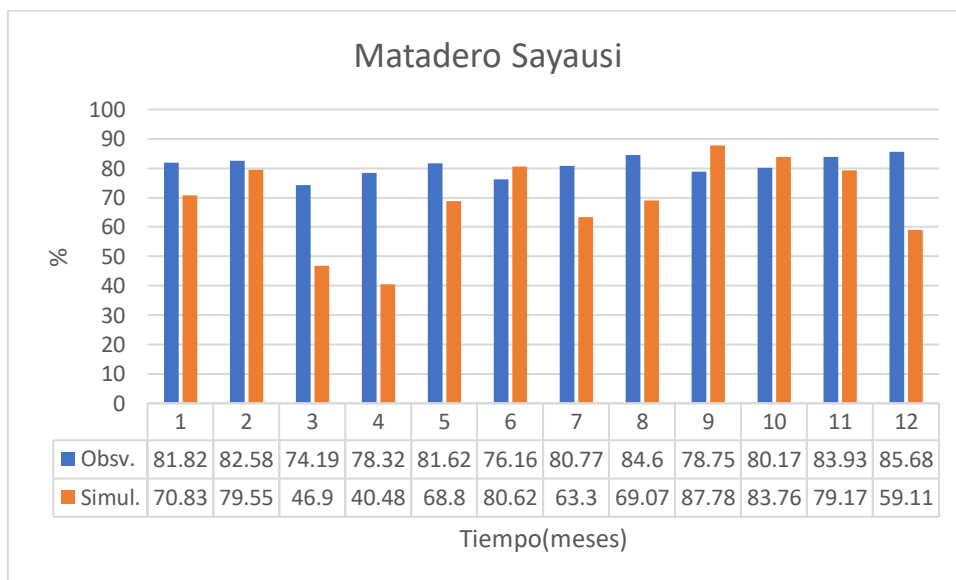


Figura 31. Valores de probabilidad de lluvia cero de los datos observados y simulados de la estación Matadero Sayausi.

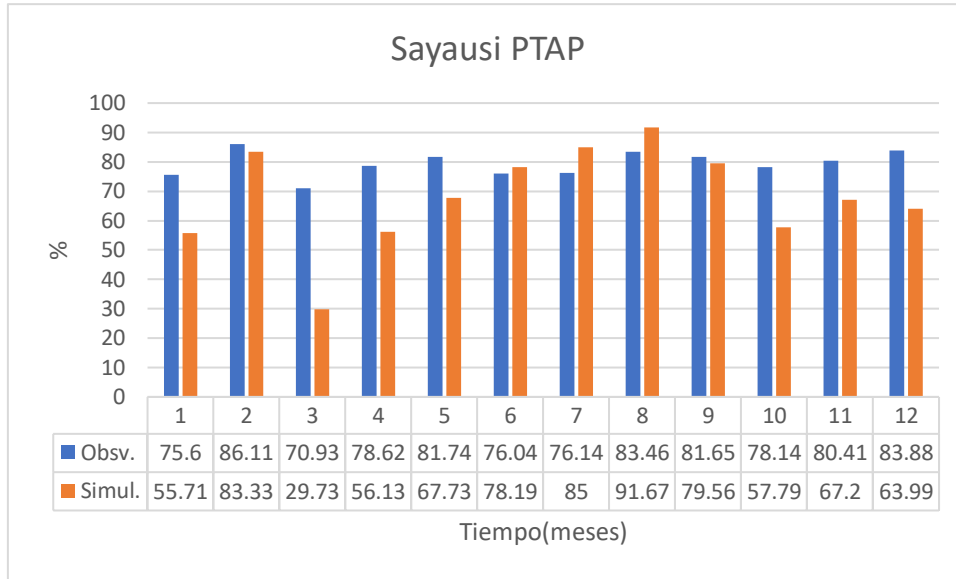


Figura 32. Valores de probabilidad de lluvia cero de los datos observados y simulados de la estación Sayausi PTAP.

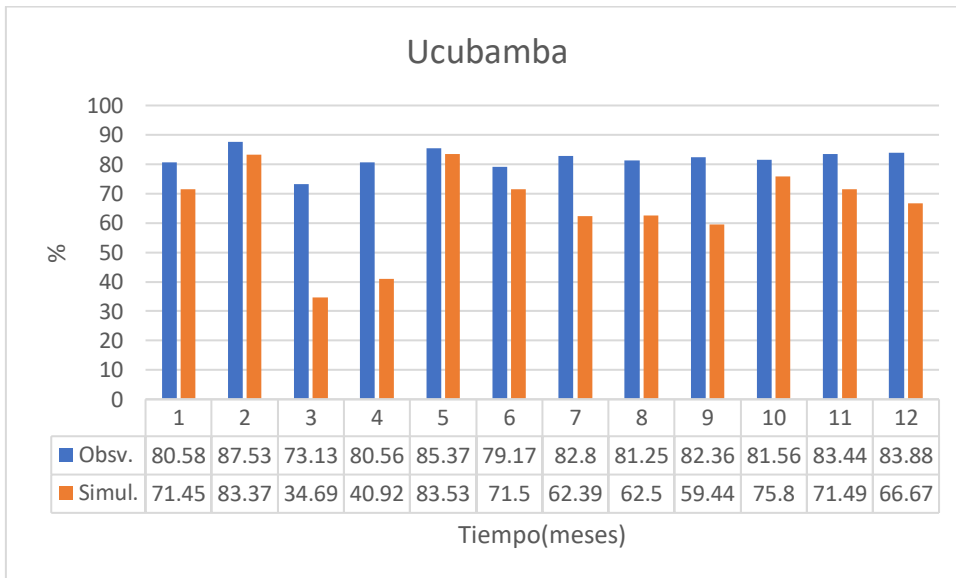


Figura 33. Valores de probabilidad de lluvia cero de los datos observados y simulados de la estación Ucubamba.

Por último, en las Figuras 34, 35, 36, 37 y 38 se presenta la comparación entre la varianza de las series observadas con respecto a las series simuladas. Como se puede apreciar existe una gran diferencia entre estos valores. Esta diferencia radica en el hecho de que el método como tal no genera eventos horarios individuales similares a los observados.

Además, se observa que el valor de la varianza es subestimado por el método con respecto al valor observado. Esto se debe a que el método de desagregación genera series sintéticas más homogéneas que las observadas.

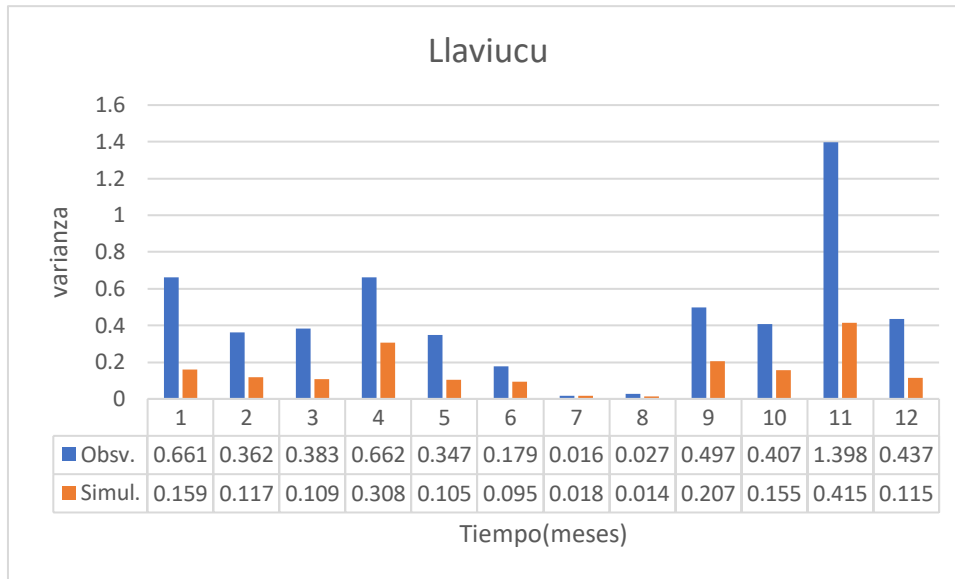


Figura 34. Valores de la varianza de los datos observados y simulados de la estación Llaviucu.

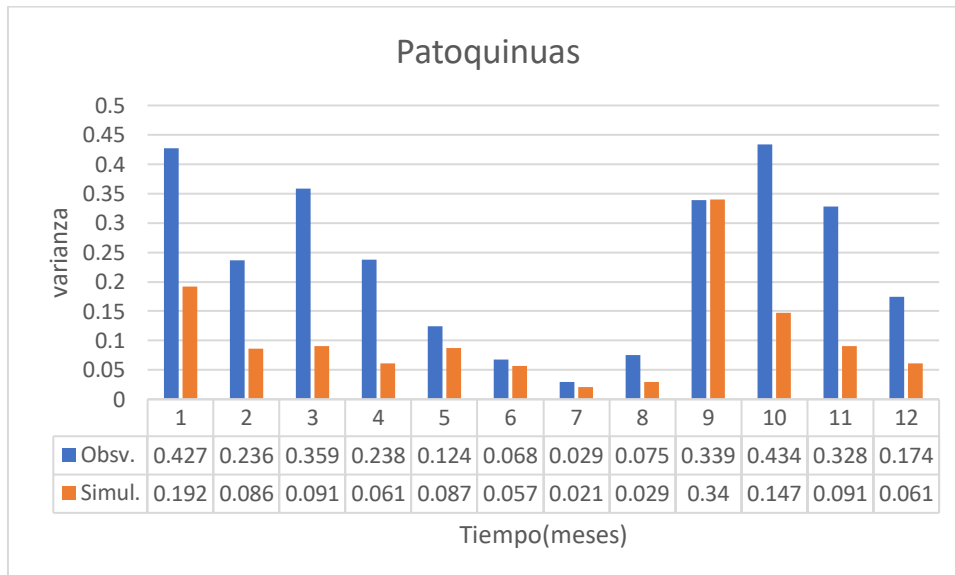


Figura 35. Valores de la varianza de los datos observados y simulados de la estación Patoquinas.

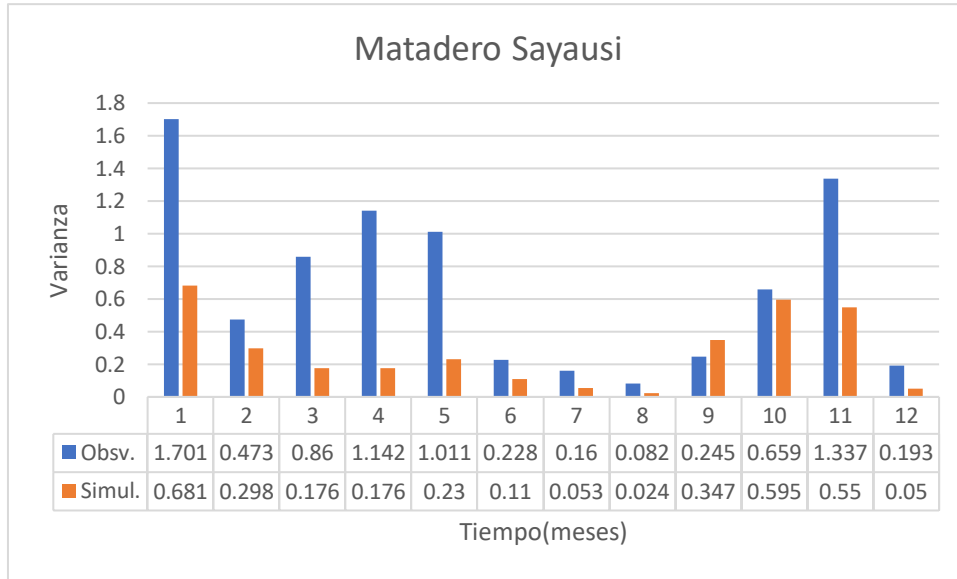


Figura 36. Valores de la varianza de los datos observados y simulados de la estación Matadero Sayausi.

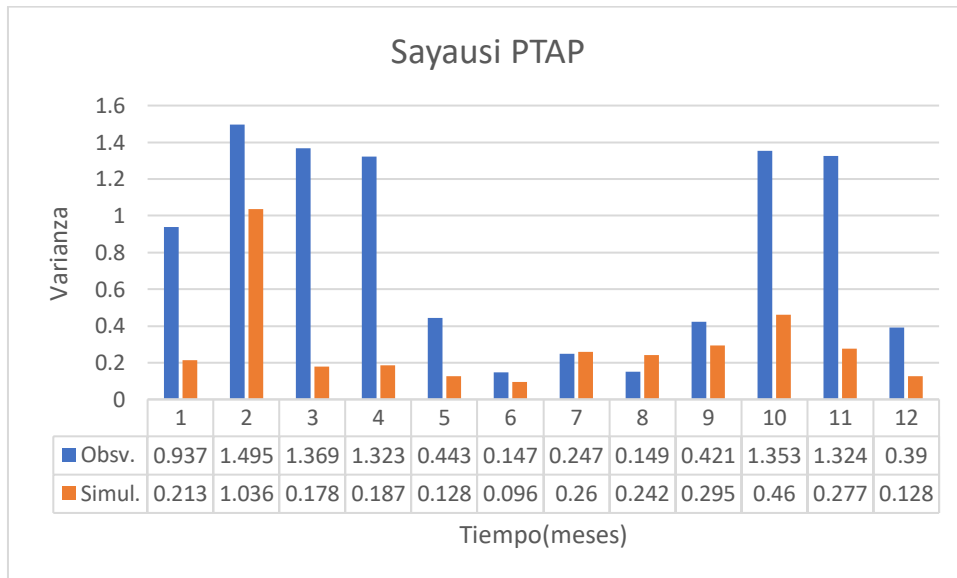


Figura 37. Valores de la varianza de los datos observados y simulados de la estación Sayausi PTAP.

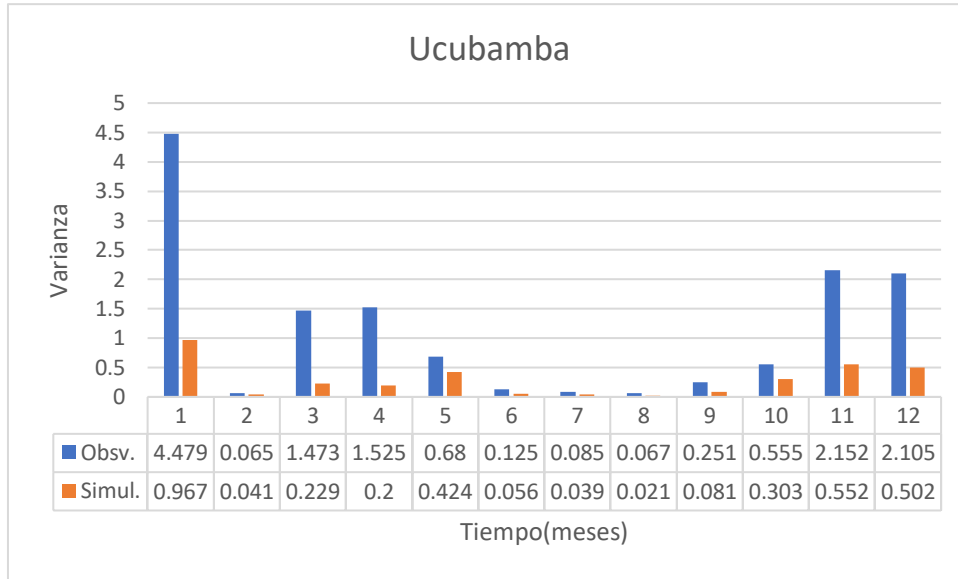


Figura 38. Valores de la varianza de los datos observados y simulados de la estación Ucubamba.



5.2. Resultados de Temperatura.

5.2.1. Información de temperatura media, máxima y mínima.

Se procedió a realizar una media final de todos los valores de temperatura media, máxima y mínima obtenidos para los años analizados con el objetivo de tener un valor representativo para cada día y mes de las diferentes zonas de la cuenca del río Tomebamba. Los resultados para los meses de enero y febrero se presentan en las Figuras 39 y 40 respectivamente. En ellas se puede apreciar el rango de temperaturas para cada día del mes correspondiente, para las tres zonas dentro de la cuenca. Para los meses de marzo a diciembre se puede observar en Anexo 2.

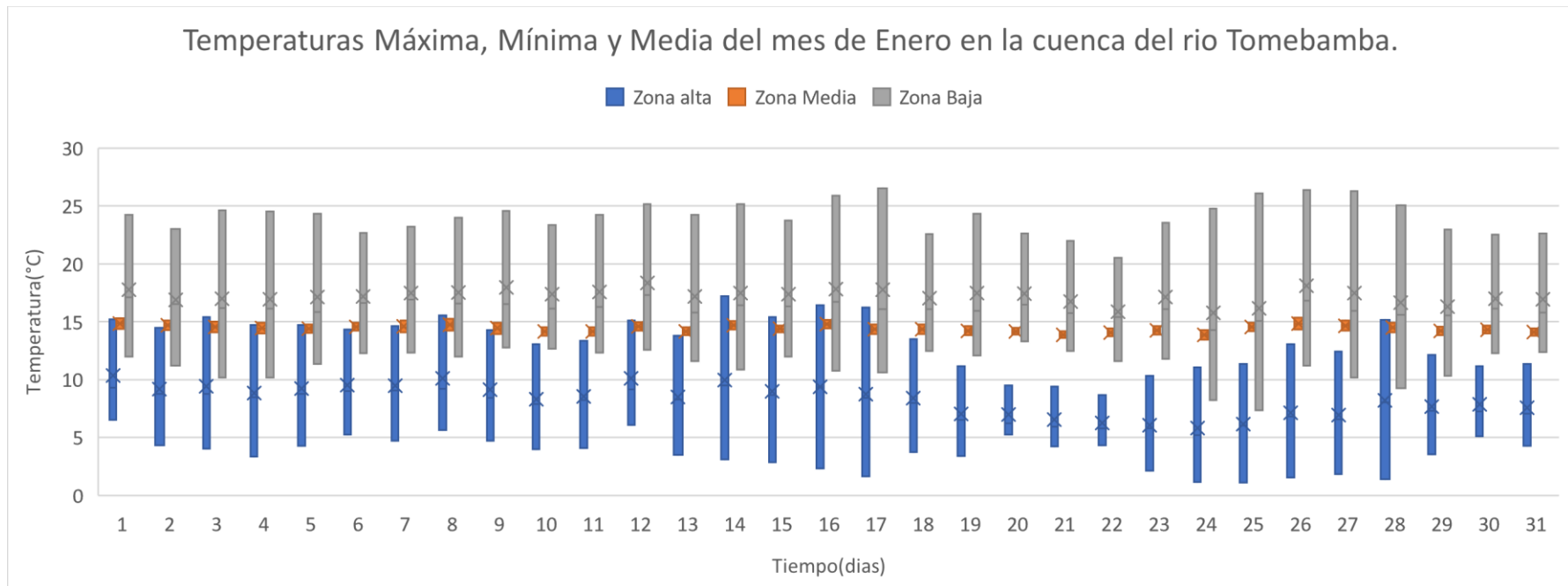


Figura 39. Valores Máximos, Mínimos y medios de Temperatura para el mes de enero en la zona alta, media y baja de la cuenca del Río Tomebamba.

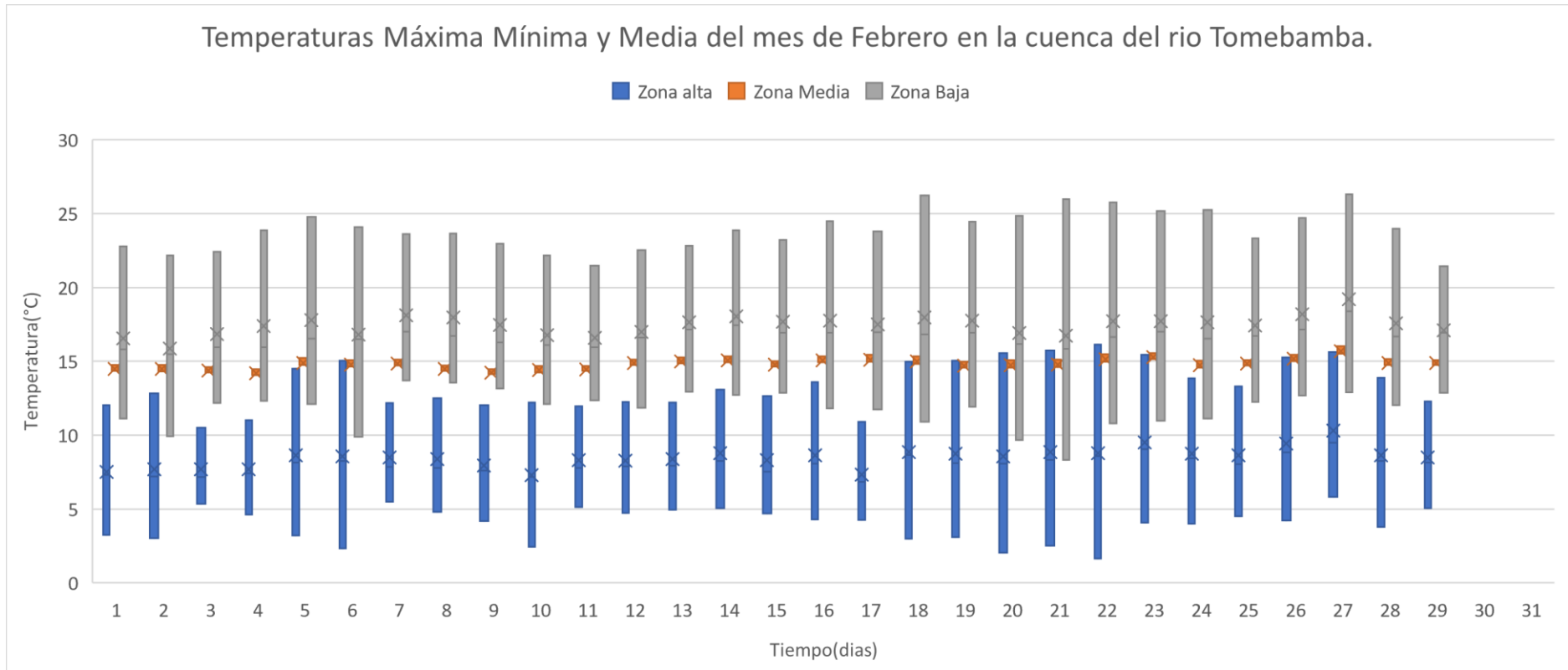


Figura 40. Valores Máximos, Mínimos y medios de Temperatura para el mes de febrero en la zona alta, media y baja de la cuenca del Río Tomebamba.



La información del análisis de estadística de temperatura, permitió tener una base de información de las temperaturas media, máxima y mínima para las diferentes zonas de la cuenca del río Tomebamba, las mismas sirvió para la aplicación de las ecuaciones de la desagregación a los valores de escala diaria.

5.2.2. Desagregación de la temperatura.

La aplicación de las ecuaciones de desagregación está en función de la temperatura mínima y máxima correspondiente al día que se desea desagregar. A continuación, se aplicó las ecuaciones a los valores de las diferentes zonas y sus estaciones. A manera de ejemplo, en la zona alta se eligió el valor de 8.81°C de la estación de Patoquinas para el primer día del mes de enero; en la zona media el valor de 15.30°C correspondiente a la estación de Matadero Sayausi para el primer día del mes de enero y finalmente, para la zona baja el valor de 16.52°C correspondiente a la estación de Ucubamba para el primer día del mes de marzo. Los resultados se presentan en la Tabla 16 y a manera gráfica en las Figuras 41, 42 y 43.

Tabla 16. Resultados de las temperaturas desagregadas de los respectivos valores seleccionados en las diferentes zonas de la cuenca del río Tomebamba.

Tiempo (horas)	Zona Alta. Valor desagregado: 8.81°C	Zona Media. Valor desagregado: 15.30°C	Zona Baja. Valor desagregado: 16.52°C
0	6.26	14.44	11.59
1	5.83	14.40	11.14
2	5.44	14.36	10.74
3	5.20	14.34	10.48
4	5.21	14.34	10.50
5	5.61	14.36	11.15
6	6.47	14.43	12.33
7	7.76	14.53	14.12
8	9.40	14.65	16.37
9	11.20	14.78	18.84
10	12.91	14.91	21.21
11	14.32	15.02	23.14
12	15.21	15.09	24.37
13	15.50	15.11	24.76
14	15.15	15.08	24.29
15	14.28	15.02	23.10
16	13.05	14.87	21.76
17	11.66	14.74	20.06
18	10.32	14.61	18.41
19	9.15	14.50	16.98
20	8.23	14.41	15.85
21	7.54	14.34	15.00
22	7.02	14.29	14.36
23	6.59	14.25	13.83

Las temperaturas horarias desagregadas presentan un comportamiento sinusoidal de acuerdo con el método de desagregación aplicado



Los valores desagregados de temperatura se grafica con el objetivo de observar el comportamiento sinusoidal de la temperatura a lo largo del día.

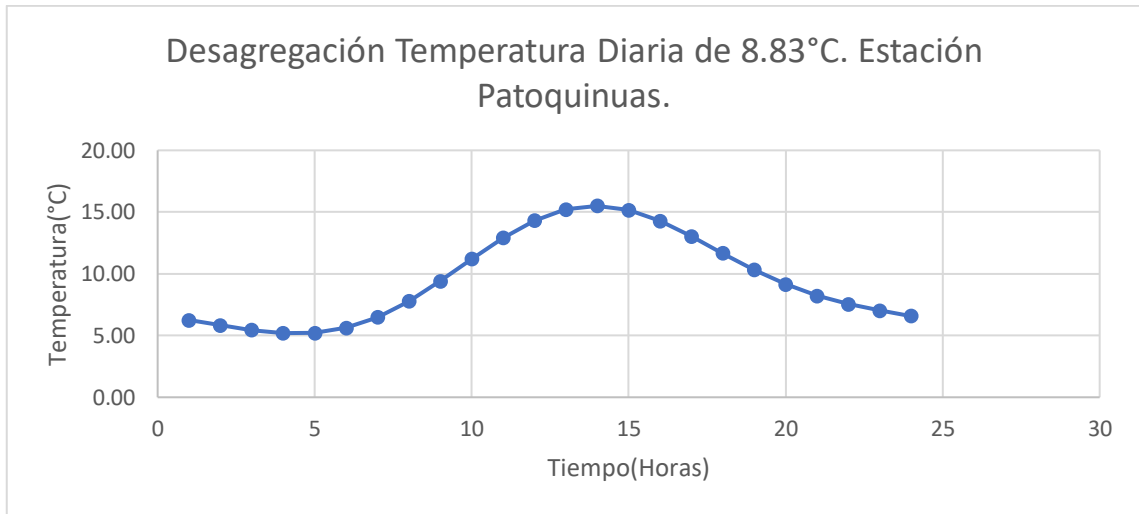


Figura 41. Temperatura en escala horaria ajustada para la zona alta de la estación de Patoquinas de la cuenca del rio Tomebamba.

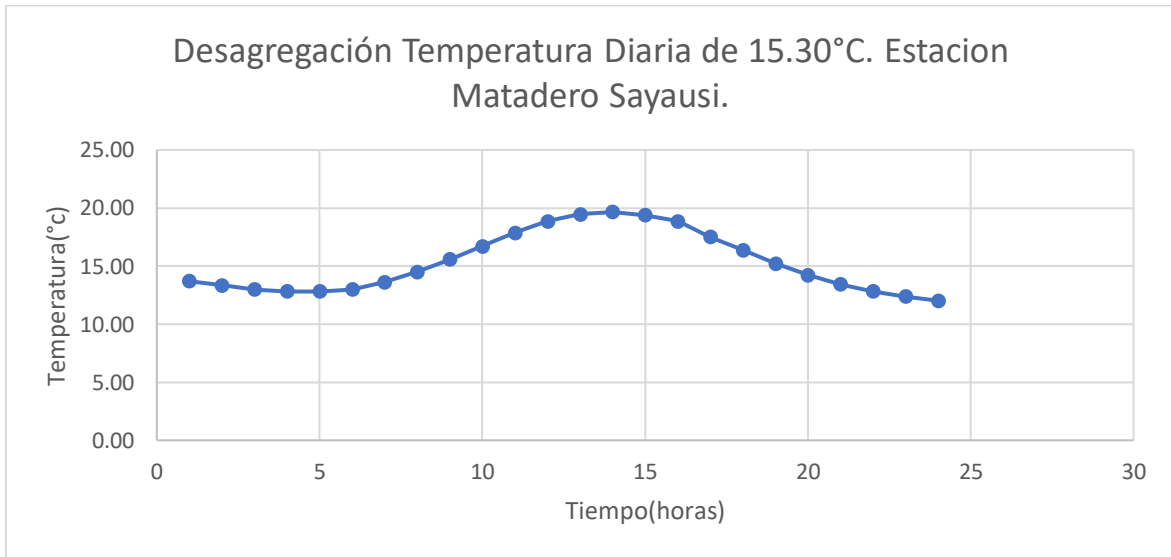


Figura 42. Temperatura en escala horaria ajustada para la zona media de la estación de Matadero Sayausi de la cuenca del rio Tomebamba.

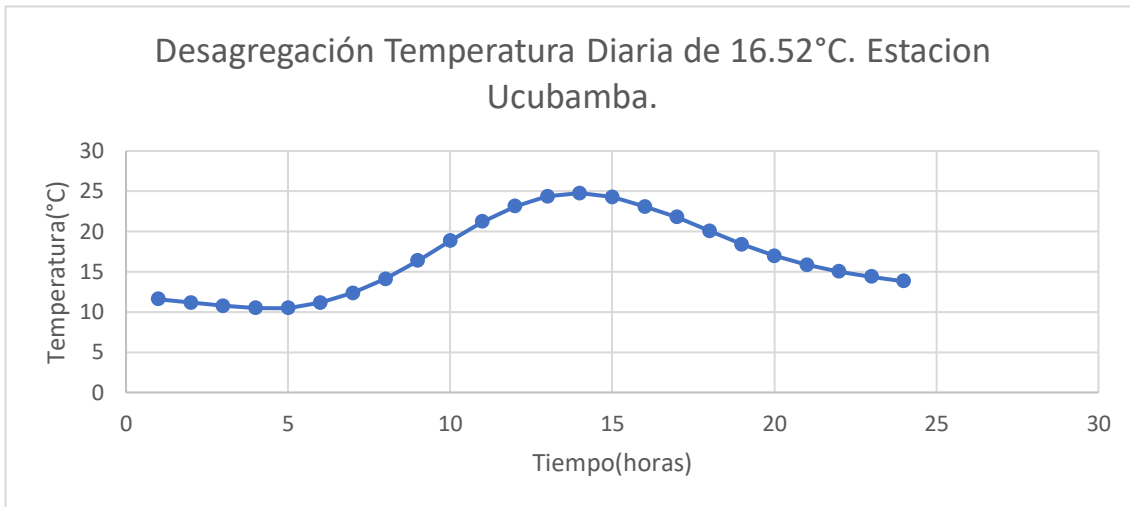


Figura 43. Temperatura en escala horaria ajustada para la zona baja de la estación de Ucubamba de la cuenca del rio Tomebamba.

Como se puede observar en las Figura 41, 42 y 43 correspondientes a las estaciones de las zonas alta, media y baja de la cuenca se tienen temperaturas relativamente bajas a las horas de la madrugada. A medida que transcurre las horas aumenta la temperatura hasta las 13:00 y 14:00 horas, donde la temperatura tiene su punto máximo y finalmente comienza su descenso y se repite el ciclo. Además, se puede observar que en las estaciones que se encuentran a mayor altura respecto al nivel del mar dentro de la cuenca, presentan temperaturas bajas debido a los efectos orográficos. Similar comportamiento se presenta en las Figuras 44, 45 y 46, en las que se muestra parte de las temperaturas diarias con sus respectivas temperaturas horarias desagregadas del mes correspondiente.

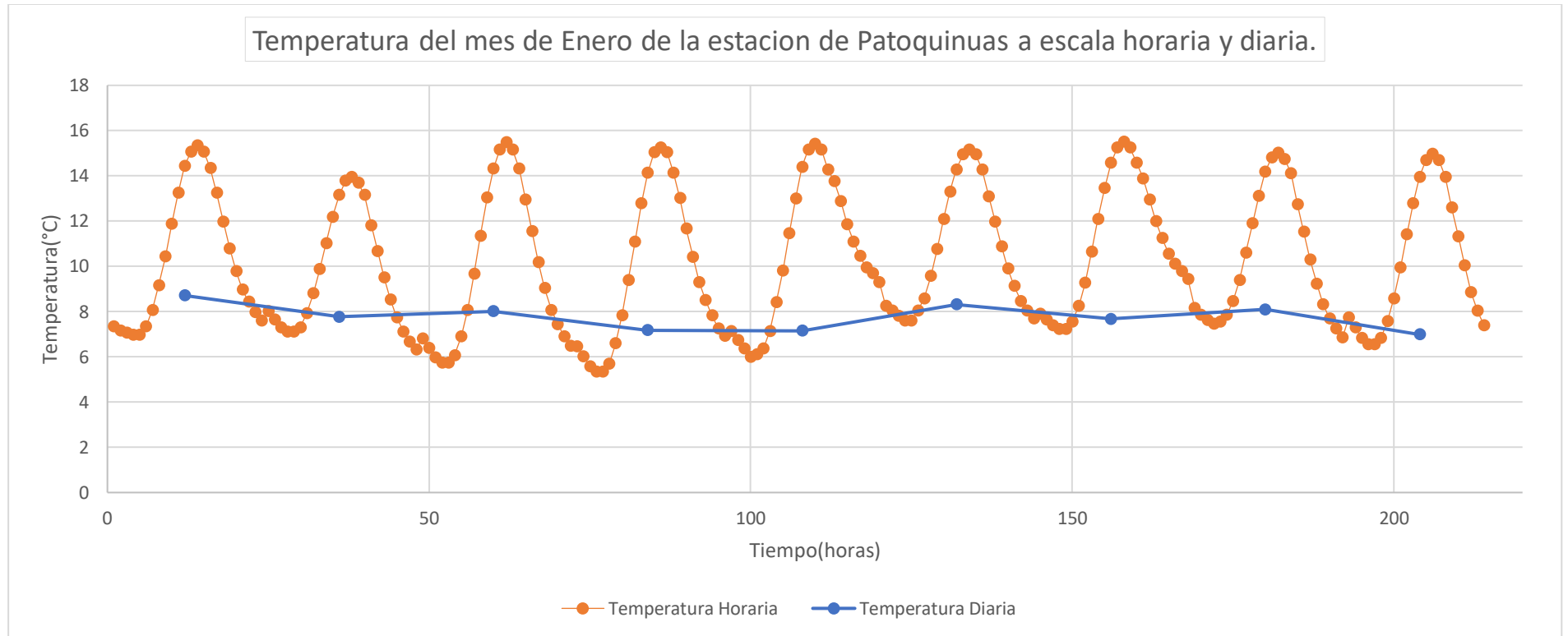


Figura 44. Temperatura del mes de enero para la zona alta de la estación Patoquinuas de la cuenca del rio Tomebamba a escala horaria desagregada y diaria.



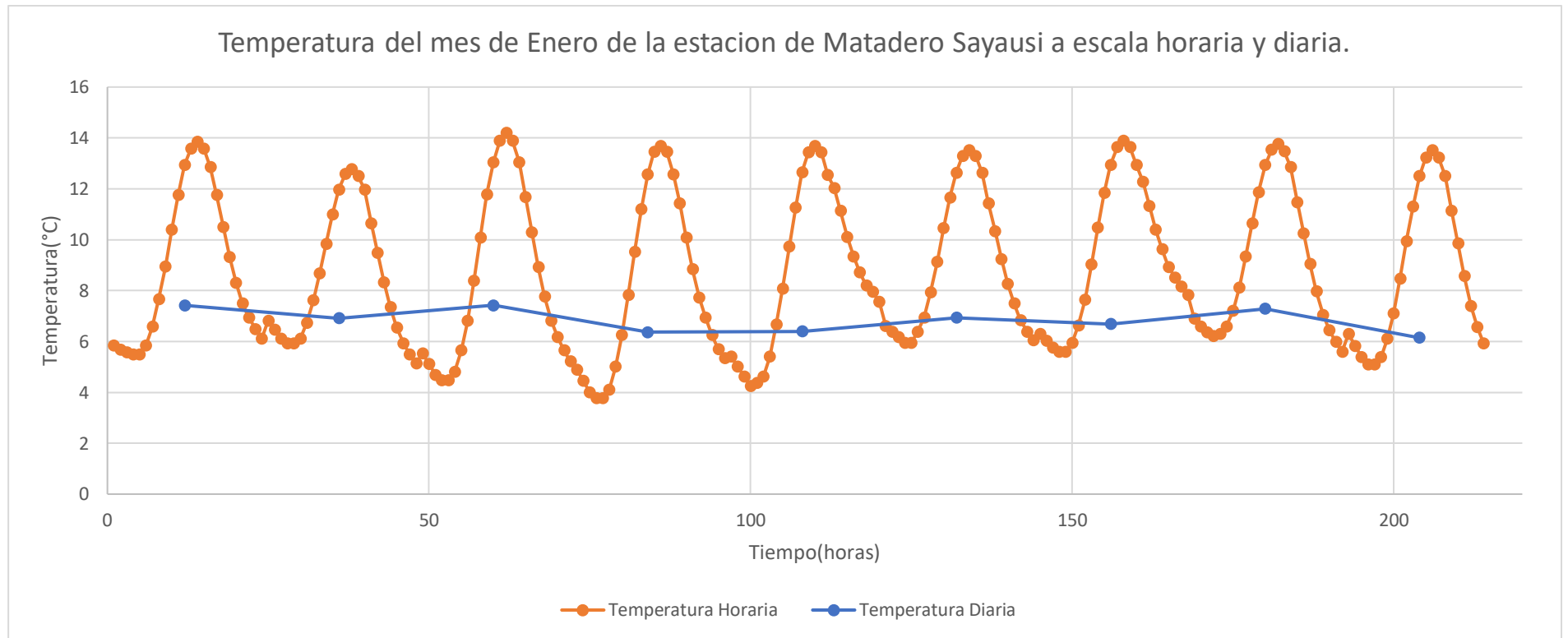


Figura 45. Temperatura del mes de enero para la zona media de la estación Matadero Sayausi de la cuenca del río Tomebamba a escala horaria desagregada y diaria.



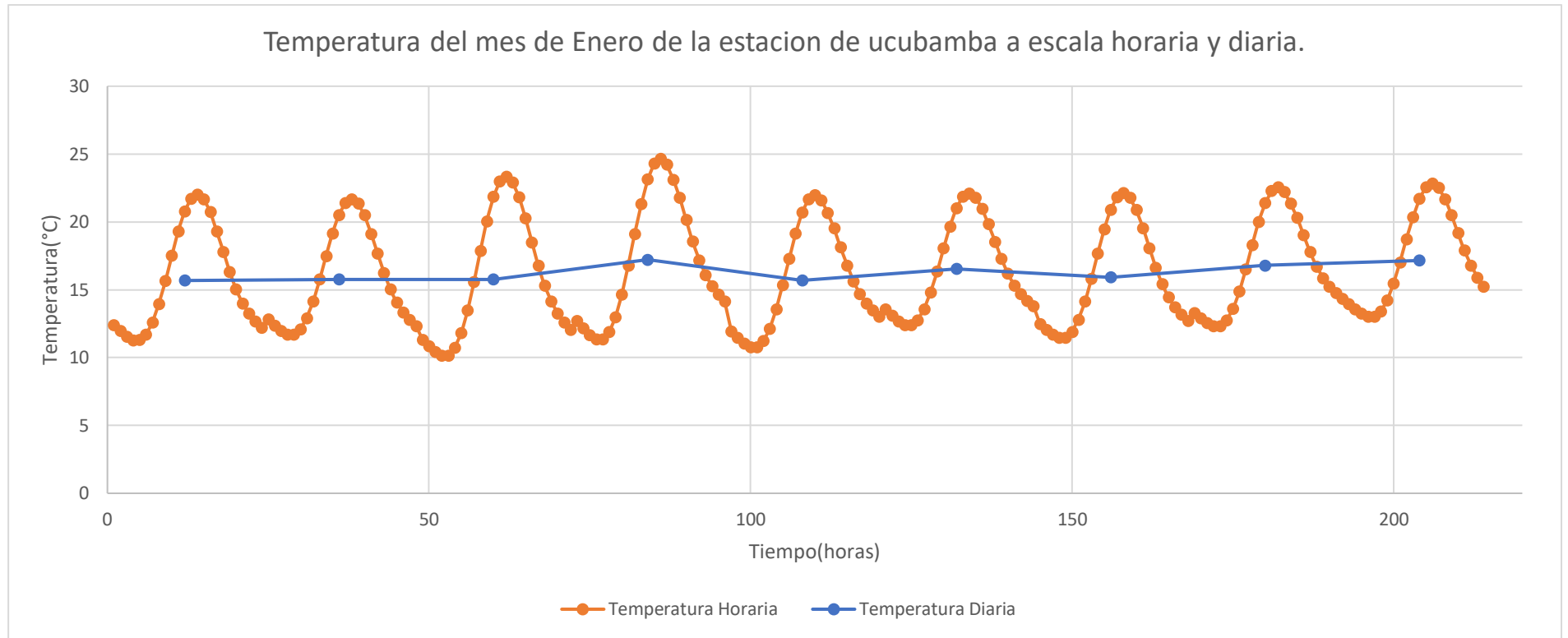


Figura 46. Temperatura del mes de marzo para la zona baja de la estación Ucubamba de la cuenca del rio Tomebamba a escala horaria desagregada y diaria.



5.2.3. Validación de la temperatura.

Desde la Figura 47 hasta la Figura 51 se presenta la comparación de los parámetros estadísticos de media, desviación estándar entre las series observadas y simuladas para los años indicados. Además, se presenta coeficiente de correlación y el parámetro R2 obtenido al comparar las series de temperatura observadas con las series obtenidas a través del método de desagregación. Las gráficas comparativas para los demás años de comparación disponibles se presentan en Anexo 3 para cada estación.

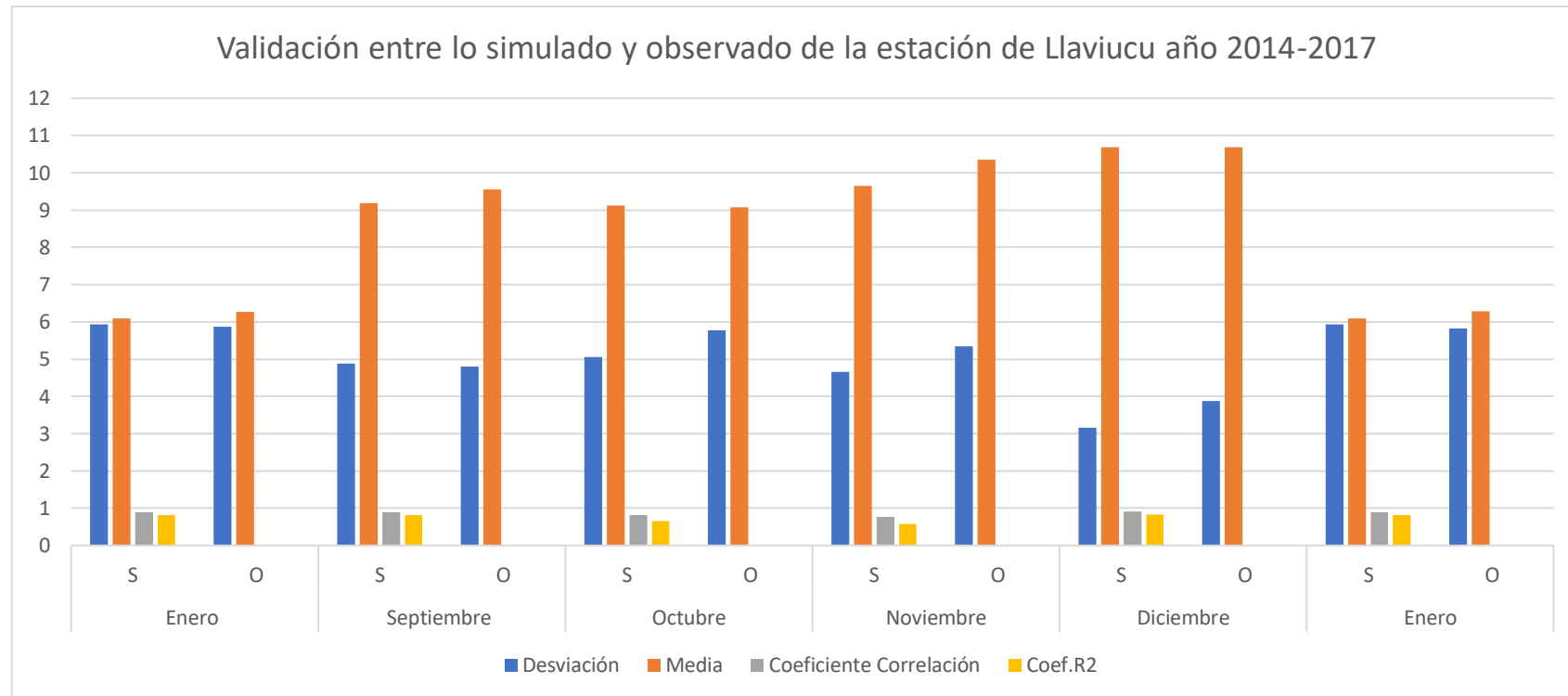


Figura 47. Resultados de la validación del método de desagregación de Temperatura diaria para la estación de Llaviucu de la cuenca del río Tomebamba. Como se puede apreciar en la figura, los valores obtenidos del coeficiente de correlación y del parámetro R2 son superiores a 0.5, lo que indica que existe una buena correlación entre los datos simulados y observados.



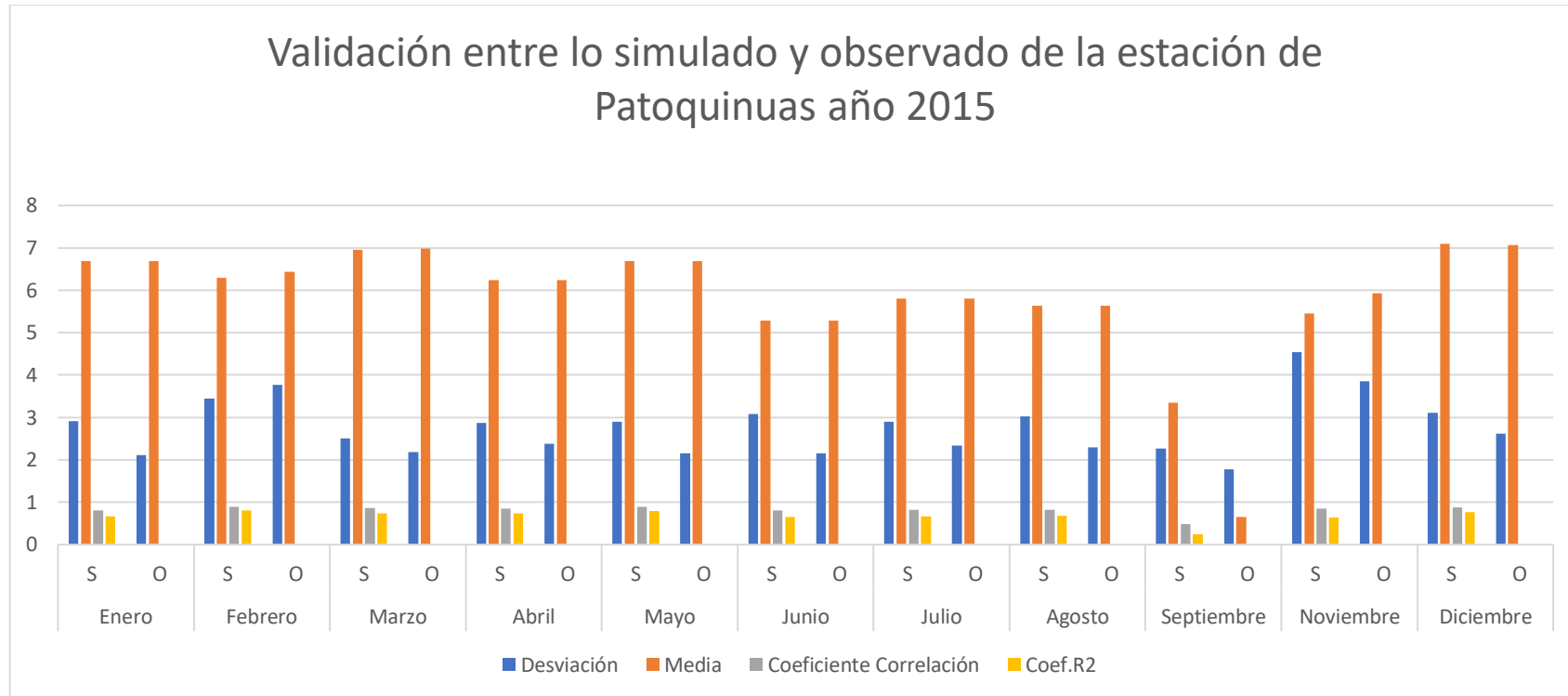


Figura 48. Resultados de la validación del método de desagregación de Temperatura diaria para la estación de Patoquinuas de la cuenca del río Tomebamba. Como se puede apreciar en la figura, los valores obtenidos del coeficiente de correlación y del parámetro R2 son superiores a 0.5, lo que indica que existe una buena correlación entre los datos simulados y observados.



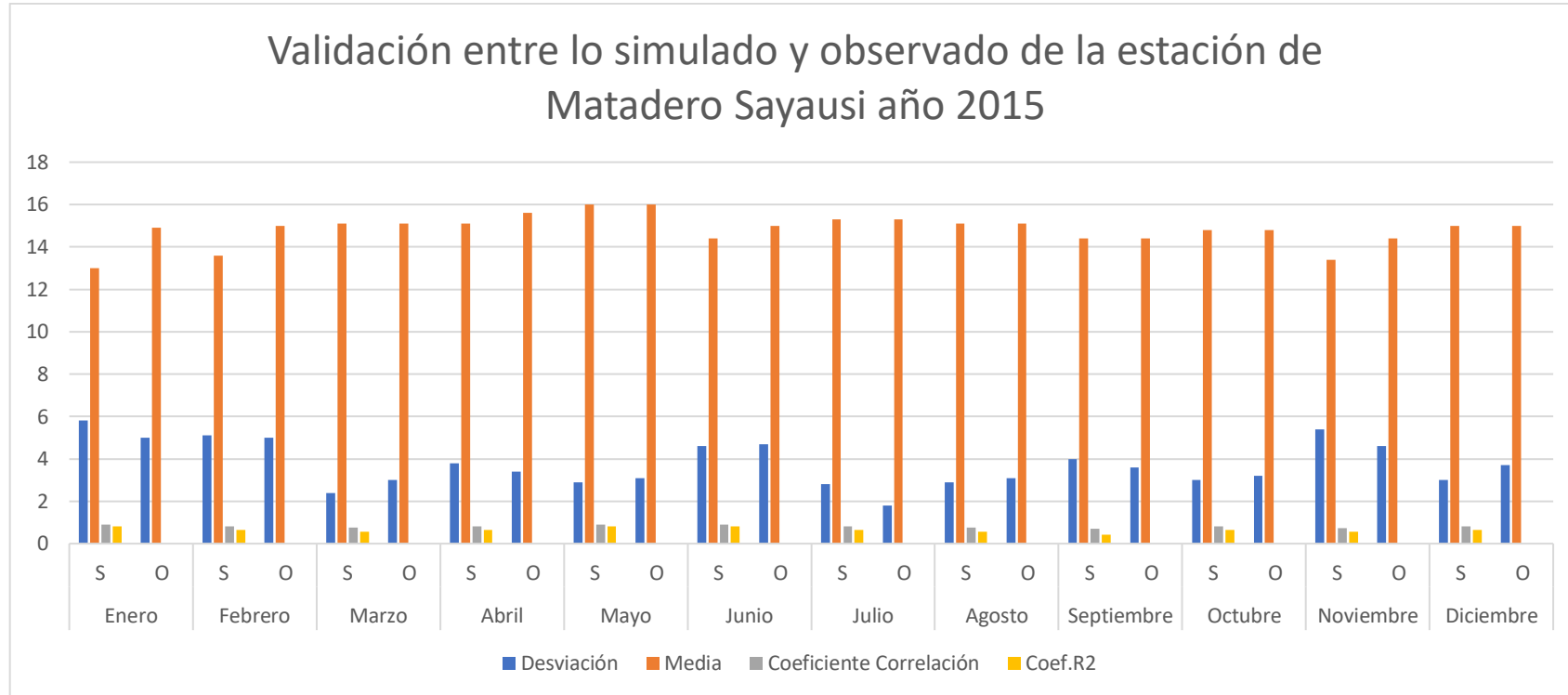


Figura 49. Resultados de la validación del método de desagregación de Temperatura diaria para la estación de Matadero Sayausi de la cuenca del río Tomebamba. Como se puede apreciar en la figura, los valores obtenidos del coeficiente de correlación y del parámetro R2 son superiores a 0.5, lo que indica que existe una buena correlación entre los datos simulados y observados.



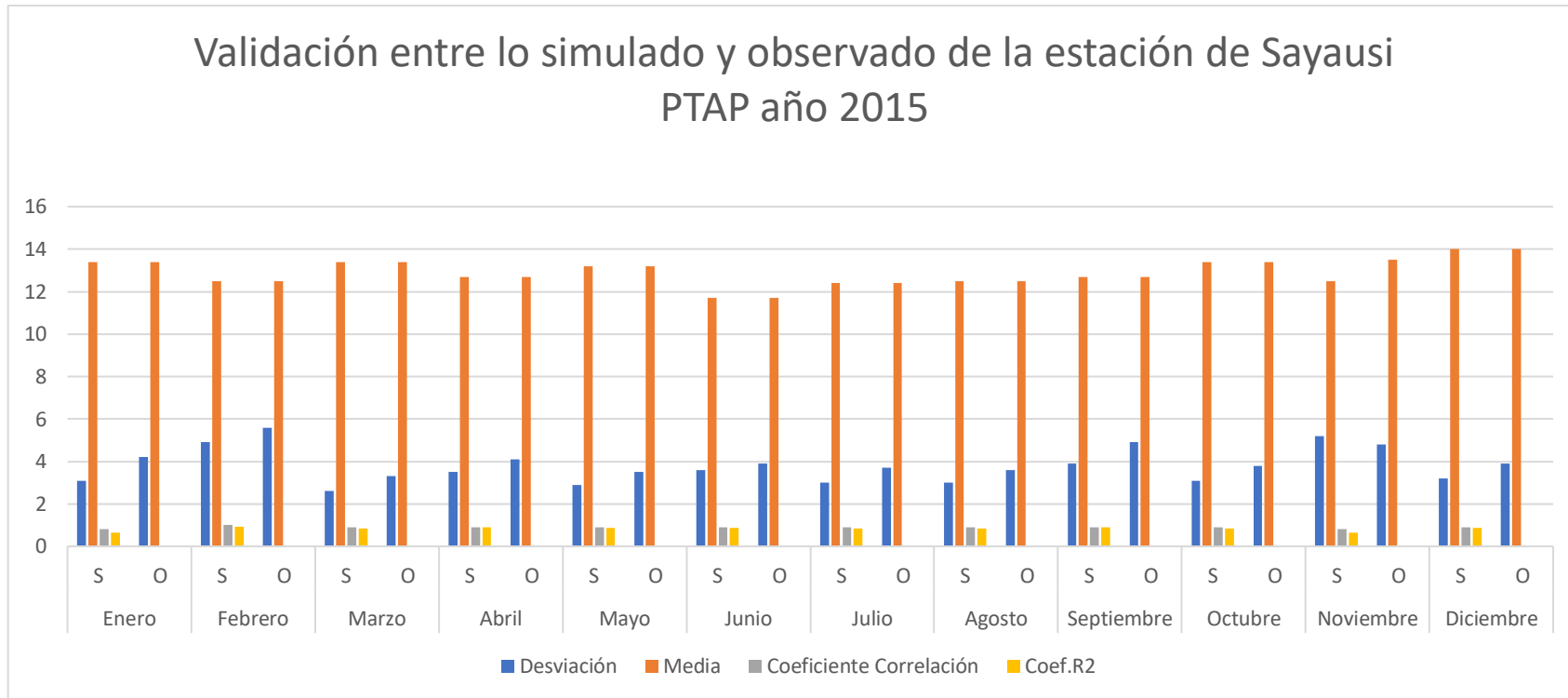


Figura 50. Resultados de la validación del método de desagregación de Temperatura diaria para la estación de Sayausi PTAP de la cuenca del río Tomebamba. Como se puede apreciar en la figura, los valores obtenidos del coeficiente de correlación y del parámetro R2 son superiores a 0.5, lo que indica que existe una buena correlación entre los datos simulados y observados.



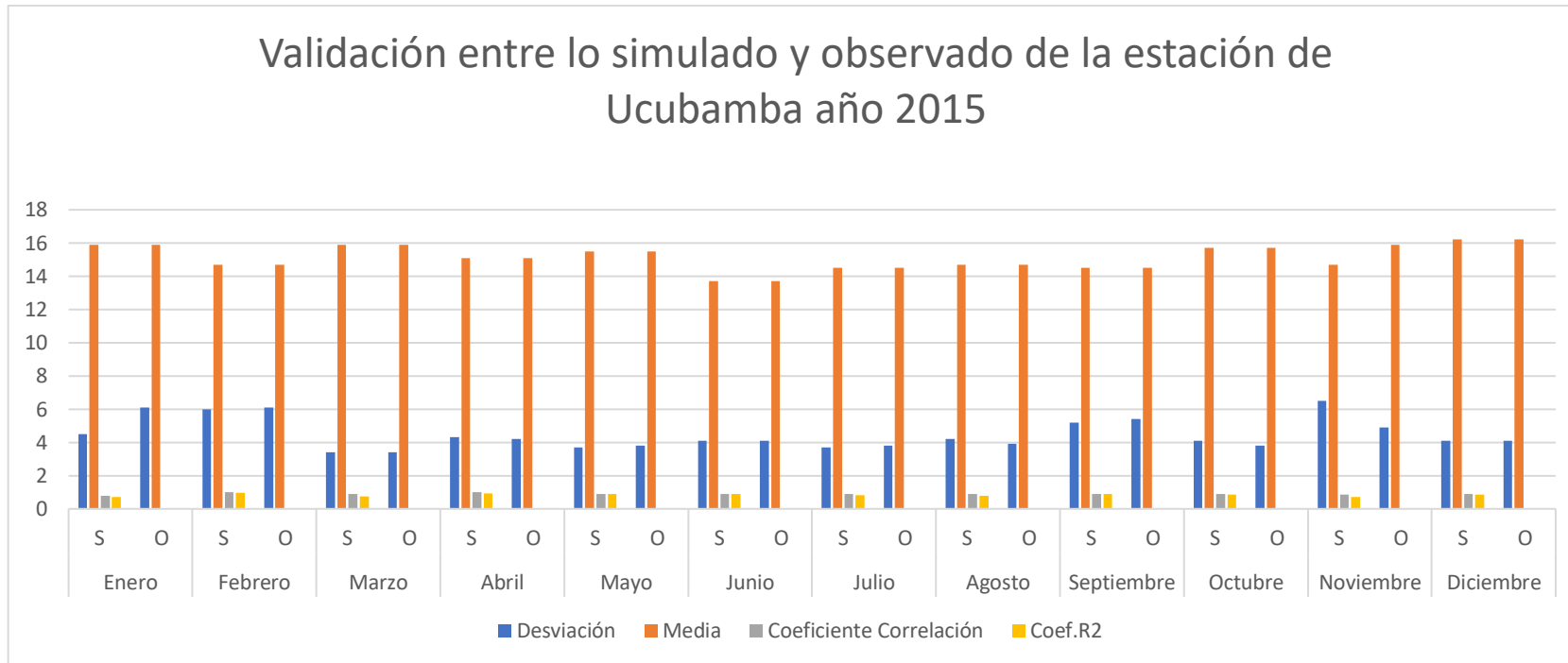


Figura 51. Resultados de la validación del método de desagregación de Temperatura diaria para la estación de Ucubamba de la cuenca del río Tomebamba. Como se puede apreciar en la figura, los valores obtenidos del coeficiente de correlación y del parámetro R2 son superiores a 0.5, lo que indica que existe una buena correlación entre los datos simulados y observados.

Como se puede observar en las figuras presentadas anteriormente, la comparación entre las medias y desviaciones estándar de las series observadas con respecto a las series desagregadas tienen una variación mínima, lo cual manifiesta el buen rendimiento del método. Esta pequeña variación se debe a que el método como tal genera valores horarios de temperatura que oscilan entorno a la media diaria, por lo tanto, la generación de datos que sean exactamente iguales a los observados es una limitante con la que traban los métodos de desagregación. Por otra parte, al realizar la comparación directa de las series de temperatura observadas con las series simuladas, se obtiene que el coeficiente de correlación y el parámetro estadístico R2 presentan valores superiores a 0.5 para cada mes de comparación. Esto pone en manifiesto la efectividad del método, ya que, pese a que se generan series simuladas diferentes a las observadas, existe una buena correlación entre las mismas, por lo tanto, el método puede ser aceptado.



5.2.4. Ajuste de la información desagregada de temperatura.

Las series de temperatura desagregadas fueron ajustadas a una distribución normal, para lo cual se utilizó la desviación estándar y media de la información horaria observada con el objetivo que los valores desagregados se ajusten a las condiciones de la zona de estudio. A continuación, en las Figuras 52 y 53, se presentan los diagramas de caja para estos parámetros de toda la cuenca del río Tomebamba.

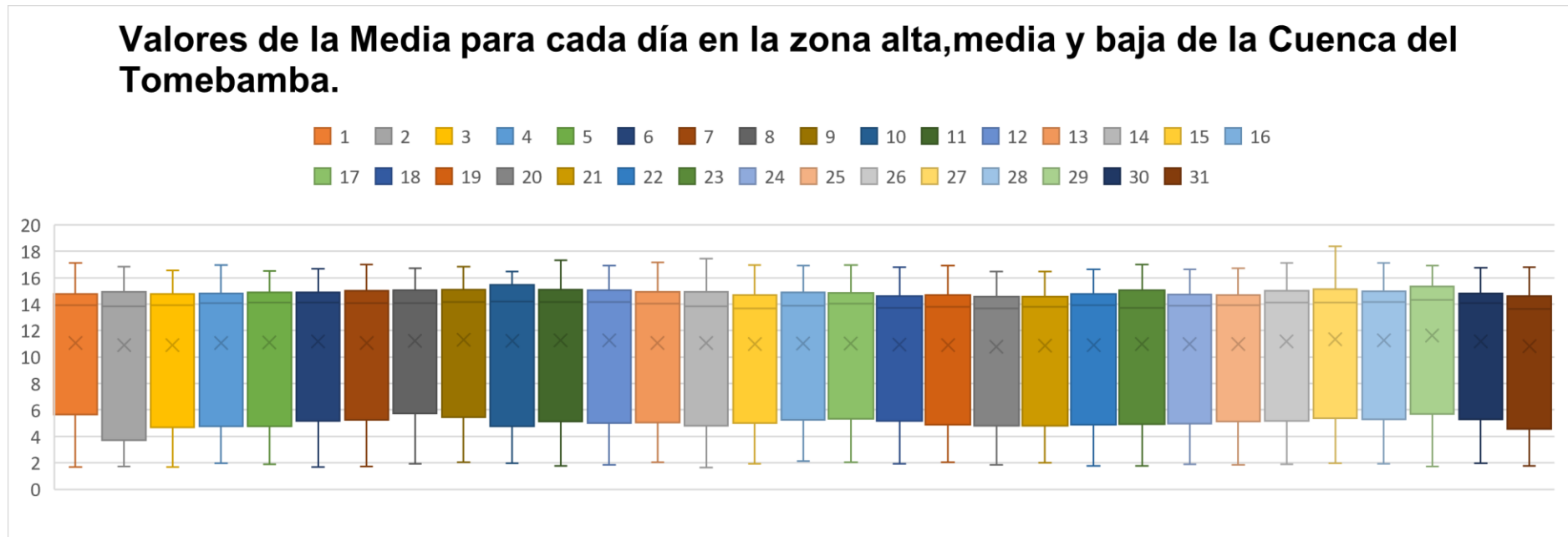


Figura 52. Diagrama de caja para la media para la cuenca del río Tomebamba.



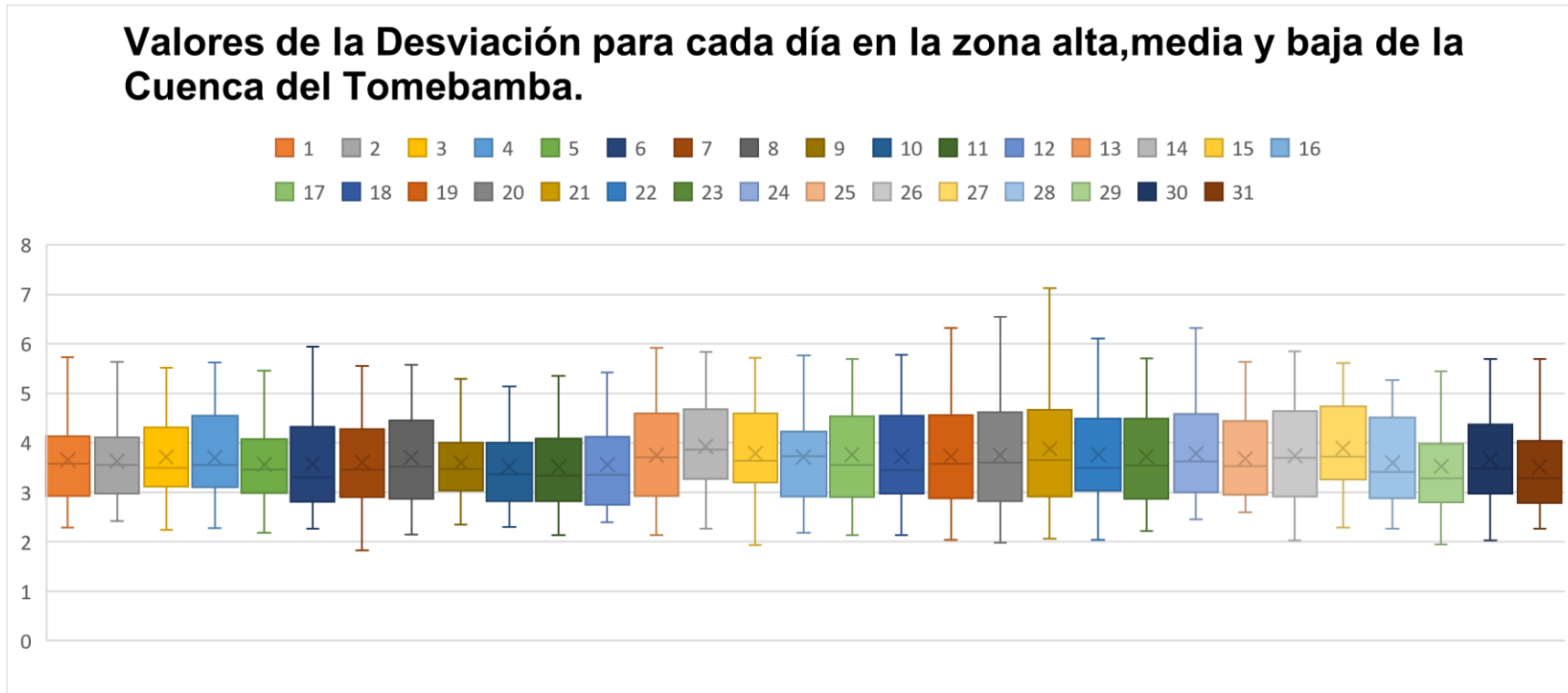


Figura 53. Diagrama de caja para la desviación estándar para la cuenca del río Tomebamba.





A continuación, se realizó el ajuste a una distribución normal a los valores desagregados, determinando los parámetros de media y desviación de los mismos con el propósito de obtener la probabilidad la cual servirá para obtener un nuevo valor ajustado. Los resultados se presentan en las tablas 28, 29 y 30 tomando como ejemplo para las temperaturas de 8.81 °C, 15.30 °C y 16.52 °C, para la zona alta, media y baja de la cuenca del río Tomebamba.

Tabla 17. Temperaturas horarias desagregadas y ajustadas correspondientes al valor diario de 8.81 °C del 1 de enero en la zona alta de la cuenca del río Tomebamba.

Temperatura Desagregada (°C)	Temperatura Ajustada (°C)
6.26	4.03
5.83	3.4
5.44	2.83
5.2	2.47
5.21	2.49
5.61	3.08
6.47	4.34
7.76	6.24
9.4	8.65
11.2	11.29
12.91	13.8
14.32	15.88
15.21	17.18
15.5	17.61
15.15	17.1
14.28	15.82
13.05	14.01
11.66	11.97
10.32	10
9.15	8.28
8.23	6.93
7.54	5.91
7.02	5.15
6.59	4.52
Media	9.55
Desviación	3.63

Valores ajustados a las condiciones de la zona alta de estudio de la cuenca del río Tomebamba, en donde se determinó la probabilidad con la información de las ecuaciones y después se determinó el valor de temperatura a las condiciones de estudio.



Tabla 18. Temperaturas horarias desagregadas y ajustadas correspondientes al valor diario de 15.30 °C del 2 de enero en la zona media de la cuenca del río Tomebamba.

Temperatura Desagregada (°C)	Temperatura Ajustada (°C)
14.44	13.63
14.4	13.27
14.36	12.92
14.34	12.74
14.34	12.74
14.36	12.92
14.43	13.54
14.53	14.42
14.65	15.49
14.78	16.64
14.91	17.8
15.02	18.77
15.09	19.4
15.11	19.57
15.08	19.31
15.02	18.77
14.87	17.44
14.74	16.29
14.61	15.13
14.5	14.16
14.41	13.36
14.34	12.74
14.29	12.29
14.25	11.94
Media	14.62
Desviación	0.29

Valores ajustados a las condiciones de la zona media de estudio de la cuenca del río Tomebamba, en donde se determinó la probabilidad con la información de las ecuaciones y después se determinó el valor de temperatura a las condiciones de estudio.



Tabla 19 Temperaturas horarias desagregadas y ajustadas correspondientes al valor diario de 16.52 °C del 1 de marzo en la zona media de la cuenca del río Tomebamba.

	Modelo	Acumulada	Inversa
	11.59	0.15	12.10
	11.14	0.13	11.72
	10.74	0.11	11.38
	10.48	0.10	11.16
	10.50	0.10	11.18
	11.15	0.13	11.73
	12.33	0.18	12.72
	14.12	0.29	14.22
	16.37	0.46	16.11
	18.84	0.66	18.19
	21.21	0.81	20.18
	23.14	0.90	21.81
	24.37	0.93	22.84
	24.76	0.94	23.17
	24.29	0.93	22.77
	23.10	0.90	21.77
	21.76	0.84	20.65
	20.06	0.74	19.22
	18.41	0.62	17.83
	16.98	0.51	16.63
	15.85	0.42	15.68
	15.00	0.36	14.96
	14.36	0.31	14.43
	13.83	0.27	13.98
Media	4.19		
desviación	16.42		

Valores ajustados a las condiciones de la zona baja de estudio de la cuenca del río Tomebamba, en donde se determinó la probabilidad con la información de las ecuaciones y después se determinó el valor de temperatura a las condiciones de estudio.

5.3. Tendencias y medias móviles.

5.3.1. Precipitación.

5.3.1.1. Zona alta. Datos históricos.

En las Figuras 54 y 55, se presentan las gráficas de las tendencias obtenidas de las estaciones de Surucucho y Chirimachay que presentan registros históricos para el mes de enero. La etiqueta denominada “valor” corresponde a la precipitación en mm y la etiqueta denominada “punto de datos” corresponde al tiempo en horas. Las gráficas de las tendencias correspondientes a los demás meses se presentan en el Anexo 4.

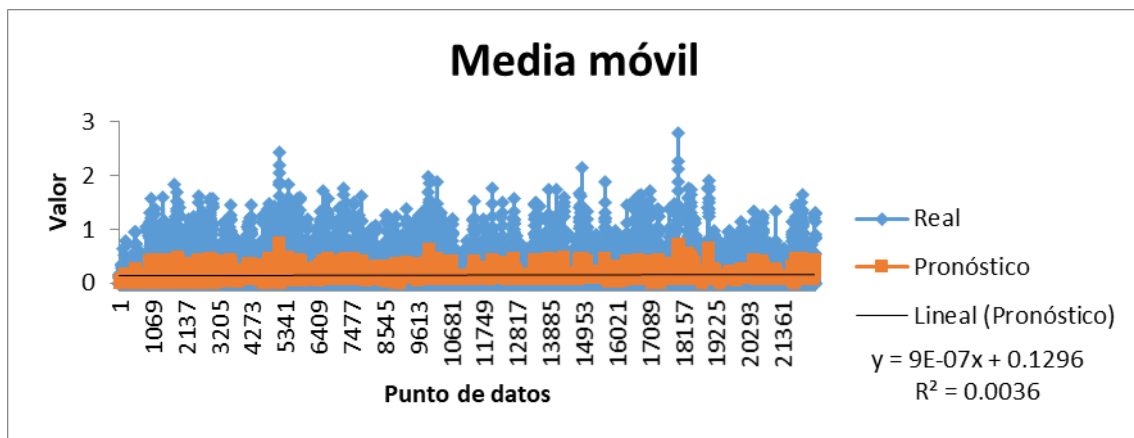


Figura 54. Media móvil de información histórica en la estación de Surucucho para el mes de enero, tendencia y ecuación.

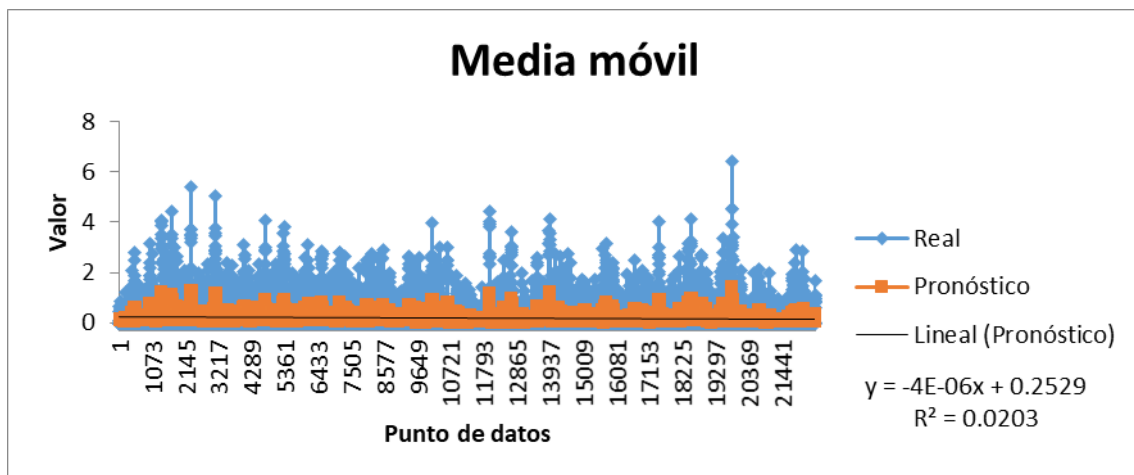


Figura 55. Media móvil de información histórica en la estación de Chirimachay para el mes de enero, tendencia y ecuación.

5.3.1.2. Zona alta. Datos Futuros del escenario de cambio climático A2.

En las Figuras 56 y 57, se presentan las gráficas de las tendencias obtenidas de las estaciones de Surucucho y Chirimachay que presentan registros en escenario futuros para el mes de enero. La etiqueta denominada “valor” corresponde a la precipitación en mm y la etiqueta denominada “punto de datos” corresponde al tiempo en horas. En el Anexo 5 se presenta las gráficas correspondientes a los demás meses de las dos estaciones mencionadas.

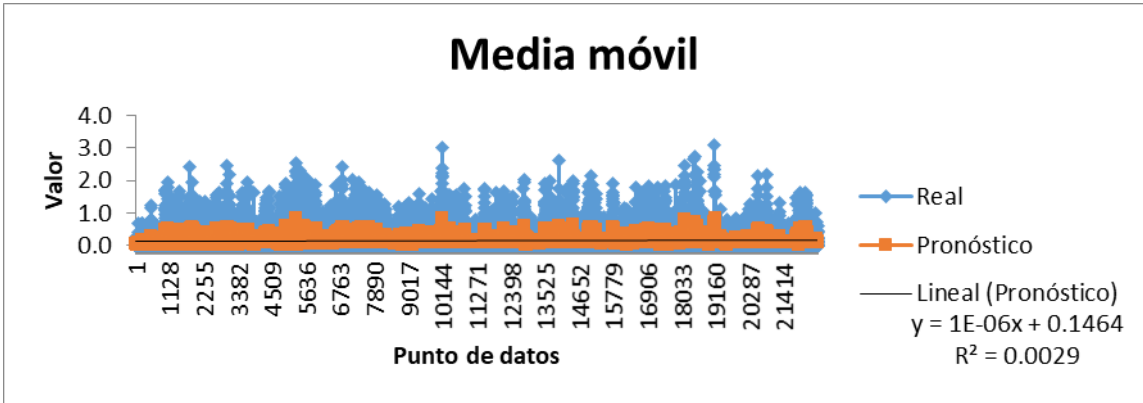


Figura 56. Media móvil de información futura en la estación de Surucucho para el mes de enero, tendencia y ecuación.

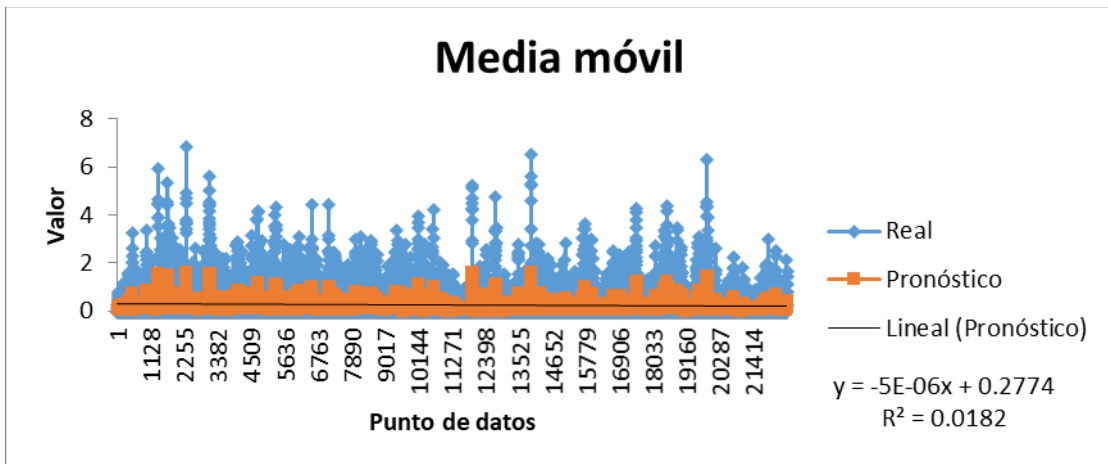


Figura 57. Media móvil de información futura en la estación de Chirimachay para el mes de enero, tendencia y ecuación.

El resultado final de la zona alta de la cuenca del río Tomebamba, analizando la información histórica y futura de las estaciones de Surucucho y Chirimachay se pudo notar un cambio el cual se detalla en las Tablas 20, 21, 22 y 23. La columna denominada “media” corresponde a la precipitación que ocurre en los meses, se puede observar un incremento en el futuro a comparación de los datos históricos aproximadamente en un rango 0.01 a 0.02 mm de precipitación; la columna denominada “aumenta” o disminuye” es la tendencia. Se puede observar que en todos los meses ocurre un incremento por tanto no existe eventos extremos de sequía. Finalmente, la columna denominada “variación” corresponde al cambio que existe



entre el inicio del análisis con respecto al final. La mayoría de valores presentan un incremento a futuro.

Tabla 20. Resultados de las tendencias de la estación de Surucucho en la Zona alta de la cuenca del río Tomebamba para el periodo histórico comprendido entre los años 1964.1993.

Resultados de tendencias con periodo de 24 horas (1día)				
Lluvia-Estación Surucucho (Zona Alta)				
Mes	Media(mm)	Variación (%)	Aumenta (+)	Disminuye (-)
Enero	0.14	14.44	X	
Febrero	0.15	26.44	X	
Marzo	0.14	15.66	X	
Abril	0.15	29.66		X
Mayo	0.19	24.12	X	
Junio	0.14	72.64	X	
Julio	0.13	53.35	X	
Agosto	0.13	57.51	X	
Septiembre	0.12	0.18	X	
Octubre	0.26	17.01	X	
Noviembre	0.18	34.09	X	
Diciembre	0.14	32.01		X

Tabla 21. Resultados de las tendencias de la estación de Surucucho en la Zona alta de la cuenca del río Tomebamba para el periodo futuro comprendido entre los años 2054-2074.

Resultados de tendencias con periodo de 24 horas (1día)				
Lluvia-Estación Surucucho (Zona Alta)				
Mes	Media(mm)	Variación (%)	Aumenta (+)	Disminuye (-)
Enero	0.16	14.29	X	
Febrero	0.18	22.01	X	
Marzo	0.15	16.36	X	
Abril	0.15	28.47		X
Mayo	0.2	22.46	X	
Junio	0.15	69.26	X	
Julio	0.16	60.21	X	
Agosto	0.15	67.53	X	
Septiembre	0.13	3.45	X	
Octubre	0.25	17.62	X	
Noviembre	0.17	36.76	X	
Diciembre	0.15	15.07		X



Tabla 22. Resultados de las tendencias de la estación de Chirimachay en la Zona alta de la cuenca del río Tomebamba para el periodo futuro comprendido entre los años 1964-1993.

Resultados de tendencias con periodo de 24 horas (1dia)				
Lluvia-Estación Chirimachay (Zona Alta)				
Mes	Media(mm)	Variación (%)	Aumenta (+)	Disminuye (-)
Enero	0.21	43.31		X
Febrero	0.26	23.82		X
Marzo	0.21	8.58		X
Abril	0.24	27.05		X
Mayo	0.19	11.59		X
Junio	0.19	46.57		X
Julio	0.17	12.8		X
Agosto	0.15	26.88		X
Septiembre	0.2	43.38		X
Octubre	0.26	43.37		X
Noviembre	0.26	16.42		X
Diciembre	0.29	23.11		X

Tabla 23. Resultados de las tendencias de la estación de Chirimachay en la Zona alta de la cuenca del río Tomebamba para el periodo futuro comprendido entre los años 2054-2074.

Resultados de tendencias con periodo de 24 horas (1dia)				
Lluvia-Estación Chirimachay (Zona Alta)				
Mes	Media(mm)	Variación (%)	Aumenta (+)	Disminuye (-)
Enero	0.22	50.96		X
Febrero	0.25	16.38		X
Marzo	0.21	9.8		X
Abril	0.25	17.07		X
Mayo	0.2	11.36		X
Junio	0.22	52.31		X
Julio	0.17	13.07		X
Agosto	0.16	22.92		X
Septiembre	0.19	45.29		X
Octubre	0.26	34.5		X
Noviembre	0.26	16.47		X
Diciembre	0.29	23.19		X

5.3.1.3. Zona Media. Datos históricos.

En las Figuras 58 y 59, se presentan las gráficas de las tendencias obtenidas de las estaciones de Matadero Sayausi Bajo y Buenos Aires que presentan registros históricos para el mes de enero. La etiqueta denominada “valor” corresponde a la precipitación en mm y la etiqueta denominada “punto de datos” corresponde al tiempo en horas. En el Anexo 6 se presenta las gráficas de los meses restantes para las estaciones mencionadas.

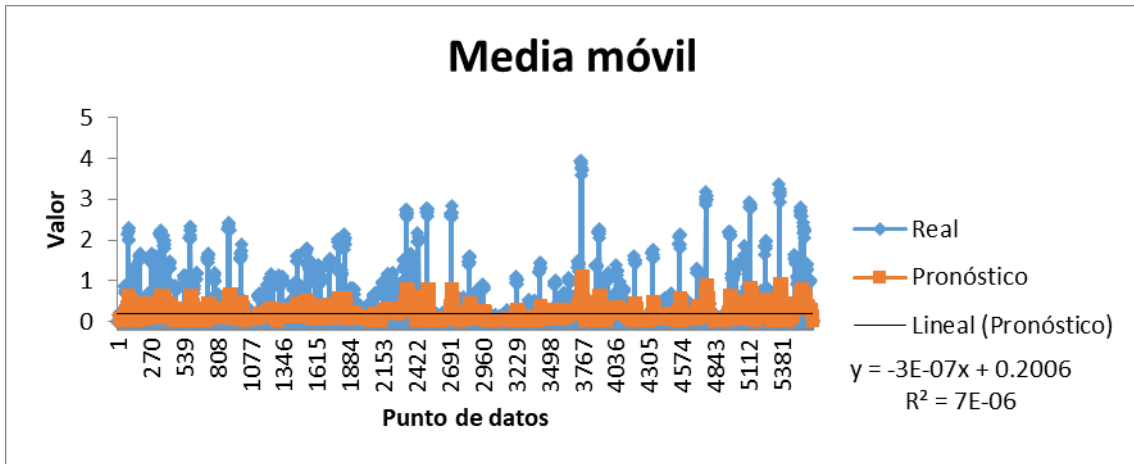


Figura 58. Media móvil de información histórica en la estación de Matadero Sayausi Bajo para el mes de enero, tendencia y ecuación.

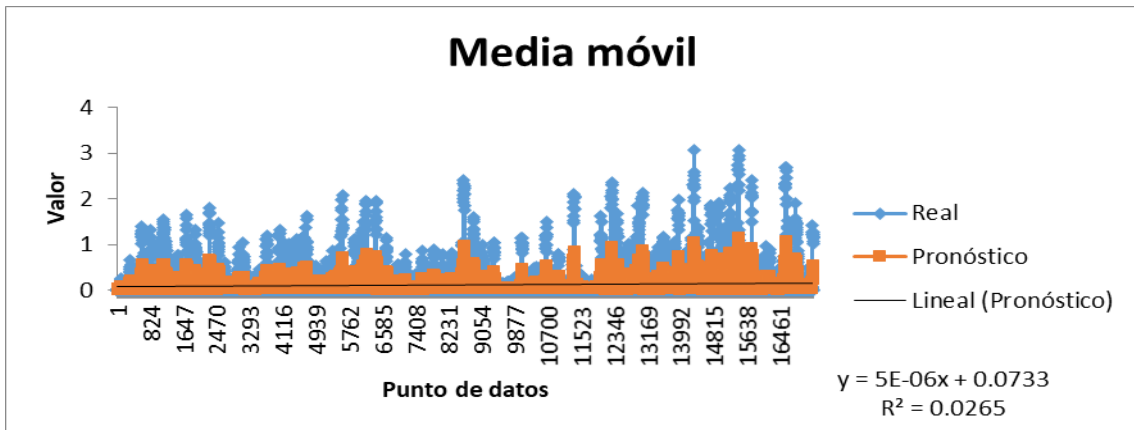


Figura 59. Media móvil de información histórica en la estación de Buenos Aires para el mes de enero, tendencia y ecuación.

5.3.1.4. Zona Media. Datos Futuros del escenario de cambio climático A2.

En las Figuras 60 y 61, se presentan las gráficas de las tendencias obtenidas de las estaciones de Matadero Sayausi Bajo y Buenos Aires que presentan registros en escenario futuros para el mes de enero. La etiqueta denominada “valor” corresponde a la precipitación en mm y la etiqueta denominada “punto de datos” corresponde al tiempo en horas.



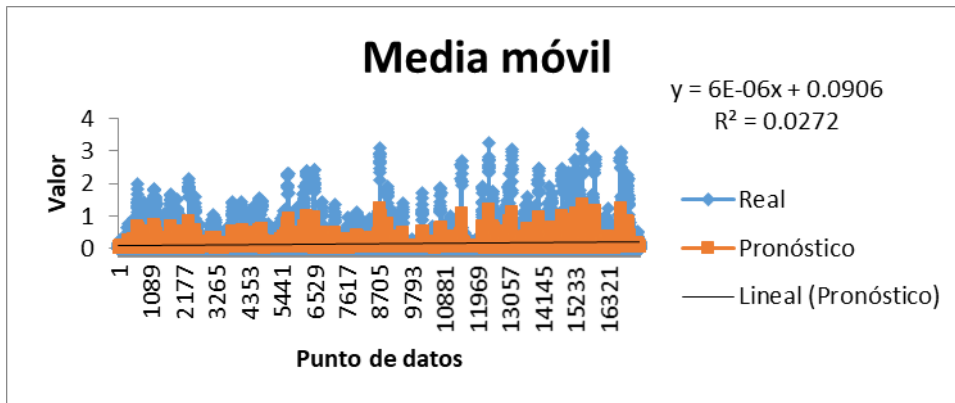


Figura 60. Media móvil de información futura en la estación de Matadero Sayausi bajo para el mes de enero, tendencia y ecuación.

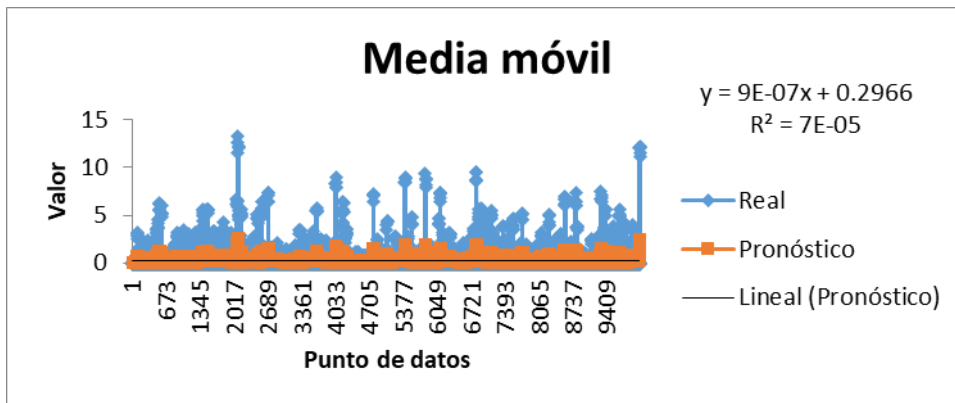


Figura 61. Media móvil de información futura en la estación de Buenos Aires para el mes de enero, tendencia y ecuación.

Como resultado final de la zona media de la cuenca del río Tomebamba, analizando la información histórica y futura de las estaciones de Buenos Aires y Matadero Sayausi Bajo se puede notar un cambio el cual se detallará en las Tablas 24, 25, 26 y 27. Existe un incremento en la precipitación mensual de las series futuras comparadas con las series históricas aproximadamente en un rango de 0.01 a 0.03 mm de precipitación. Por lo tanto, existe una tendencia creciente en la mayoría de los meses, con excepción de noviembre y diciembre en los datos históricos.



Tabla 24. Resultados de las tendencias de la estación de Buenos Aires en la Zona media de la cuenca del río Tomebamba para los valores históricos 1964.1993.

Resultados de tendencias con periodo de 24 horas (1 día)				
Lluvia-Estación Buenos Aires (Zona Media)				
Mes	Media(mm)	Variación (%)	Aumenta (+)	Disminuye (-)
Enero	0.12	74.16	X	
Febrero	0.15	87.45	X	
Marzo	0.15	90.44	X	
Abril	0.19	60.14	X	
Mayo	0.17	39.89	X	
Junio	0.1	51.47	X	
Julio	0.1	90.12	X	
Agosto	0.1	22.25	X	
Septiembre	0.13	22.69		X
Octubre	0.19	31.12	X	
Noviembre	0.1	55.69		X
Diciembre	0.15	62.48	X	

Tabla 25. Resultados de las tendencias de la estación de Buenos Aires en la Zona media de la cuenca del río Tomebamba para los valores futuros 2054-2074.

Resultados de tendencias con periodo de 24 horas (1 día)				
Lluvia-Estación Buenos Aires (Zona Media)				
Mes	Media(mm)	Variación (%)	Aumenta (+)	Disminuye (-)
Enero	0.14	73.1	X	
Febrero	0.17	85.74	X	
Marzo	0.17	93.03	X	
Abril	0.21	72.53	X	
Mayo	0.17	28.99	X	
Junio	0.1	44.32	X	
Julio	0.1	95.32	X	
Agosto	0.1	22.84	X	
Septiembre	0.13	11.04		X
Octubre	0.2	19.22	X	
Noviembre	0.16	45.41	X	
Diciembre	0.15	60.8	X	



Tabla 26 Resultados de las tendencias de la estación de Matadero Sayausi Bajo en la Zona media de la cuenca del río Tomebamba para los valores históricos 1964.1993.

Resultados de tendencias con periodo de 24 horas (1dia)				
Lluvia-Estación Matadero Sayausi Bajo (Zona Media)				
Mes	Media(mm)	Variación (%)	Aumenta (+)	Disminuye (-)
Enero	0.2	0.85		X
Febrero	0.27	7.48	X	
Marzo	0.26	45.49	X	
Abril	0.3	26.75	X	
Mayo	0.22	2.59		X
Junio	0.12	45.52	X	
Julio	0.14	38.64	X	
Agosto	0.13	14.29	X	
Septiembre	0.23	15.65		X
Octubre	0.3	34.89	X	
Noviembre	0.29	2.75	X	
Diciembre	0.29	23.39		X

Tabla 27. Resultados de las tendencias de la estación de Matadero Sayausi Bajo en la Zona media de la cuenca del río Tomebamba para los valores futuros 2054-2074.

Resultados de tendencias con periodo de 24 horas (1dia)				
Lluvia-Estación Matadero Sayausi (Zona Media)				
Mes	Media(mm)	Variación (%)	Aumenta (+)	Disminuye (-)
Enero	0.24	39.89		X
Febrero	0.3	3.01	X	
Marzo	0.29	40.76	X	
Abril	0.32	29.07	X	
Mayo	0.24	3.85		X
Junio	0.2	55.23	X	
Julio	0.2	40.57	X	
Agosto	0.1	13.51	X	
Septiembre	0.23	19.84		X
Octubre	0.31	33.73	X	
Noviembre	0.28	0.28	X	
Diciembre	0.3	17.12		X

5.3.1.5. Zona baja. Datos históricos.

En la Figura 62 se presentan la gráfica de la tendencia obtenida de la estación de Ucubamba que presentan registros históricos para el mes de enero. La etiqueta denominada “valor” corresponde a la precipitación en mm y la etiqueta denominada “punto de datos” corresponde al tiempo en horas. En el Anexo 8 se presenta las gráficas correspondientes a los demás meses para la estación mencionada.

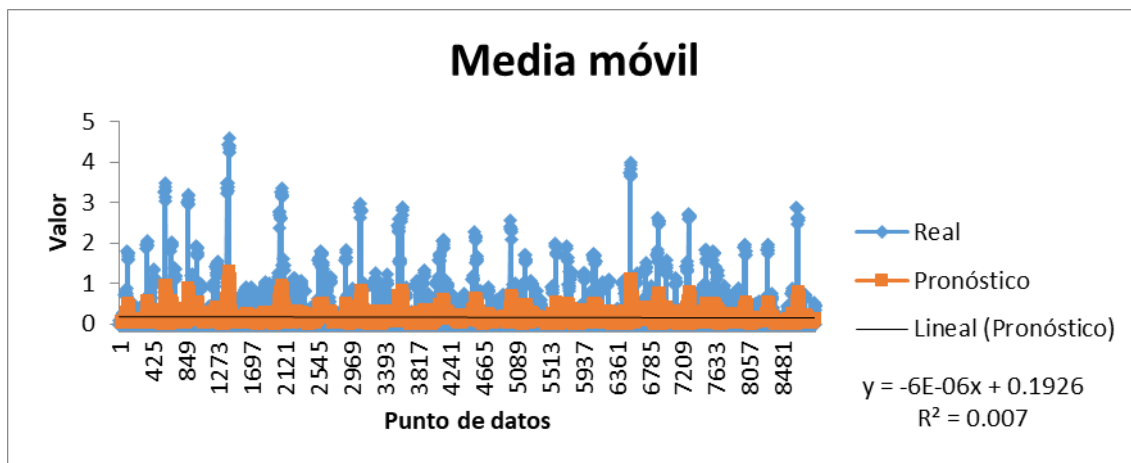


Figura 62. Media móvil de información histórica en la estación de Ucubamba para el mes de enero, tendencia y ecuación.

5.3.1.6. Zona baja. Datos Futuros del escenario de cambio climático A2.

En la Figura 63 se presentan la gráfica de la tendencia obtenida de la estación Ucubamba que presenta registros en escenario futuros para el mes de enero. La etiqueta denominada “valor” corresponde a la precipitación en mm y la etiqueta denominada “punto de datos” corresponde al tiempo en horas. En el Anexo 9 se presenta las gráficas correspondientes a los demás meses para la estación mencionada.

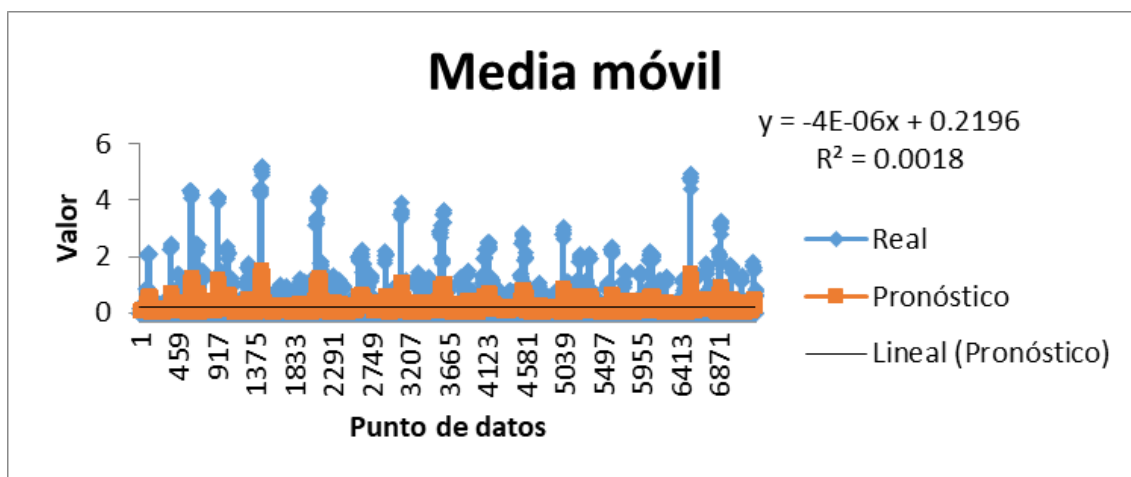


Figura 63. Media móvil de información futura en la estación de Ucubamba para el mes de enero, tendencia y ecuación.



Como resultado final de la zona baja de la cuenca del río Tomebamba, analizando la información histórica y futura se puede notar un cambio el cual se detallará en las Tablas 28 y 29. Existe un incremento en las series futuras, en comparación con las series históricas en aproximadamente un rango de 0.01 a 0.80 mm de precipitación. Se presentan unas tendencias decrecientes en las series históricas en los meses desde enero hasta abril y desde junio hasta noviembre.

Tabla 28. Resultados de las tendencias de la estación de Ucubamba en la Zona baja de la cuenca del río Tomebamba para los valores históricos 1964.1993.

Resultados de tendencias con periodo de 24 horas (1día)				
Lluvia-Estación Ucubamba (Zona Baja)				
Mes	Media(mm)	Variación (%)	Aumenta (+)	Disminuye (-)
Enero	0.17	32.19		X
Febrero	0.2	7.09	X	
Marzo	0.21	1.68	X	
Abril	0.23	2.32		X
Mayo	0.17	6.43	X	
Junio	0.17	59.82		X
Julio	0.16	22.58		X
Agosto	0.14	38.69		X
Septiembre	0.16	21.34		X
Octubre	0.19	1.6		X
Noviembre	0.21	13.17		X
Diciembre	0.18	15.14	X	

Tabla 29. Resultados de las tendencias de la estación de Ucubamba en la Zona baja de la cuenca del río Tomebamba para los valores futuros 2054-2074.

Resultados de tendencias con periodo de 24 horas (1día)				
Lluvia-Estación Ucubamba (Zona Baja)				
Mes	Media(mm)	Variación (%)	Aumenta (+)	Disminuye (-)
Enero	0.2	14.28		X
Febrero	0.23	6.9	X	
Marzo	0.23	1.53	X	
Abril	0.25	2.89	X	
Mayo	0.19	0.6	X	
Junio	0.19	44.47		X
Julio	0.18	9.8		X
Agosto	0.16	32.53		X
Septiembre	0.16	21.08		X
Octubre	0.21	4.56		X
Noviembre	0.2	13.84		X
Diciembre	0.18	7.48	X	

5.3.2. Temperatura.

Utilizando la información desagregada de los datos históricos de la estación de Ucubamba se procedió a realizar la media móvil para determinar la tendencia. Se realizó un periodo de cada 24 valores que representa el valor medio de temperatura en el día. A continuación, en la Figura 64, se muestran la gráfica de Tendencia para el mes de enero y los resultados de cambio. En el Anexo 10 se presenta las gráficas de las tendencias correspondientes a los meses faltantes para la estación mencionada.

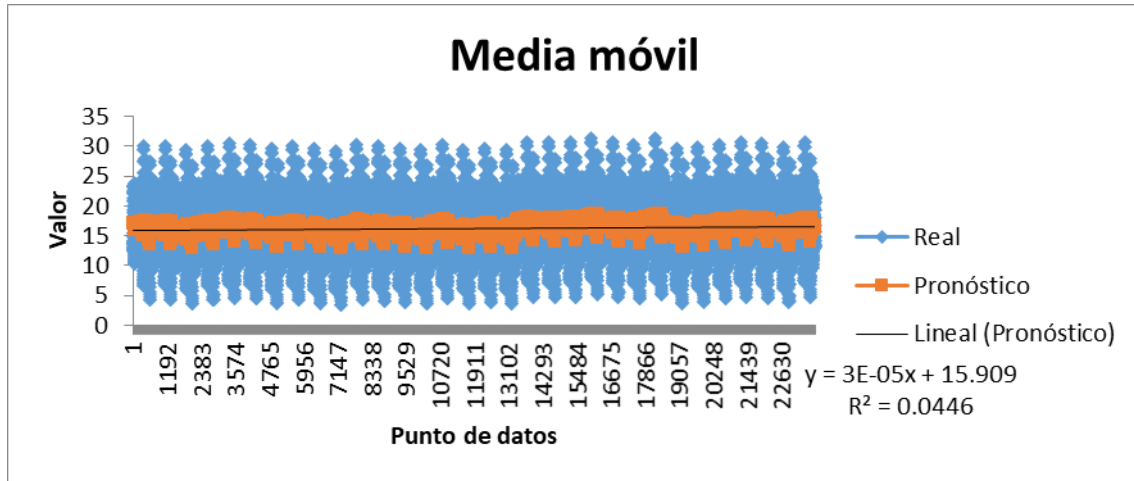


Figura 64. Media móvil del mes de enero para la temperatura en la zona baja de la estación de Ucubamba.

Finalmente, el resultado de temperatura de los meses de enero hasta junio y septiembre, se puede observar que existe un incremento que varía en un rango de 0.21 hasta 0.65 grados, mientras en los meses de junio, agosto, octubre, noviembre existe una disminución en la temperatura en un rango de 0.02 hasta 0.21 grados. En conclusión, se realizó un promedio de todo el análisis y se obtuvo un incremento de 0.23 grados, lo cual pone en manifiesto la evidencia del cambio climático. En la tabla 30 se presenta un resumen de los resultados obtenidos y de lo anterior mencionado.



Tabla 30. valores de los incrementos o disminuciones de temperatura en la zona baja de la cuenca del río Tomebamba.

Tendencias de temperatura estación Ucubamba			
Meses	Temperatura(°C)	Aumenta (+)	Disminuye (-)
Enero	0.26	X	
Febrero	0.65	X	
Marzo	0.21	X	
Abril	0.69	X	
Mayo	0.24	X	
Junio	0.23	X	
Julio	-0.21		X
Agosto	-0.05		X
Septiembre	0.69	X	
Octubre	-0.02		X
Noviembre	-0.14		X
Diciembre	0.24	X	
Promedio	0.23		



Capítulo 6. Conclusiones.

6.1. Conclusiones Generales.

Los estudios sobre cambio climático son relativamente escasos en cuencas pequeñas como es el caso de la cuenca del Río Tomebamba. Generalmente se los realiza sobre cuencas más extensas que abarcan grandes superficies, por ejemplo, en la zona, la cuenca del Río Paute. Es por este motivo que el presente trabajo marca un precedente para futuros trabajos realizados en estos contextos. Realizar estos estudios a niveles espaciales pequeños son igualmente importantes, ya que a partir de ellos se puede tomar decisiones oportunas respecto al manejo y cuidado de las fuentes de recursos naturales, indispensables para el desarrollo de las sociedades.

La cuenca del río Tomebamba es indispensable, ya que de ella provienen los recursos hídricos que abastecen a la ciudad de Cuenca. El estudio realizado pone en manifiesto los impactos negativos del Cambio Climático sobre la misma, ya que en un futuro medio si no se toman medidas de prevención, significaría la pérdida de este recurso y por ende la calidad de vida de los habitantes de la ciudad disminuiría.

En general, mediante el análisis de las tendencias de las series históricas de precipitación y temperatura, se pudo observar la existencia de cambios en los patrones de comportamiento de las variables hidrometeorológicas mencionadas. Estas observaciones manifiestan que el Cambio Climático es un problema que ya se está dando, y que es necesario la aplicación de medidas de mitigación para superar los impactos negativos que generan sobre las fuentes de recursos naturales, principalmente el agua.

Superando el contexto técnico del presente trabajo, a través de los resultados obtenidos que evidencian que el Cambio Climático es un hecho que está sucediendo, es indispensable que se tomen políticas adecuadas para mitigar los efectos del mismo y de esta manera garantizar la preservación de los recursos hídricos que abastecen a la ciudad.

6.2. Conclusiones Específicas.

El método de desagregación de precipitación presentado en este trabajo es una herramienta útil y sencilla de aplicar, que permite la obtención de series con resoluciones finas para la utilización en diversas aplicaciones de la hidrología como es el caso de los estudios de cambio climático. Sin embargo, es un método que requiere el uso de una base de datos de registros horarios amplia para realizar de manera óptima el proceso de desagregación.

La validación del método de desagregación estuvo acorde a los requerimientos establecidos por Socolofsky et al. (2001), ya que los parámetros estadísticos simulados tienden a seguir el comportamiento o dinámica de los parámetros estadísticos observados, lo cual evidencia el buen desempeño del método al usar como base de datos los registros observados en resolución de 5 minutos. Sin embargo, para obtener mejores resultados es necesario disponer de grandes bases de datos en resoluciones finas.

Los patrones de precipitación se obtuvieron de manera general para cada mes debido a la poca cantidad de información horaria lo cual no está mal, pero se debería realizar un análisis por días, debido que la precipitación grandes variaciones en resoluciones finas. Al obtener los patrones de precipitación, en la zona media y baja de la cuenca, la mayoría de horas de lluvia se



concentran a partir de las 12 del mediodía en adelante, mientras en la zona alta la precipitación se concentra en todas las horas esto se debe que se encuentra en una zona de paramo donde es frecuente la precipitación.

La utilización de Modelos Climáticos es una herramienta útil para realizar una interpretación oportuna de las posibles futuras condiciones de una zona en estudio. Como se pudo observar en este presente trabajo, las tendencias realizadas sobre los datos proyectados por los modelos muestran una reducción de la precipitación dentro de la cuenca del Tomebamba, lo cual debe ser considerado para la toma de decisiones oportunas para mitigar los efectos de estas tendencias, las cuales son evidencias claras de la existencia de un cambio en el comportamiento climático.

En cuanto a la temperatura, el método empleado en el presente trabajo para obtener series horarios presenta mejores resultados, ya que el comportamiento de la misma presenta menos aleatoriedad a lo largo de un día y por lo general fluctúa alrededor de una media. Esto hace que sea una variable fácil de modelar, a diferencia de la precipitación.

Los resultados de los parámetros estadísticos como media y desviación para un ajuste a una distribución normal fueron óptimos pese que se necesitaba información en resolución diaria y se trabajó con información en resolución mensual.

El método de desagregación de temperatura utilizado presenta un buen rendimiento, ya que, al realizar la comparación entre los datos simulados y observados, se obtuvo un valor de R^2 superior a 0.5 para cada mes analizado. Por otro lado, los valores de coeficiente de correlación para cada uno de los meses resultados mayores a 0.7, lo cual pone en manifiesto la eficiencia del método para obtener registros horarios. El rendimiento mejoró al ajustar los valores desagregados de temperatura a las condiciones de la zona.

La tendencia se realizó para el análisis de la zona baja de la estación de Ucubamba por solo poseer información histórica de dicha zona. Se pudo observar que en la mayor parte de meses se genera un incremento de temperatura que varía entre los 0.23 y 0.7°C. Este resultado se asemeja a la tendencia mundial de temperatura creciente, lo cual pone en evidencia el cambio climático sobre la zona de estudio y sus posibles impactos en un futuro cercano.

6.3. Observaciones.

Una de las principales limitantes que se dio en el presente trabajo fue la escasez de información que contenga registros horarios de precipitación. Este problema radica en el hecho de que el método de desagregación aplicado requiere de una serie de registros horarios robusta, es decir, con amplios periodos de registro de por lo menos 30 años. La base de datos disponible constaba de tan solo 3 años de registros horarios. Es por esta razón que se constituyó como el principal problema. Sin embargo, para superar esta dificultad, se utilizó información con registros en duraciones de 5 minutos, para de esta manera disponer de una base de datos más extensa, y poder rescatar de una mejor manera las estadísticas de las series medidas. Los resultados obtenidos fueron aceptables, ya que se pudo rescatar de una manera aceptable las estadísticas de las series horarias observadas y de esta manera se pudo validar correctamente la aplicación de este método de desagregación.



En este trabajo se realizó una modificación del método de desagregación de precipitación aplicado. Esta modificación radica en el hecho en el que el método selecciona aleatoriamente las horas de inicio de las precipitaciones horarias parciales desagregadas. Es por este motivo que, para intentar rescatar ciertos patrones de los registros de precipitación observados, se analizó el comportamiento de las series de precipitación horarias observadas. El principal inconveniente suscitado en este proceso nuevamente radica en el hecho de la poca información que se tiene. Si se dispondría de una base de datos más extensa, se tendría un mejor análisis de estos patrones de precipitación mencionados.

Pese a todas estas limitaciones, el método de desagregación de precipitación diaria a horaria aplicado mostró un rendimiento aceptable para este propósito. Sin embargo, es necesario mencionar que las series horarias sintéticas obtenidas no se asemejan a las series horarias observadas. Esto se debe a que resulta muy difícil la obtención de modelos que recreen exactamente los comportamientos obtenidos en los registros observados. Las series desagregadas por los modelos se basan en rescatar la mayor cantidad de información estadística, así como ciertos patrones de comportamiento de las intensidades. Es por esta razón que las series desagregadas deben ser manejadas con mucha cautela, para evitar malas interpretaciones y que se le dé un adecuado uso a las mismas.

En cuanto a la temperatura el principal inconveniente que se presentó fue que solo se disponía de información histórica mensual de la estación de Ucubamba. Con esta información solo se pudo realizar un estudio de las tendencias en este periodo de registro. Por o tanto, no se tuvo información suficiente para realizar un estudio más amplio sobre toda la cuenca del Río Tomebamba.

En cuanto al método de desagregación de la Temperatura los resultados fueron satisfactorios. En el proceso de validación del método se obtuvo una adecuada correspondencia entre las series observadas y sintéticas desagregadas. Este hecho radica en que la temperatura resulta más fácil de analizar debido que no varía drásticamente, sino que su comportamiento es oscilatorio con respecto a una media diaria.

De igual manera la existencia de métodos que recreen exactamente los registros de temperatura observados es muy compleja. Pese a que las series horarias de temperatura desagregadas presentan un grado de similitud aceptable con respecto a las series observadas, de igual manera deben ser utilizadas con mucha cautela y responsabilidad, tomando conciencia de que son series sintéticas y dándoles un adecuado uso.

6.4. Recomendaciones.

Como una recomendación general para futuros estudios relacionados con este tema, es que se debe disponer de una base de datos más extensa. De esta manera los resultados que se obtendrán serán más precisos y así se reduciría el margen de error.

Se sugiere utilizar otros métodos de desagregación de datos para de esta manera determinar la valía de los mismos y seleccionar el que mejor resultados genere.

En este estudio se trabajó solo con el escenario de emisión A2. Sin embargo, el IPCC presenta varios escenarios, los cuales pueden ser considerados para futuros estudios, y así determinar las consecuencias del Cambio Climático bajo diferentes suposiciones.



El estudio realizado de desagregación de información diaria a horaria se debe aplicar en otras cuencas pequeñas del país, con el objetivo de investigar si existe un cambio climático; esto ayudara a determinar cuáles son las provincias más afectadas y tomar las respectivas medidas de adaptación y mitigación y buscar las soluciones por parte de los gobiernos.



Referencias.

- Allen, M. R., & Ingram, W. J. (2002). Constraints on future changes in climate and the hydrologic cycle. *Nature*, 419(6903), 224-232.
<https://doi.org/10.1038/nature01092>
- Amador, J. A., & Alfaro, E. J. (2009). *Métodos de reducción de escala: Aplicaciones al tiempo, clima, variabilidad climática y cambio climático*. 11, 14.
- Ames, A., & Hastenrath, S. (1996). *Mass Balance and Ice Flow of the Uirushraju Glacier, Cordilera Blanca, Peru*.
- Andrade, Marcos, & Blacutt, Luis. (2010). *Revista Boliviana de Física*.
- Arnell, N. (1999). *The effect of climate change on hydrological regimes in Europe: A continental perspective*.
- Beniston, M. (1997). *Variations of Snow Depth and Duration in the Swiss Alps over the Last 50 Years: Links to Changes in Large-Scale Forcings*.
- Beniston, M. (2002). *Climatic Change. Implications for the Hydrological Cycle and for Water Management. Advances in Global Change Research*.
- Beniston, M. (2003). Climatic Change in Mountain Regions: A Review of Possible Impacts. En H. F. Diaz (Ed.), *Climate Variability and Change in High Elevation Regions: Past, Present & Future* (Vol. 15, pp. 5-31).
https://doi.org/10.1007/978-94-015-1252-7_2
- Buytaert, W., Célleri, R., & Timbe, L. (2009). *Predicting climate change impacts on water resources in the tropical Andes: The effects of GCM uncertainty*.
- Buytaert, W., Vuille, M., Dewulf, A., Urrutia, R., Karmalkar, A., & Célleri, R. (2010). Uncertainties in climate change projections and regional downscaling in the tropical Andes: Implications for water resources management. *Hydrology and*



Earth System Sciences, 14(7), 1247-1258. <https://doi.org/10.5194/hess-14-1247-2010>

Buytaert, Wouter, Cuesta-Camacho, F., & Tobón, C. (2011). Potential impacts of climate change on the environmental services of humid tropical alpine regions: Climate change and environmental services. *Global Ecology and Biogeography*, 20(1), 19-33. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2010.00585.x>

Campbell, G. S., & Norman, J. M. (1998). *Introduction to environmental biophysics* (2nd ed). New York: Springer.

Campozano, L. (2017). *Climate across scales: The downscaling of precipitation for a basin in a tropical mountain region in the Andes of Southern Ecuador*. University of Marburg, Marburg.

Casado Calle, M. J. (2011). *Evaluación de los modelos climáticos globales participantes en el cuarto informe de evaluación del IPCC sobre España y la región euroatlántica*. Madrid: Agencia Estatal de Meteorología.

Célleri, R., & Feyen, J. (2009). The Hydrology of Tropical Andean Ecosystems: Importance, Knowledge Status, and Perspectives. *Mountain Research and Development*, 29(4), 350-355. <https://doi.org/10.1659/mrd.00007>

Coltorti, M., & Ollier, C. (2000). *Geomorphic and tectonic evolution of the Ecuadorian Andes*.

Demetris Koutsoyiannis. (2003). *Rainfall disaggregation methods: Theory and applications*. <https://doi.org/10.13140/rg.2.1.2840.8564>

Dibike, Y. B., & Coulibaly, P. (2005). Hydrologic impact of climate change in the Saguenay watershed: Comparison of downscaling methods and hydrologic



models. *Journal of Hydrology*, 307(1-4), 145-163.

<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.10.012>

Dirmeyer, P., Cash, B., Kinter, J., Stan, C., Jung, T., Marx, L., ... Manganello, J. (2012).

Evidence for Enhanced Land– Atmosphere Feedback in a Warming Climate.

Duarte, Carlos. (2006). *Cambio global. Impacto de la actividad humana sobre el sistema Tierra.* 170.

Dumas, J. (2007). *Necesidades de adaptación y mitigación para enfrentar el cambio climático en Ecuador.* 2.

Fowler, H., Blenkinsop, S., & Tebaldi, C. (2007). *Linking climate change modelling to impacts studies: Recent advances in downscaling techniques for hydrological modelling.*

Fujihara, Y., Tanaka, K., Watanabe, T., Nagano, T., & Kojiri, T. (2008). *Assessing the impacts of climate change of the Seyhan River Basin in Turkey: Use of dynamically downscaled data for hydrologic simulations.*

Glantz, M. (1998). *Societal Responses to Regional Climatic Change.*

Hirabayashi, Y., Kanae, S., Emori, S., Oki, T., & Kimoto, M. (2008). *Global projections of changing risks of floods and droughts in a changing climate.*

IPCC. (1998). *The Regional Impacts of Climate Change.*

IPCC. (2000). *Escenario de emisiones: Resumen para responsables de políticas.*

Ginebra: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.

IPCC. (2003). *Climate change and biodiversity.* Place of publication not identified:

Ipcc.

IPCC. (2008). *El Cambio Climático y el Agua.* Ginebra, Suiza: Documento Técnico del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.



- IPCC. (2014). *Cambio Climático 2014. Informe de síntesis*.
- Ludeña, C., & Wilk, D. (2013). *Mitigación y Adaptación al Cambio Climático*. 29.
- Magaña, V., Conde, C., & Sánchez, Ó. (2014). *EVALUACIÓN DE ESCENARIOS REGIONALES DE CLIMA ACTUAL Y DE CAMBIO CLIMÁTICO FUTURO PARA MÉXICO*. 19.
- Maraun, D., Wetterhall, F., Ireson, A. M., Chandler, R. E., Kendon, E. J., Widmann, M., ... Thiele-Eich, I. (2010). Precipitation downscaling under climate change: Recent developments to bridge the gap between dynamical models and the end user. *Reviews of Geophysics*, 48(3). <https://doi.org/10.1029/2009RG000314>
- Marengo, Jones, Alves, & Valverde. (2009). *Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system*.
- Mora, D. E., Campozano, L., Cisneros, F., Wyseure, G., & Willems, P. (2014). Climate changes of hydrometeorological and hydrological extremes in the Paute basin, Ecuadorean Andes. *Hydrology and Earth System Sciences*, 18(2), 631-648. <https://doi.org/10.5194/hess-18-631-2014>
- Mora, D. E., Liu, T., Cisneros, F., Wyseure, G., & Willems, P. (2012). *STATISTICAL ANALYSIS ON THE PERFORMANCE OF GLOBAL AND REGIONAL CLIMATE MODELS FOR THE PAUTE RIVER BASIN IN THE SOUTH-ECUADORIAN ANDES*. 8.
- Mora, D. E., Wyseure, G., & Willems, P. (2014). *GAP FILLING BASED ON A QUANTILE PERTURBATION FACTOR TECHNIQUE*. 8.
- Nijssen, B., O'Donnell, G., Hamlet, A., & Lettenmaier, D. (2001). *Hydrologic Sensitivity of Global Rivers to Climate Change, Climatic Change*.



- Nijssen, B., O'Donnell, G., Hamlet, A., & Lettenmaier, P. (2000). *Hydrologic Sensitivity of Global Rivers to Climate Change*.
- Noble, I., & Gitay, H. (1998). *Climate Change in Desert Regions*.
- Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., Van der Linden, P.J., & Hanson, C.E. (2007). *Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom and New York, USA: Cambridge University Press.
- Perry, J., & Falzon, C. (2015). *Adaptación al cambio climático en sitios naturales del patrimonio mundial*. 92.
- Pesántez, J. D. (2015). *Propuesta de Modelo de Gestión de la Subcuenca del río Tomebamba, como herramienta de manejo Integrado y Conservación*. 183.
- Salathé Jr, E., Mote, W., & Wiley, W. (2007). *Review of scenario selection and downscaling methods for the assessment of climate change impacts on hydrology in the United States pacific northwest*.
- Santana, J. S., & Farfán, E. M. (2014). *El arte de programar en R: un lenguaje para la estadística*. 197.
- Socolofsky, S., Adams, E. E., & Entekhabi, D. (2001). Disaggregation of Daily Rainfall for Continuous Watershed Modeling. *Journal of Hydrologic Engineering*, 6(4), 300-309. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1084-0699\(2001\)6:4\(300\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0699(2001)6:4(300))
- Stainforth, D., Downing, T., Lopez, A., & New, M. (2007). *Issues in the interpretation of climate model ensembles to inform decisions*.
- Stehr, A., Debels, P., Arumi, J., Alcayaga, H., & Romero, F. (2010). *Modelación de la Respuesta Hidrológica al Cambio Climático: Experiencias de dos cuencas de la zona Centro-Sur de Chile*.



- Te Chow, Ven, Maidment, David, & Mays, LARRY. (1994). *Hidrología Aplicada*.
McGRAW-HILL.
- Urrutia, R., & Vuille, M. (2009). *Climate change projections for the tropical Andes using a regional climate model: Temperature and precipitation simulations for the end of the 21st century*.
- Villar, J.C., Roncahil, J., Cochonneau, G., Naziano, F., Lavado, W., De Oliveira, E., ...
Vauchel, P. (2009). *Spatio-temporal rainfall variability in the Amazon basin countries (Brazil, Peru, Bolivia, Colombia and Ecuador)*.
- Vuille, M., Bradley, R., Werner, M., & Keimig, F. (2003). *20TH CENTURY CLIMATE CHANGE IN THE TROPICAL ANDES: OBSERVATIONS AND MODEL RESULTS*.
- Wang, Y., Leung, L. R., MCGREGOR, J. L., Lee, D.-K., Wang, W.-C., Ding, Y., &
Kimura, F. (2004). Regional Climate Modeling: Progress, Challenges, and Prospects. *Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II*, 82(6), 1599-1628. <https://doi.org/10.2151/jmsj.82.1599>
- Whiteman, D. (2000). *Mountain Meteorology*.



Anexos.

Anexo1. Patrones de Precipitación horarios para los diferentes meses de las distintas estaciones en la zona ala, media y baja en la cuenca del río Tomebamba.

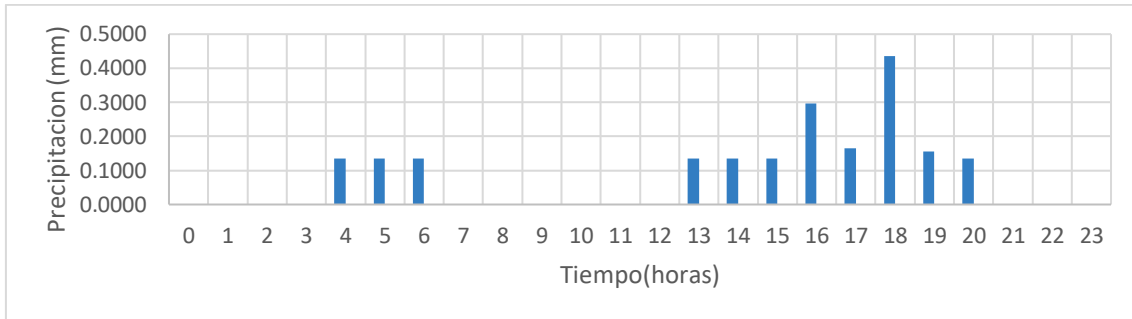


Figura 65. Patrón de precipitación del mes de enero correspondiente a la estación Llaviucu.

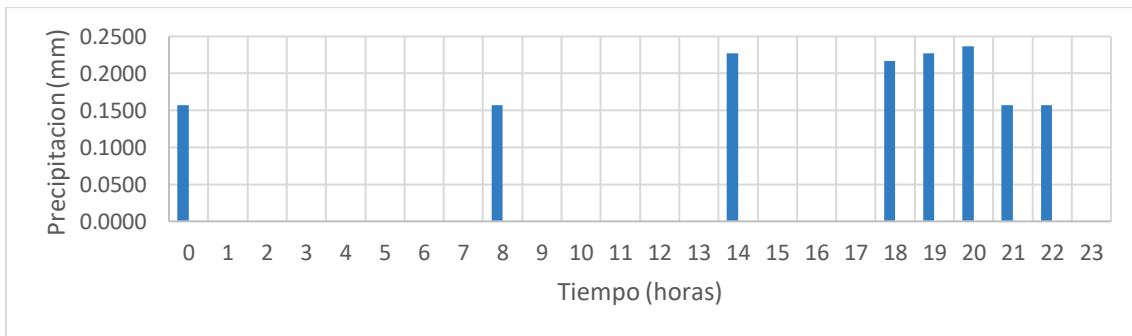


Figura 66. Patrón de precipitación del mes de febrero correspondiente a la estación Llaviucu.

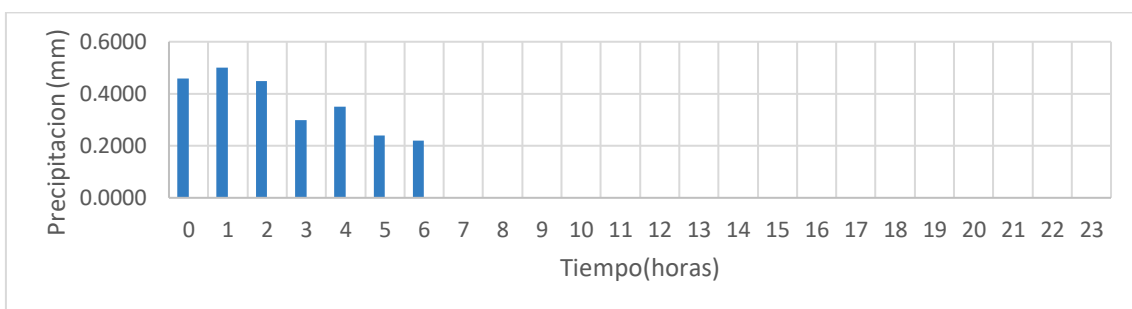


Figura 67. Patrón de precipitación del mes de abril correspondiente a la estación Llaviucu.

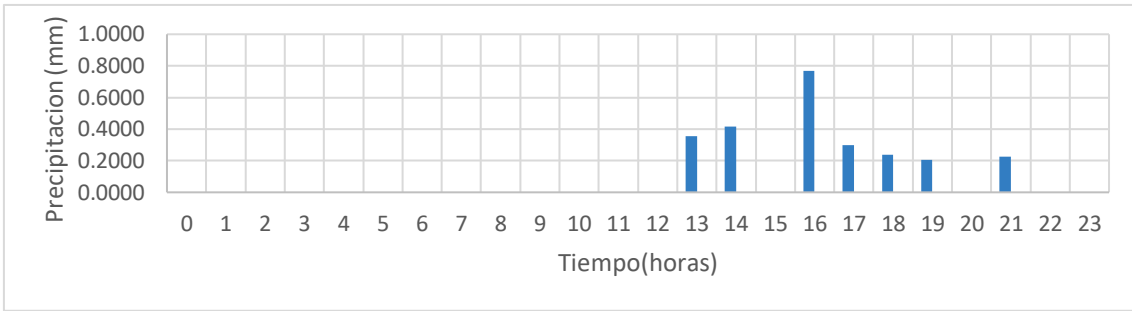


Figura 68. Patrón de precipitación del mes de mayo correspondiente a la estación Llaviucu.

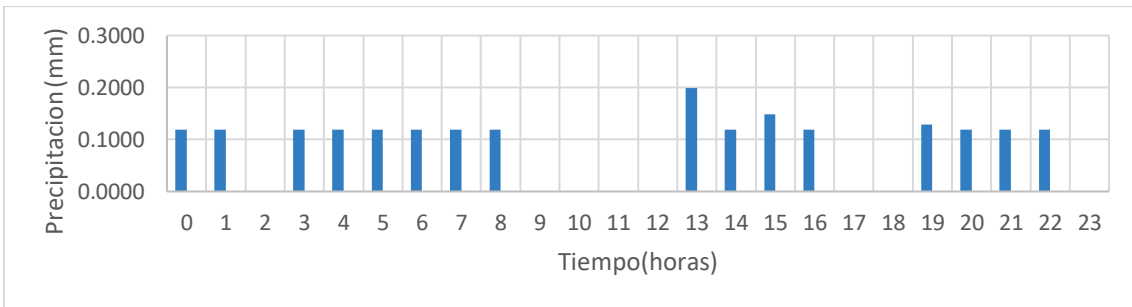


Figura 69. Patrón de precipitación del mes de junio correspondiente a la estación Llaviucu.

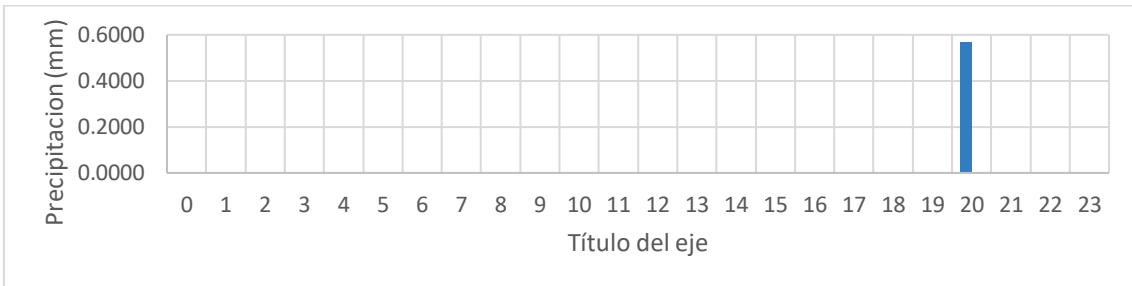


Figura 70. Patrón de precipitación del mes de agosto correspondiente a la estación Llaviucu.

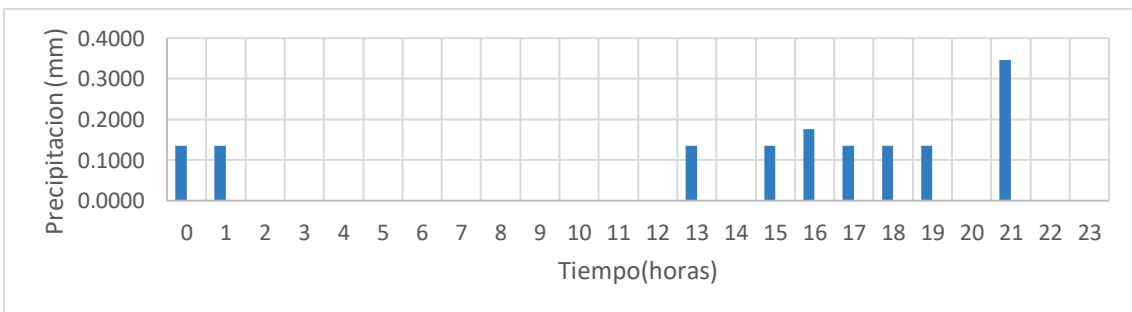


Figura 71. Patrón de precipitación del mes de septiembre correspondiente a la estación Llaviucu.



Figura 72. Patrón de precipitación del mes de octubre correspondiente a la estación Llaviucu.



Figura 73. Patrón de precipitación del mes de noviembre correspondiente a la estación Llaviucu.

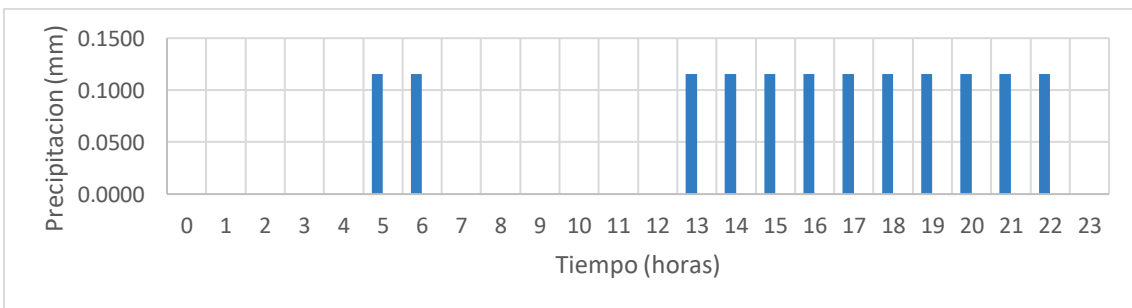


Figura 74. Patrón de precipitación del mes de diciembre correspondiente a la estación Llaviucu.

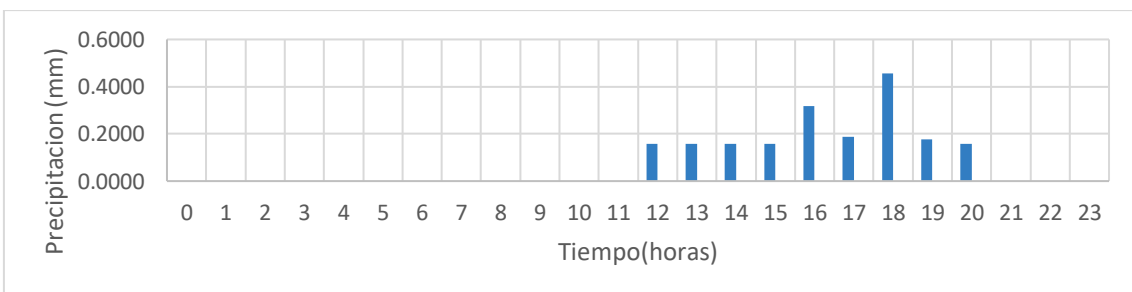


Figura 75. Patrón de precipitación del mes de enero correspondiente a la estación Patoquinas.

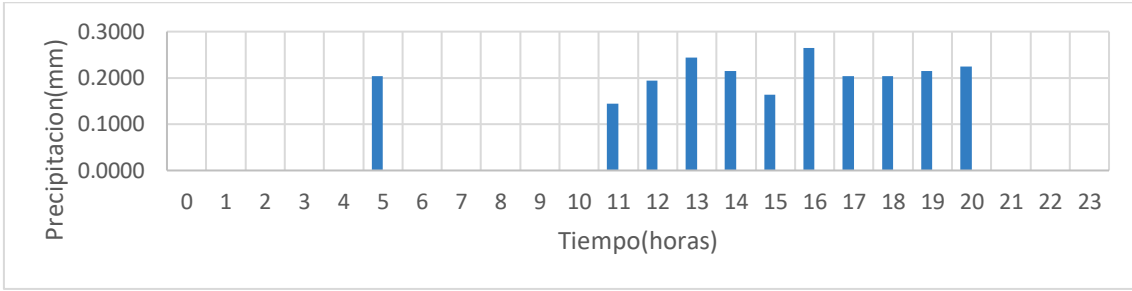


Figura 76. Patrón de precipitación del mes de febrero correspondiente a la estación Patoquinas.

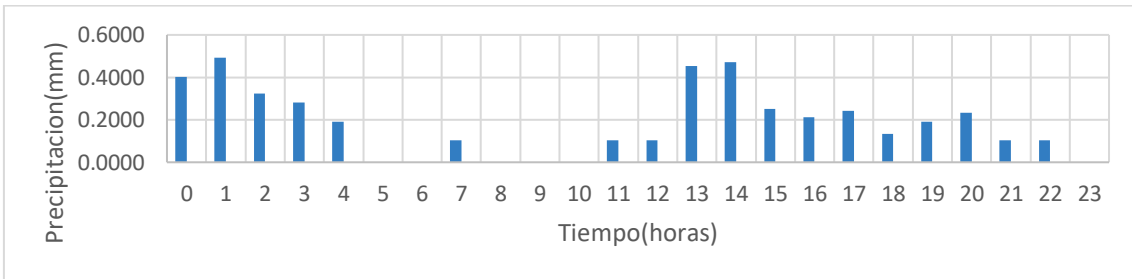


Figura 77. Patrón de precipitación del mes de marzo correspondiente a la estación Patoquinas.

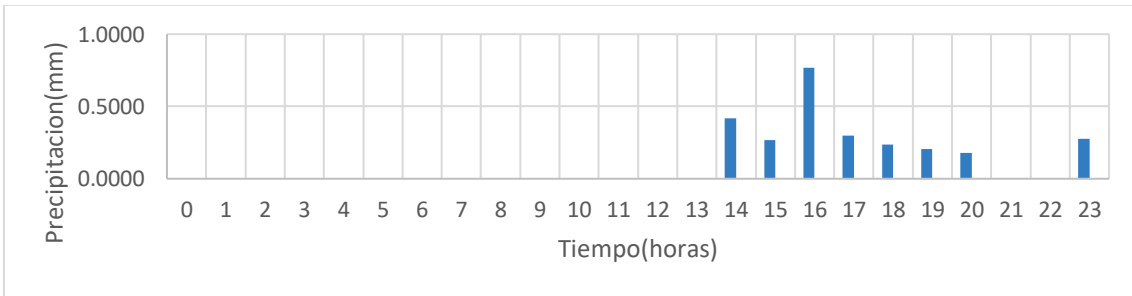


Figura 78. Patrón de precipitación del mes de mayo correspondiente a la estación Patoquinas.

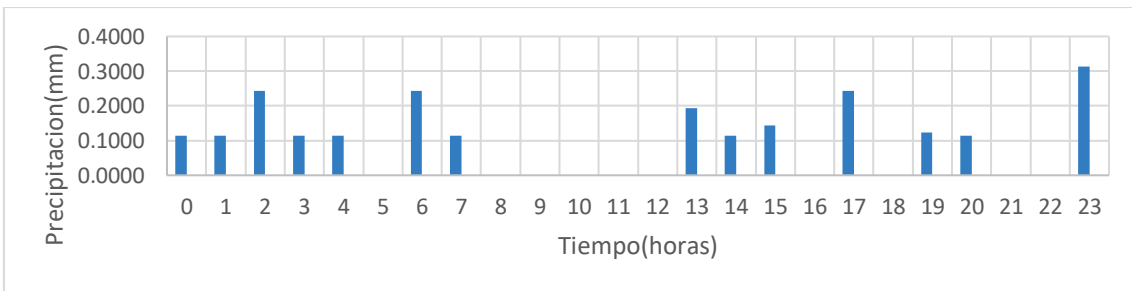


Figura 79. Patrón de precipitación del mes de junio correspondiente a la estación Patoquinas.

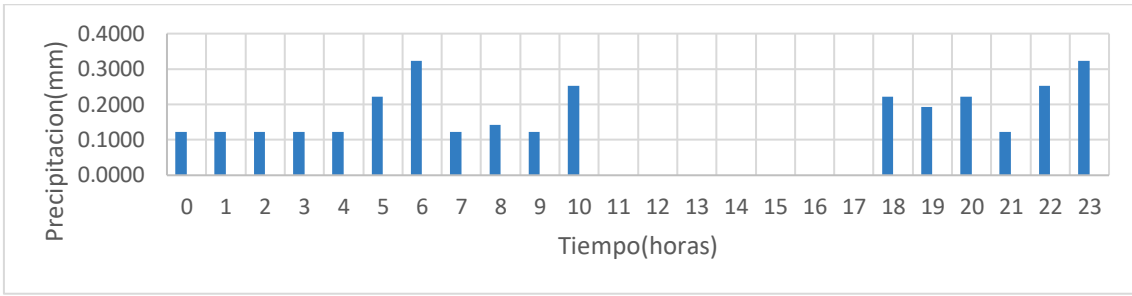


Figura 80. Patrón de precipitación del mes de julio correspondiente a la estación Patoquinas.

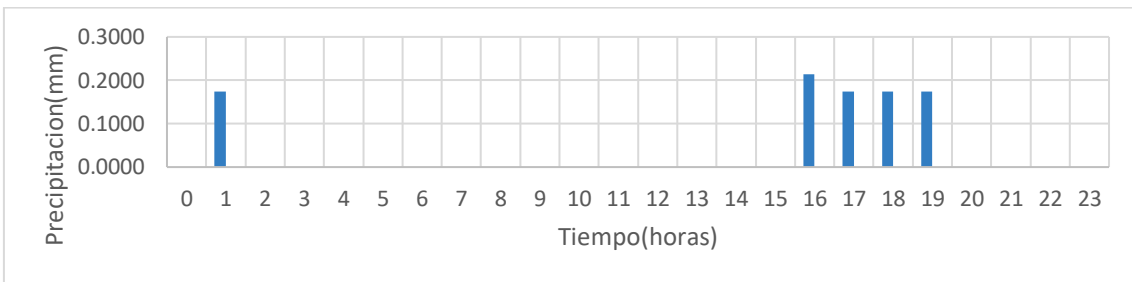


Figura 81. Patrón de precipitación del mes de septiembre correspondiente a la estación Patoquinas.

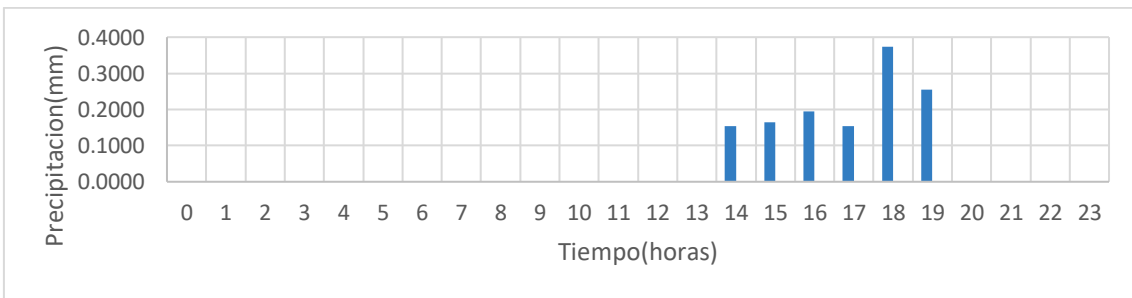


Figura 82. Patrón de precipitación del mes de octubre correspondiente a la estación Patoquinas.

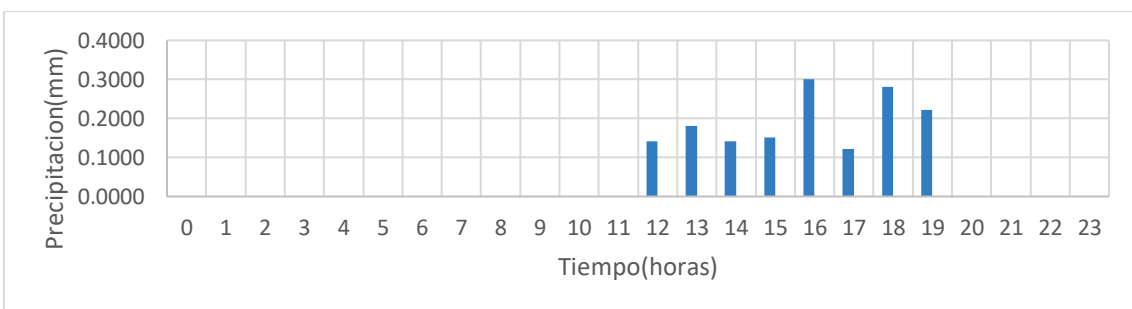


Figura 83. Patrón de precipitación del mes de noviembre correspondiente a la estación Patoquinas.

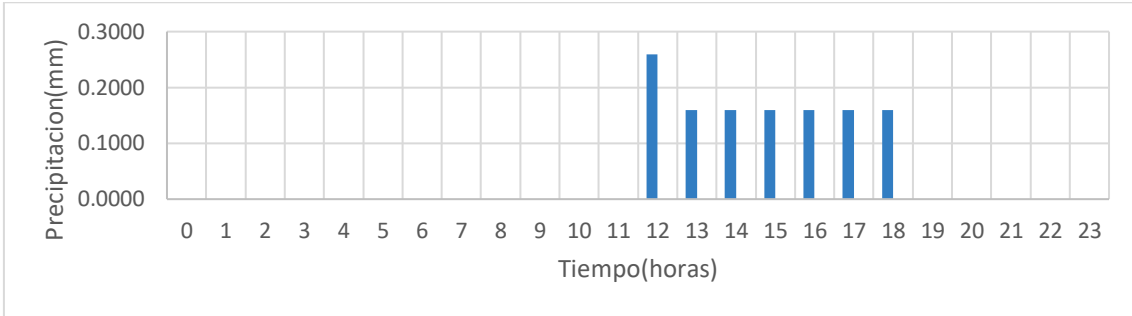


Figura 84. Patrón de precipitación del mes de diciembre correspondiente a la estación Patoquinas.

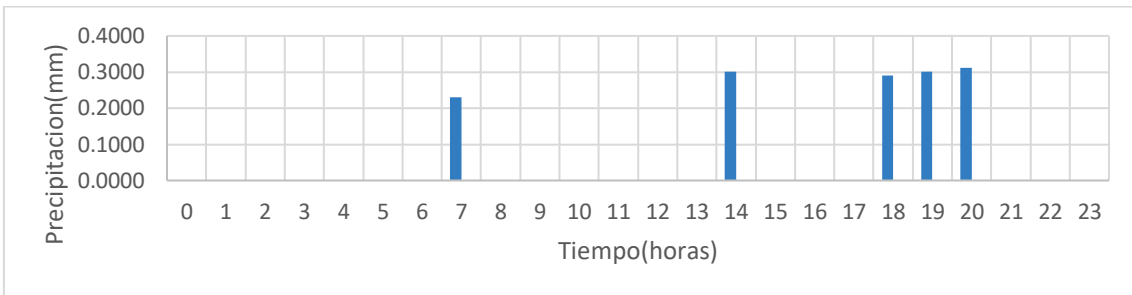


Figura 85. Patrón de precipitación del mes de febrero correspondiente a la estación Matadero Sayausi.

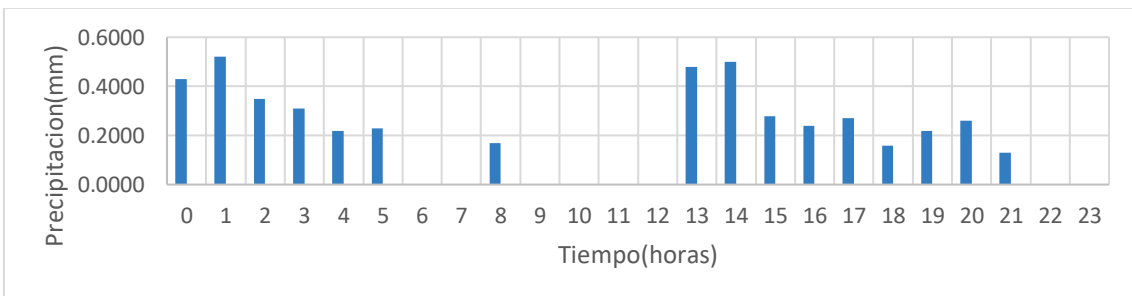


Figura 86. Patrón de precipitación del mes de marzo correspondiente a la estación Matadero Sayausi.

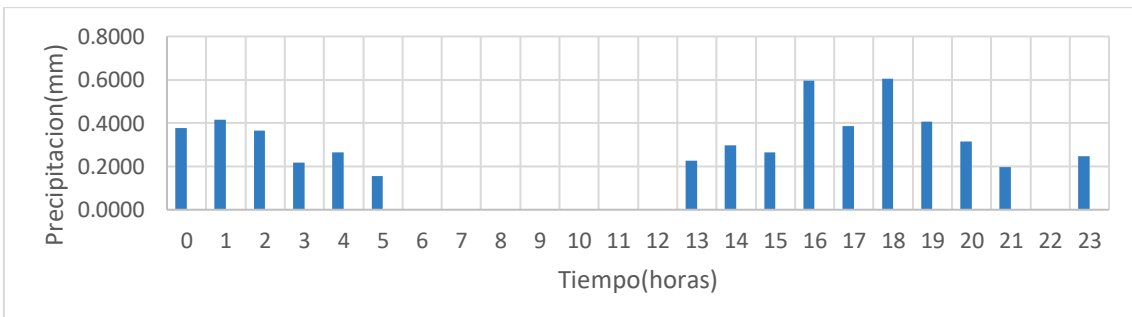


Figura 87. Patrón de precipitación del mes de abril correspondiente a la estación Matadero Sayausi.

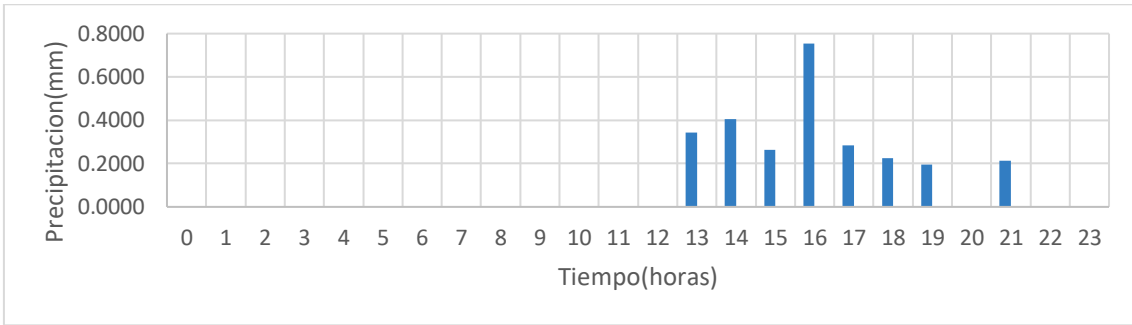


Figura 88. Patrón de precipitación del mes de mayo correspondiente a la estación Matadero Sayausi.

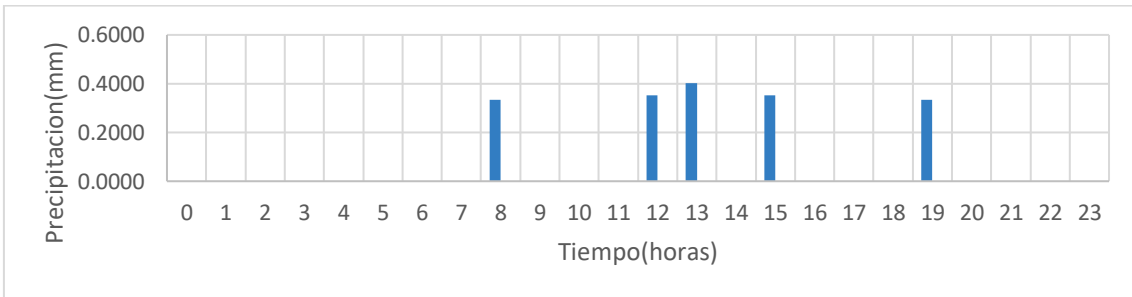


Figura 89. Patrón de precipitación del mes de junio correspondiente a la estación Matadero Sayausi.

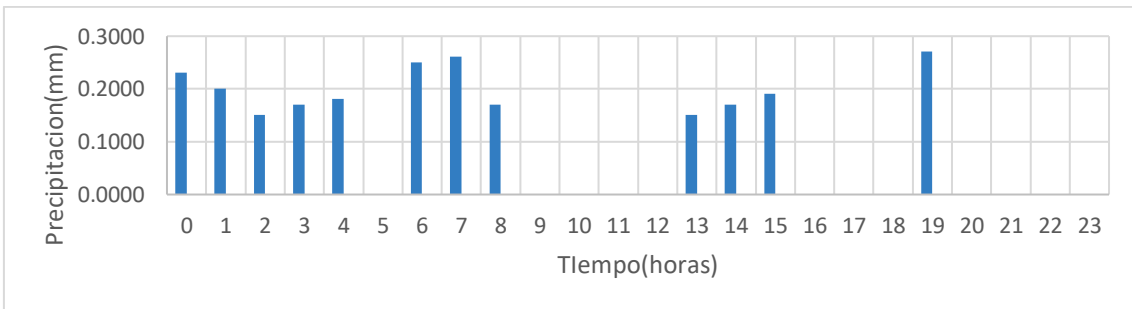


Figura 90. Patrón de precipitación del mes de julio correspondiente a la estación Matadero Sayausi.

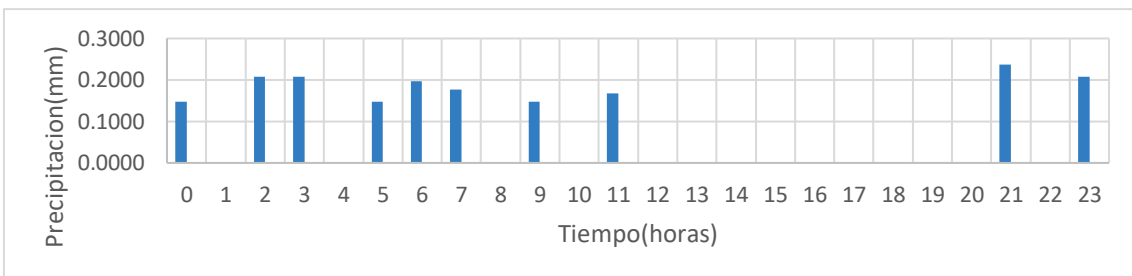


Figura 91. Patrón de precipitación del mes de agosto correspondiente a la estación Matadero Sayausi.

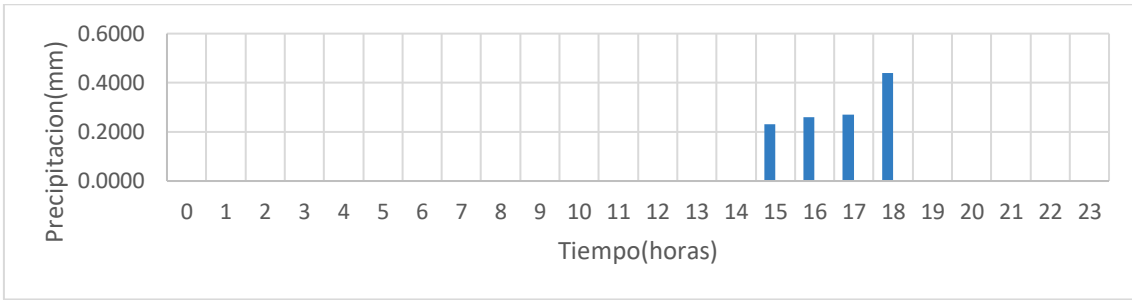


Figura 92. Patrón de precipitación del mes de octubre correspondiente a la estación Matadero Sayausi.

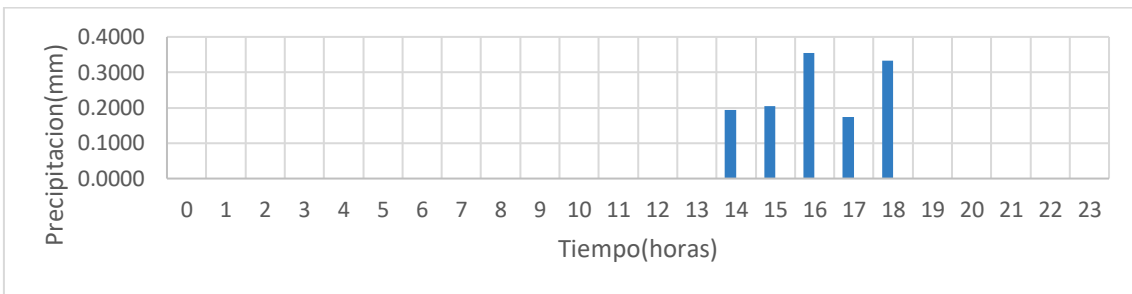


Figura 93. Patrón de precipitación del mes de noviembre correspondiente a la estación Matadero Sayausi.

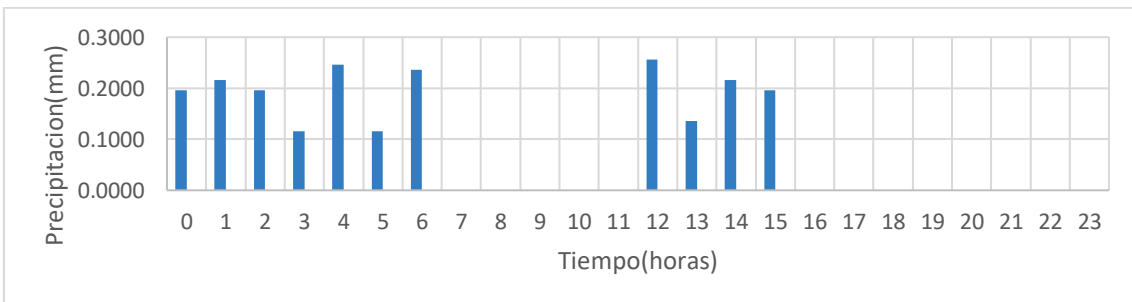


Figura 94. Patrón de precipitación del mes de diciembre correspondiente a la estación Matadero Sayausi.

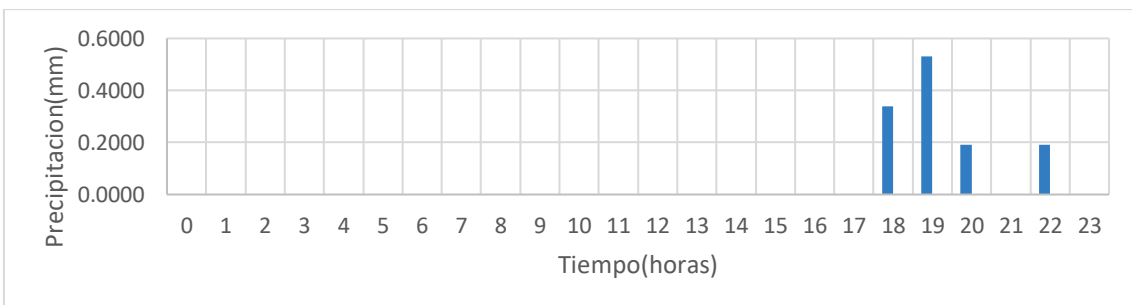


Figura 95. Patrón de precipitación del mes de febrero correspondiente a la estación Sayausi PTAP.

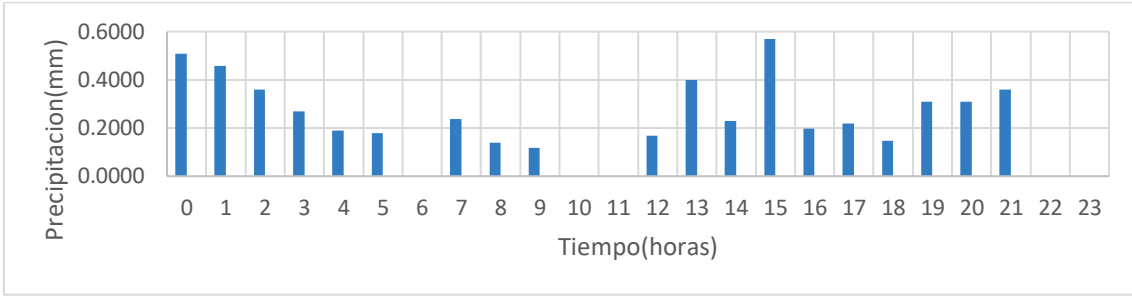


Figura 96. Patrón de precipitación del mes de marzo correspondiente a la estación Sayausi PTAP.

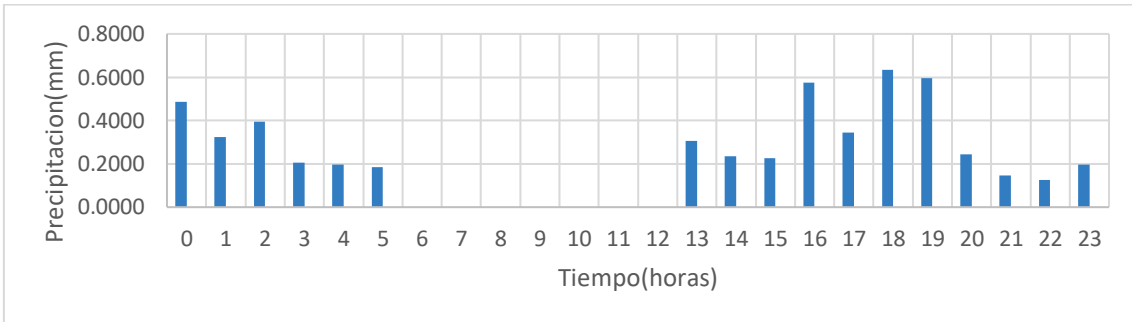


Figura 97. Patrón de precipitación del mes de abril correspondiente a la estación Sayausi PTAP.

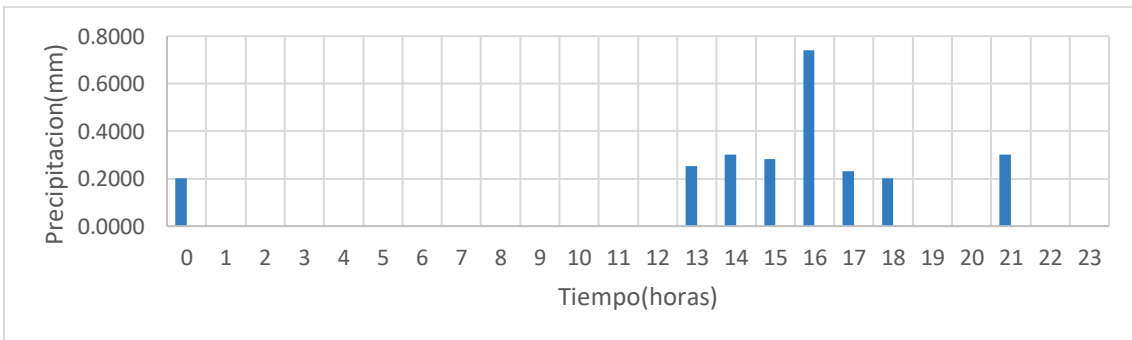


Figura 98. Patrón de precipitación del mes de mayo correspondiente a la estación Sayausi PTAP.

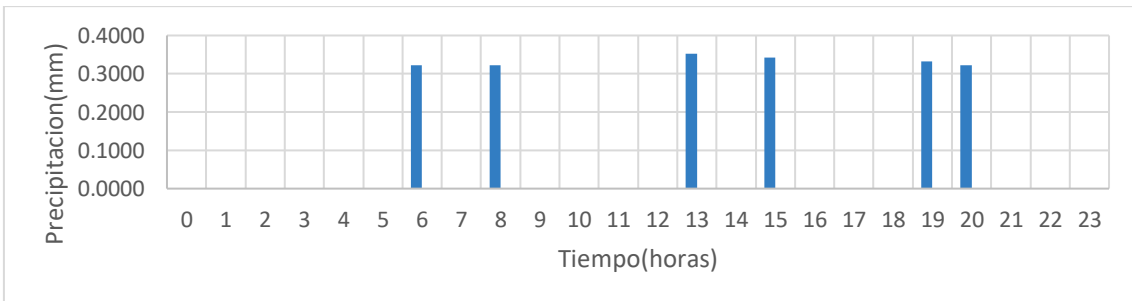


Figura 99. Patrón de precipitación del mes de junio correspondiente a la estación Sayausi PTAP.

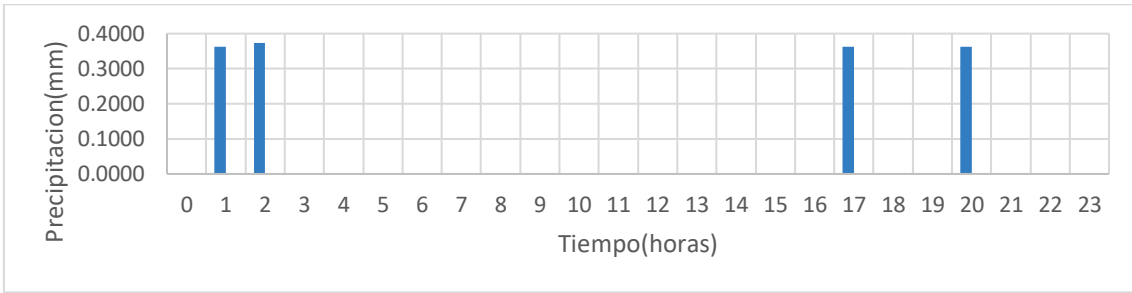


Figura 100. Patrón de precipitación del mes de julio correspondiente a la estación Sayausi PTAP.



Figura 101. Patrón de precipitación del mes de agosto correspondiente a la estación Sayausi PTAP.

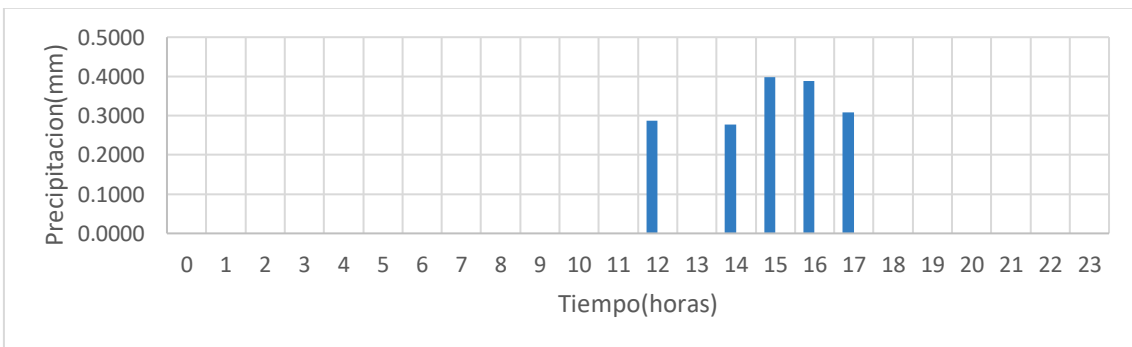


Figura 102. Patrón de precipitación del mes de septiembre correspondiente a la estación Sayausi PTAP.

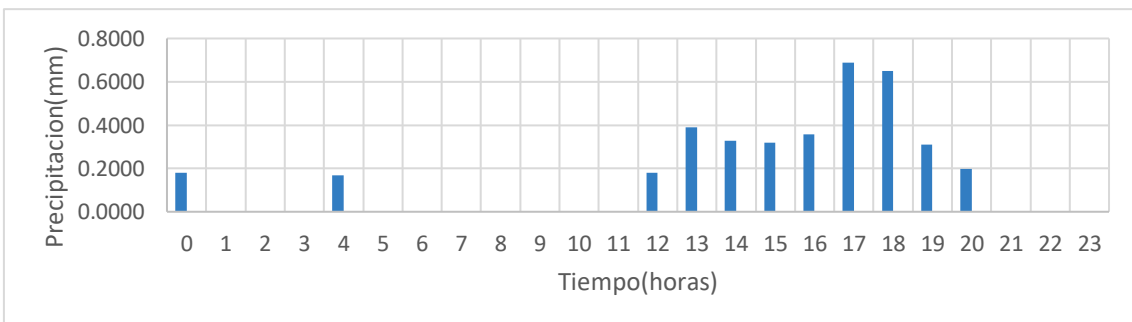


Figura 103. Patrón de precipitación del mes de octubre correspondiente a la estación Sayausi PTAP.

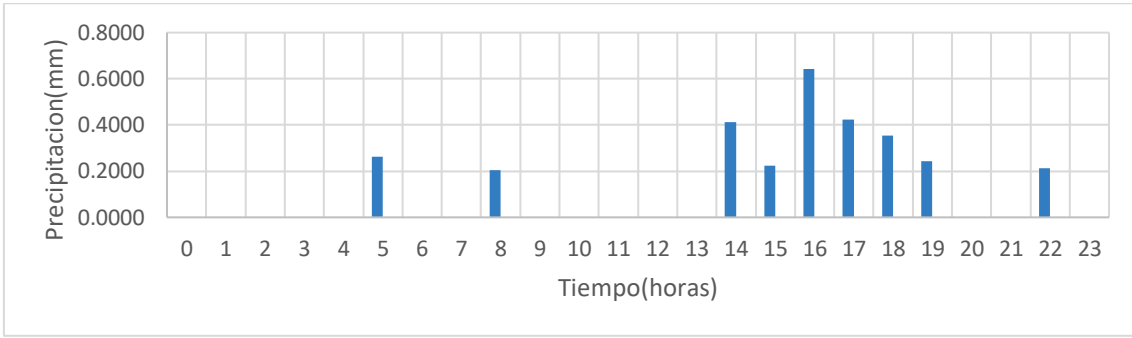


Figura 104. Patrón de precipitación del mes de diciembre correspondiente a la estación Sayausi PTAP.



Figura 105. Patrón de precipitación del mes de enero correspondiente a la estación Ucubamba.



Figura 106. Patrón de precipitación del mes de febrero correspondiente a la estación Ucubamba.

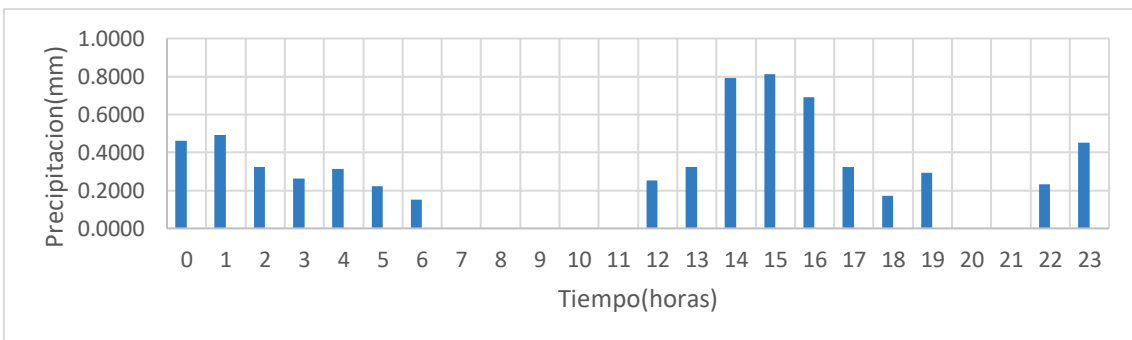


Figura 107. Patrón de precipitación del mes de marzo correspondiente a la estación Ucubamba.

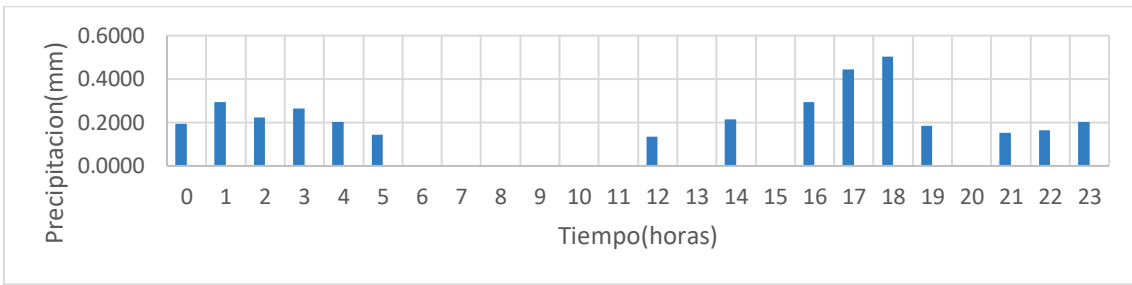


Figura 108. Patrón de precipitación del mes de abril correspondiente a la estación Ucubamba.

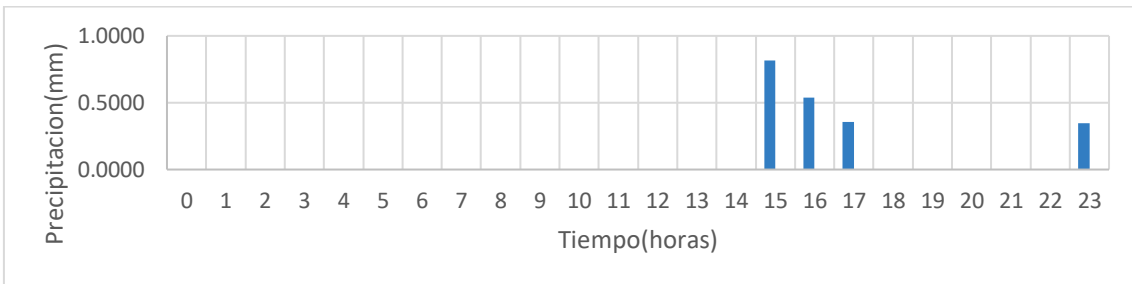


Figura 109. Patrón de precipitación del mes de mayo correspondiente a la estación Ucubamba.

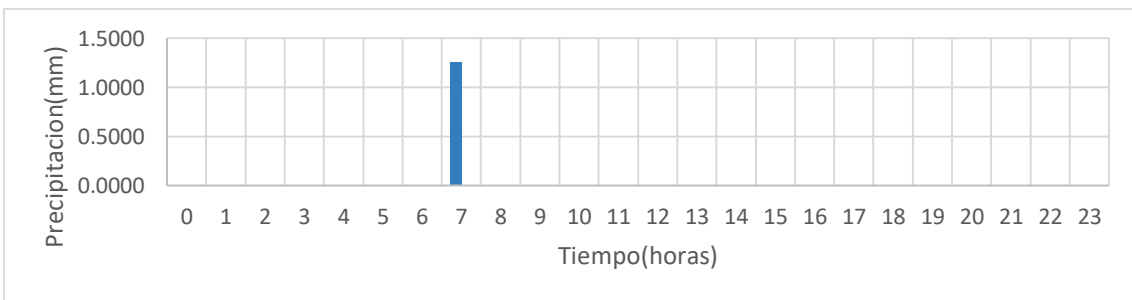


Figura 110. Patrón de precipitación del mes de junio correspondiente a la estación Ucubamba.

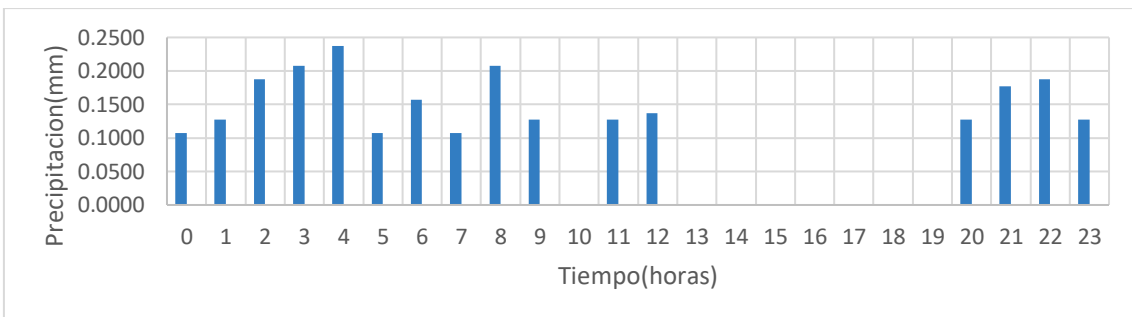


Figura 111. Patrón de precipitación del mes de julio correspondiente a la estación Ucubamba.

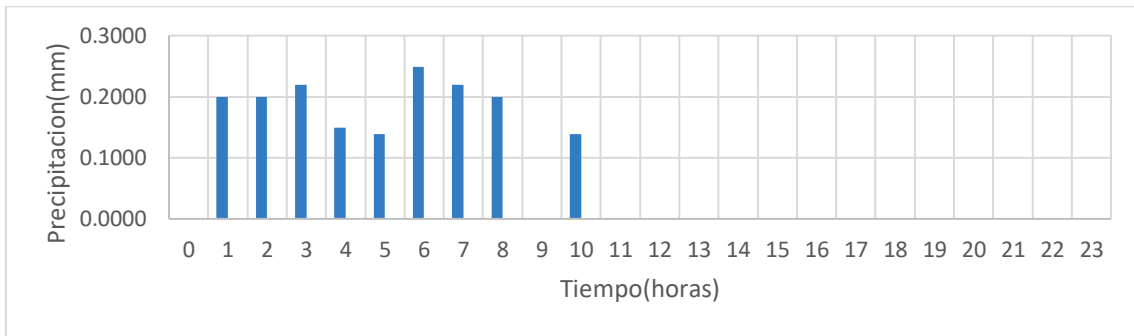


Figura 112. Patrón de precipitación del mes de agosto correspondiente a la estación Ucubamba.

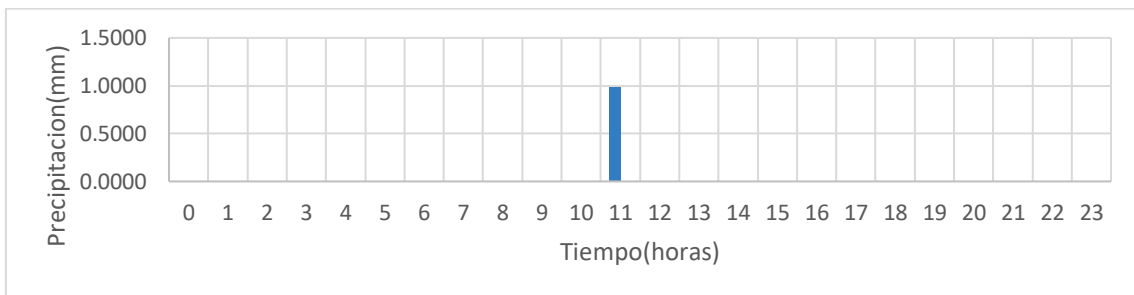


Figura 113. Patrón de precipitación del mes de septiembre correspondiente a la estación Ucubamba.



Figura 114. Patrón de precipitación del mes de octubre correspondiente a la estación Ucubamba.

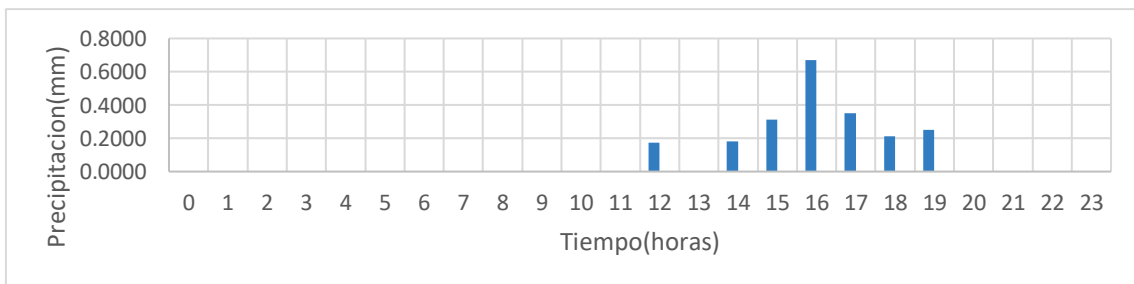


Figura 115. Patrón de precipitación del mes de noviembre correspondiente a la estación Ucubamba



Anexo 2. Validación del método de desagregación de temperatura diaria en horaria.

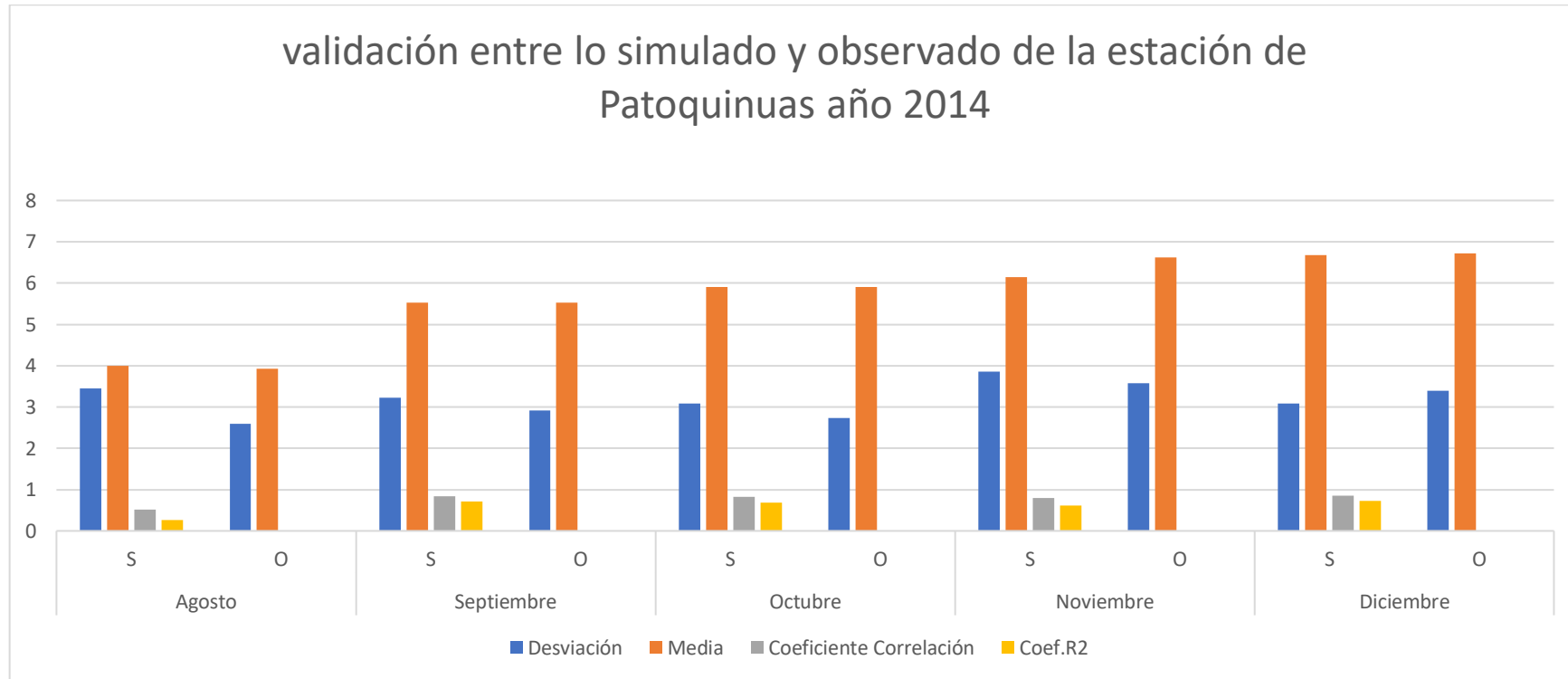


Figura 116. Resultados de la validación del método de desagregación de Temperatura diaria para la estación de Patoquinas de la cuenca del rio Tomebamba.

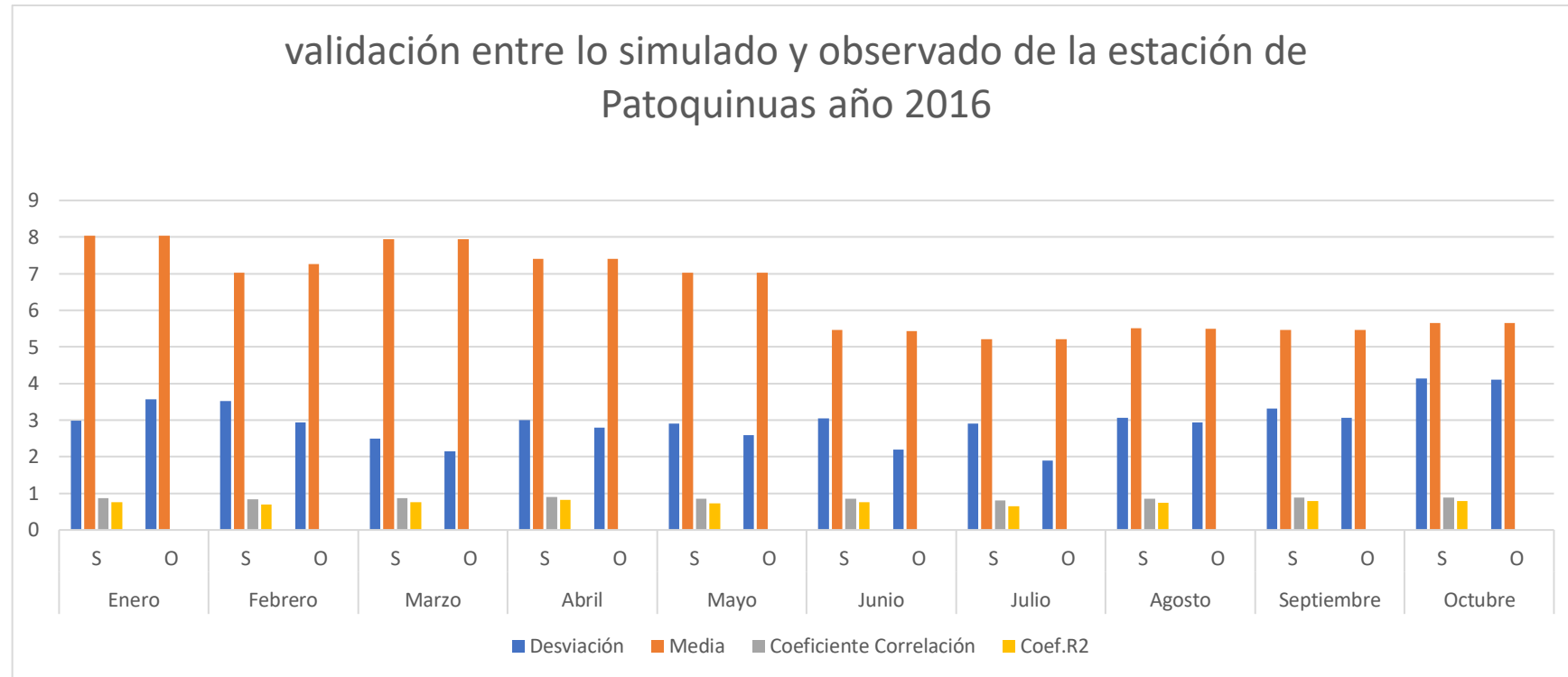


Figura 117. Resultados de la validación del método de desagregación de Temperatura diaria para la estación de Patoquinuas de la cuenca del rio Tomebamba.

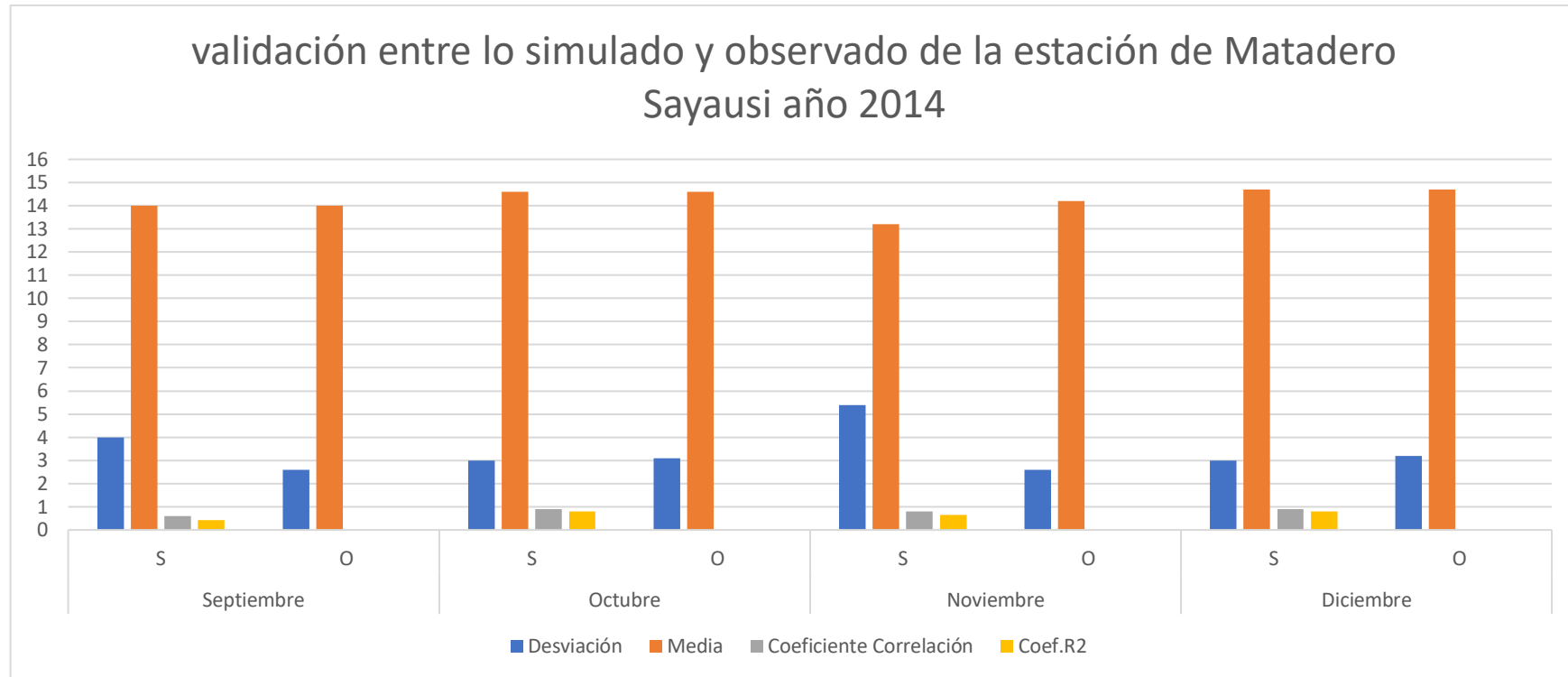


Figura 118. Resultados de la validación del método de desagregación de Temperatura diaria para la estación de Matadero Sayausi de la cuenca del río Tomebamba.

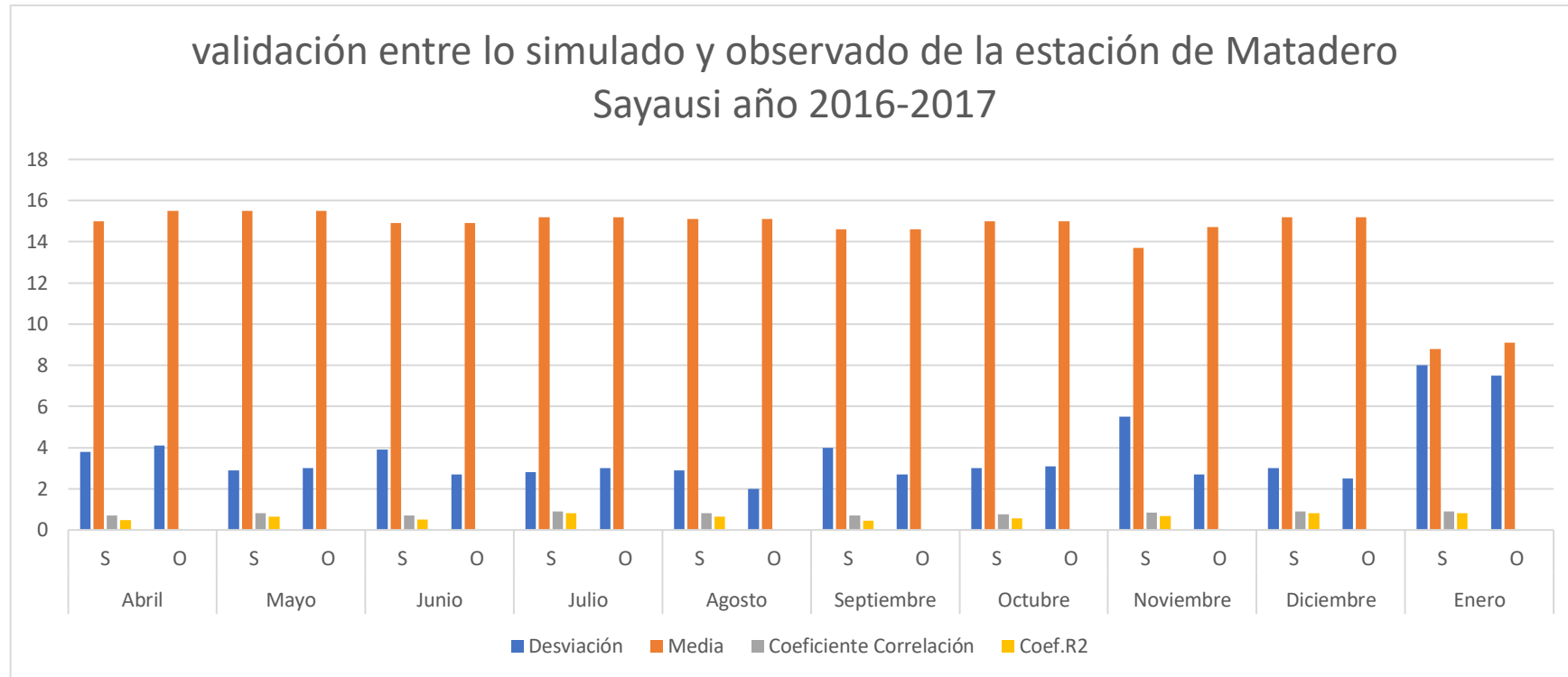


Figura 119. Resultados de la validación del método de desagregación de Temperatura diaria para la estación de Matadero Sayausi de la cuenca del río Tomebamba.



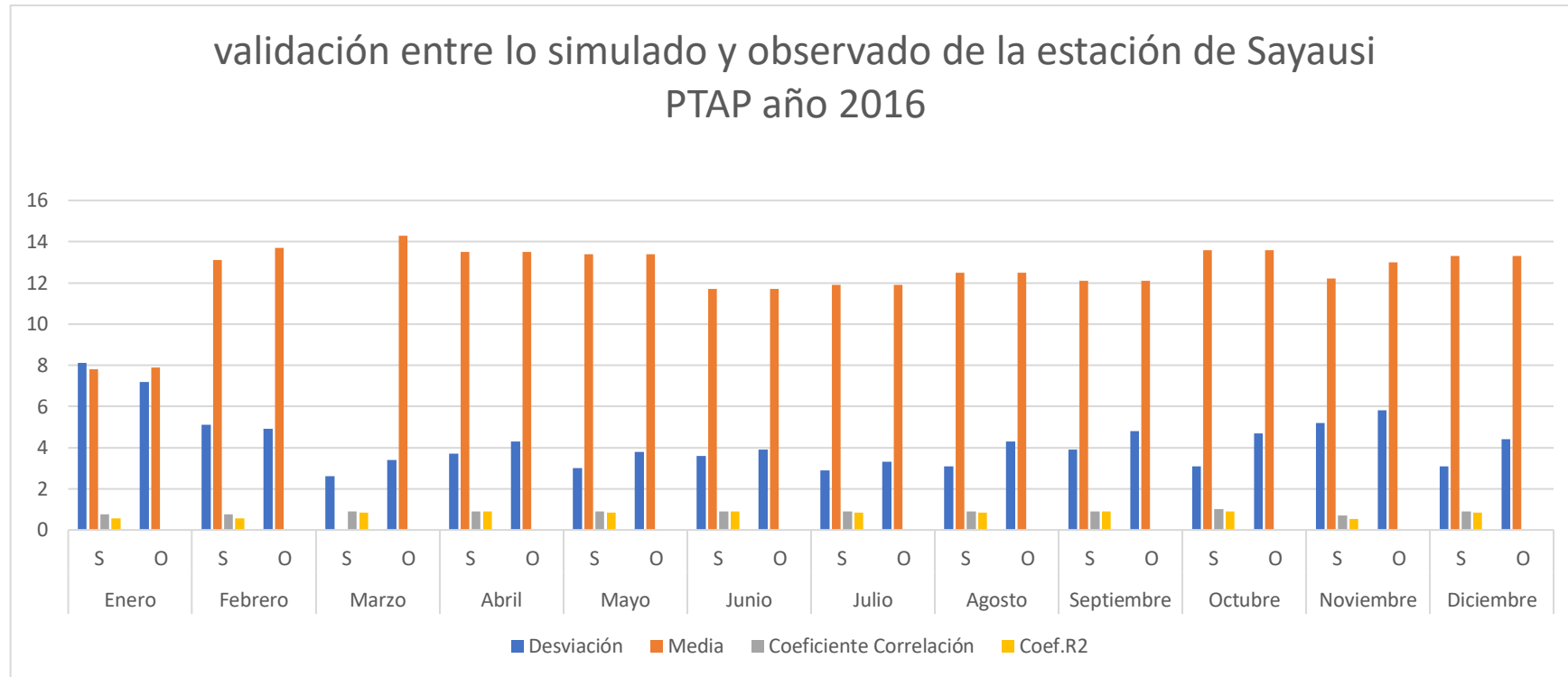


Figura 120. Resultados de la validación del método de desagregación de Temperatura diaria para la estación de Sayausi PTAP de la cuenca del rio Tomebamba.

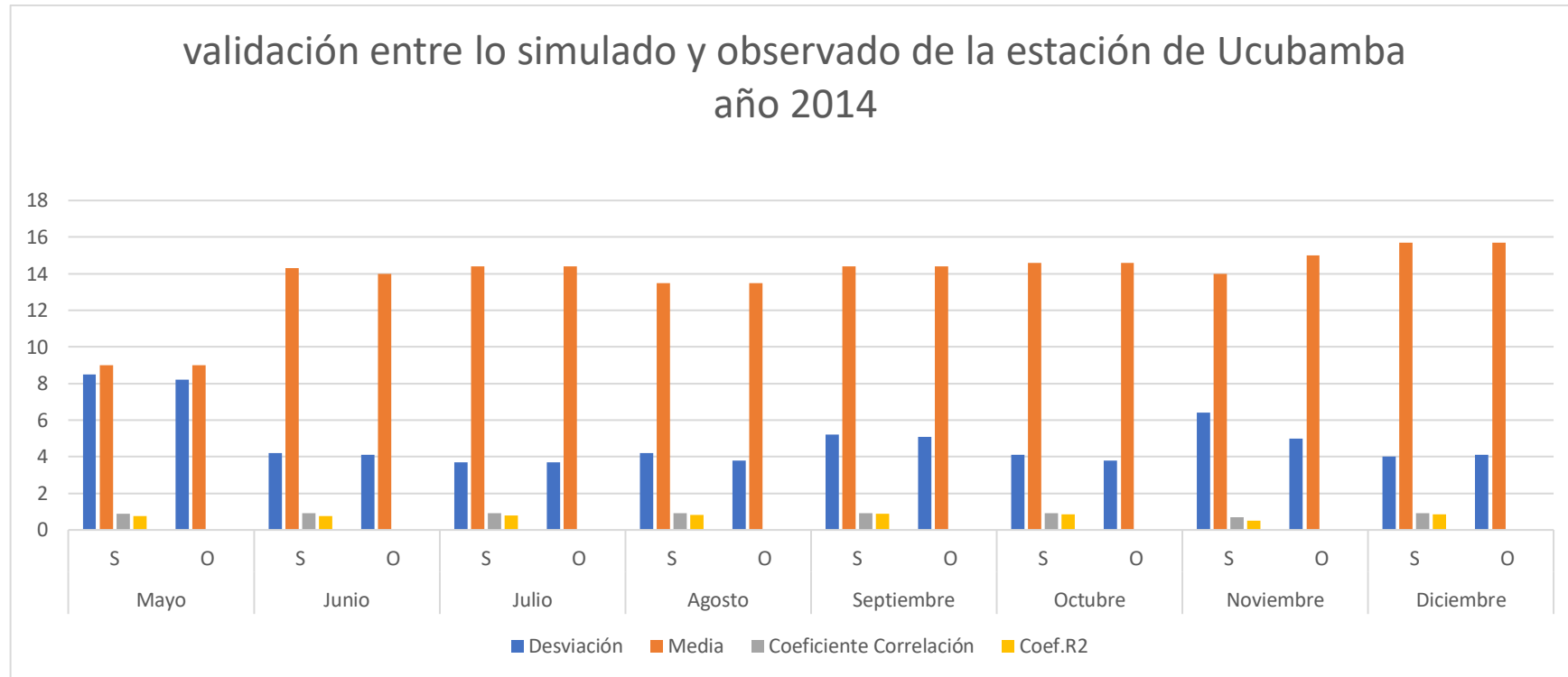


Figura 121. Resultados de la validación del método de desagregación de Temperatura diaria para la estación de Ucubamba de la cuenca del rio Tomebamba.



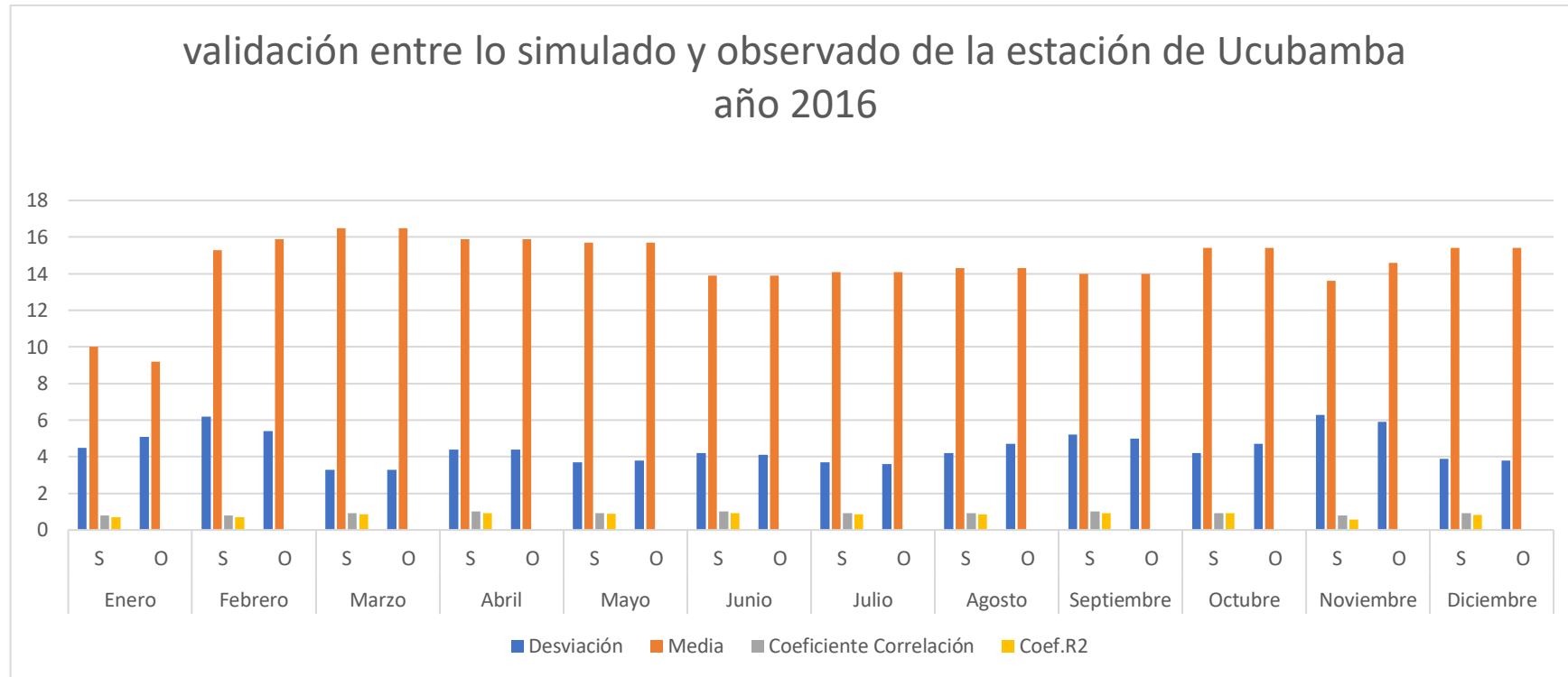


Figura 122. Resultados de la validación del método de desagregación de Temperatura diaria para la estación de Ucubamba de la cuenca del rio Tomebamba.





Anexo 3. Información de Temperatura Máxima, Media y Mínima de la zona alta, media y baja de la cuenca del Río Tomebamba.

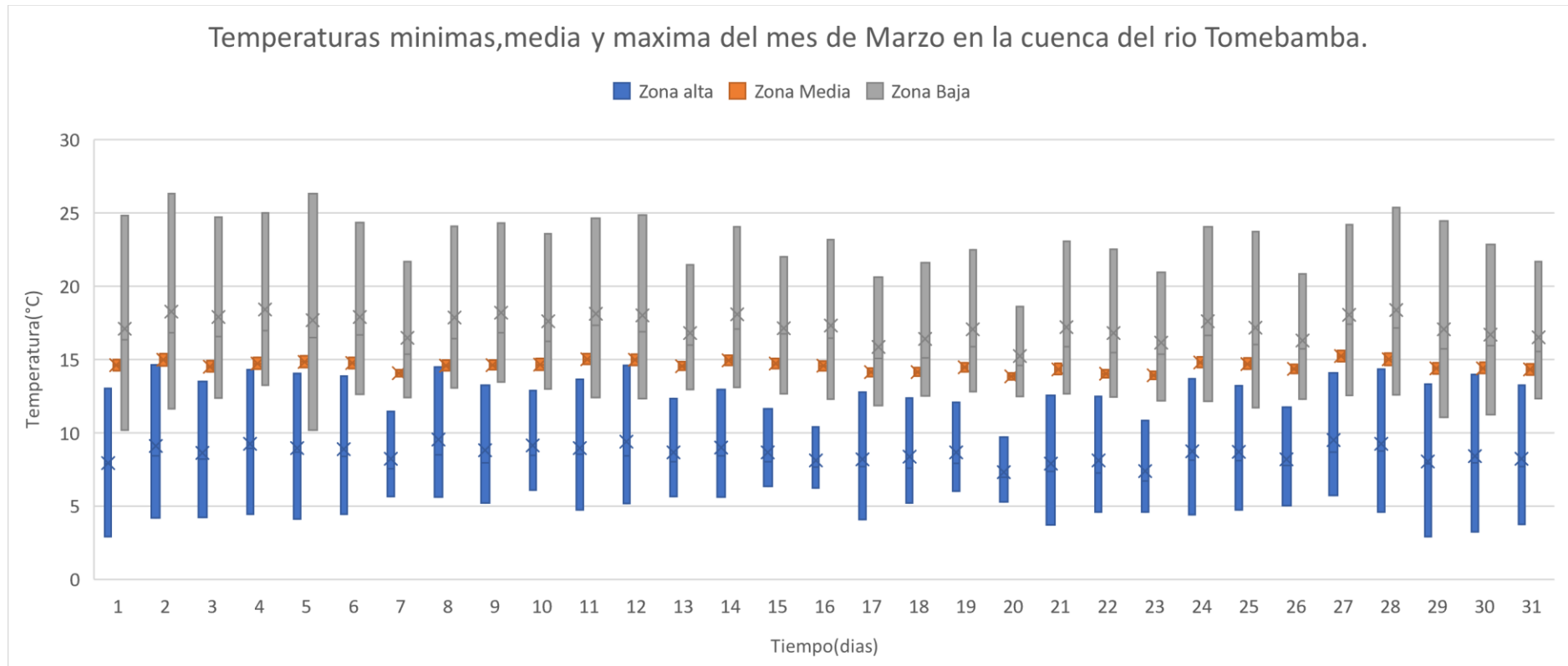


Figura 123. Valores Máximos, Mínimos y medios de Temperatura para el mes de marzo en la zona alta, media y baja de la cuenca del Río Tomebamba.



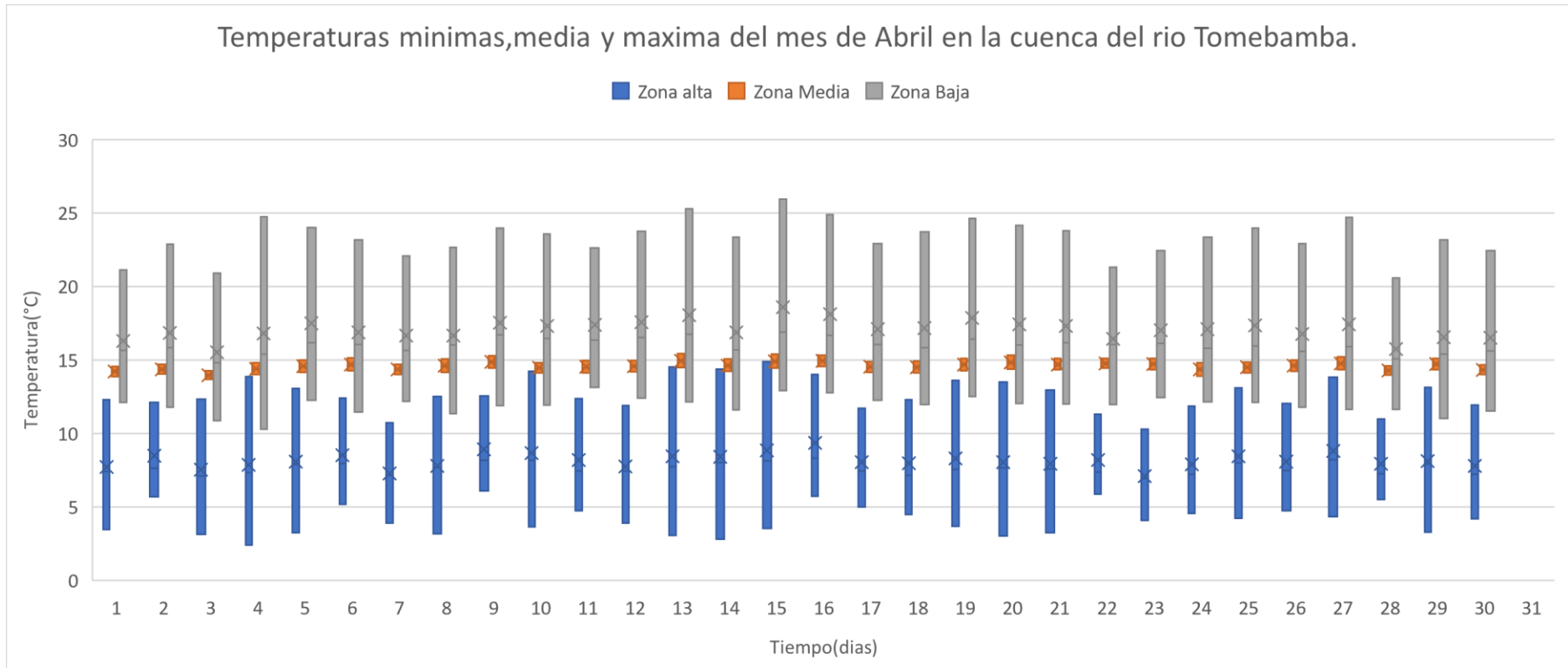


Figura 124. Valores Máximos, Mínimos y medios de Temperatura para el mes de abril en la zona alta, media y baja de la cuenca del Río Tomebamba

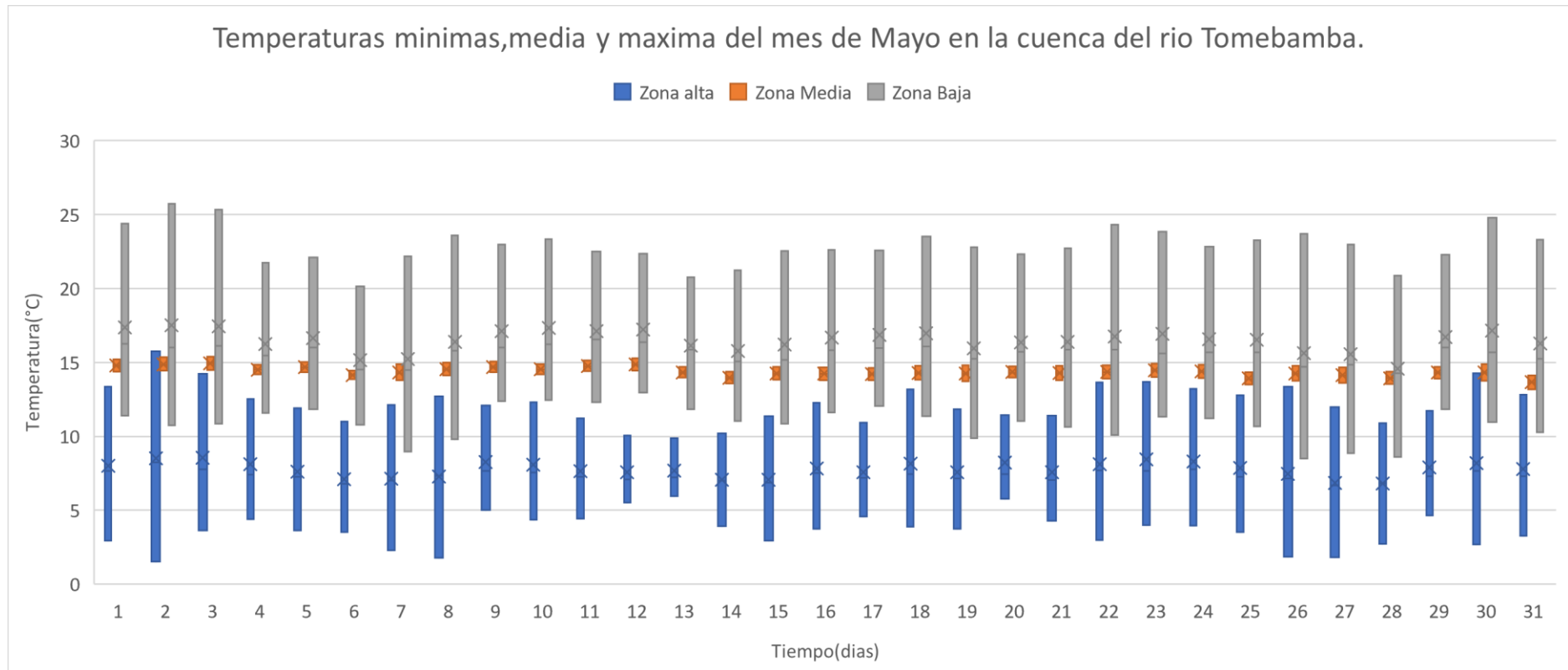


Figura 125. Valores Máximos, Mínimos y medios de Temperatura para el mes de mayo en la zona alta, media y baja de la cuenca del Río Tomebamba.

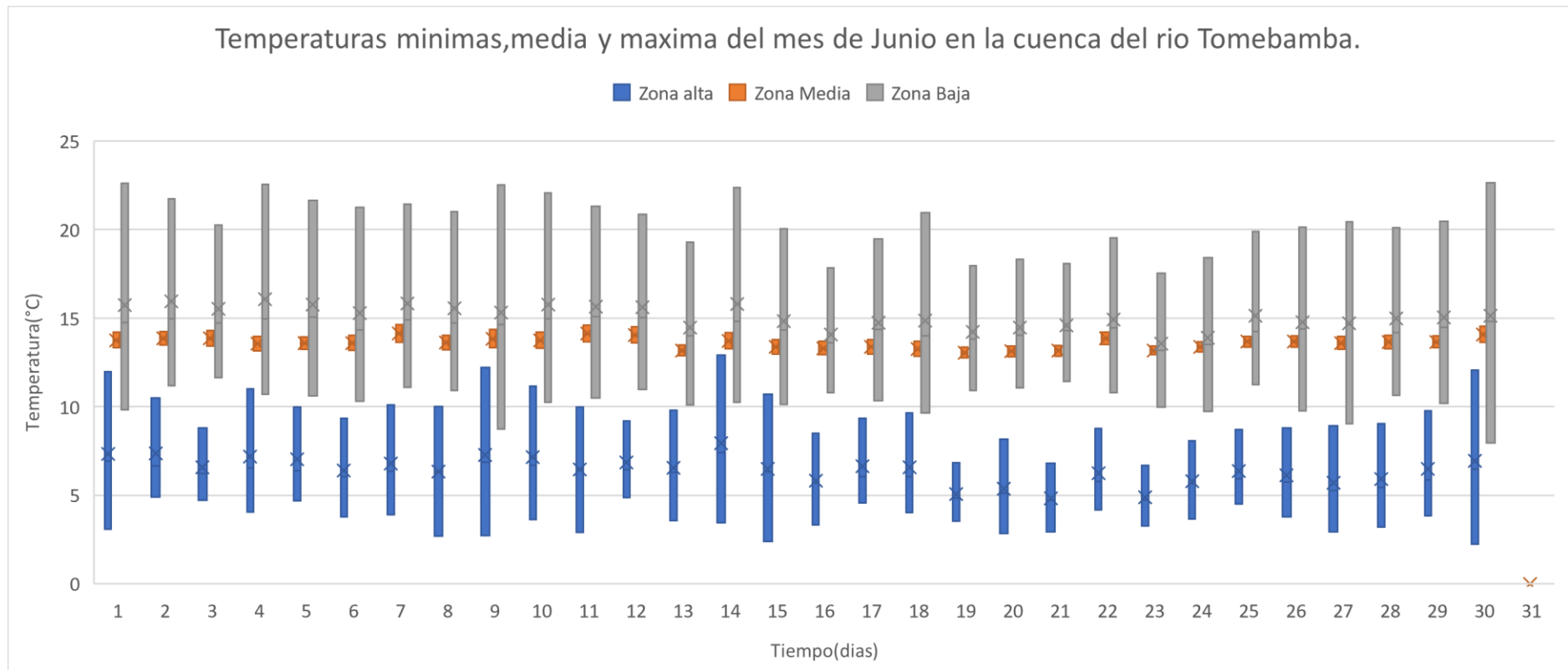


Figura 126. Valores Máximos, Mínimos y medios de Temperatura para el mes de junio en la zona alta, media y baja de la cuenca del Río Tomebamba.

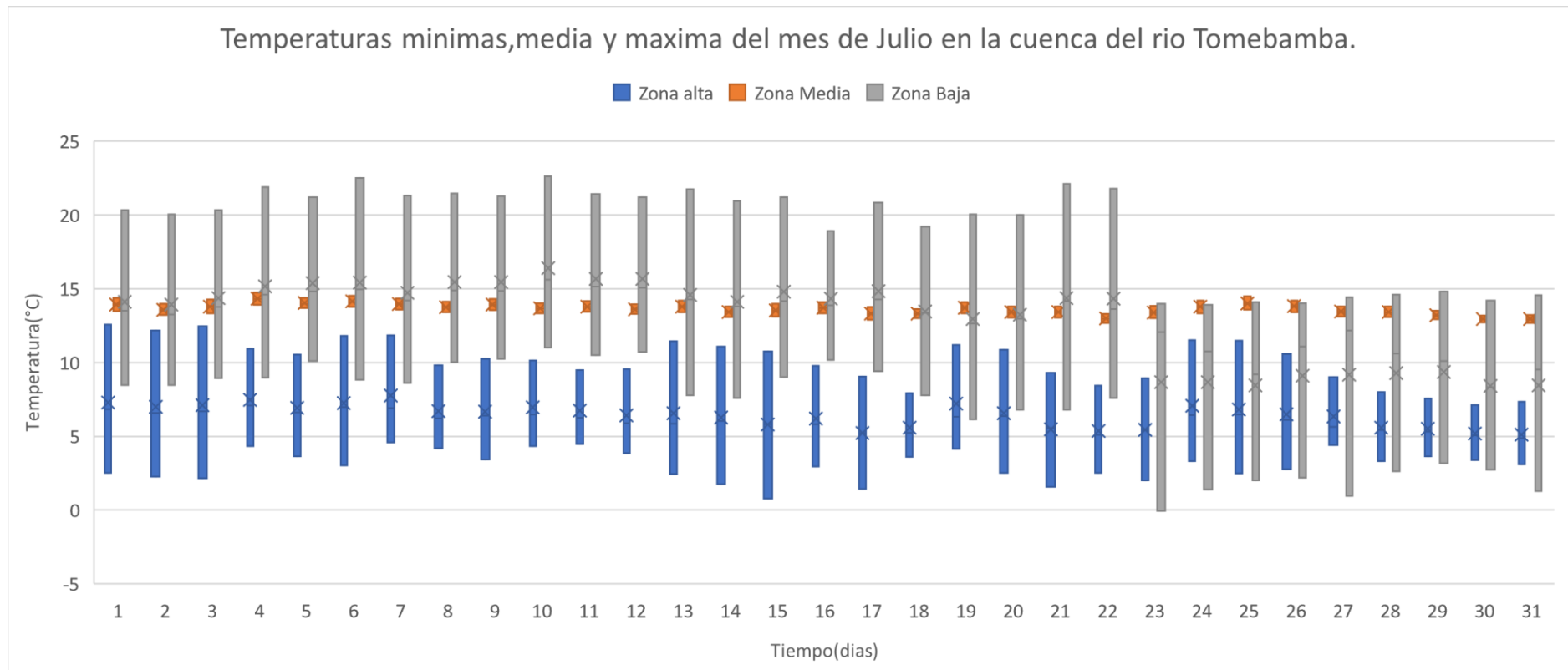


Figura 127. Valores Máximos, Mínimos y medios de Temperatura para el mes de julio en la zona alta, media y baja de la cuenca del Río Tomebamba.



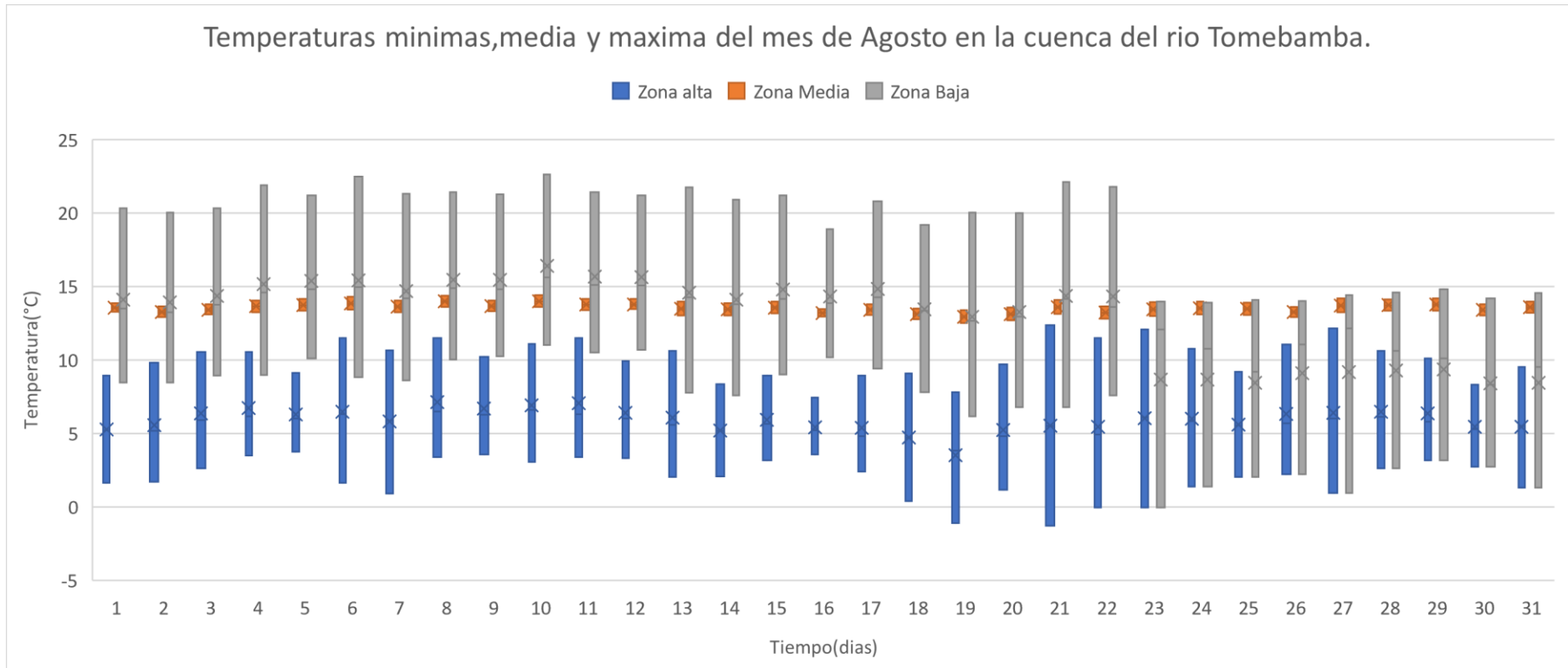


Figura 128. Valores Máximos, Mínimos y medios de Temperatura para el mes de agosto en la zona alta, media y baja de la cuenca del Río Tomebamba.

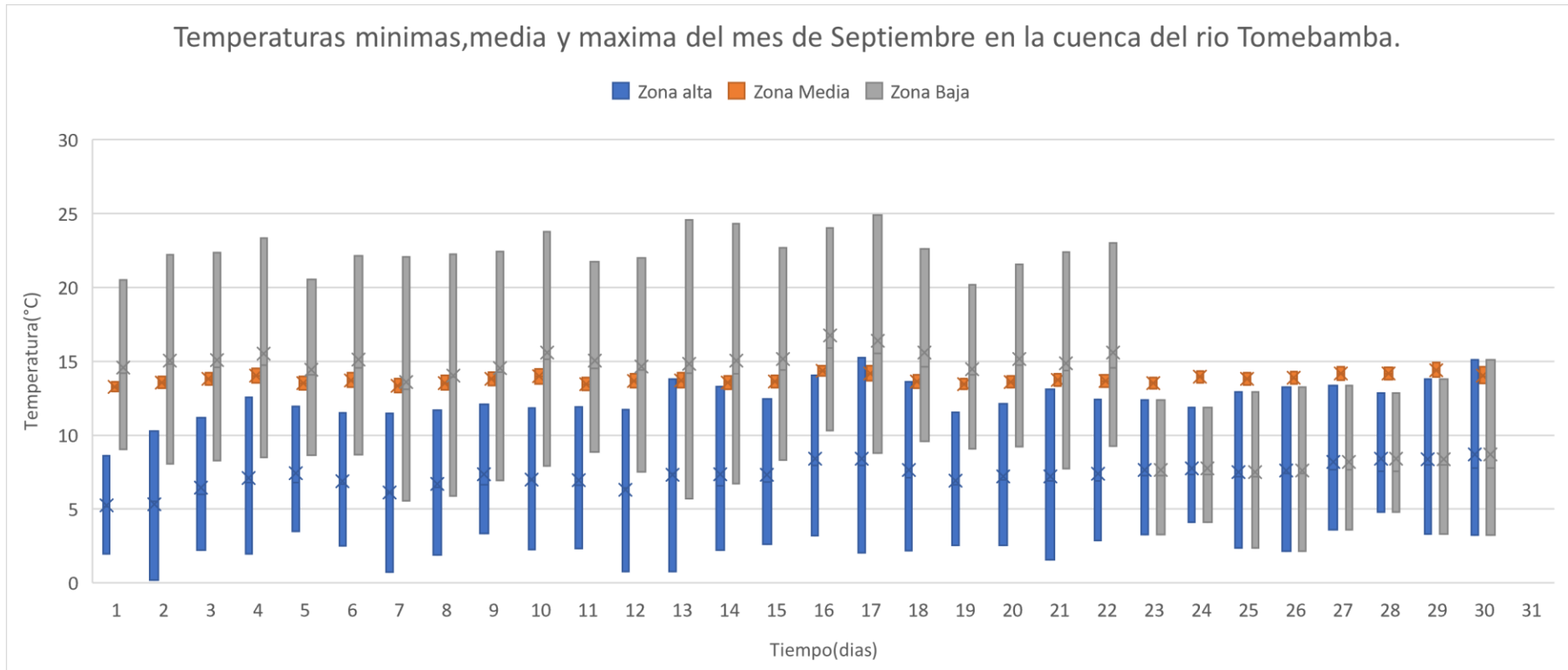


Figura 129. Valores Máximos, Mínimos y medios de Temperatura para el mes de septiembre en la zona alta, media y baja de la cuenca del Río Tomebamba.

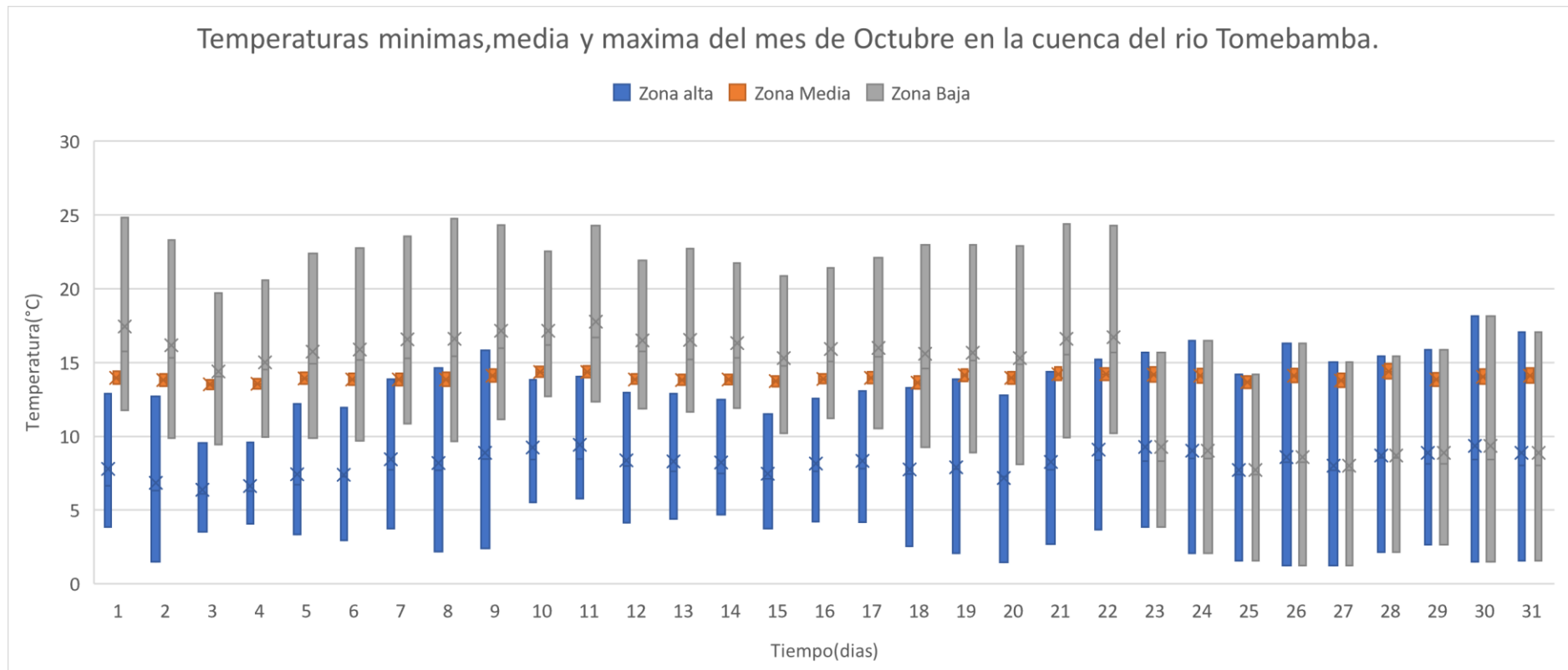


Figura 130. Valores Máximos, Mínimos y medios de Temperatura para el mes de octubre en la zona alta, media y baja de la cuenca del Río Tomebamba.

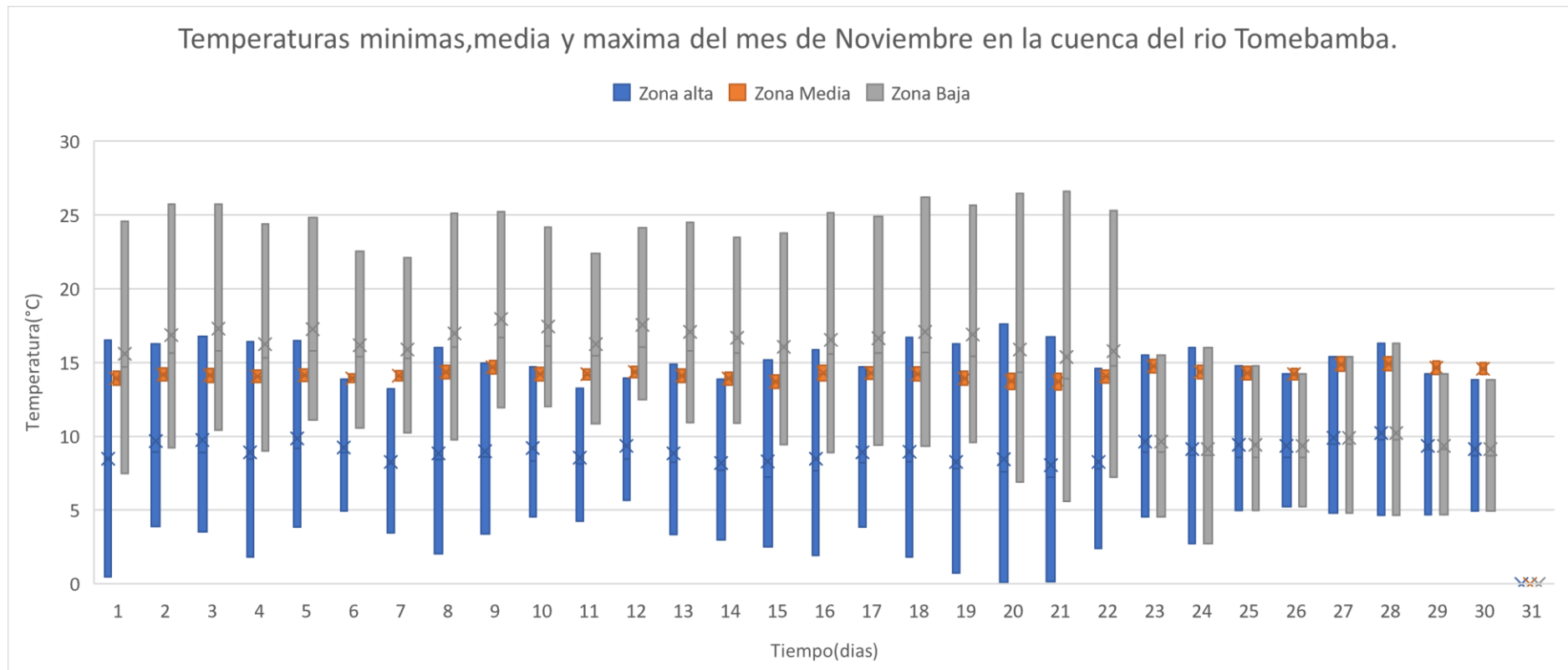


Figura 131. Valores Máximos, Mínimos y medios de Temperatura para el mes de noviembre en la zona alta, media y baja de la cuenca del Río Tomebamba.

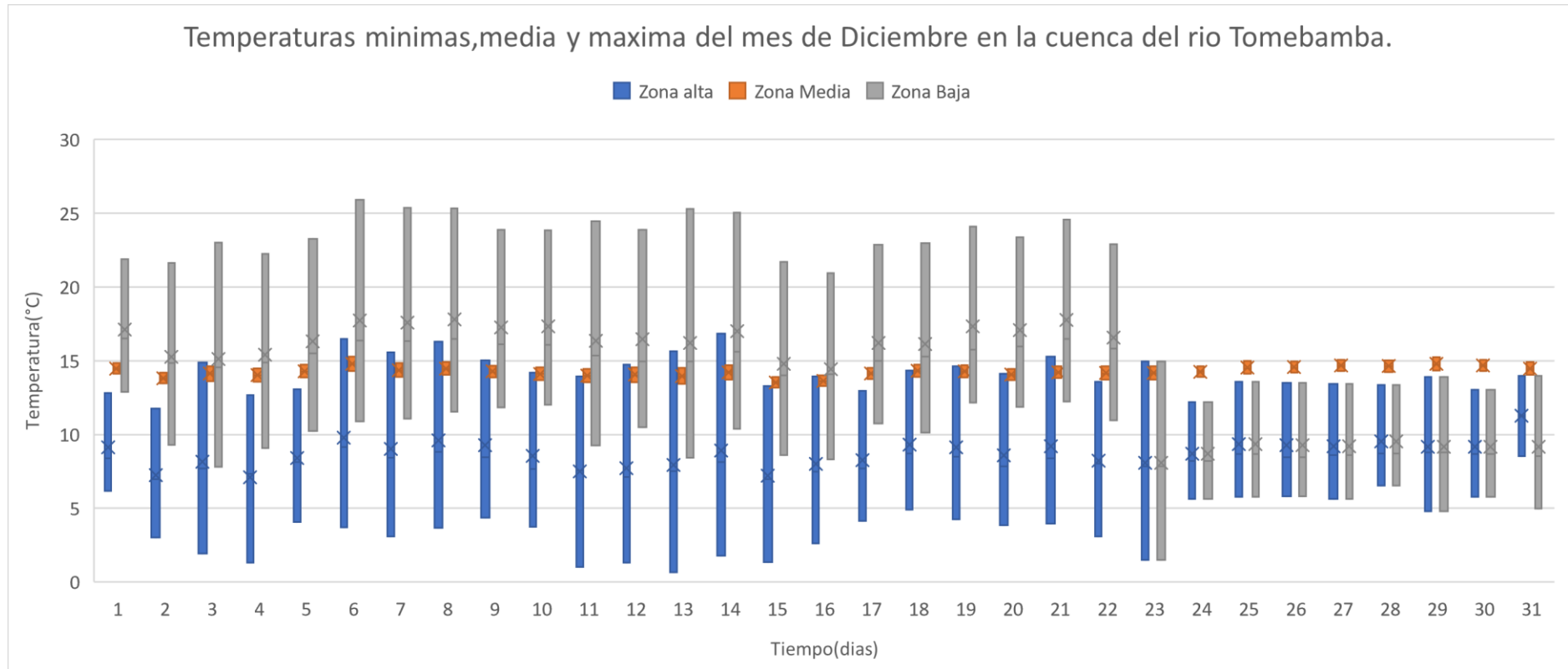


Figura 132. Valores Máximos, Mínimos y medios de Temperatura para el mes de diciembre en la zona alta, media y baja de la cuenca del Río Tomebamba.

Anexo 4. Gráficas de Tendencias para series históricas correspondientes a las estaciones de Surucucho y Chirimachay en la zona alta de la cuenca del Río Tomebamba.

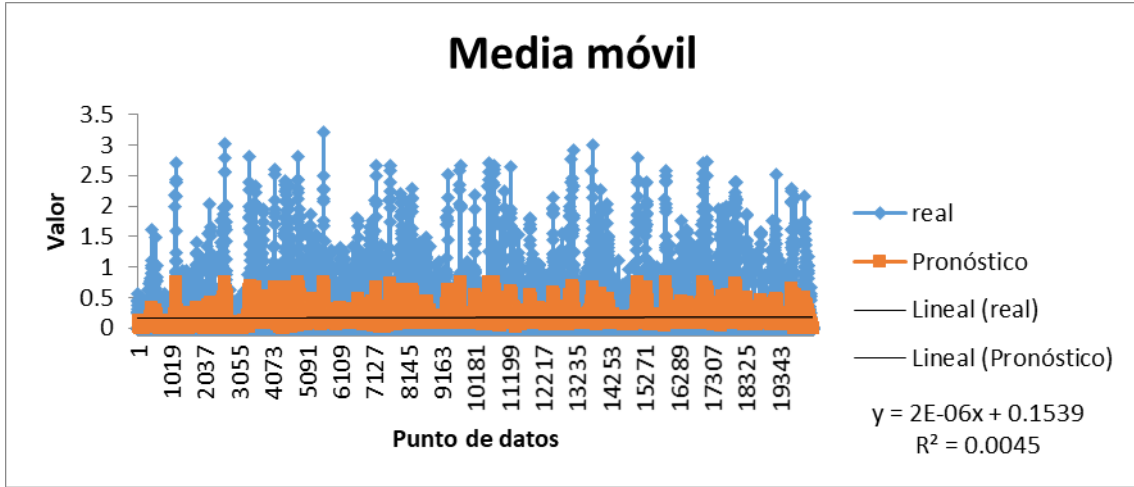


Figura 133. Media móvil de información histórica en la estación de Surucucho para el mes de febrero, tendencia y ecuación.

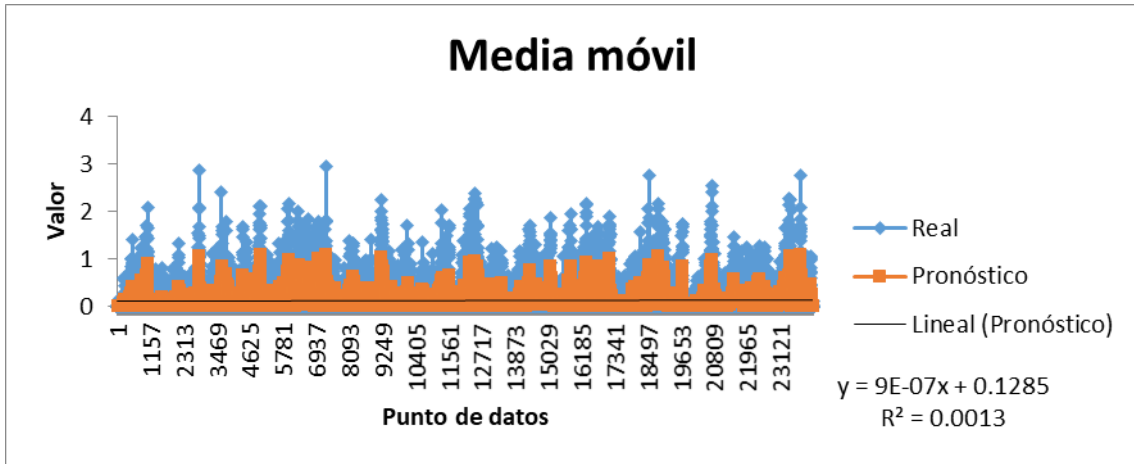


Figura 134. Media móvil de información histórica en la estación de Surucucho para el mes de marzo, tendencia y ecuación.

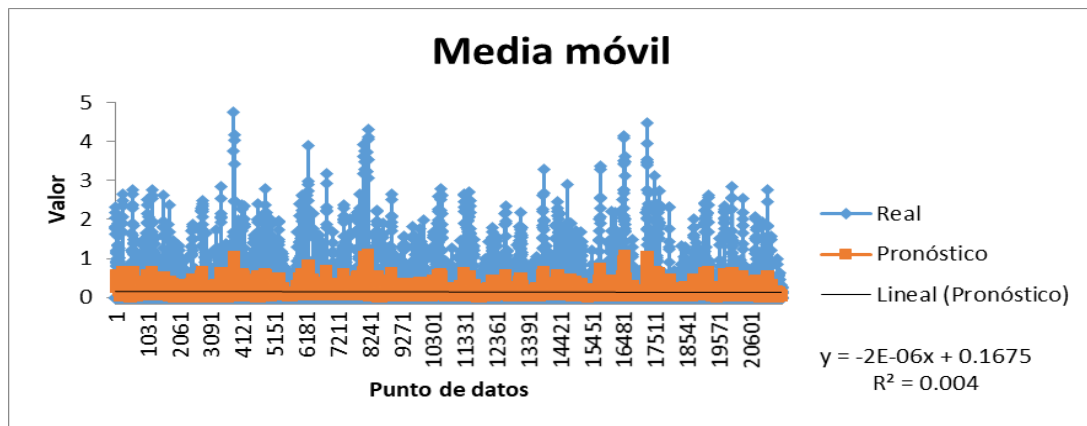


Figura 135. Media móvil de información histórica en la estación de Surucucho para el mes de abril, tendencia y ecuación.

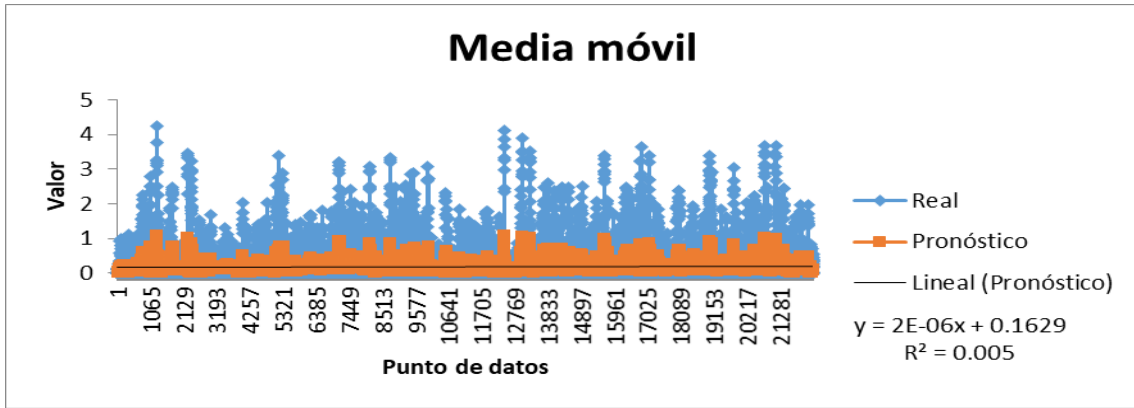


Figura 136. Media móvil de información histórica en la estación de Surucucho para el mes de mayo, tendencia y ecuación.

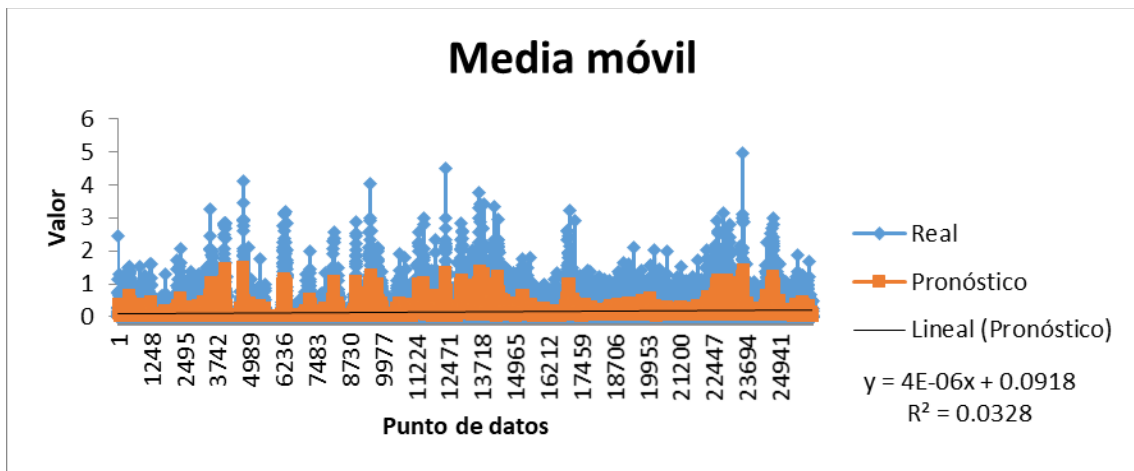


Figura 137. Media móvil de información histórica en la estación de Surucucho para el mes de junio, tendencia y ecuación.

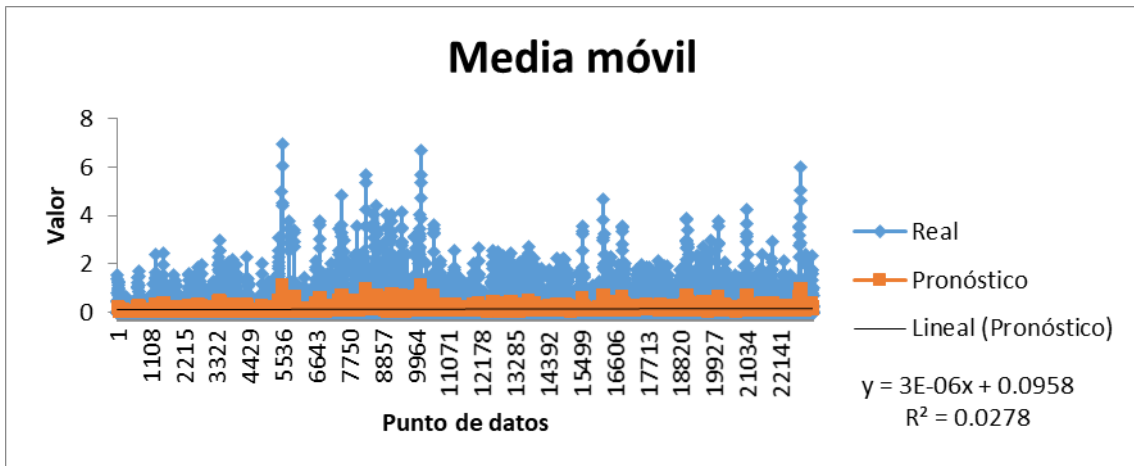


Figura 138. Media móvil de información histórica en la estación de Surucucho para el mes de julio, tendencia y ecuación.

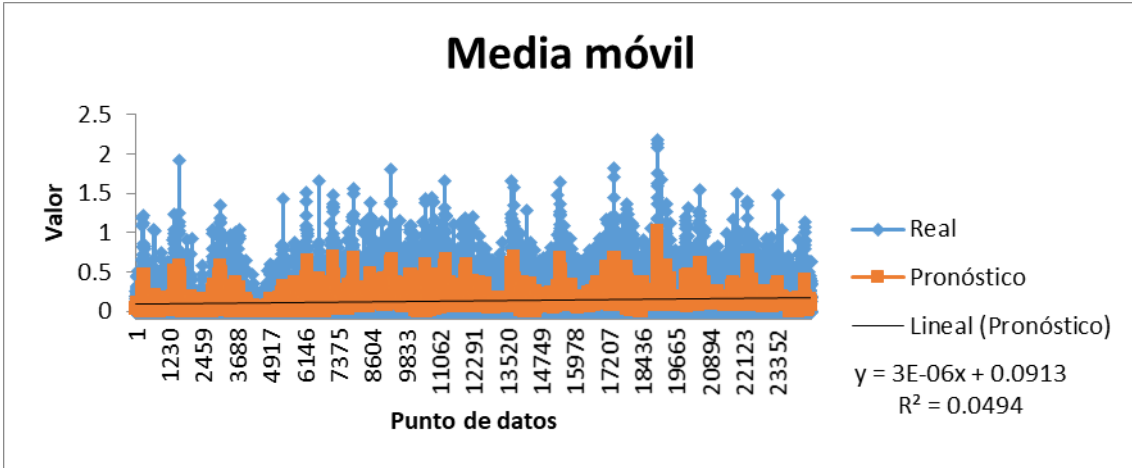


Figura 139. Media móvil de información histórica en la estación de Surucucho para el mes de agosto, tendencia y ecuación.

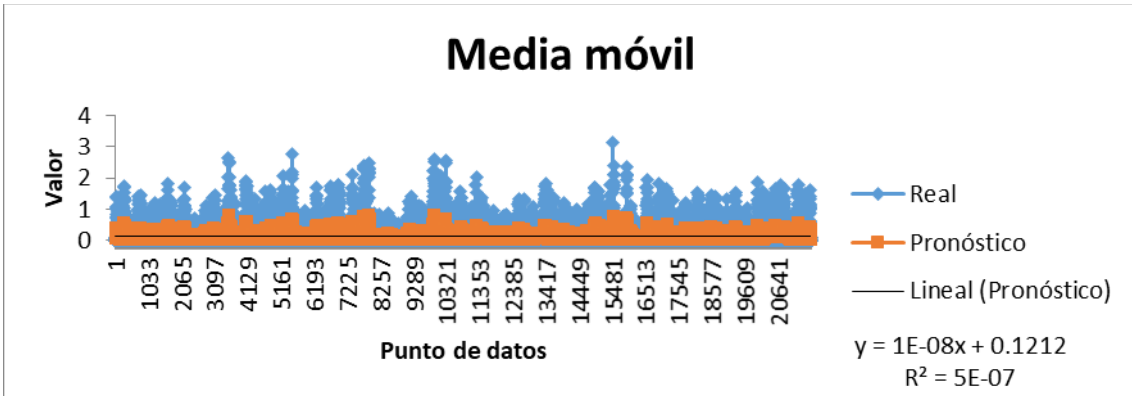


Figura 140. Media móvil de información histórica en la estación de Surucucho para el mes de septiembre, tendencia y ecuación.

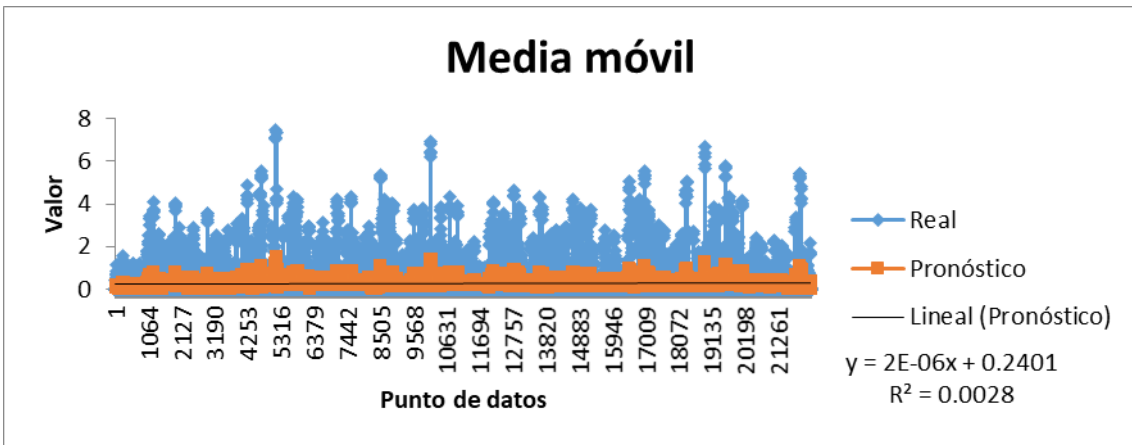


Figura 141. Media móvil de información histórica en la estación de Surucucho para el mes de octubre, tendencia y ecuación.

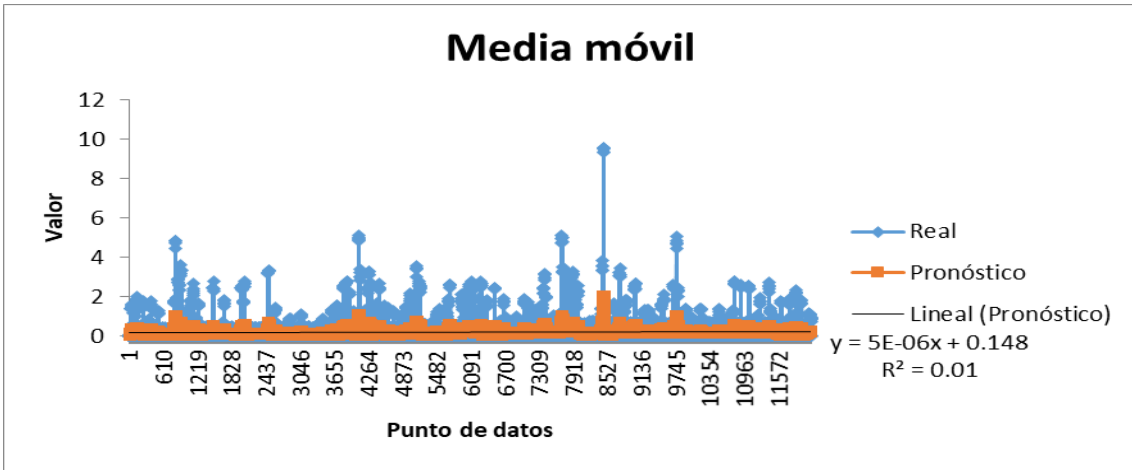


Figura 142. Media móvil de información histórica en la estación de Surucucho para el mes de noviembre, tendencia y ecuación.

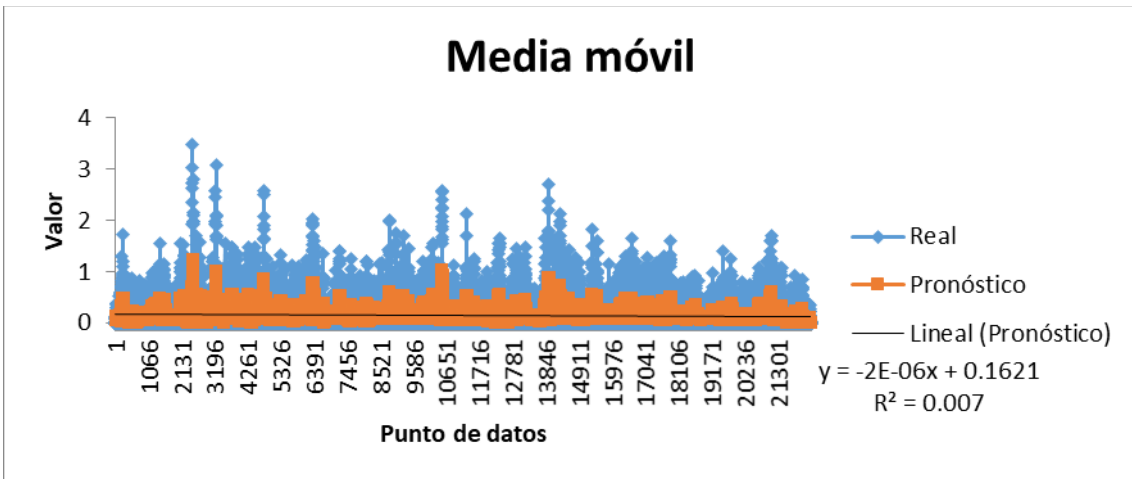


Figura 143. Media móvil de información histórica en la estación de Surucucho para el mes de diciembre, tendencia y ecuación.

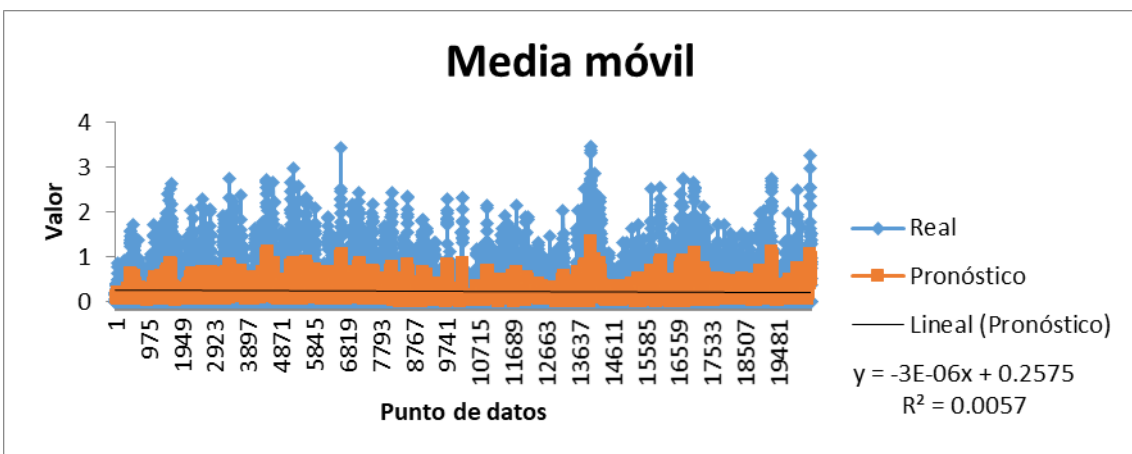


Figura 144. Media móvil de información histórica en la estación de Chirimachay para el mes de febrero, tendencia y ecuación.

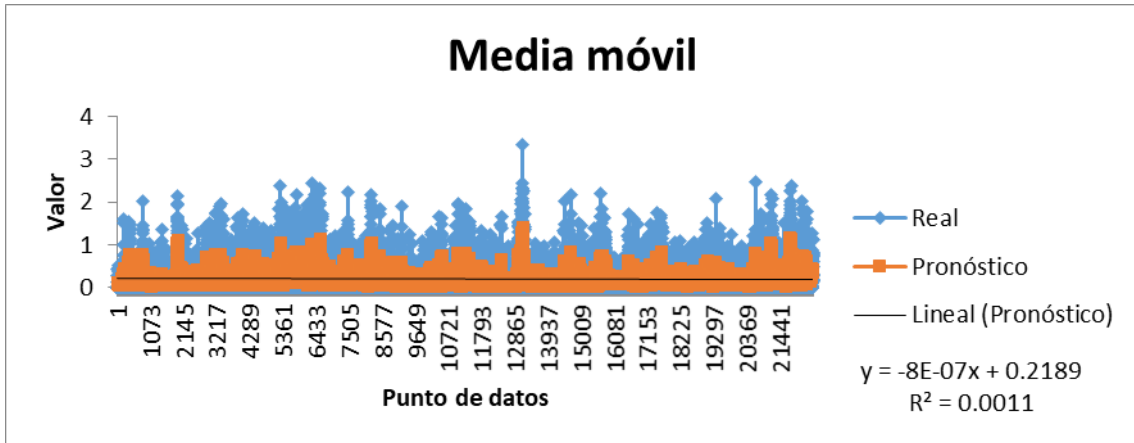


Figura 145. Media móvil de información histórica en la estación de Chirimachay para el mes de marzo, tendencia y ecuación.

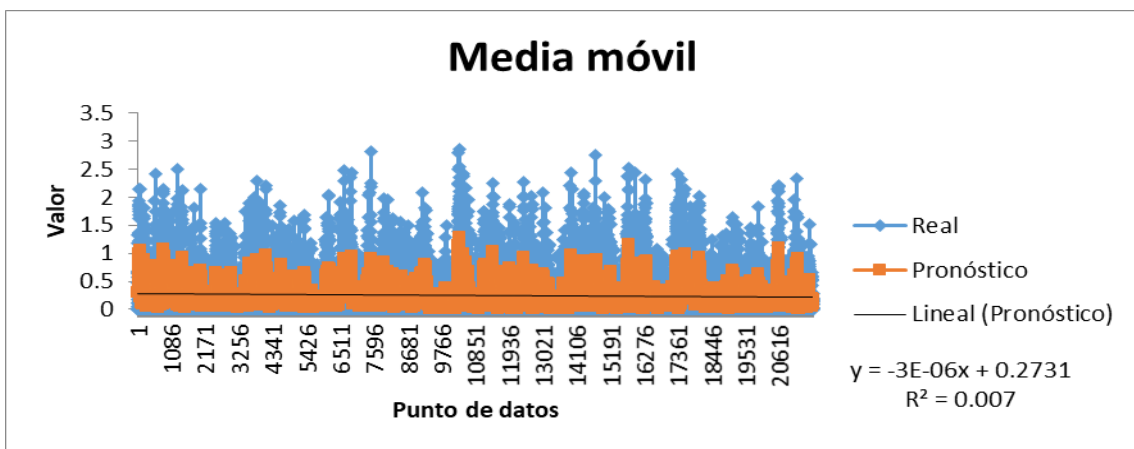


Figura 146. Media móvil de información histórica en la estación de Chirimachay para el mes de abril, tendencia y ecuación.

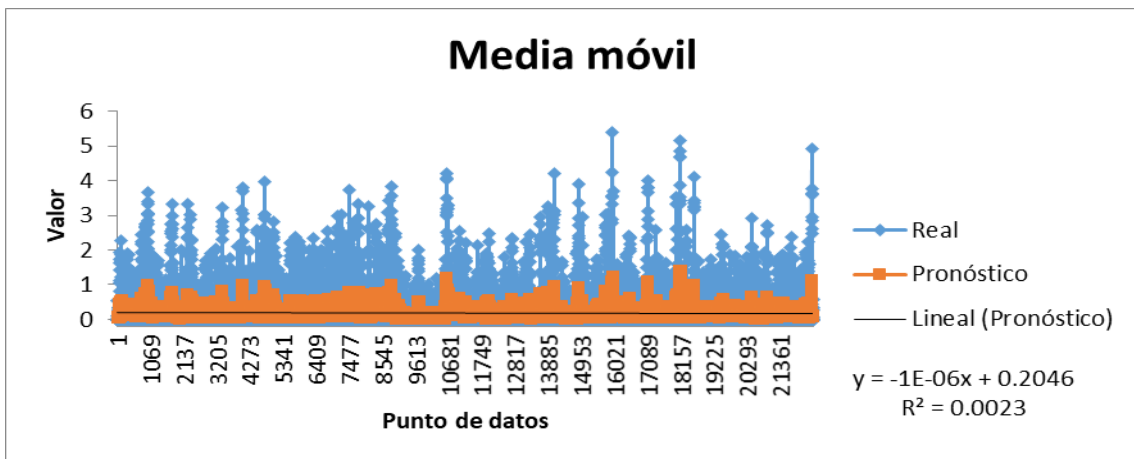


Figura 147. Media móvil de información histórica en la estación de Chirimachay para el mes de mayo, tendencia y ecuación.

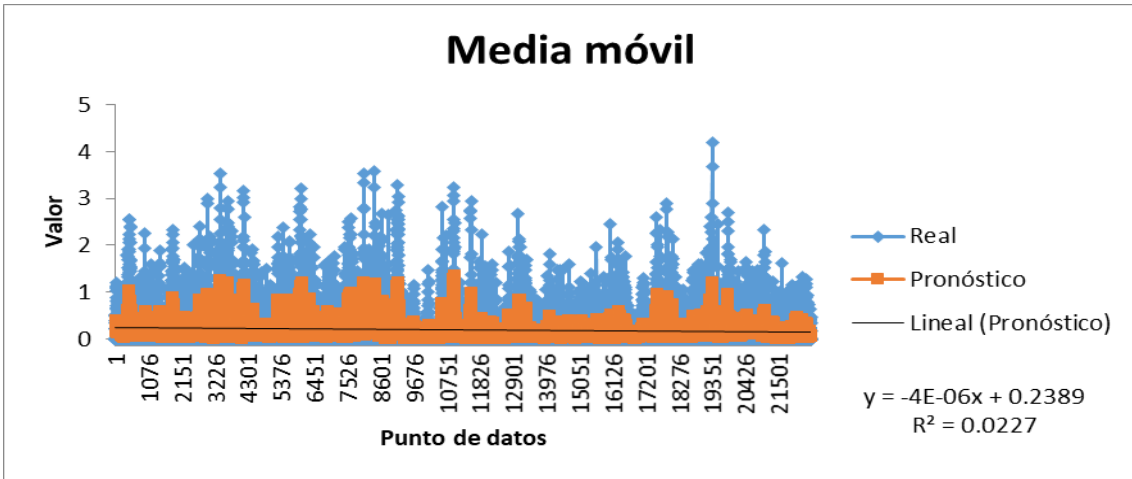


Figura 148. Media móvil de información histórica en la estación de Chirimachay para el mes de junio, tendencia y ecuación.

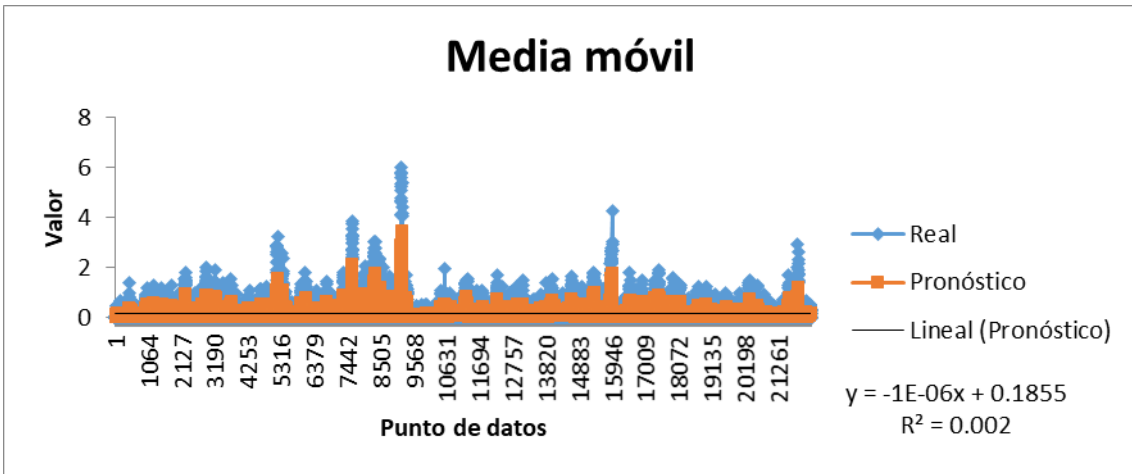


Figura 149. Media móvil de información histórica en la estación de Chirimachay para el mes de julio, tendencia y ecuación.

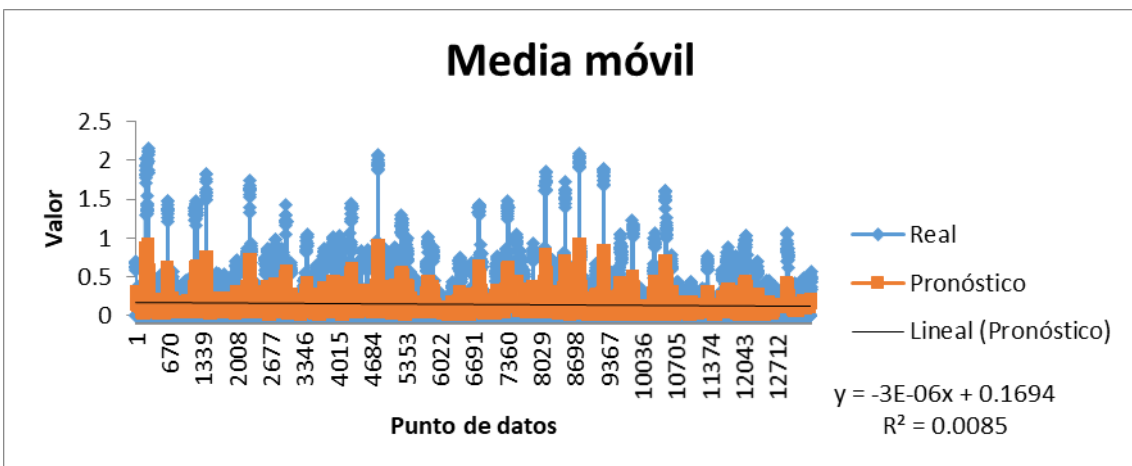


Figura 150. Media móvil de información histórica en la estación de Chirimachay para el mes de agosto, tendencia y ecuación.

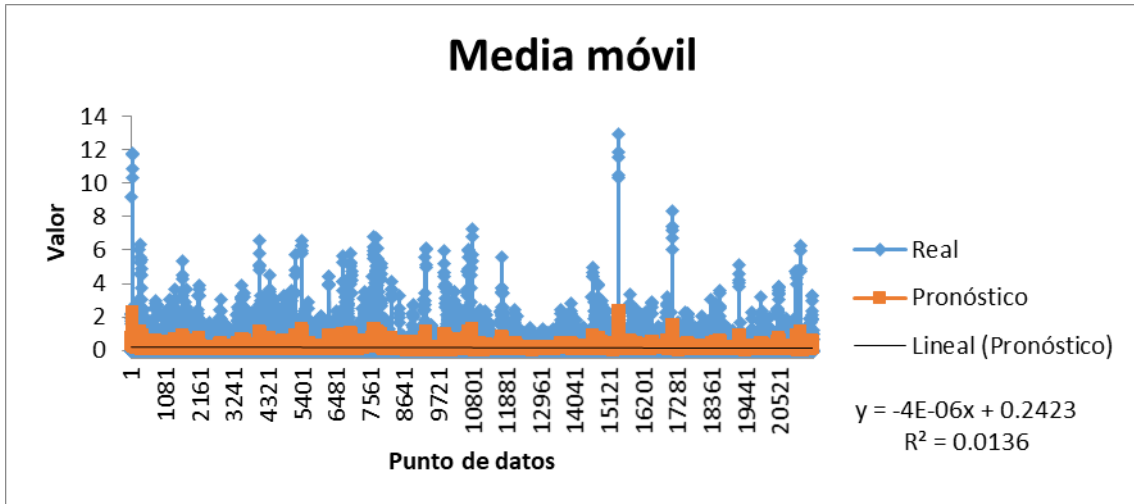


Figura 151. Media móvil de información histórica en la estación de Chirimachay para el mes de septiembre, tendencia y ecuación.

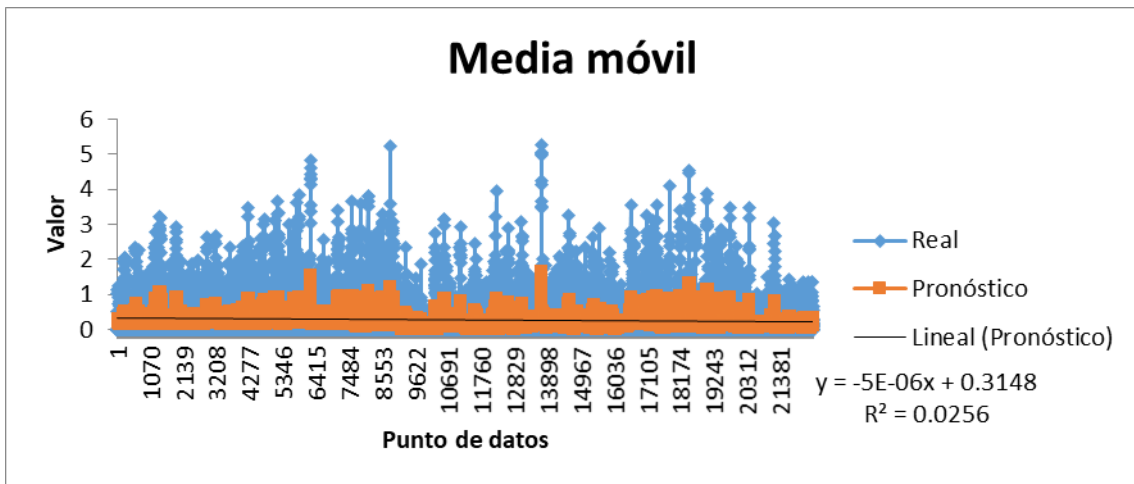


Figura 152. Media móvil de información histórica en la estación de Chirimachay para el mes de octubre, tendencia y ecuación.

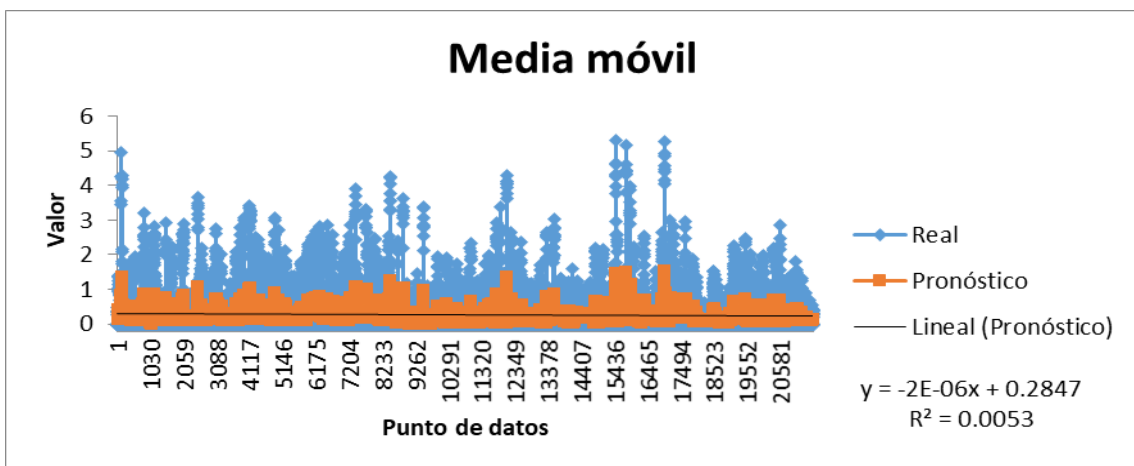


Figura 153. Media móvil de información histórica en la estación de Chirimachay para el mes de noviembre, tendencia y ecuación.

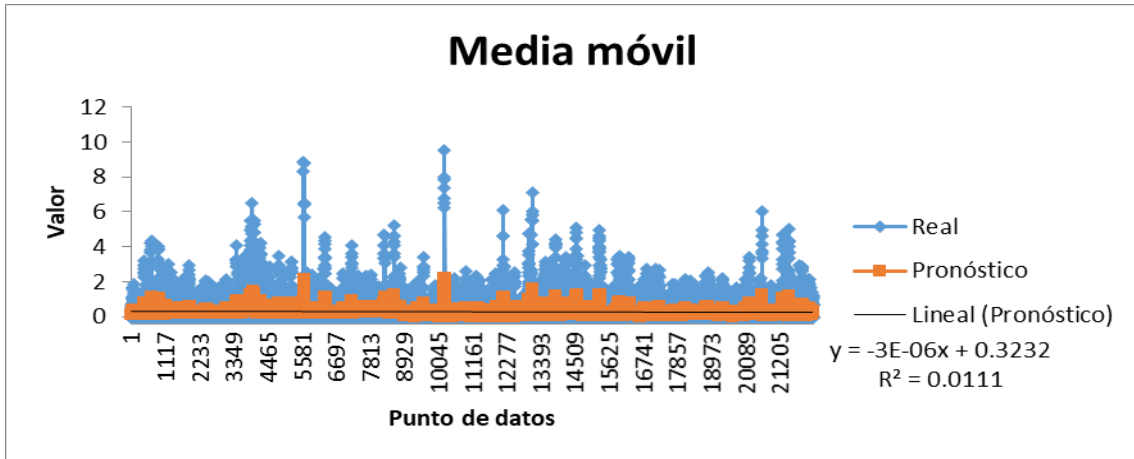


Figura 154. Media móvil de información histórica en la estación de Chirimachay para el mes de diciembre, tendencia y ecuación.

Anexo 5. Gráficas de Tendencias para series futuras correspondientes a las estaciones de Surucucho y Chirimachay en la zona alta de la cuenca del Río Tomebamba.

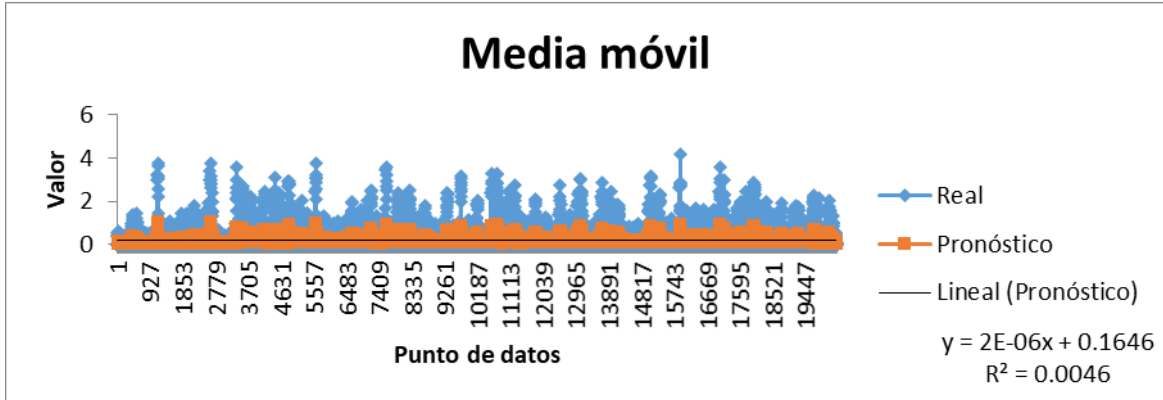


Figura 155. Media móvil de información futura en la estación de Surucucho para el mes de febrero, tendencia y ecuación.

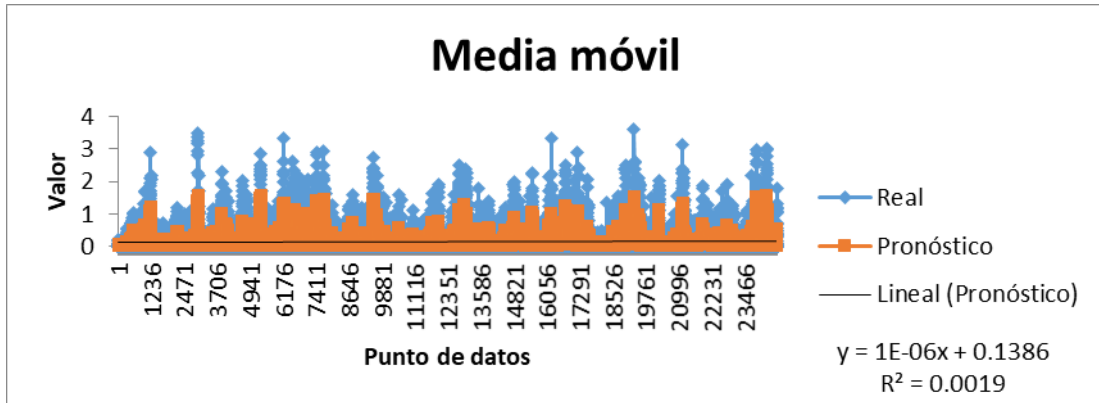


Figura 156. Media móvil de información futura en la estación de Surucucho para el mes de marzo, tendencia y ecuación.

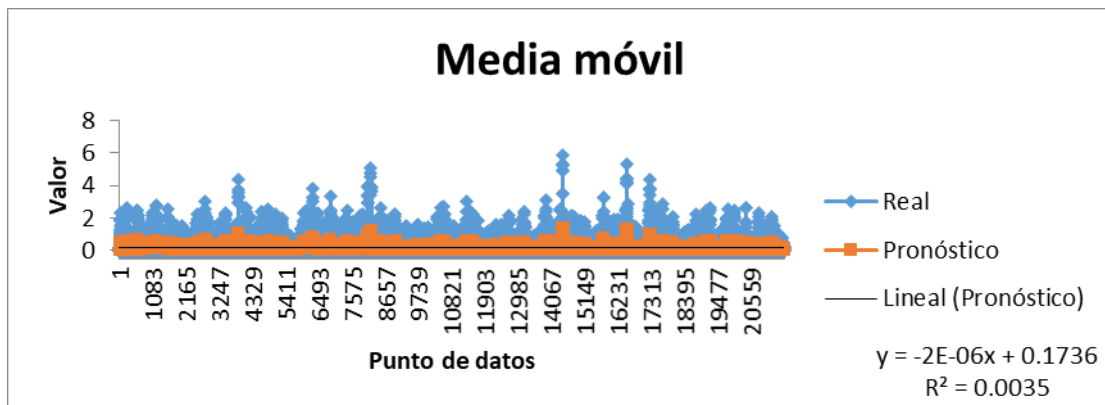


Figura 157. Media móvil de información futura en la estación de Surucucho para el mes de abril, tendencia y ecuación.

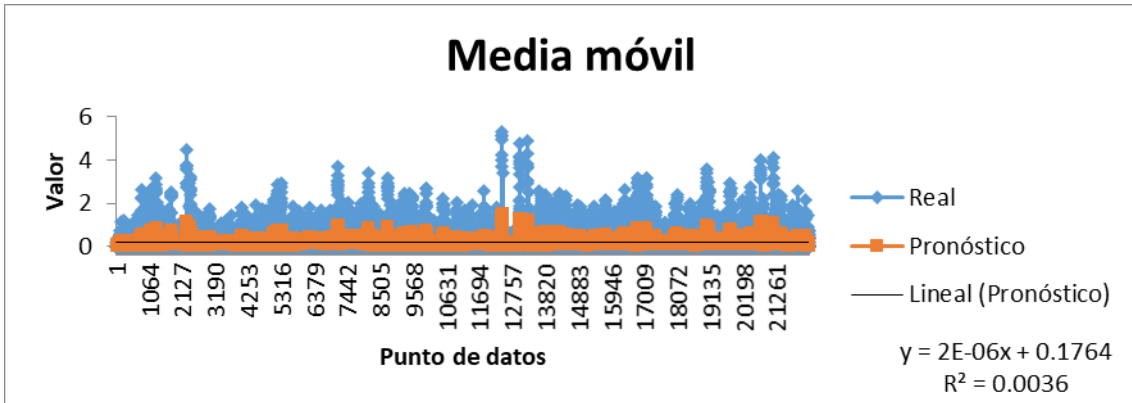


Figura 158. Media móvil de información futura en la estación de Surucucho para el mes de mayo, tendencia y ecuación.

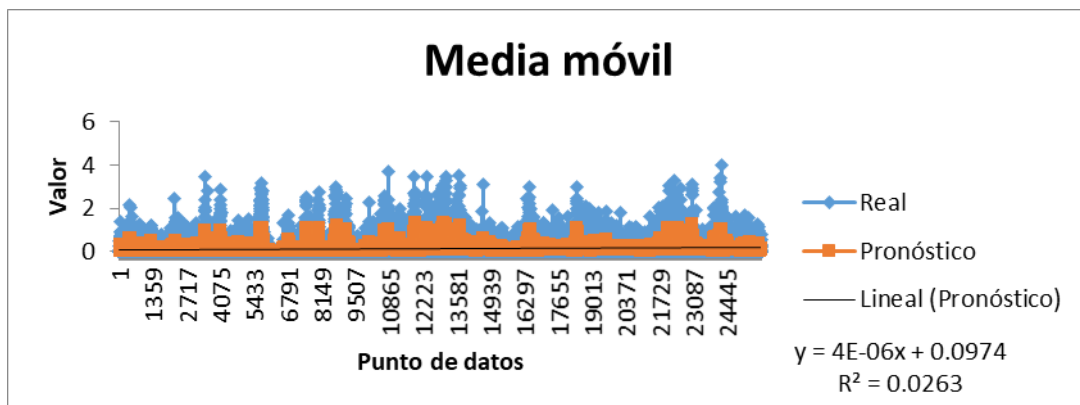


Figura 159. Media móvil de información futura en la estación de Surucucho para el mes de junio, tendencia y ecuación.

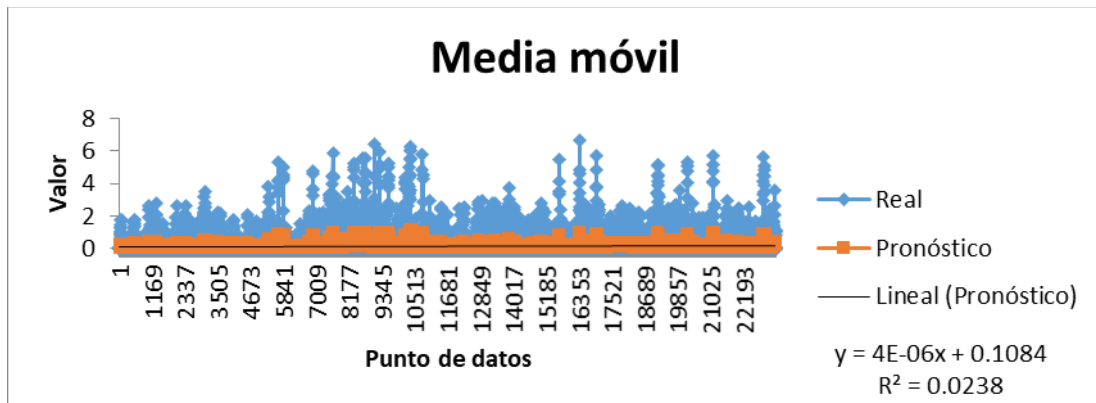


Figura 160. Media móvil de información futura en la estación de Surucucho para el mes de julio, tendencia y ecuación.

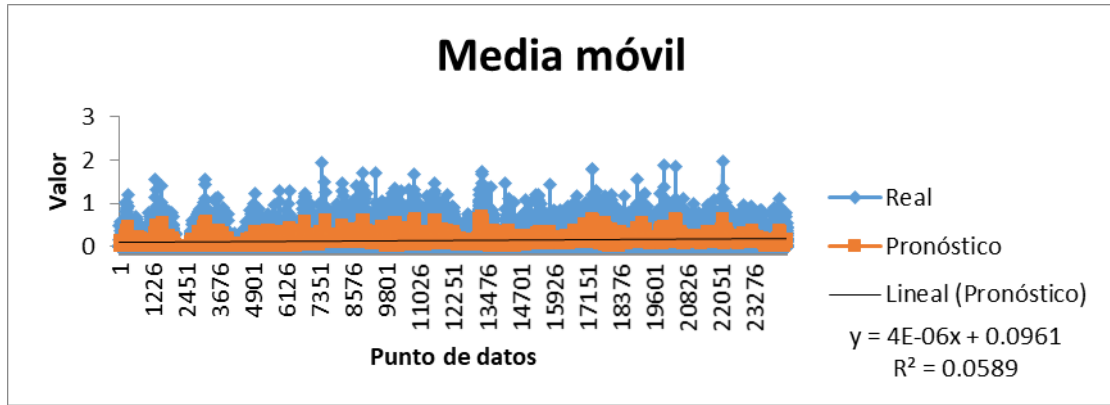


Figura 161. Media móvil de información futura en la estación de Surucucho para el mes de agosto, tendencia y ecuación.

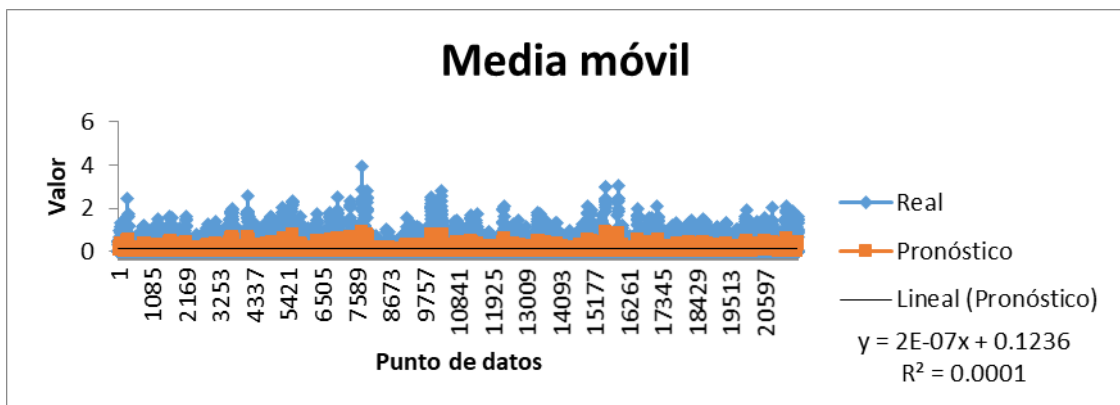


Figura 162. Media móvil de información futura en la estación de Surucucho para el mes de septiembre, tendencia y ecuación.

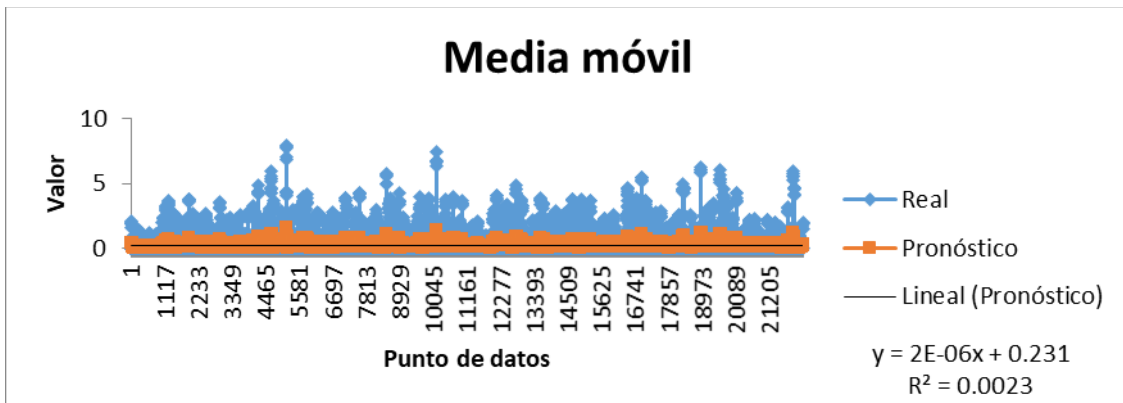


Figura 163. Media móvil de información futura en la estación de Surucucho para el mes de octubre, tendencia y ecuación.

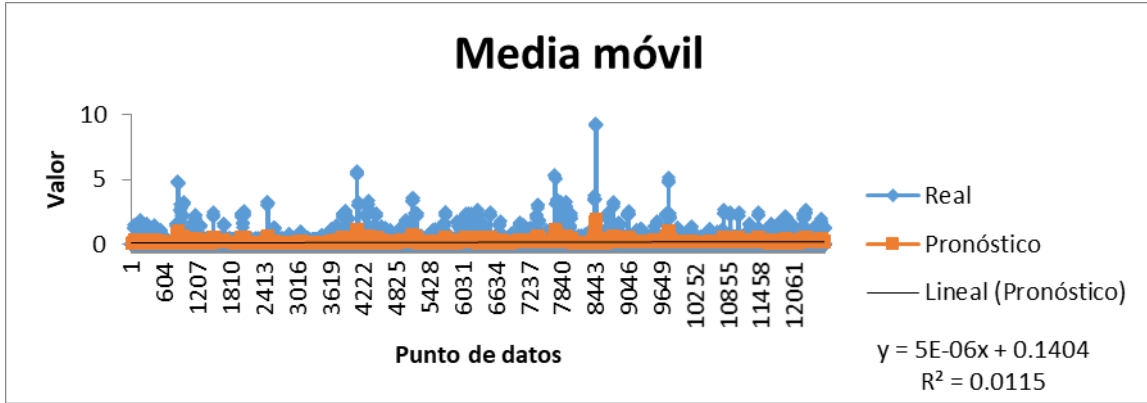


Figura 164. Media móvil de información futura en la estación de Surucucho para el mes de noviembre, tendencia y ecuación.

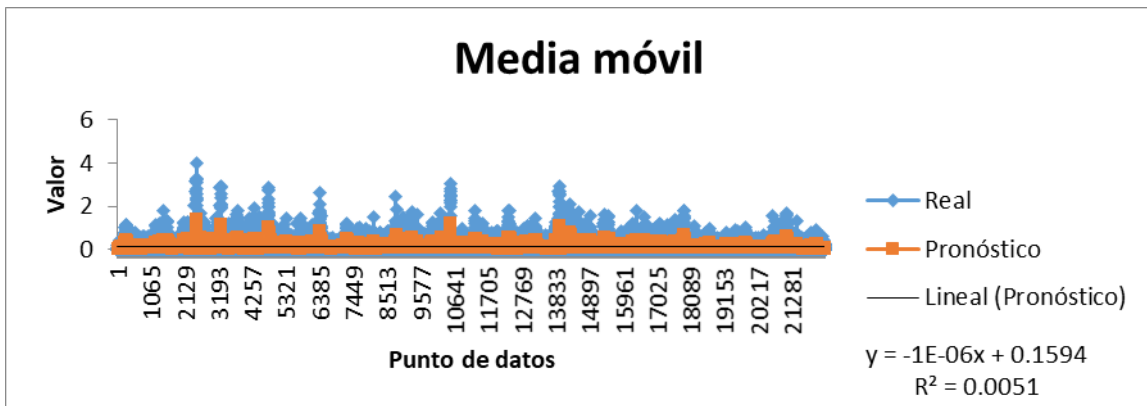


Figura 165. Media móvil de información futura en la estación de Surucucho para el mes de diciembre, tendencia y ecuación.

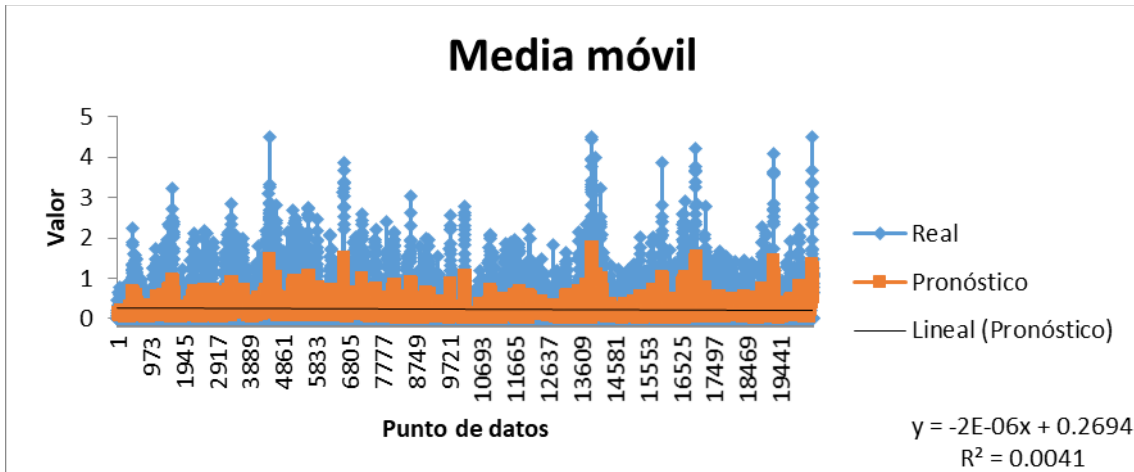


Figura 166. Media móvil de información futura en la estación de Chirimachay para el mes de febrero, tendencia y ecuación.

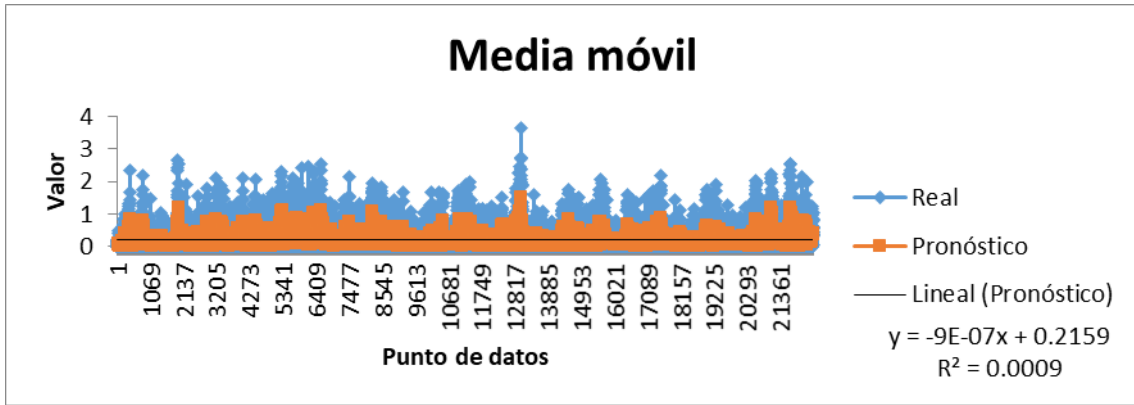


Figura 167. Media móvil de información futura en la estación de Chirimachay para el mes de marzo, tendencia y ecuación.

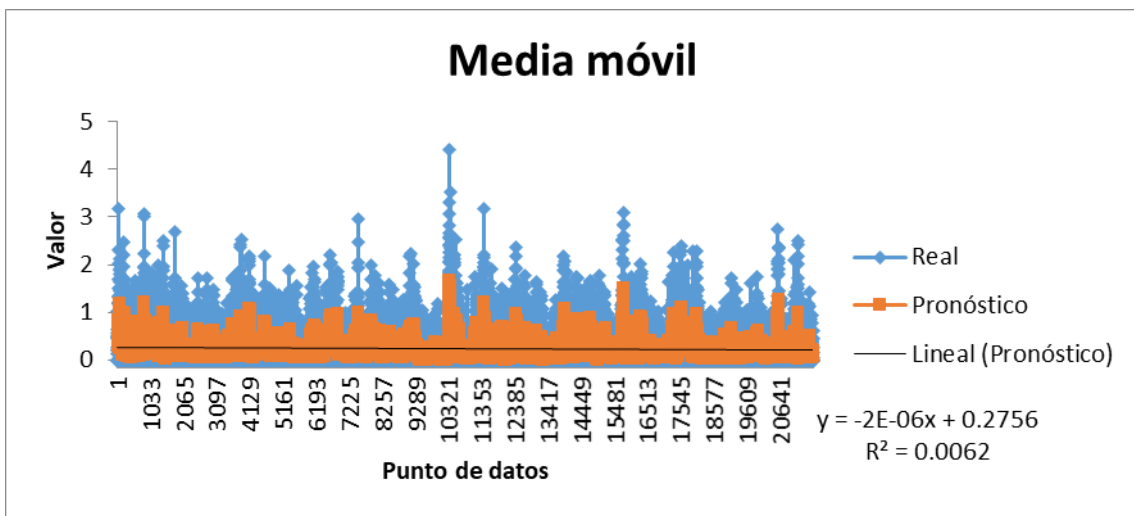


Figura 168. Media móvil de información futura en la estación de Chirimachay para el mes de abril, tendencia y ecuación.

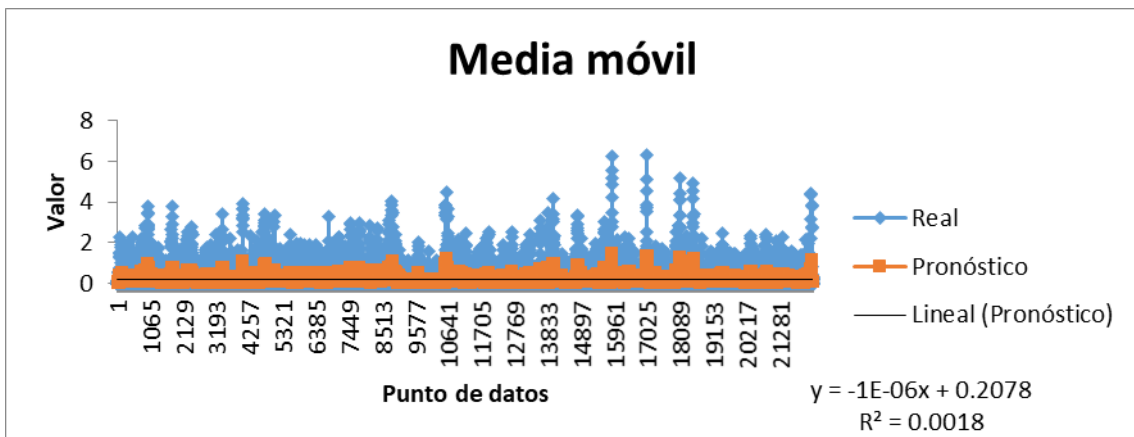


Figura 169. Media móvil de información futura en la estación de Chirimachay para el mes de mayo, tendencia y ecuación.

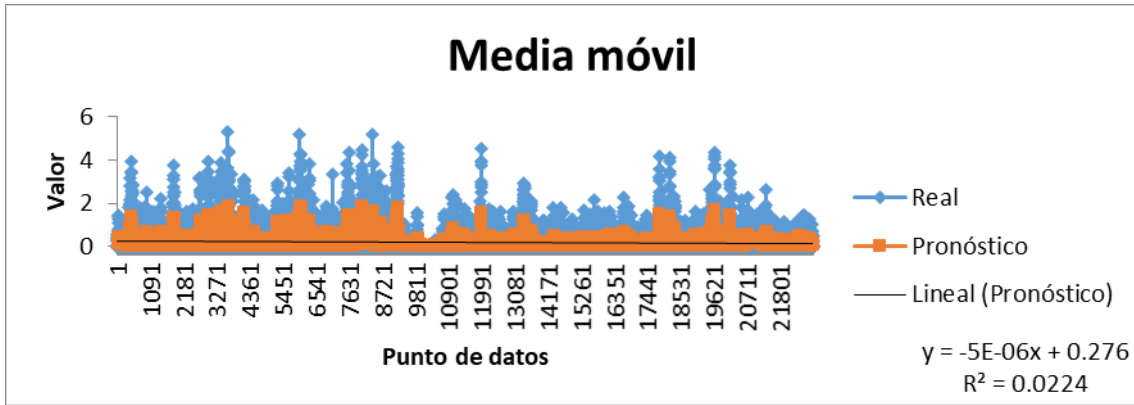


Figura 170. Media móvil de información futura en la estación de Chirimachay para el mes de junio, tendencia y ecuación.

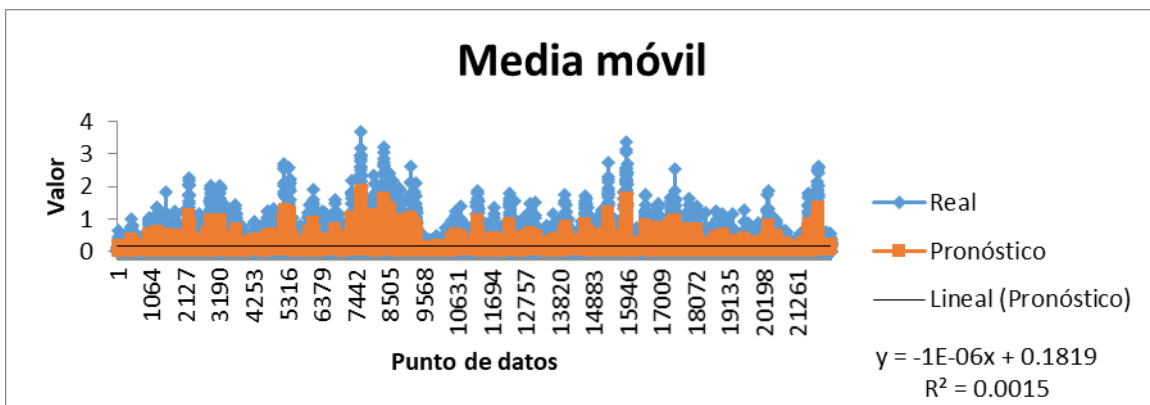


Figura 171. Media móvil de información futura en la estación de Chirimachay para el mes de julio, tendencia y ecuación.

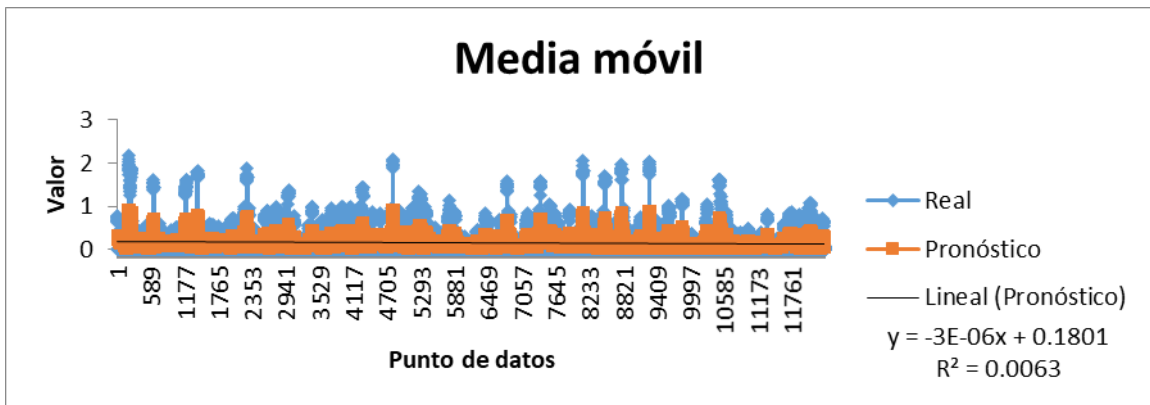


Figura 172. Media móvil de información futura en la estación de Chirimachay para el mes de agosto, tendencia y ecuación.

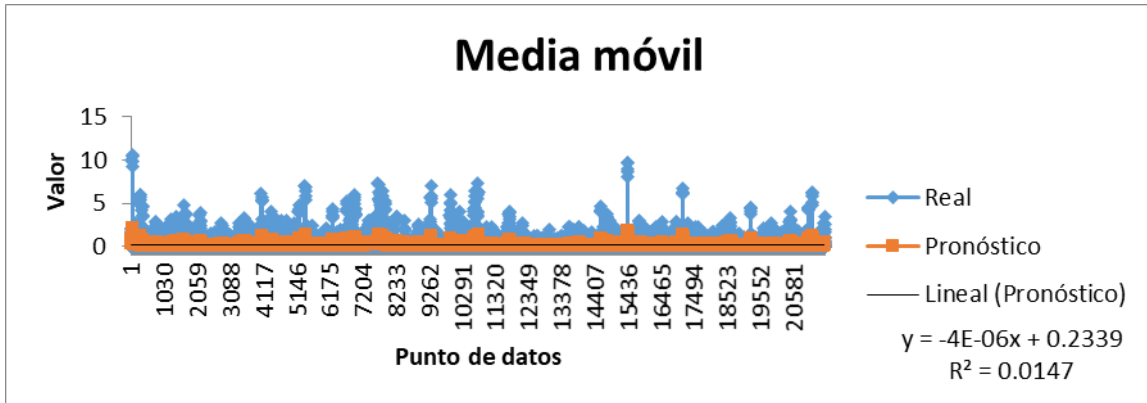


Figura 173. Media móvil de información futura en la estación de Chirimachay para el mes de septiembre, tendencia y ecuación.

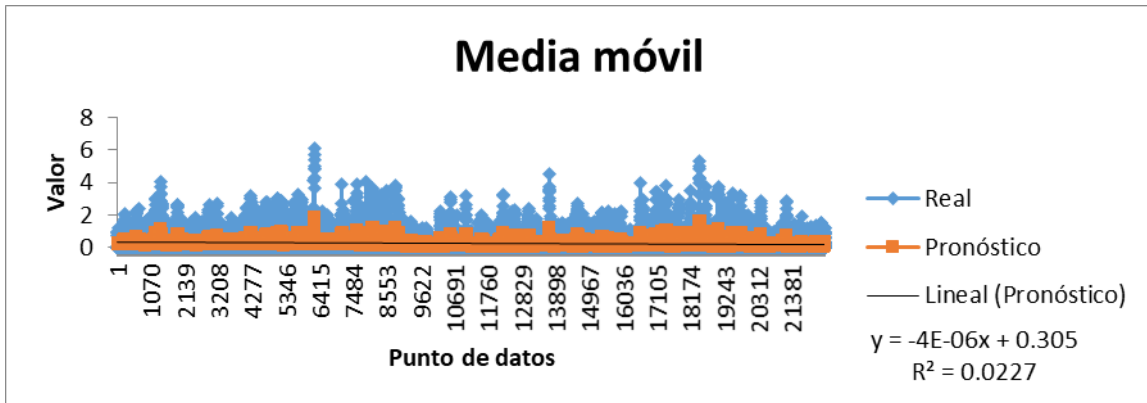


Figura 174. Media móvil de información futura en la estación de Chirimachay para el mes de octubre, tendencia y ecuación.

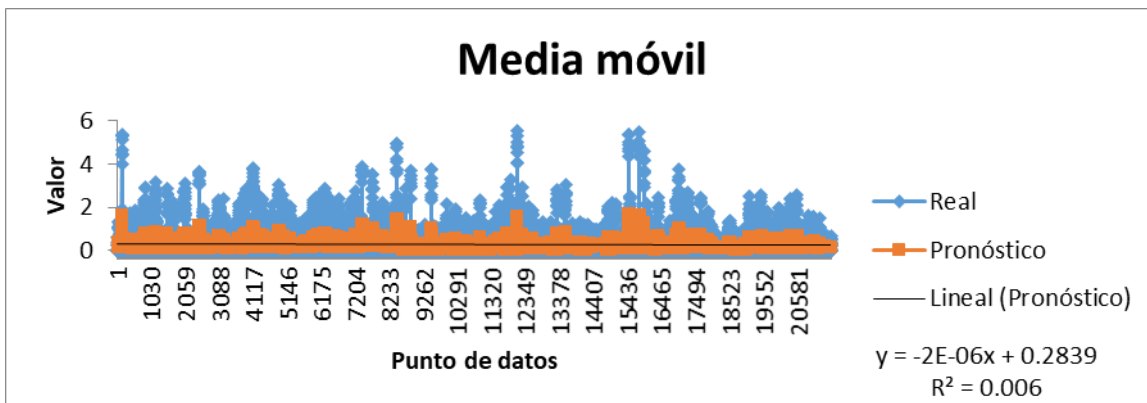


Figura 175. Media móvil de información futura en la estación de Chirimachay para el mes de noviembre, tendencia y ecuación.

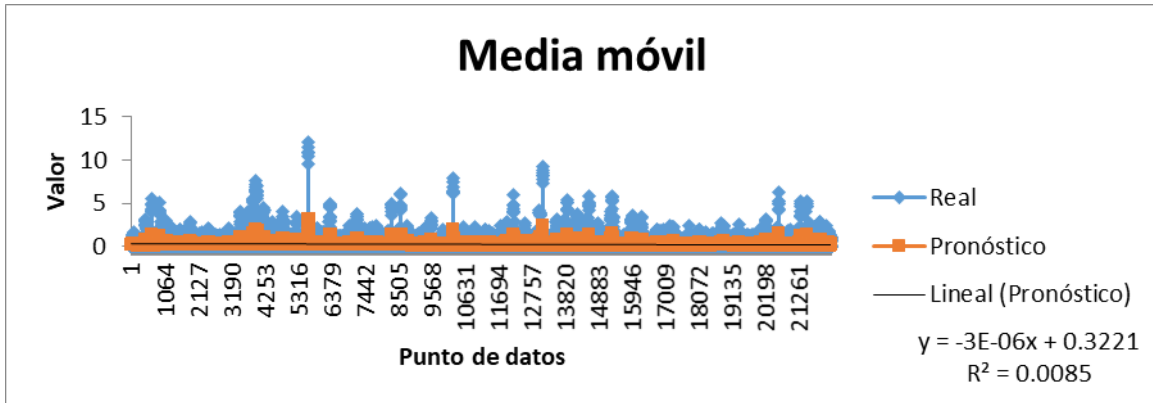


Figura 176. Media móvil de información futura en la estación de Chirimachay para el mes de diciembre, tendencia y ecuación.

Anexo 6. Gráficas de Tendencias para series históricas correspondientes a las estaciones de Matadero Sayausi Bajo y Buenos Aires en la zona media de la cuenca del Río Tomebamba.

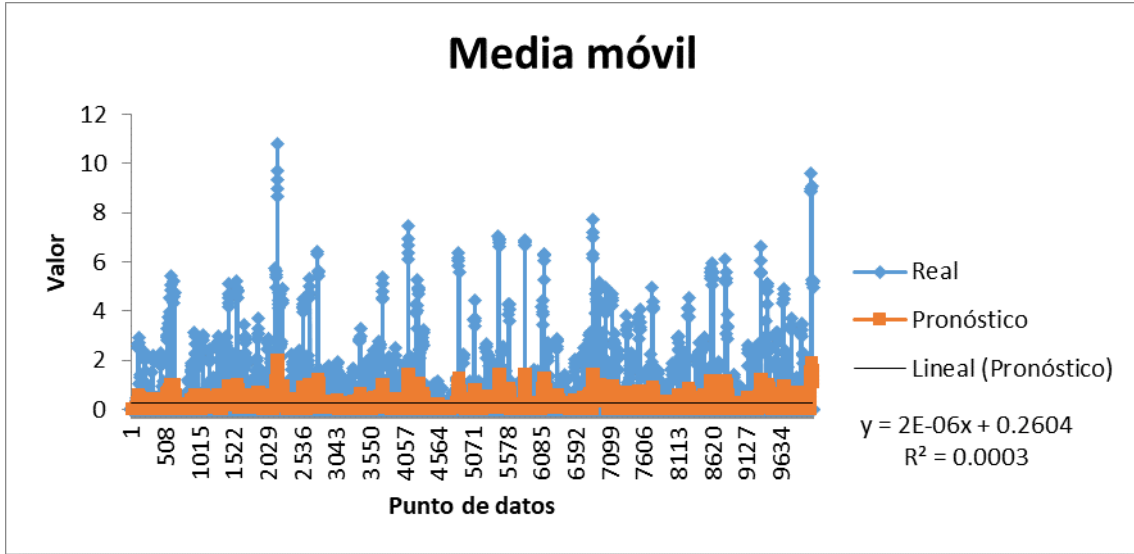


Figura 177. Media móvil de información histórica en la estación de Matadero Sayausi Bajo para el mes de febrero, tendencia y ecuación.

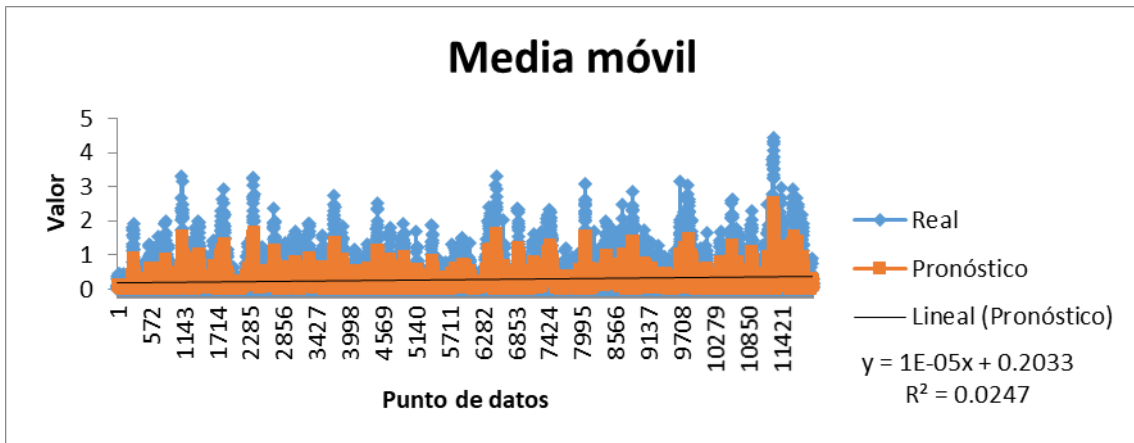


Figura 178. Media móvil de información histórica en la estación de Matadero Sayausi Bajo para el mes de marzo, tendencia y ecuación.

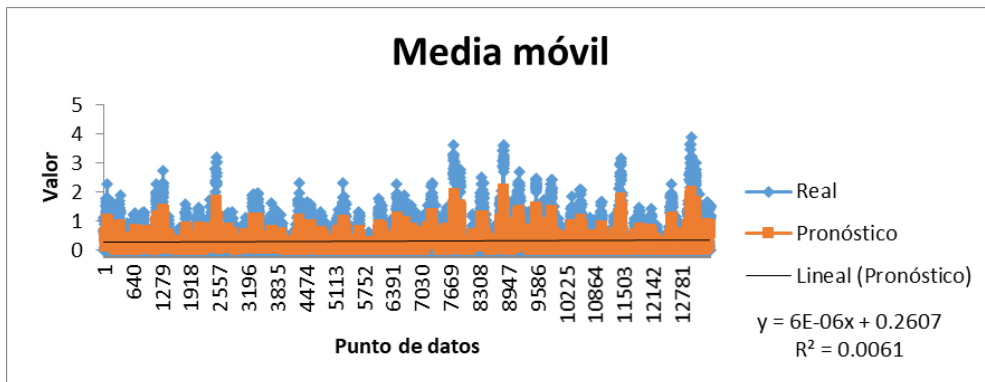


Figura 179. Media móvil de información histórica en la estación de Matadero Sayausi Bajo para el mes de abril, tendencia y ecuación.

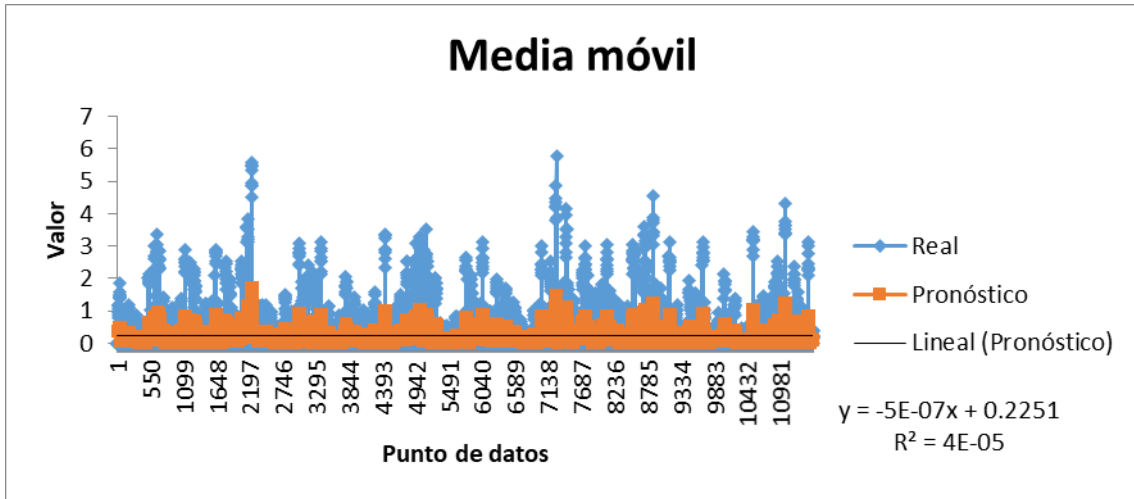


Figura 180. Media móvil de información histórica en la estación de Matadero Sayausi Bajo para el mes de mayo, tendencia y ecuación.

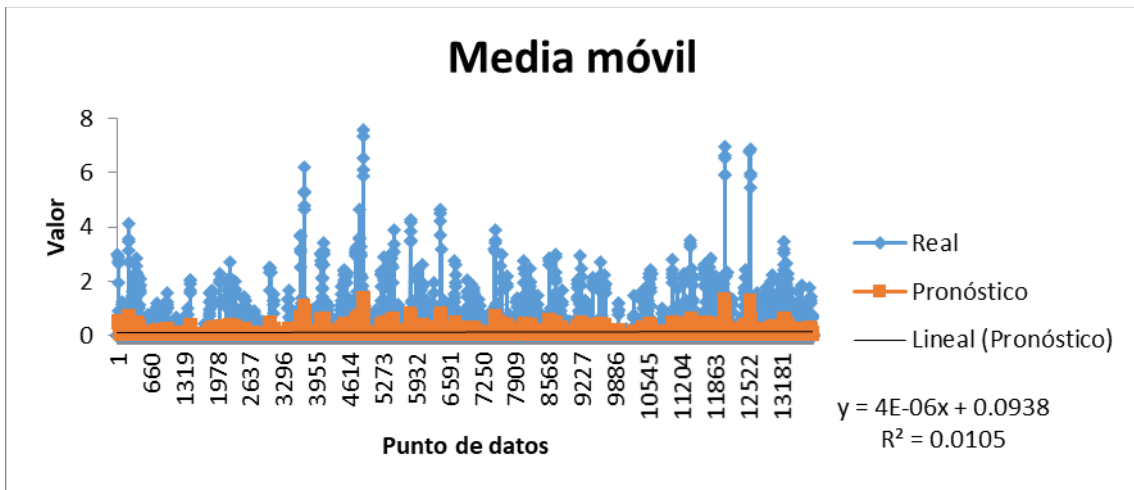


Figura 181. Media móvil de información histórica en la estación de Matadero Sayausi Bajo para el mes de junio, tendencia y ecuación.

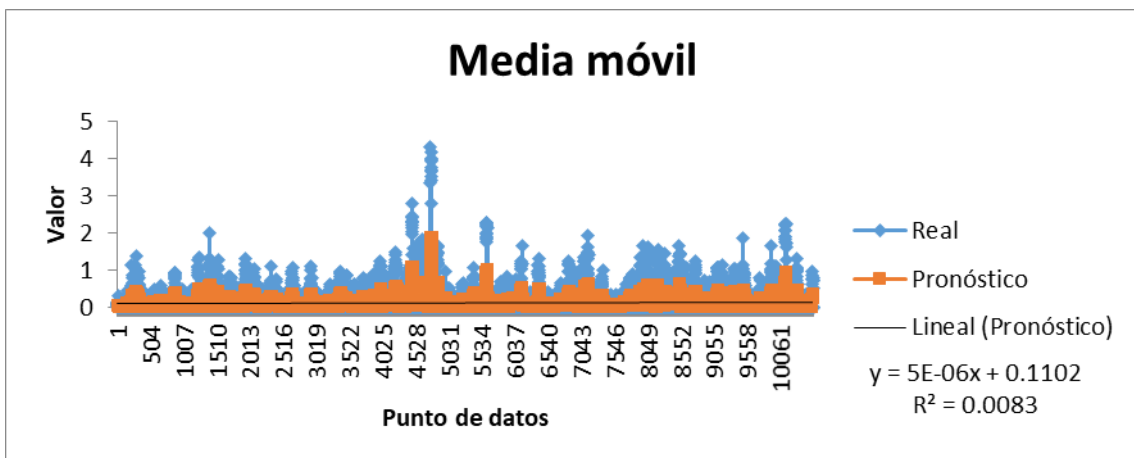


Figura 182. Media móvil de información histórica en la estación de Matadero Sayausi Bajo para el mes de julio, tendencia y ecuación.

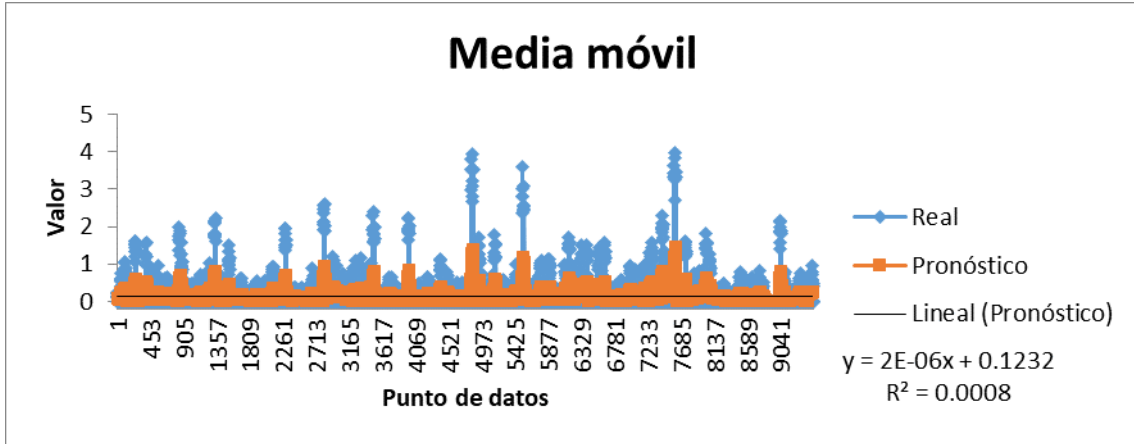


Figura 183. Media móvil de información histórica en la estación de Matadero Sayausi Bajo para el mes de agosto, tendencia y ecuación.

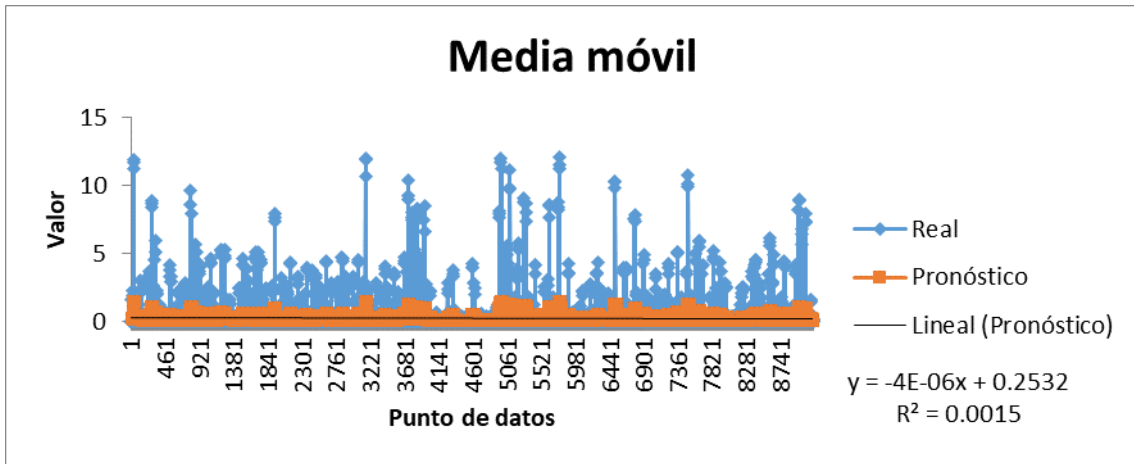


Figura 184. Media móvil de información histórica en la estación de Matadero Sayausi Bajo para el mes de septiembre, tendencia y ecuación.

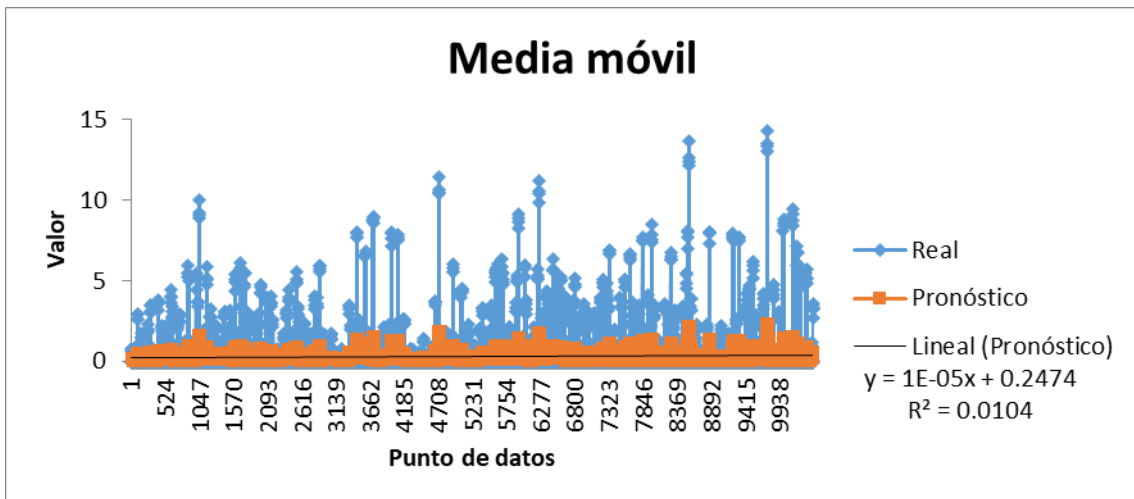


Figura 185. Media móvil de información histórica en la estación de Matadero Sayausi Bajo para el mes de octubre, tendencia y ecuación.

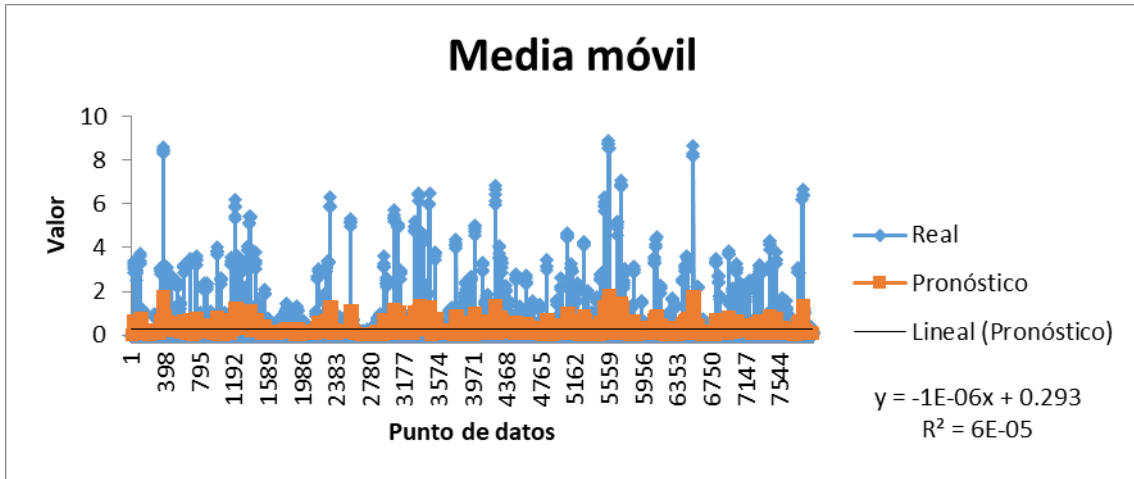


Figura 186. Media móvil de información histórica en la estación de Matadero Sayausi Bajo para el mes de noviembre, tendencia y ecuación.

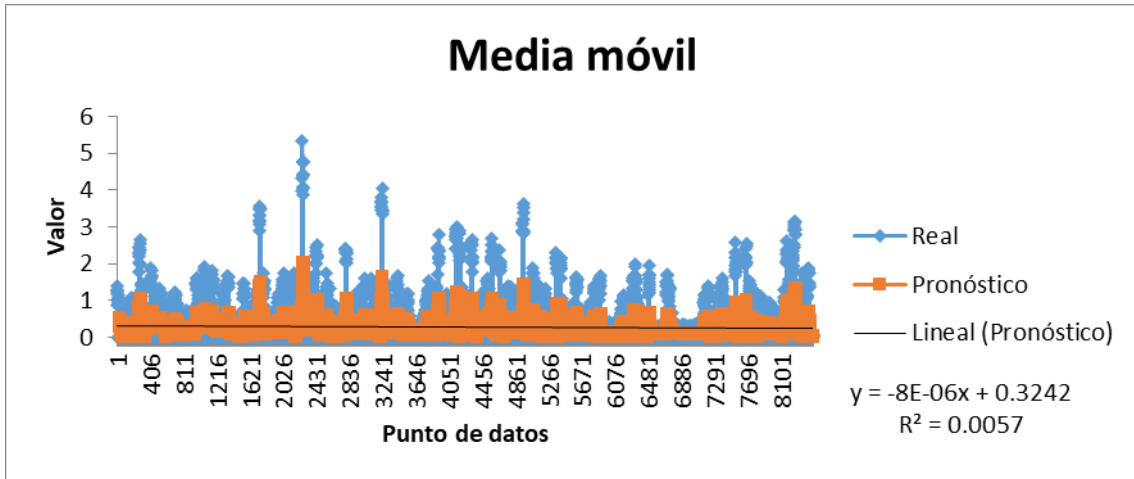


Figura 187. Media móvil de información histórica en la estación de Matadero Sayausi Bajo para el mes de diciembre, tendencia y ecuación.

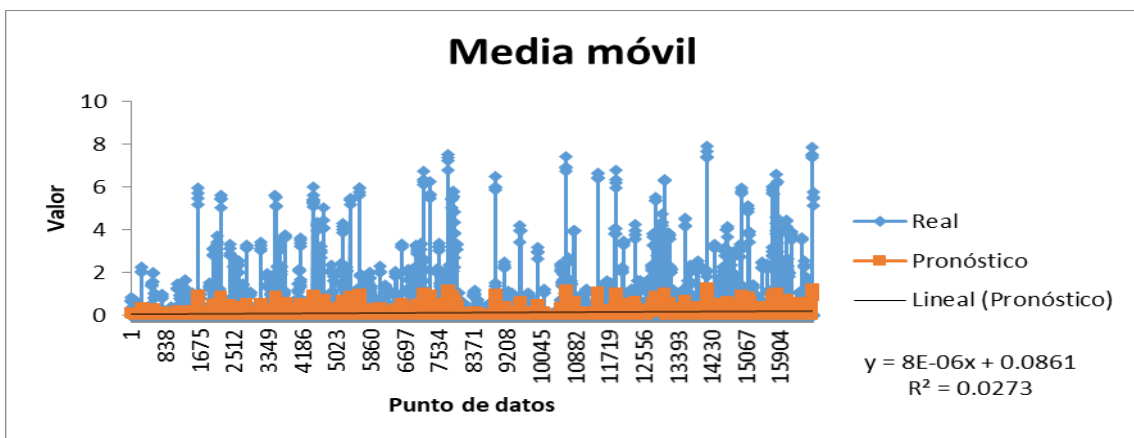


Figura 188. Media móvil de información histórica en la estación de Buenos Aires para el mes de febrero, tendencia y ecuación.

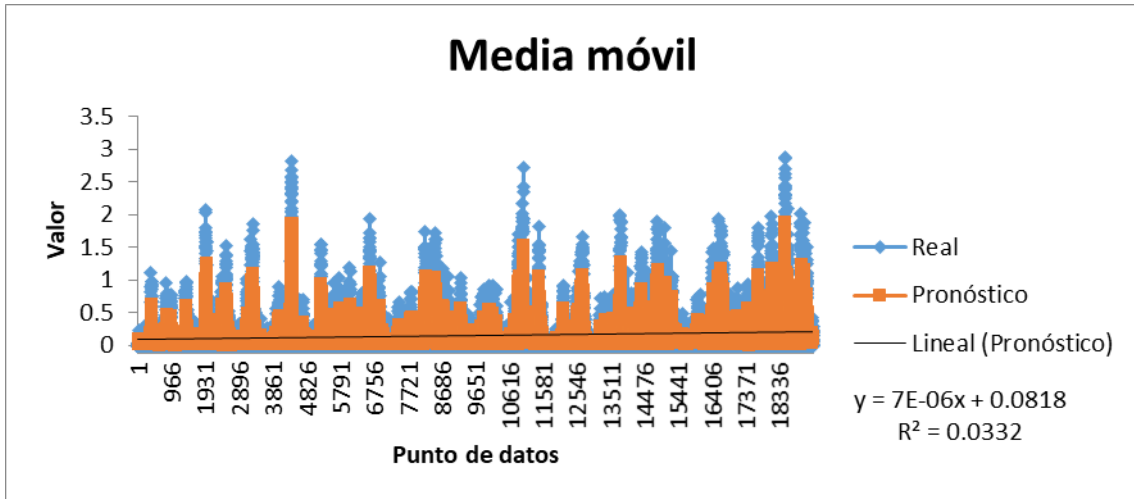


Figura 189. Media móvil de información histórica en la estación de Buenos Aires para el mes de marzo, tendencia y ecuación.

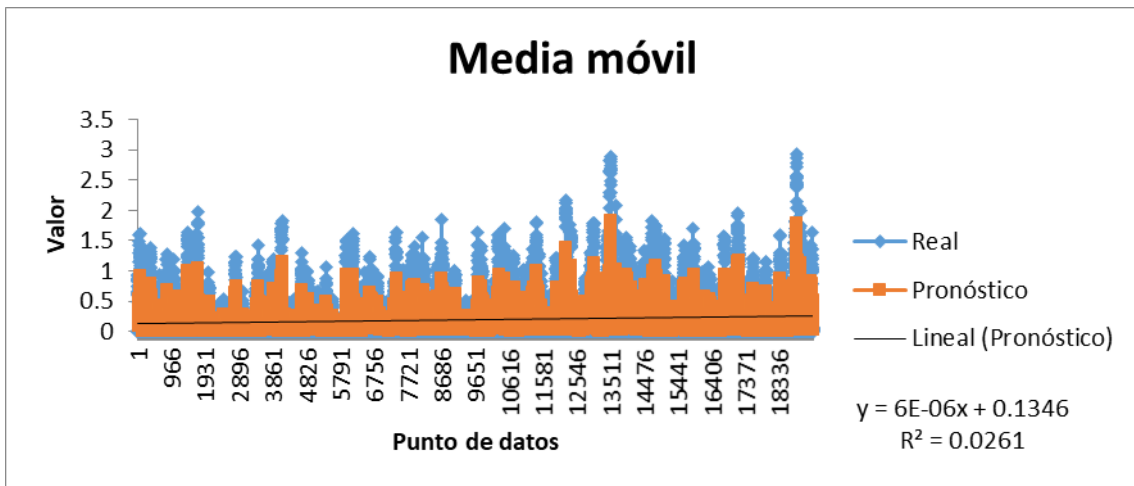


Figura 190. Media móvil de información histórica en la estación de Buenos Aires para el mes de abril, tendencia y ecuación.

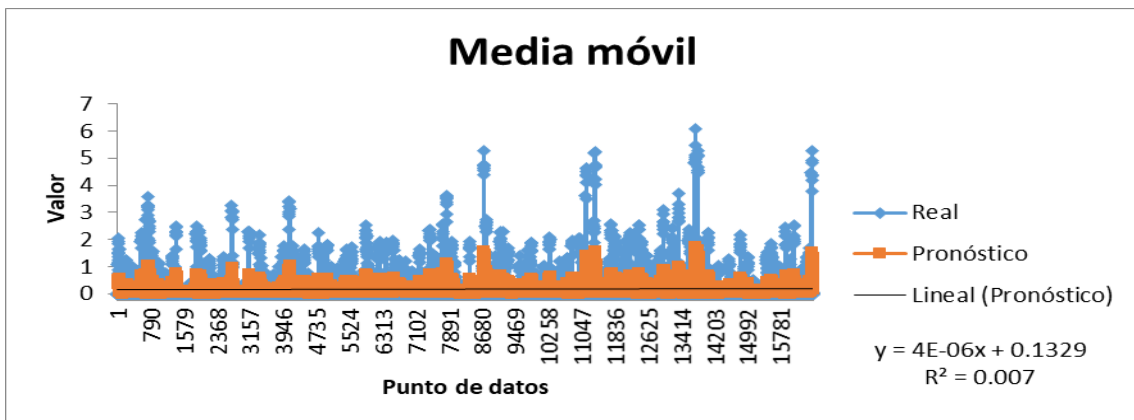


Figura 191. Media móvil de información histórica en la estación de Buenos Aires para el mes de mayo, tendencia y ecuación.

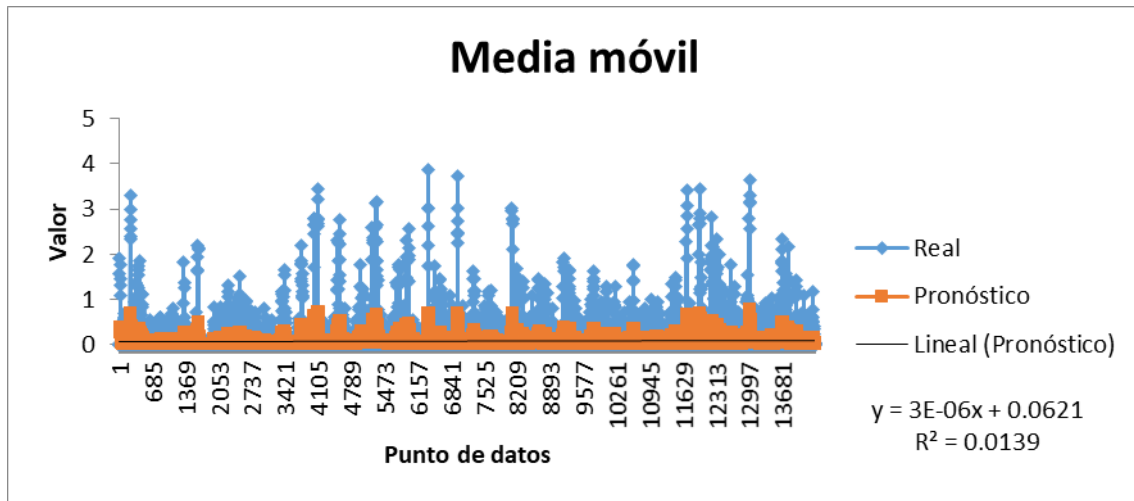


Figura 192. Media móvil de información histórica en la estación de Buenos Aires para el mes de junio, tendencia y ecuación.

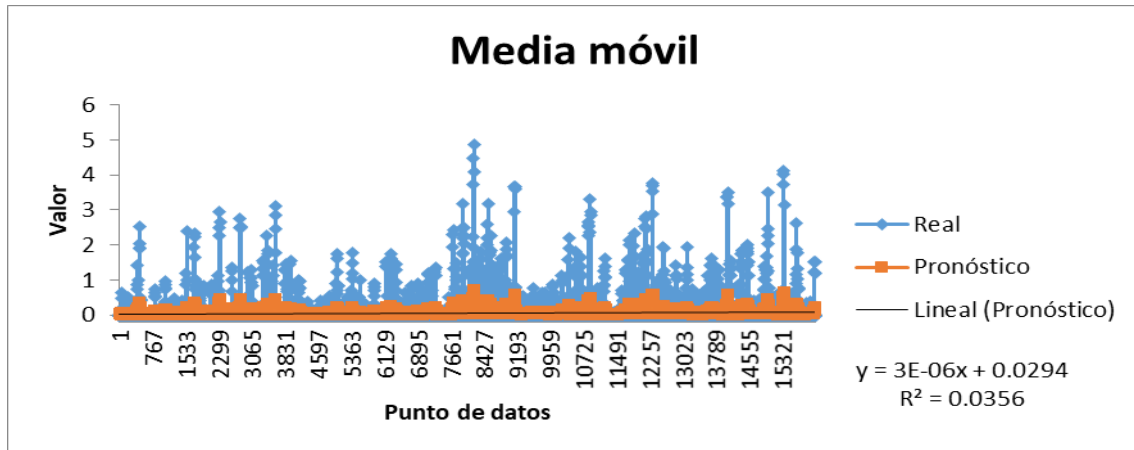


Figura 193. Media móvil de información histórica en la estación de Buenos Aires para el mes de julio, tendencia y ecuación.

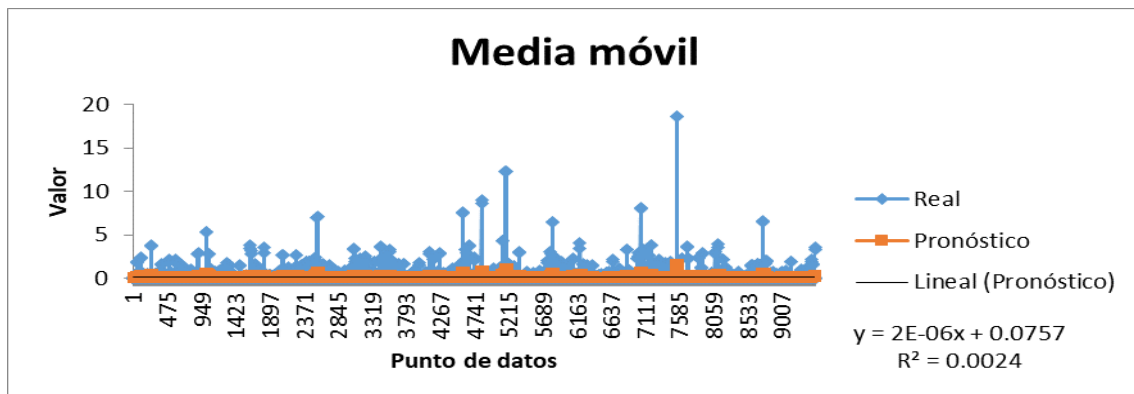


Figura 194. Media móvil de información histórica en la estación de Buenos Aires para el mes de agosto, tendencia y ecuación.

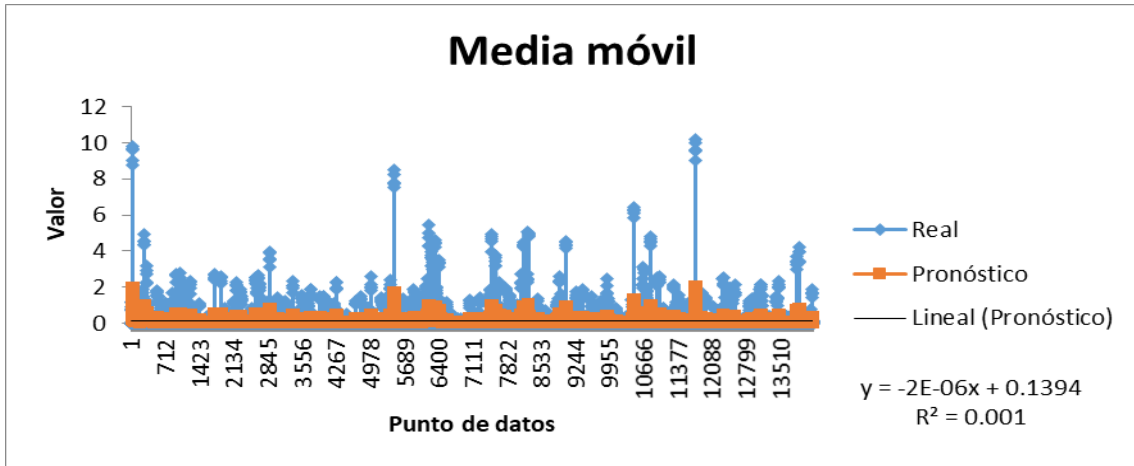


Figura 195. Media móvil de información histórica en la estación de Buenos Aires para el mes de septiembre, tendencia y ecuación.

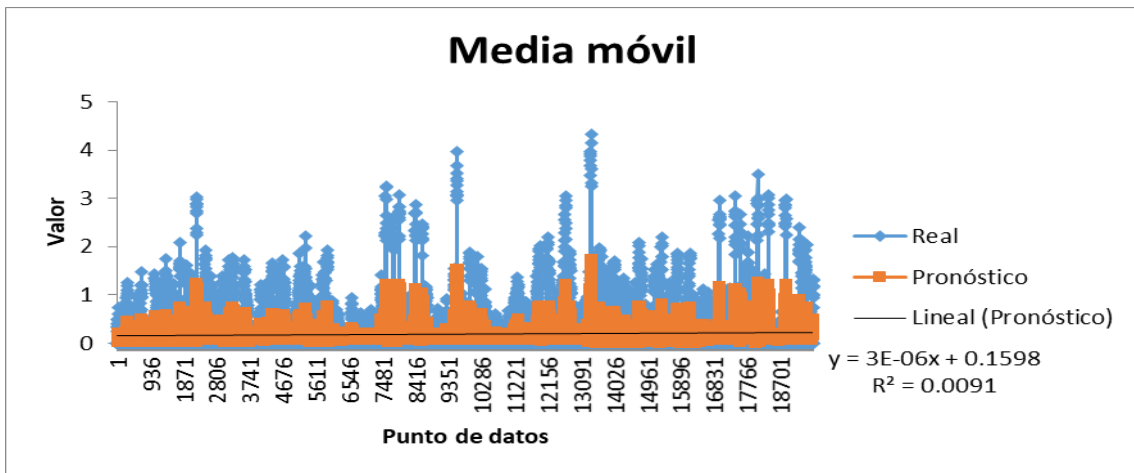


Figura 196. Media móvil de información histórica en la estación de Buenos Aires para el mes de octubre, tendencia y ecuación.

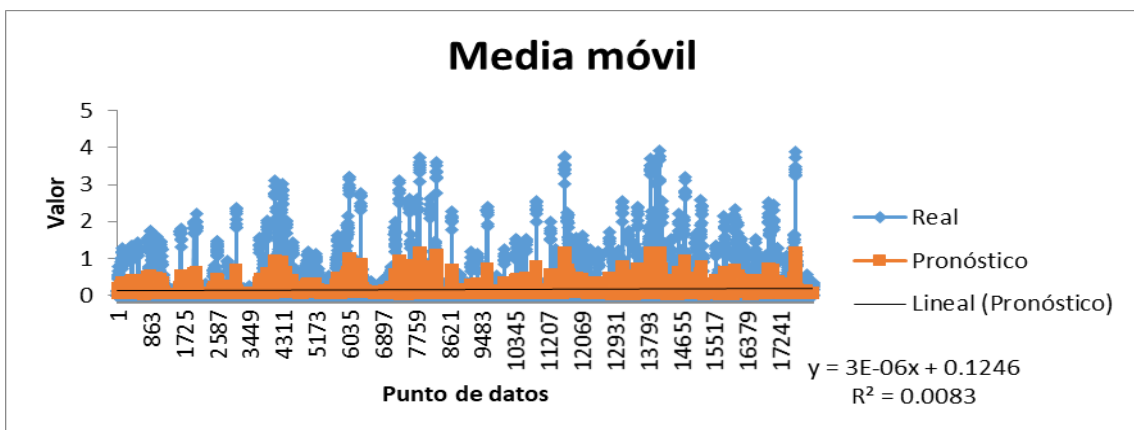


Figura 197. Media móvil de información histórica en la estación de Buenos Aires para el mes de noviembre, tendencia y ecuación.

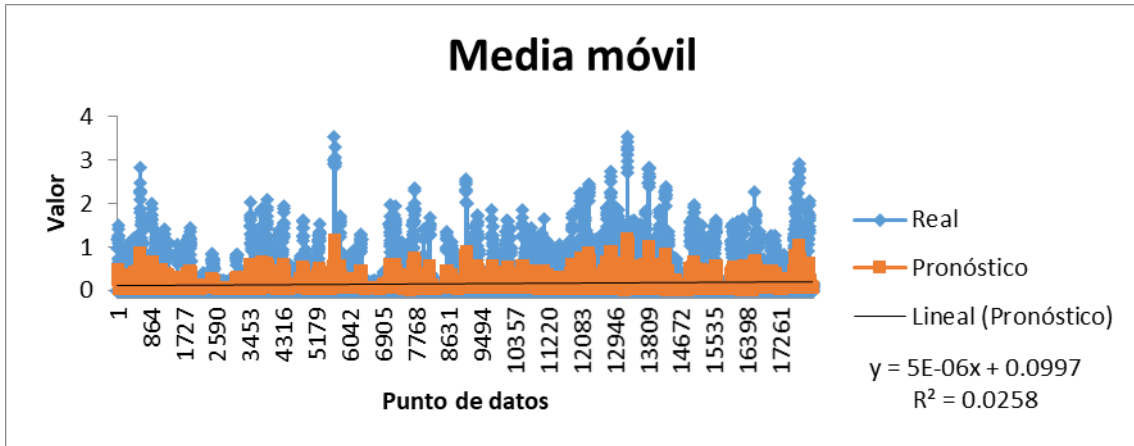


Figura 198. Media móvil de información histórica en la estación de Buenos Aires para el mes de diciembre, tendencia y ecuación.

Anexo 7. Gráficas de Tendencias para series futuras correspondientes a las estaciones de Matadero Sayausi Bajo y Buenos Aires en la zona media de la cuenca del Río Tomebamba.

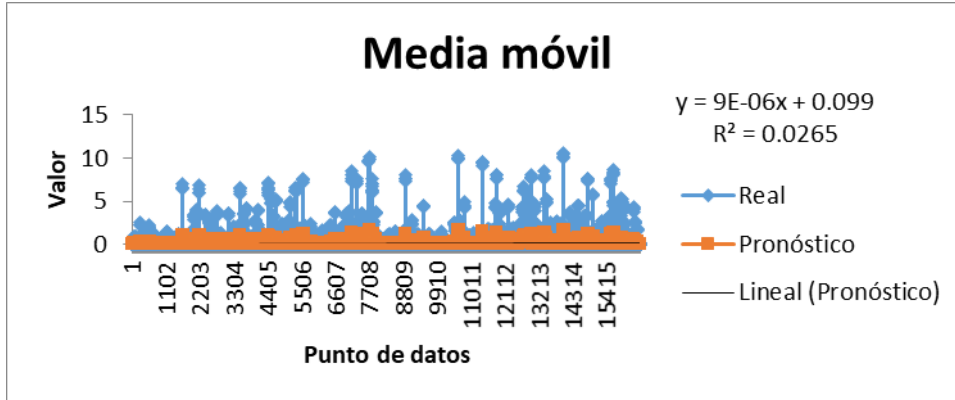


Figura 199. Media móvil de información futura en la estación de Matadero Sayausi bajo para el mes de febrero, tendencia y ecuación.

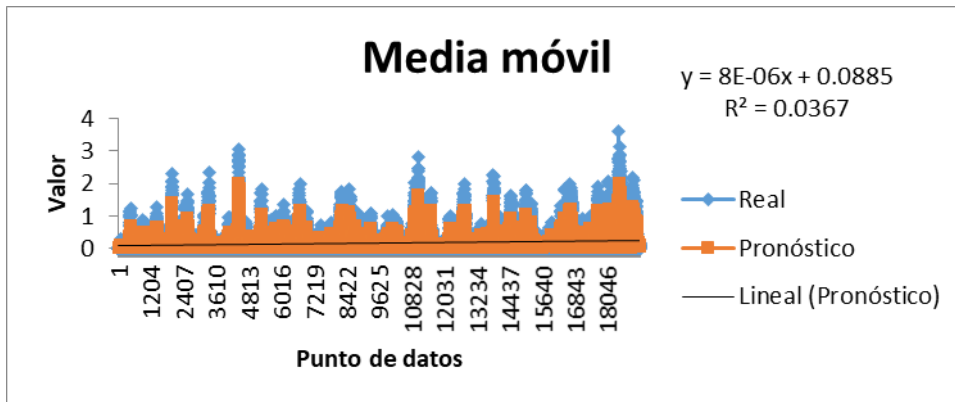


Figura 200. Media móvil de información futura en la estación de Matadero Sayausi bajo para el mes de marzo, tendencia y ecuación.

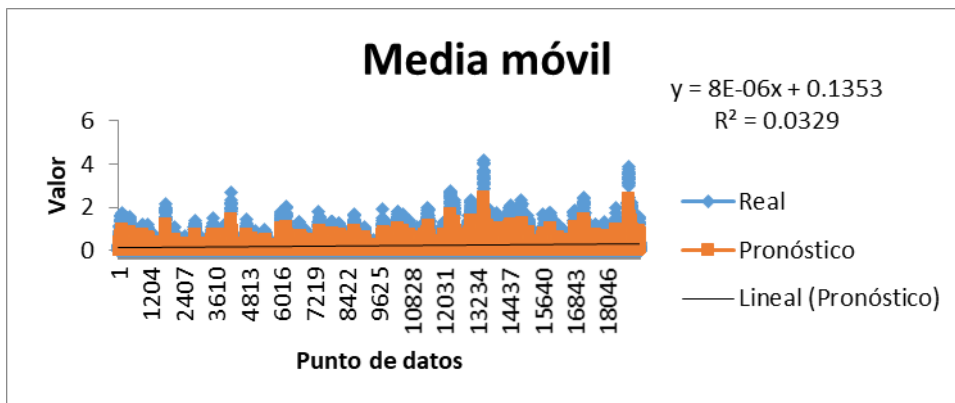


Figura 201. Media móvil de información futura en la estación de Matadero Sayausi bajo para el mes de abril, tendencia y ecuación.

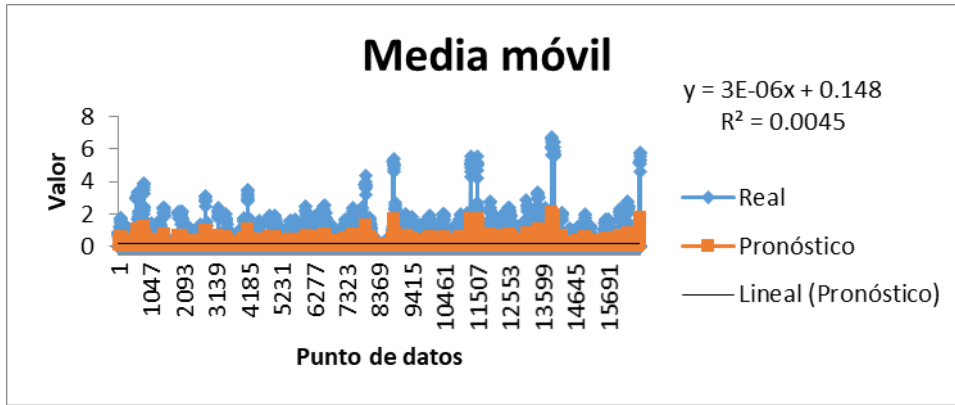


Figura 202. Media móvil de información futura en la estación de Matadero Sayausi bajo para el mes de mayo, tendencia y ecuación.

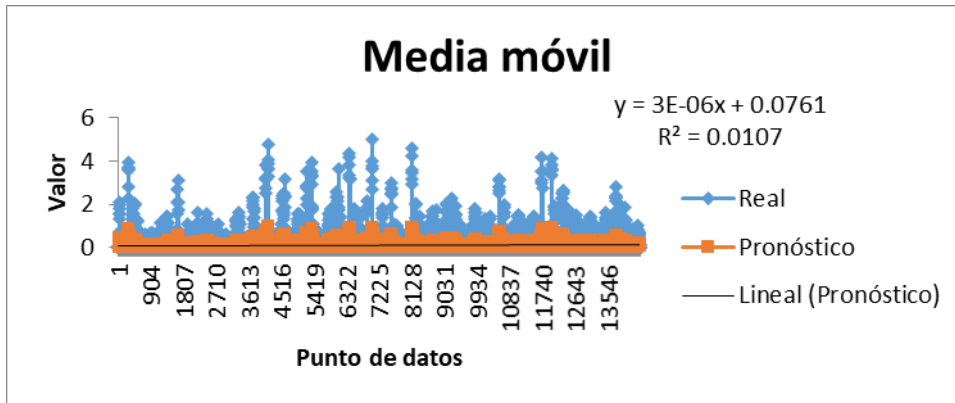


Figura 203. Media móvil de información futura en la estación de Matadero Sayausi bajo para el mes de junio, tendencia y ecuación.

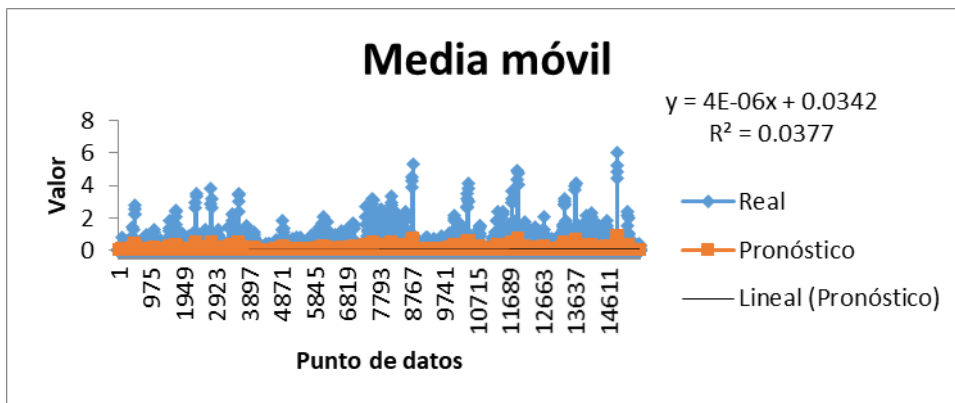


Figura 204. Media móvil de información futura en la estación de Matadero Sayausi bajo para el mes de julio, tendencia y ecuación.

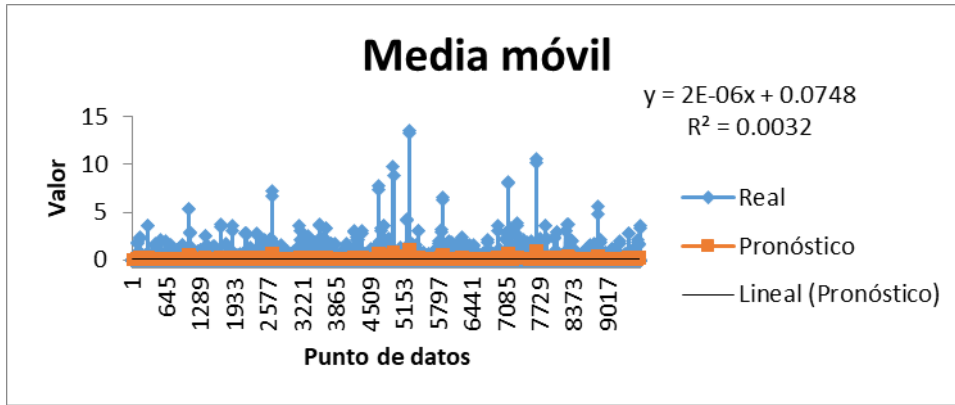


Figura 205. Media móvil de información futura en la estación de Matadero Sayausi bajo para el mes de agosto, tendencia y ecuación.

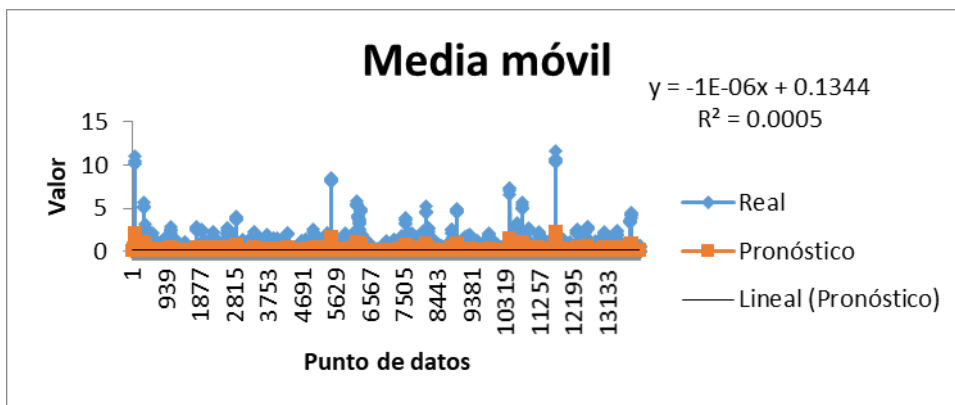


Figura 206. Media móvil de información futura en la estación de Matadero Sayausi bajo para el mes de septiembre, tendencia y ecuación.

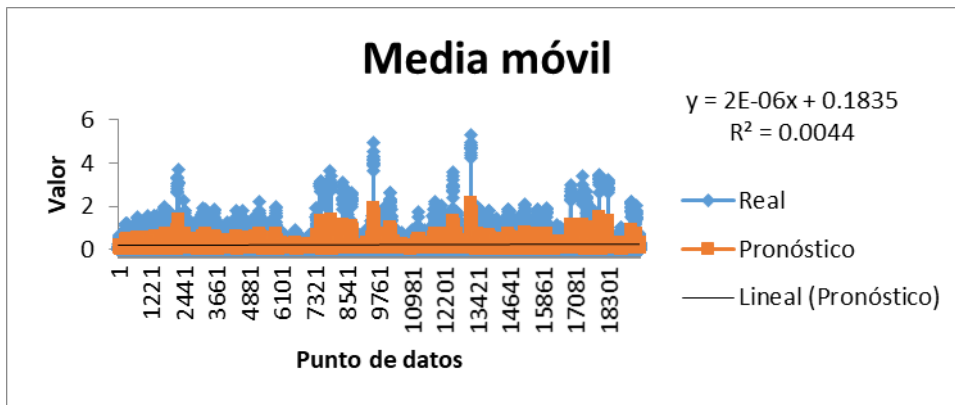


Figura 207. Media móvil de información futura en la estación de Matadero Sayausi bajo para el mes de octubre, tendencia y ecuación.

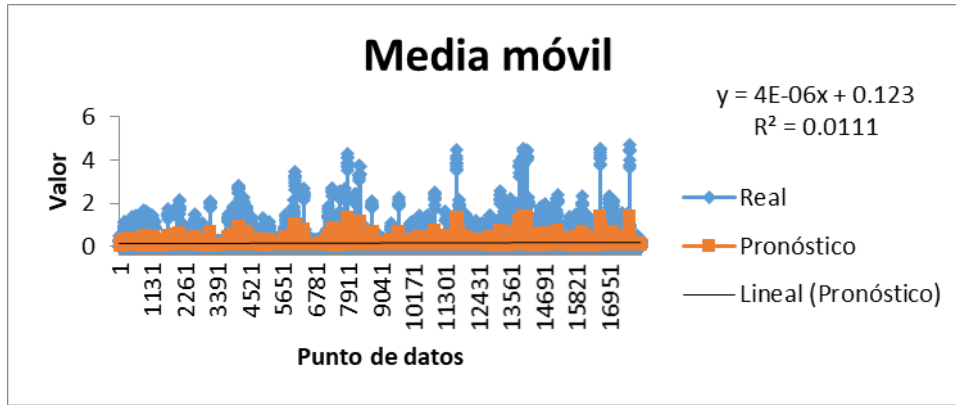


Figura 208. Media móvil de información futura en la estación de Matadero Sayausi bajo para el mes de noviembre, tendencia y ecuación.

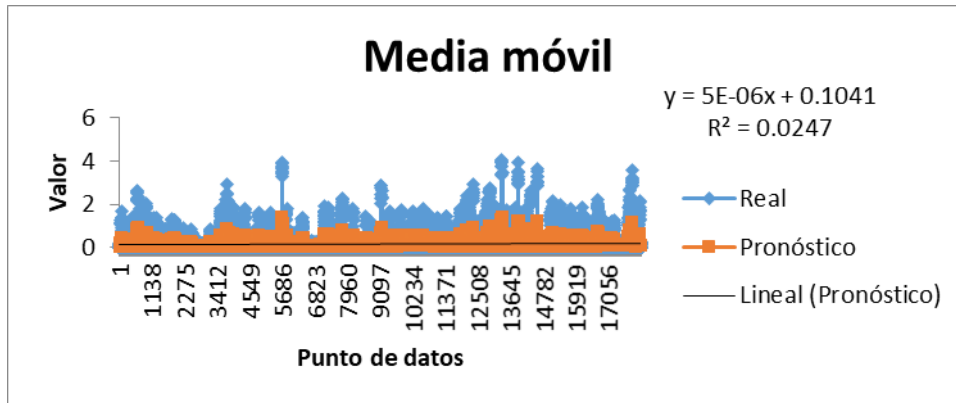


Figura 209. Media móvil de información futura en la estación de Matadero Sayausi bajo para el mes de diciembre, tendencia y ecuación.

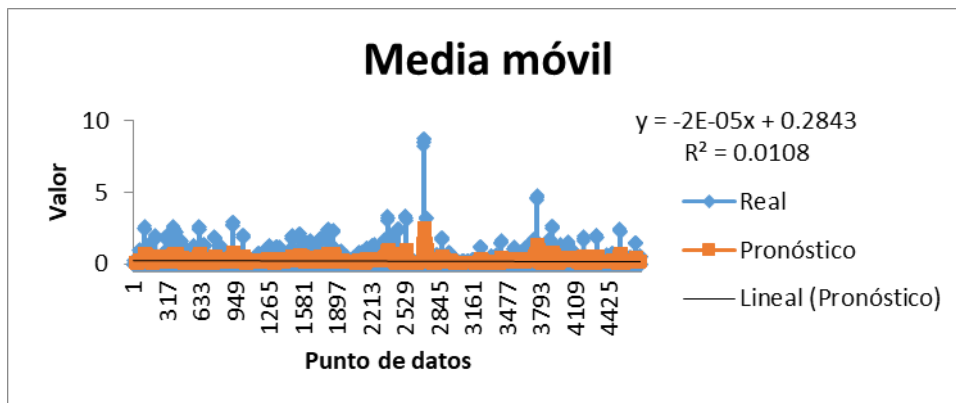


Figura 210. Media móvil de información futura en la estación de Buenos Aires para el mes de febrero, tendencia y ecuación.

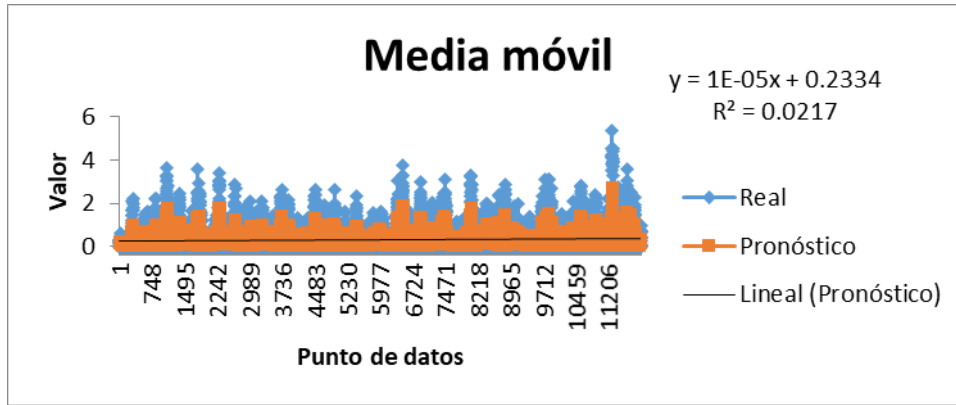


Figura 211. Media móvil de información futura en la estación de Buenos Aires para el mes de marzo, tendencia y ecuación.

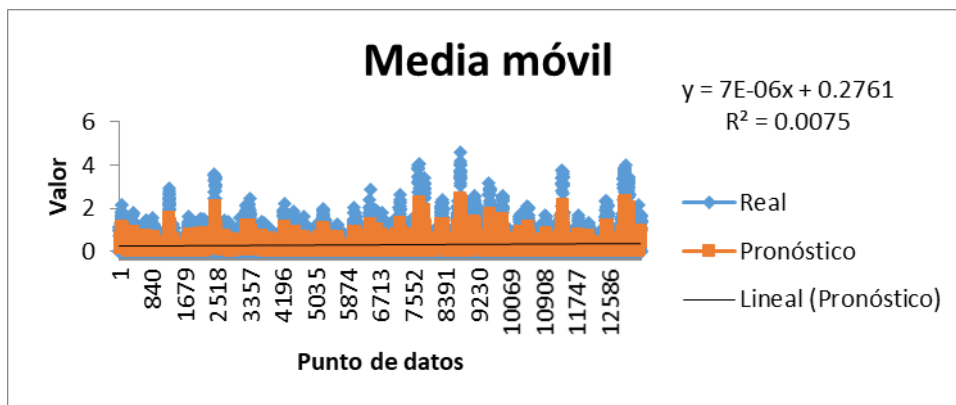


Figura 212. Media móvil de información futura en la estación de Buenos Aires para el mes de abril, tendencia y ecuación.

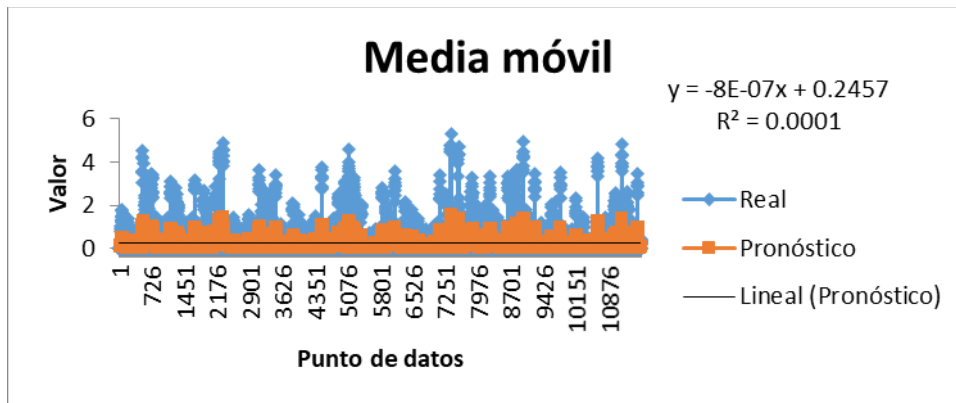


Figura 213. Media móvil de información futura en la estación de Buenos Aires para el mes de mayo, tendencia y ecuación.

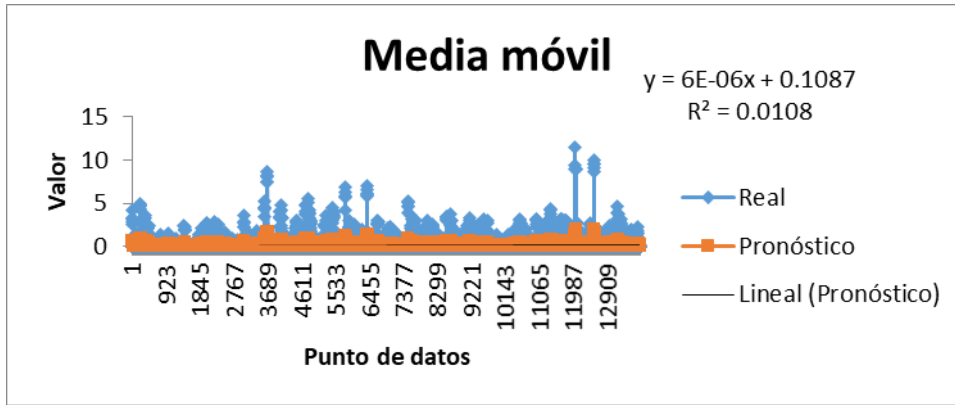


Figura 214. Media móvil de información futura en la estación de Buenos Aires para el mes de junio, tendencia y ecuación.

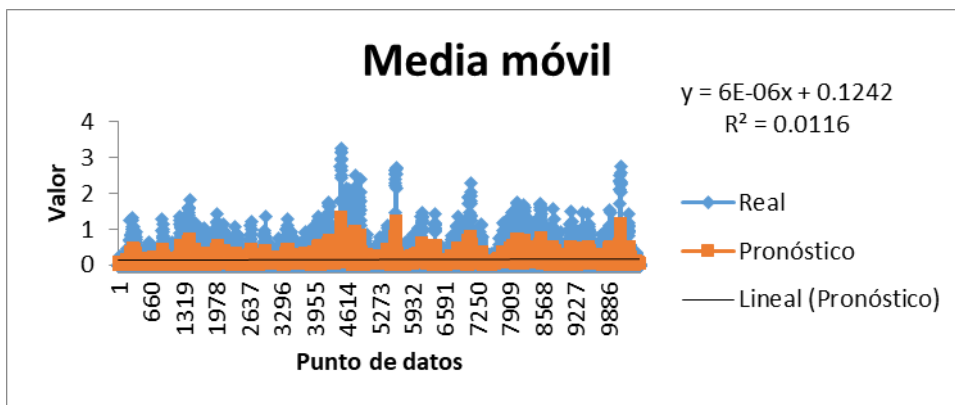


Figura 215. Media móvil de información futura en la estación de Buenos Aires para el mes de julio, tendencia y ecuación.

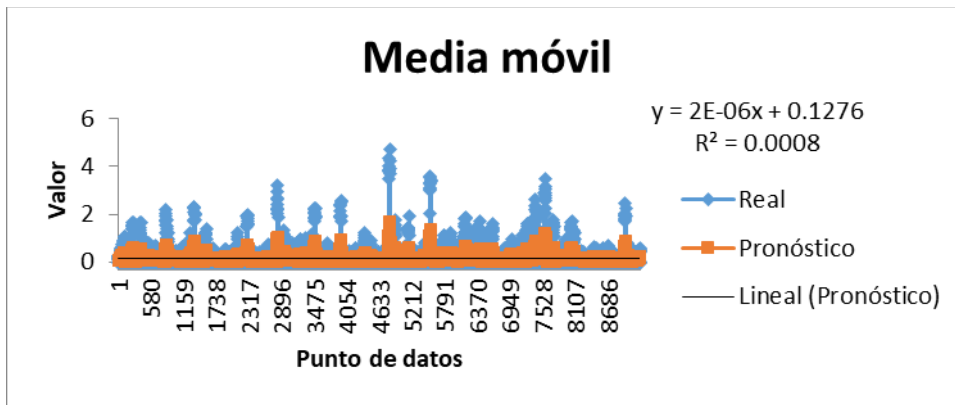


Figura 216. Media móvil de información futura en la estación de Buenos Aires para el mes de agosto, tendencia y ecuación.

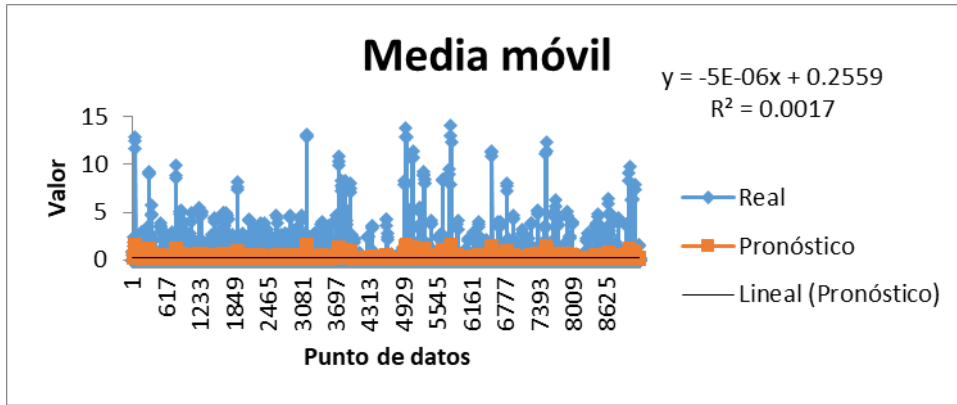


Figura 217. Media móvil de información futura en la estación de Buenos Aires para el mes de septiembre, tendencia y ecuación.

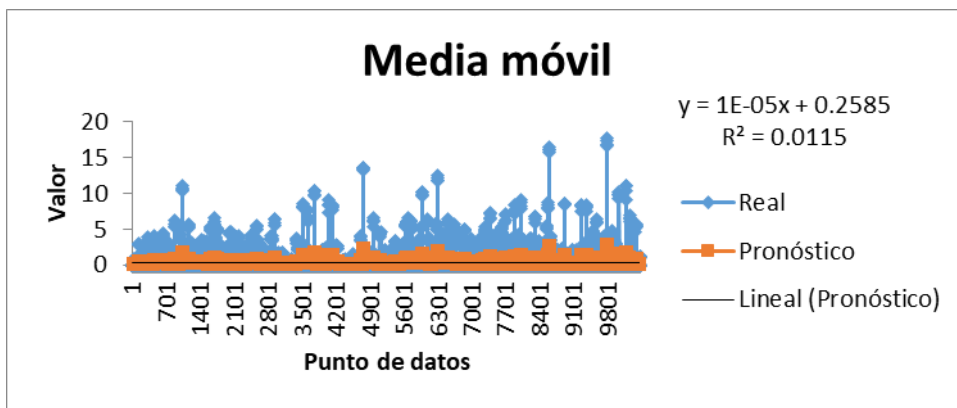


Figura 218. Media móvil de información futura en la estación de Buenos Aires para el mes de octubre, tendencia y ecuación.

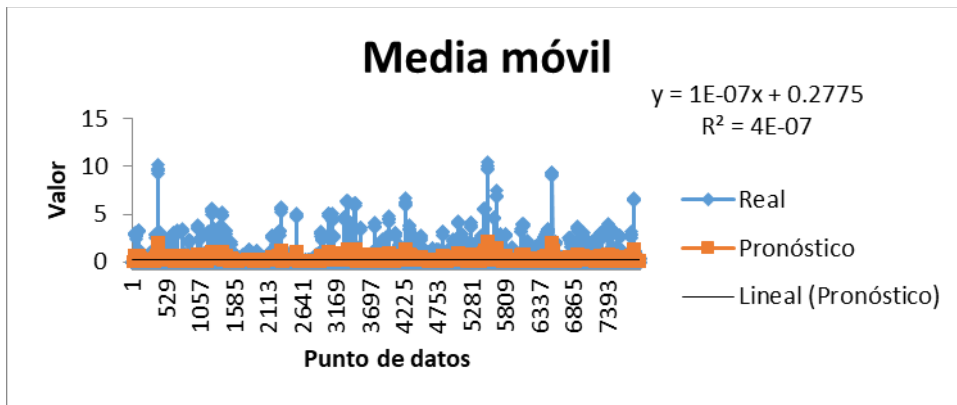


Figura 219. Media móvil de información futura en la estación de Buenos Aires para el mes de noviembre, tendencia y ecuación.



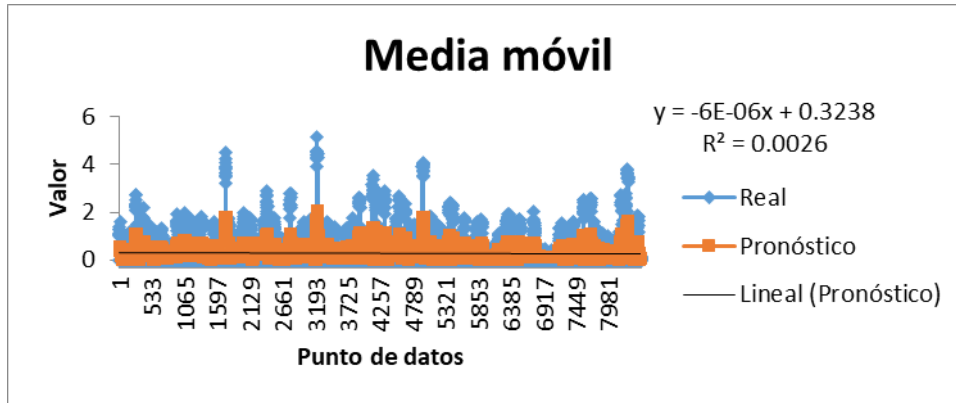


Figura 220. Media móvil de información futura en la estación de Buenos Aires para el mes de diciembre, tendencia y ecuación.

Anexo 8. Gráficas de Tendencias para series históricas correspondientes a la estación de Ucubamba en la zona baja de la cuenca del Río Tomebamba.

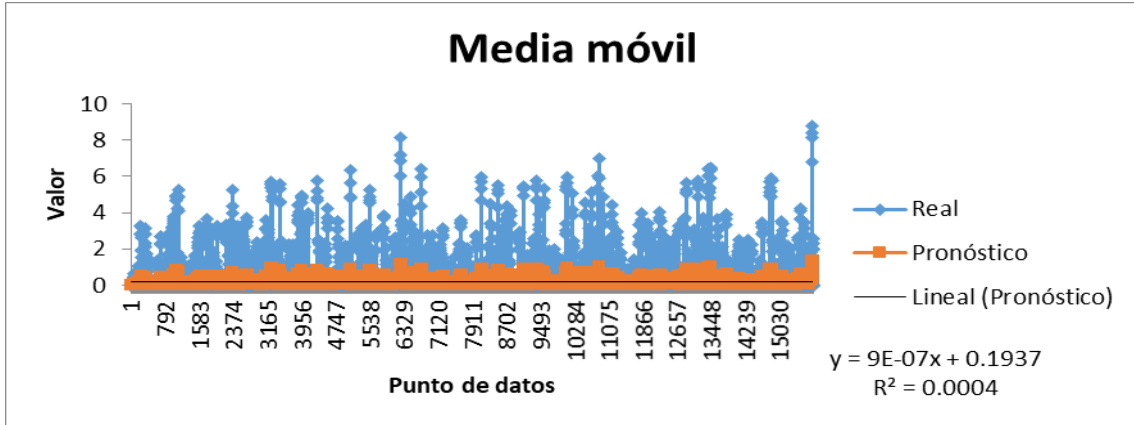


Figura 221. Media móvil de información histórica en la estación de Ucubamba para el mes de febrero, tendencia y ecuación.

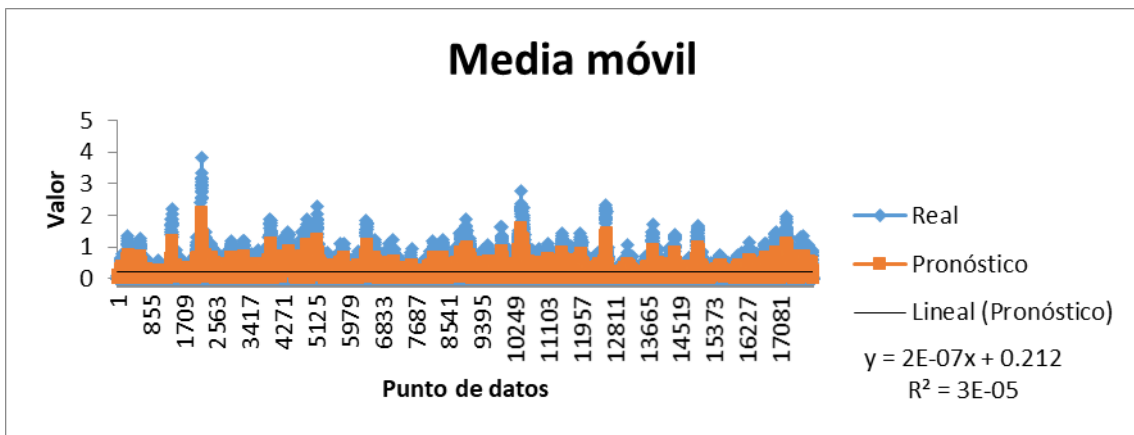


Figura 222. Media móvil de información histórica en la estación de Ucubamba para el mes de marzo, tendencia y ecuación.

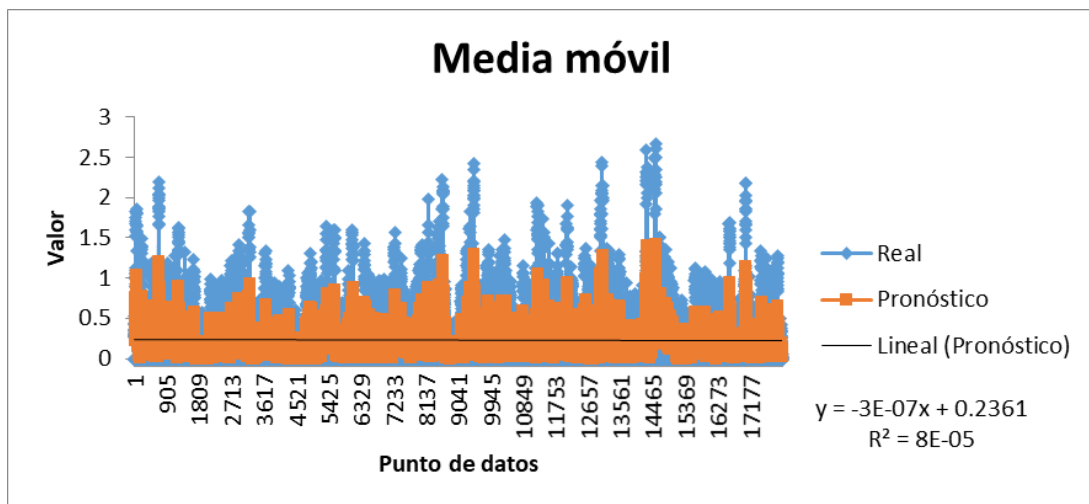


Figura 223. Media móvil de información histórica en la estación de Ucubamba para el mes de abril, tendencia y ecuación.

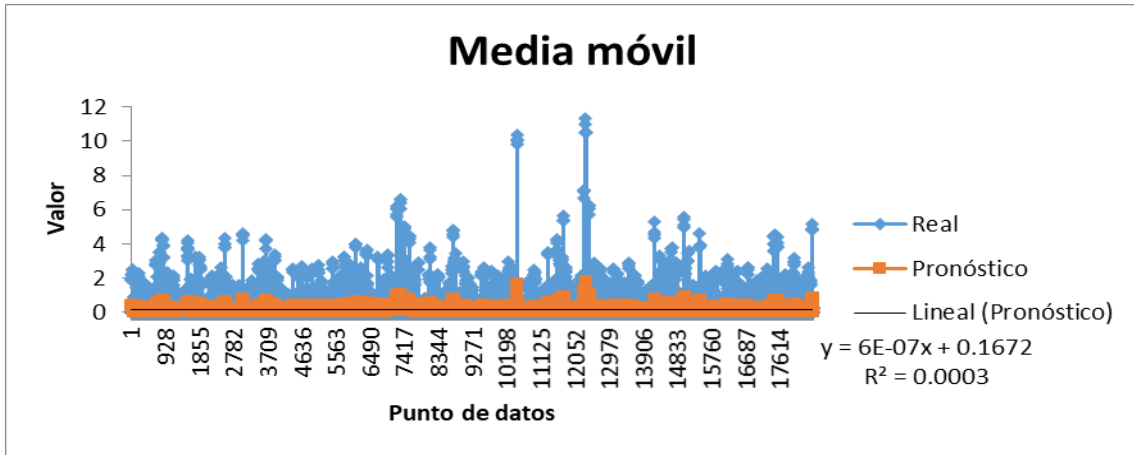


Figura 224. Media móvil de información histórica en la estación de Ucubamba para el mes de mayo, tendencia y ecuación.

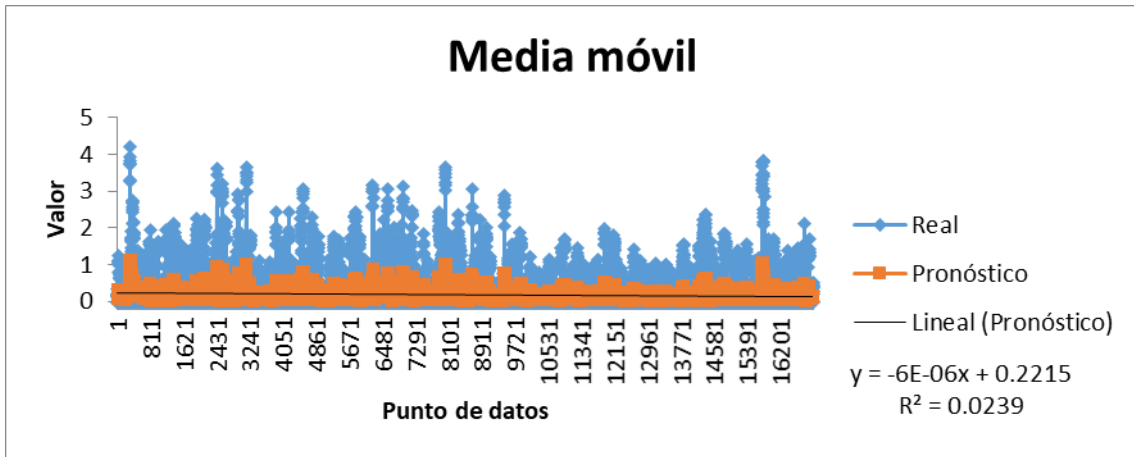


Figura 225. Media móvil de información histórica en la estación de Ucubamba para el mes de junio, tendencia y ecuación.

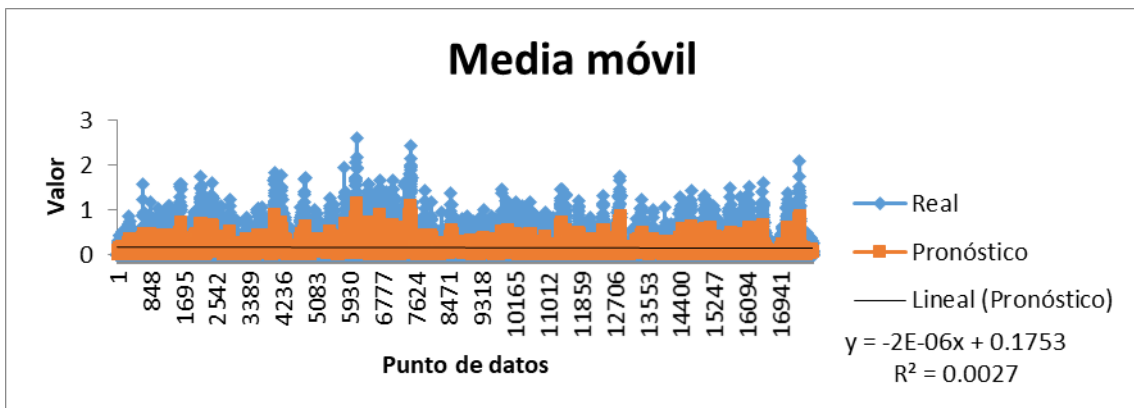


Figura 226. Media móvil de información histórica en la estación de Ucubamba para el mes de julio, tendencia y ecuación.

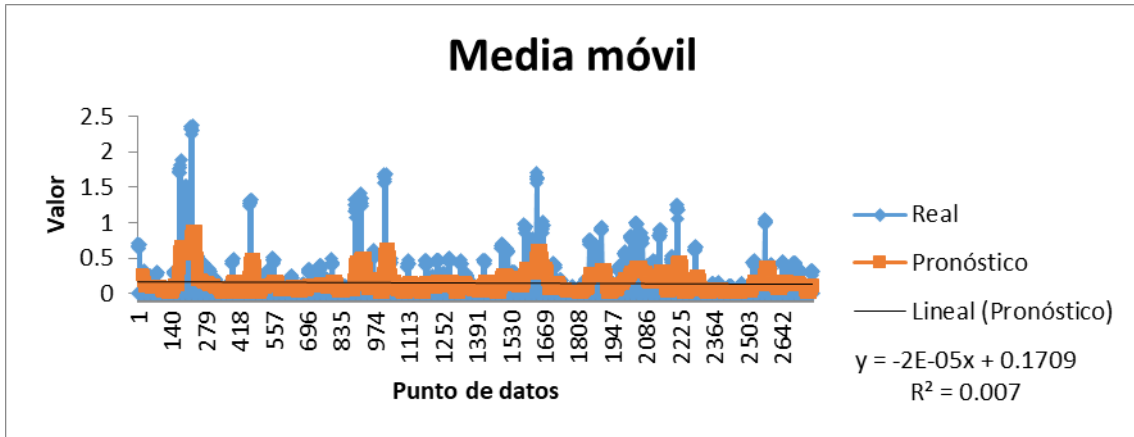


Figura 227. Media móvil de información histórica en la estación de Ucubamba para el mes de agosto, tendencia y ecuación.

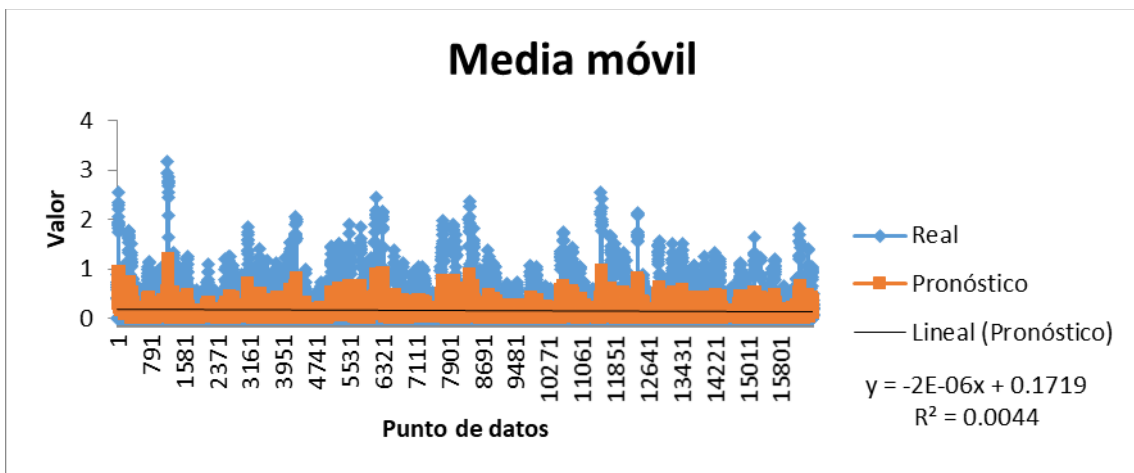


Figura 228. Media móvil de información histórica en la estación de Ucubamba para el mes de septiembre, tendencia y ecuación.

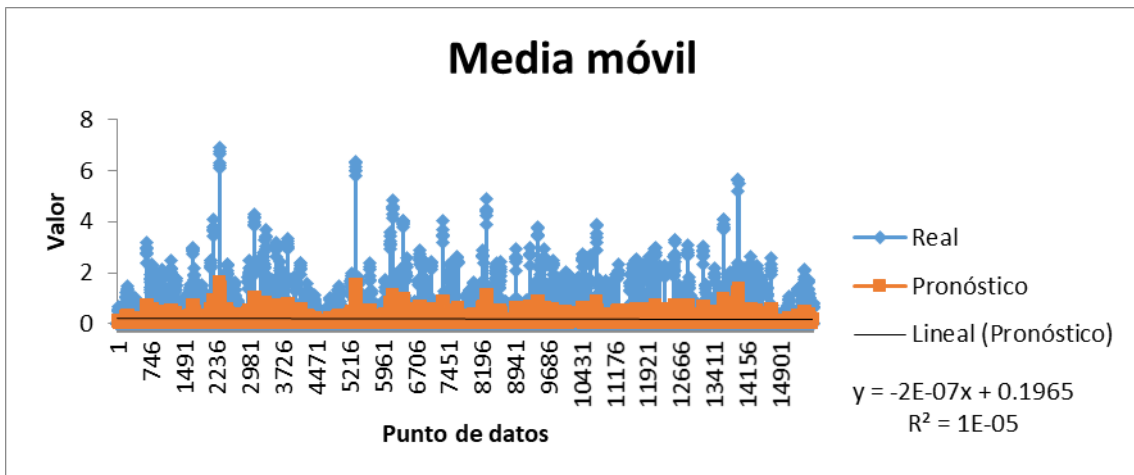


Figura 229. Media móvil de información histórica en la estación de Ucubamba para el mes de octubre, tendencia y ecuación.

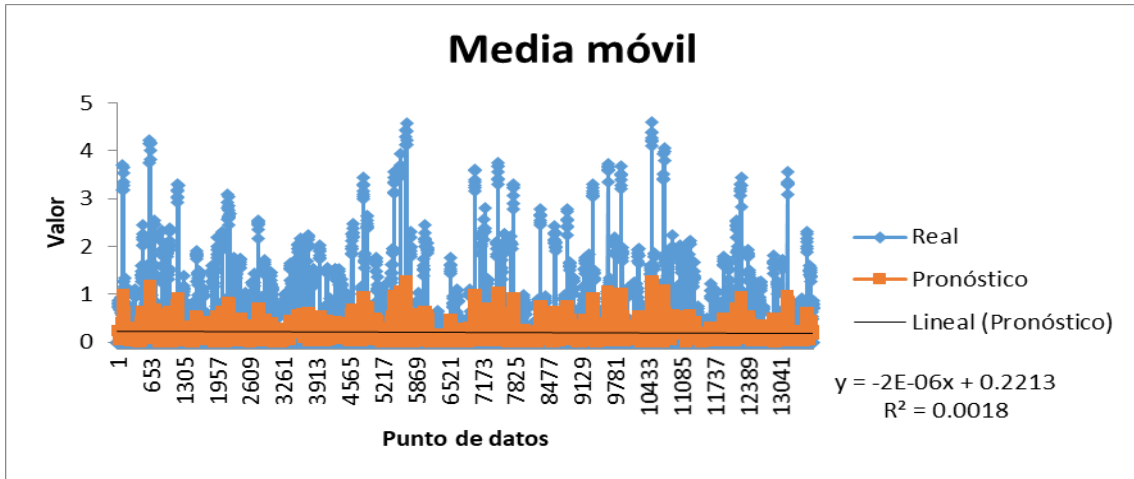


Figura 230. Media móvil de información histórica en la estación de Ucubamba para el mes de noviembre, tendencia y ecuación.

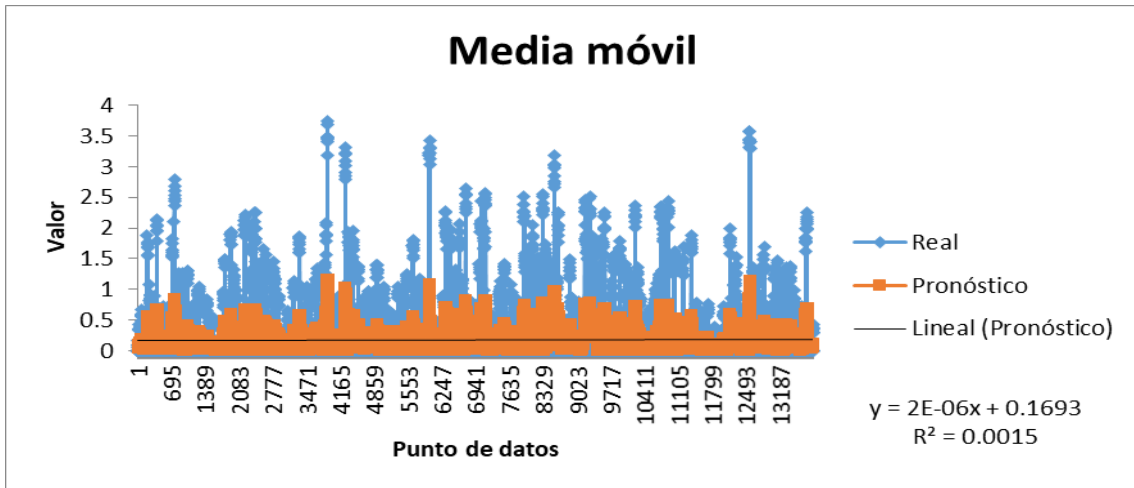


Figura 231. Media móvil de información histórica en la estación de Ucubamba para el mes de diciembre, tendencia y ecuación.

Anexo 9. Gráficas de Tendencias para series futuras correspondientes a la estación de Ucubamba en la zona baja de la cuenca del Río Tomebamba.

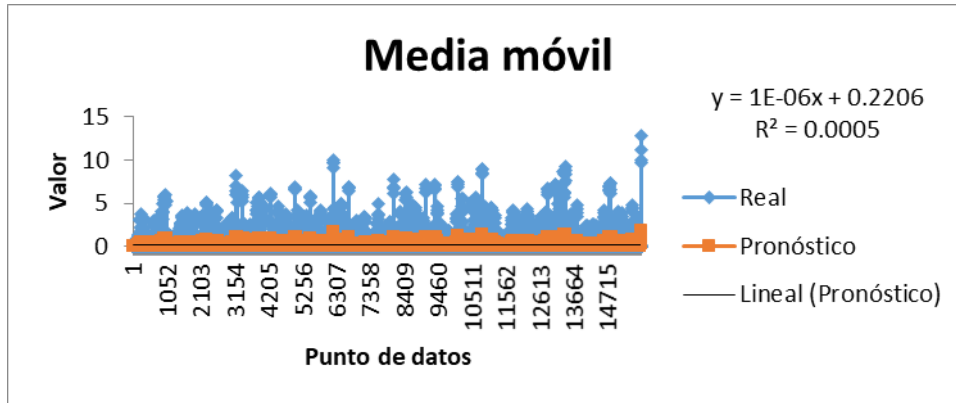


Figura 232. Media móvil de información futura en la estación de Ucubamba para el mes de febrero, tendencia y ecuación.

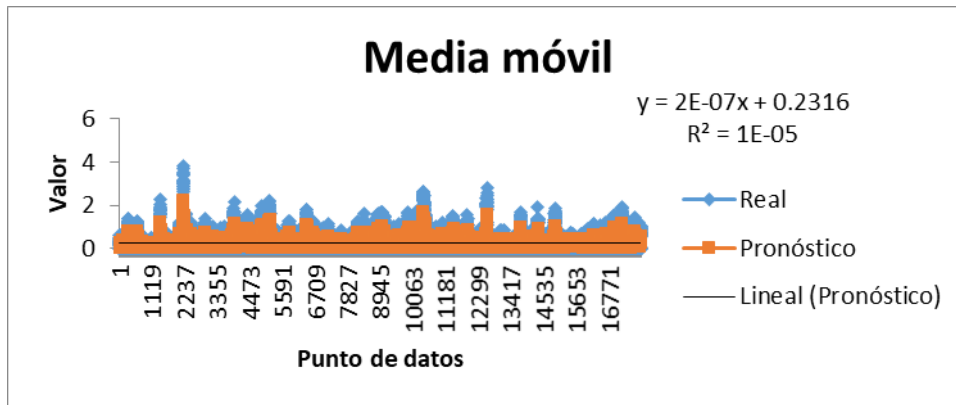


Figura 233. Media móvil de información futura en la estación de Ucubamba para el mes de marzo, tendencia y ecuación.

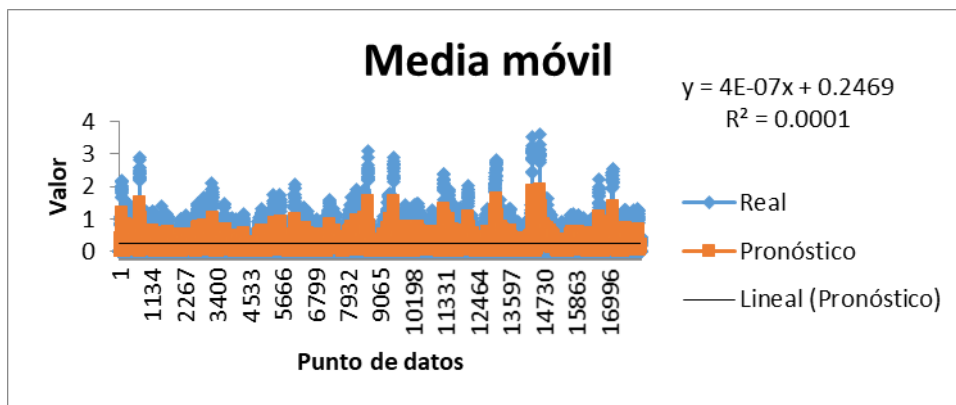


Figura 234. Media móvil de información futura en la estación de Ucubamba para el mes de abril, tendencia y ecuación.

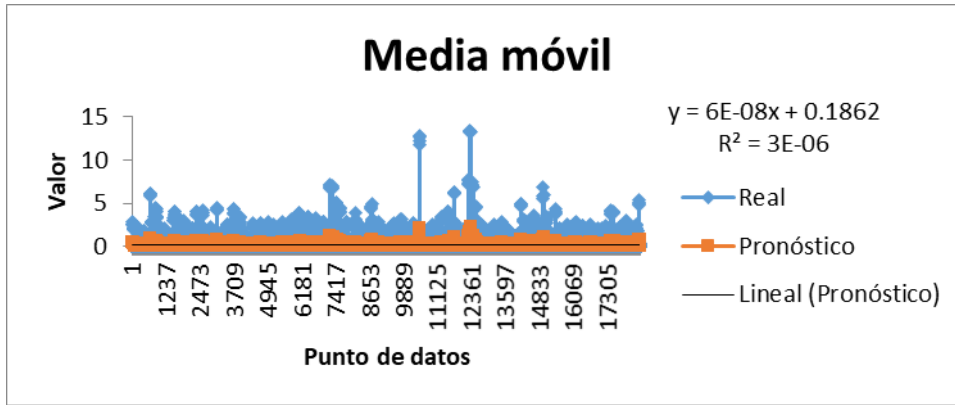


Figura 235. Media móvil de información futura en la estación de Ucubamba para el mes de mayo, tendencia y ecuación.

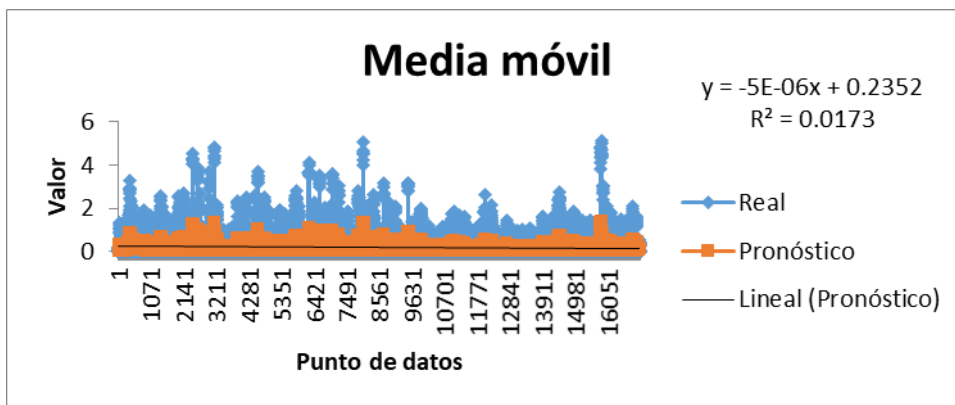


Figura 236. Media móvil de información futura en la estación de Ucubamba para el mes de junio, tendencia y ecuación.

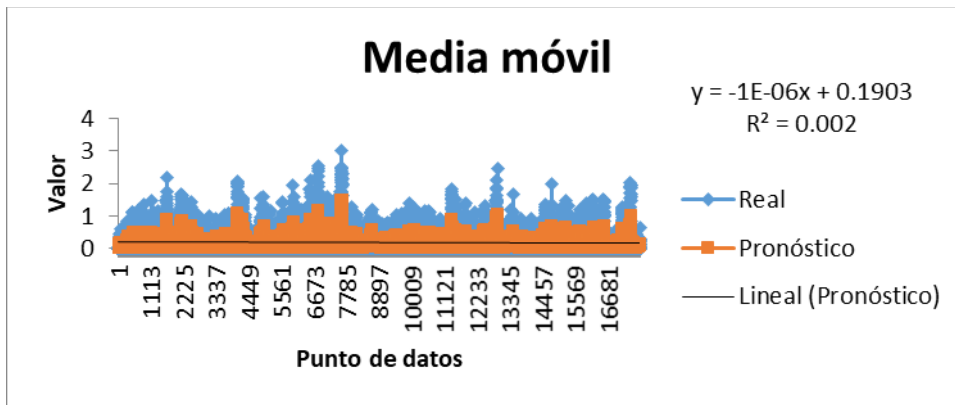


Figura 237. Media móvil de información futura en la estación de Ucubamba para el mes de julio, tendencia y ecuación.

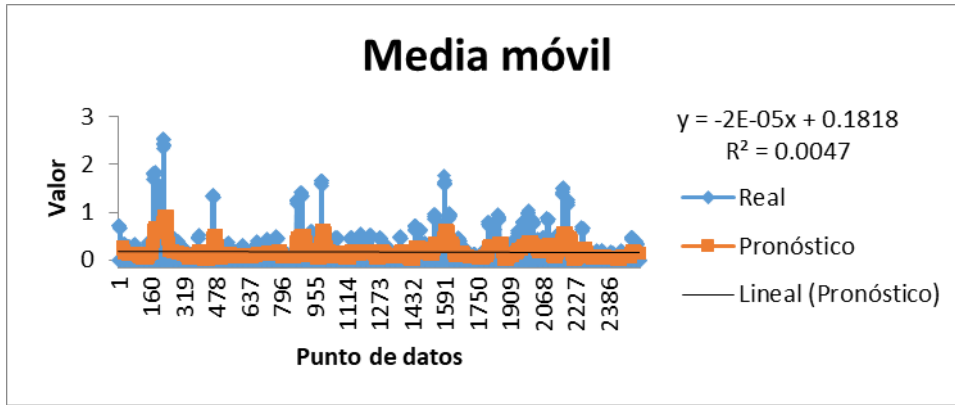


Figura 238. Media móvil de información futura en la estación de Ucubamba para el mes de agosto, tendencia y ecuación.

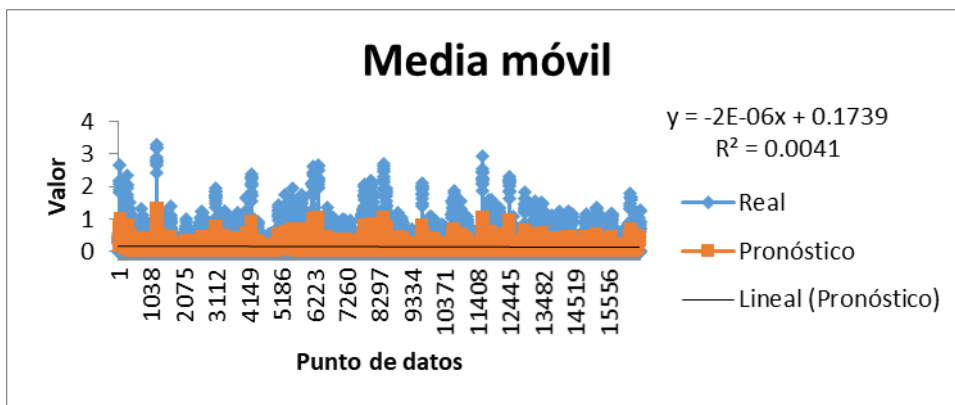


Figura 239. Media móvil de información futura en la estación de Ucubamba para el mes de septiembre, tendencia y ecuación.

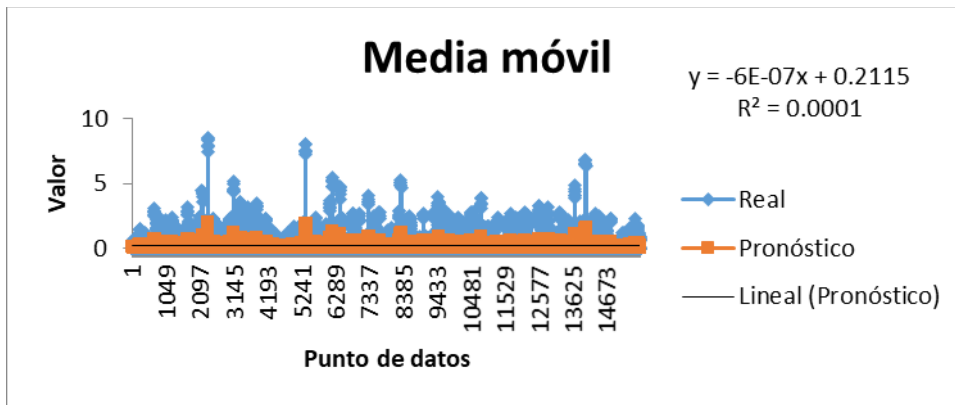


Figura 240. Media móvil de información futura en la estación de Ucubamba para el mes de octubre, tendencia y ecuación.

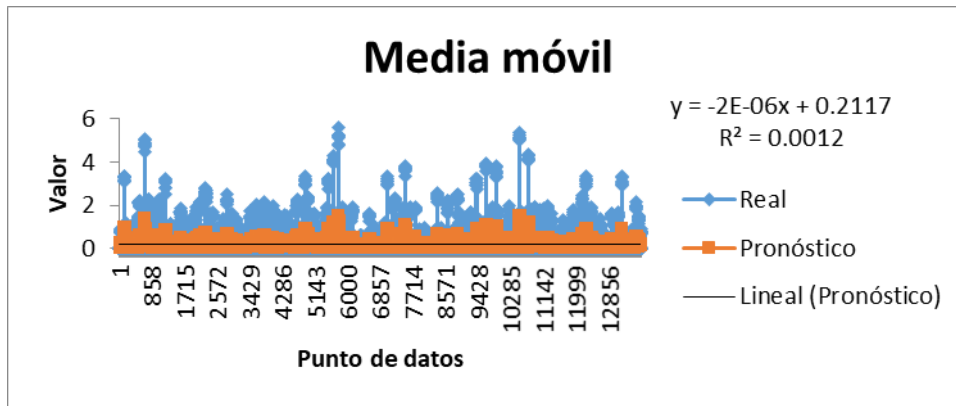


Figura 241. Media móvil de información futura en la estación de Ucubamba para el mes de noviembre, tendencia y ecuación.

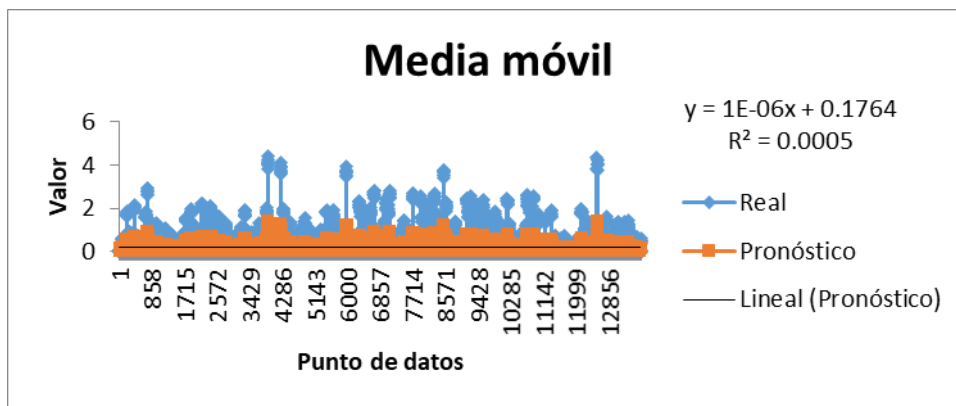


Figura 242. Media móvil de información futura en la estación de Ucubamba para el mes de diciembre, tendencia y ecuación.

Anexo 10. Gráficas de Tendencias para series históricas desagregadas de temperatura correspondientes a la estación de Ucubamba en la zona baja de la cuenca del Río Tomebamba.

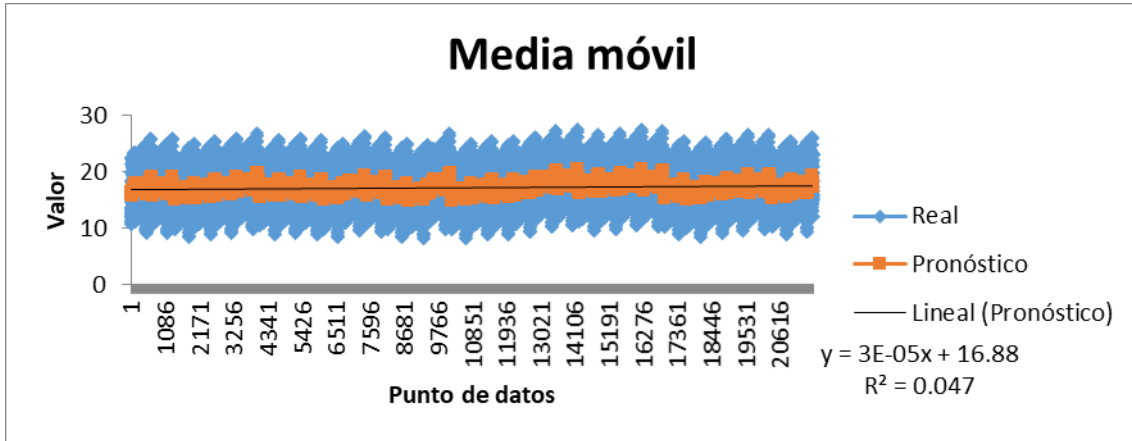


Figura 243. Media móvil del mes de febrero para la temperatura en la zona baja de la estación de Ucubamba.

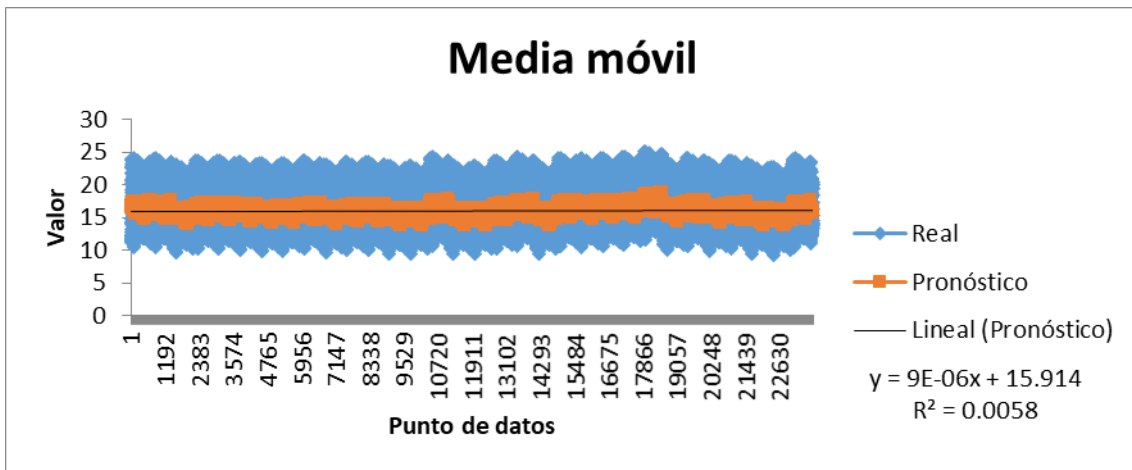


Figura 244. Media móvil del mes de marzo para la temperatura en la zona baja de la estación de Ucubamba.

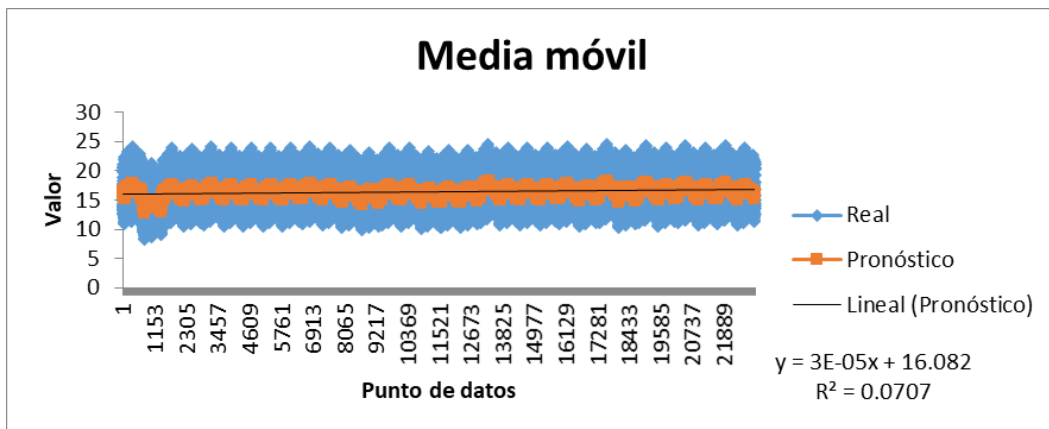


Figura 245. Media móvil del mes de abril para la temperatura en la zona baja de la estación de Ucubamba.

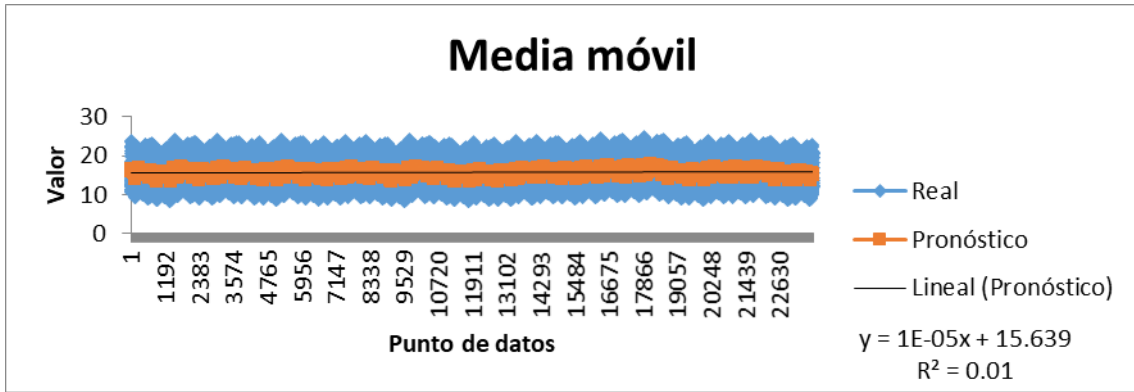


Figura 246. Media móvil del mes de mayo para la temperatura en la zona baja de la estación de Ucubamba.

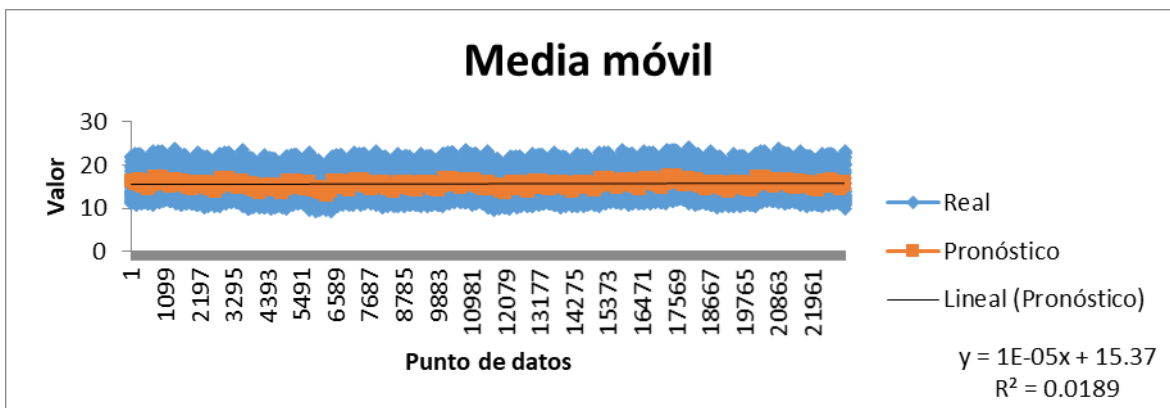


Figura 247. Media móvil del mes de junio para la temperatura en la zona baja de la estación de Ucubamba.

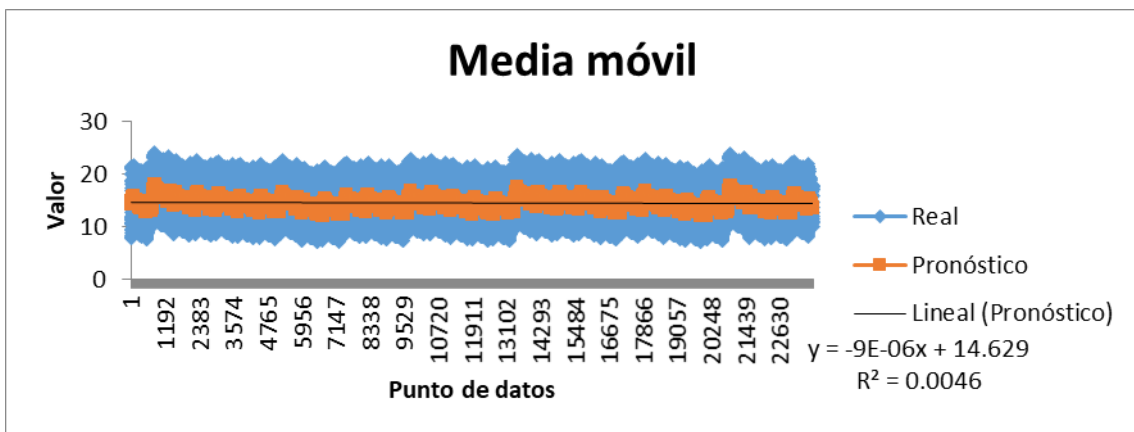


Figura 248. Media móvil del mes de julio para la temperatura en la zona baja de la estación de Ucubamba.

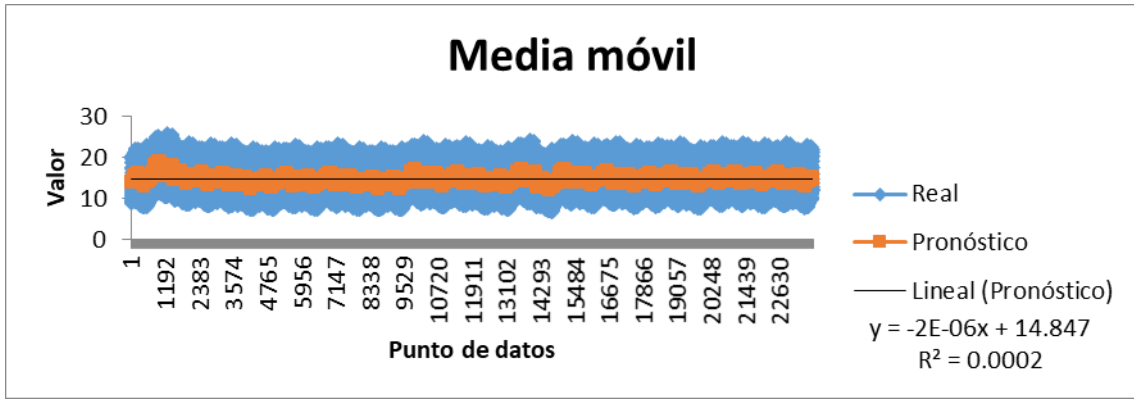


Figura 249. Media móvil del mes de agosto para la temperatura en la zona baja de la estación de Ucubamba.

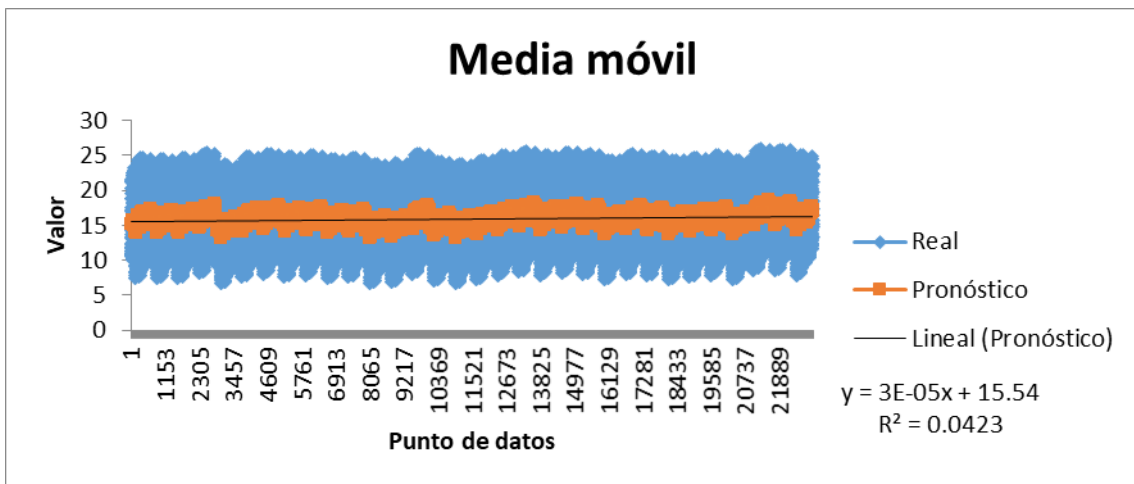


Figura 250. Media móvil del mes de septiembre para la temperatura en la zona baja de la estación de Ucubamba.

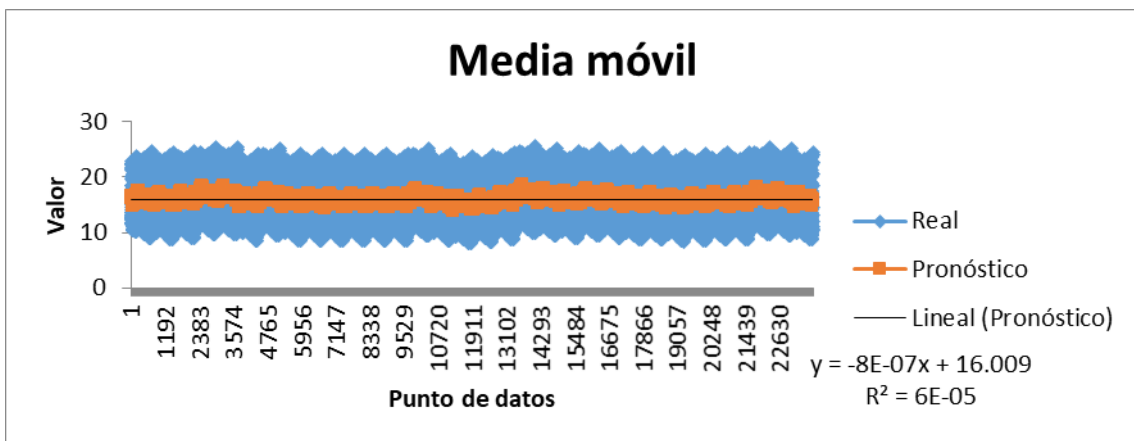


Figura 251. Media móvil del mes de octubre para la temperatura en la zona baja de la estación de Ucubamba.

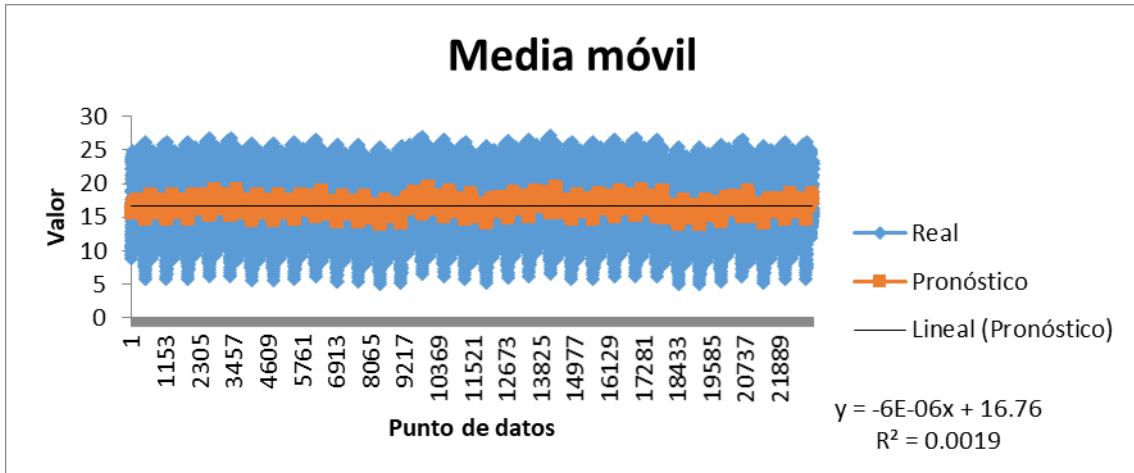


Figura 252. Media móvil del mes de noviembre para la temperatura en la zona baja de la estación de Ucubamba.

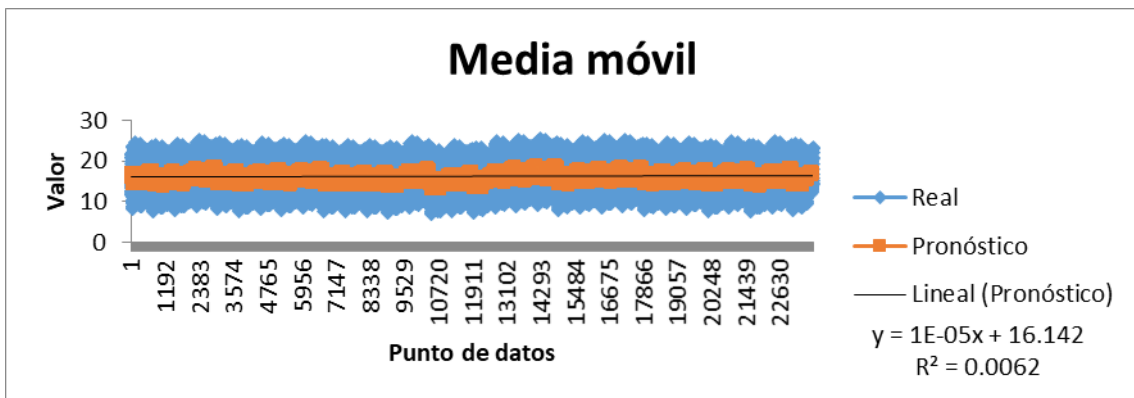


Figura 253. Media móvil del mes de diciembre para la temperatura en la zona baja de la estación de Ucubamba.