



Universidad
Continental

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de
Ingeniería Ambiental

Tesis

**Distribución espacial del pH de las precipitaciones
pluviales del Valle del Mantaro durante el periodo
2005-2014**

Anel Alexandra Wismann Facil

Huancayo, 2018

Para optar el Título Profesional
de Ingeniero Ambiental



Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Obra protegida bajo la licencia de [Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Perú](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/peru/)

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Continental, por ser impulsadora de la ejecución de proyectos científicos promoviendo el espíritu investigador de sus estudiantes, y por el apoyo incondicional en la realización de estos estudios.

Al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), por brindarme la información necesaria para esta investigación y por su buena atención y predisposición a apoyarme durante todo el proceso de realización de esta tesis.

A mi asesor Ing. Dante García, por su tiempo, dedicación y apoyo incondicional en el desarrollo de esta investigación. Al Ing. Jacinto Venancio Arroyo Aliaga, quien, con su ayuda desinteresada hizo posible que esta tesis dé sus mejores resultados.

A todas aquellas personas que, de alguna manera fueron parte de la culminación de esta tesis.

DEDICATORIA

Con todo mi amor para Hugo, Yesmina y Kathleen, mis padres y hermana. Personas que hicieron todo lo posible y que sacrificaron muchas cosas para que yo pudiera lograr mis sueños, por estar siempre apoyándome y motivándome cuando sentía que ya no tenía fuerzas para seguir. A ustedes que son mi razón de vivir y por siempre estarán en mi corazón.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	ii
DEDICATORIA	iii
RESUMEN.....	xii
INTRODUCCIÓN.....	xiv
CAPITULO I.....	1
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	1
1.1 Planteamiento y formulación del problema.....	1
1.1.1 Planteamiento del problema	1
1.1.2 Formulación del problema.....	7
1.2 Objetivos.....	7
1.2.1 Objetivo general.....	7
1.2.2 Objetivos específicos	7
1.3 Justificación y delimitación	8
1.3.1 Justificación.....	8
1.3.2 Delimitación del área de estudio	9
1.4 Hipótesis	11
1.4.1 Hipótesis general (H1)	11
1.4.2 Hipótesis nula (H ₀)	11
1.4.3 Hipótesis alterna (H _a)	11
1.5 Descripción de variables.....	11
CAPITULO II.....	13
MARCO TEÓRICO	13
2.1 Antecedentes de la investigación	13
2.1.1. Artículos científicos.....	13
2.1.1.1. <i>Artículos de investigación.</i>	13
2.1.1.2. <i>Tesis</i>	18
2.1.1. Artículos de divulgación.....	22
2.2 Bases teóricas	26
2.2.1. Fundamentos teóricos.....	26
2.2.2. Metodologías de interpolación existentes	34
2.2.3. Técnica e instrumento de investigación	43
2.2.4. Diseño de modelo teórico conceptual	48

2.3	Definición de términos básicos	48
CAPITULO III.....		51
METODOLOGÍA		51
3.1	Método y alcances de la investigación	51
3.1.1	Método de la investigación.....	51
3.1.2	Alcances de la investigación	53
3.2	Diseño de la Investigación.....	53
3.2.1	Tipo de diseño de investigación.....	53
3.3	Población y muestra	53
3.3.1	Población	53
3.3.2	Muestra	54
3.4	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	54
3.4.1	Técnicas utilizadas en la recolección de datos	54
3.4.2	Instrumentos utilizados en la recolección de datos.....	55
3.5	Técnica de análisis estadístico	55
3.6	Validación de datos	55
CAPITULO IV		<u>646465</u>
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		<u>646465</u>
4.1	Resultados del tratamiento y análisis de la información	<u>646465</u>
4.1.1.	Distribución espacial del grado de acidez en las precipitaciones atmosféricas.	<u>646465</u>
4.1.2.	Evolución temporal del grado de acidez de las precipitaciones atmosféricas	<u>676768</u>
4.1.3.	Año en el que se presentaron mayores variaciones de acidez en el Valle del Mantaro durante el periodo 2005 – 2014.....	104
4.1.4.	Grado de acidez prevalente en las precipitaciones pluviales del Valle del Mantaro.....	106
4.2.	Discusión de resultados.....	115
CONCLUSIONES		119
RECOMENDACIONES.....		120
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		121
ANEXOS.....		128

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Monitoreo de lluvias ácidas en el Valle del Mantaro. Tomado de (Suarez, 2008)	4
Figura 2: Monitoreo de lluvias ácidas en el Valle del Mantaro. Tomado de (Suarez, 2008)	4
Figura 3: Pérdidas agrícolas en el Valle del Mantaro. Tomado de (Tinoco, 2016)	6
Figura 4: Ubicación geográfica del Valle del Mantaro. Tomado de (Arroyo, 2011)	9
Figura 5. Imagen satelital del Valle del Mantaro. Tomado de (Arroyo, 2011)	10
Figura 6. Identificación de estaciones meteorológicas	10
Figura 7. Caracterización del campo de tormenta en mm para el día 111 (a) y 149 (b). Tomado de (Íñiguez et al, 2011).	14
Figura 8. a) Distribución espacial del pH en el temporal 1999 y b) distribución espacial del pH en el periodo 1999-2004. Tomado de (García et al, 2013)	15
Figura 9. a) Distribución del pH en el suelo agrícola de Zapopan. b) valores de desviación estándar de pH en el área interpolada. Tomado de (Ibarra et al, 2009)	16
Figura 10. a) Mapa obtenido mediante el interpolador Kriging b) Mapa obtenido mediante el interpolador IDW. Tomado de (Villatoro et al, 2008)	17
Figura 11. Variograma empírico y ajuste al modelo Exponencial para la duración 0.75 horas(c) y la duración 1 hora (d). Tomado de (Cortés, 2013)	19
Figura 12. Variograma empírico y ajuste al modelo Exponencial para la duración 24 horas (i). Tomado de (Cortés, 2013)	19
Figura 13: Estimación Kriging Ordinario para las duraciones, 0.25 (a), 0.5 (b), 0.75 (c) y 1 horas (d). Tomado de (Cortés, 2013)	20
Figura 14: Estimación Kriging Ordinario para las duraciones, 2 (e), 4 (f), 6 (g) y 12 horas (h). Tomado de (Cortés, 2013)	21
Figura 15. Estimación Kriging Ordinario para la duración 24 horas. Tomado de (Cortés, 2013).	21
Figura 16. Valores de SO ₂ registrados. Tomado de DIGESA, 2006 (33)	24
Figura 17. Valores de NO ₂ registrados. Tomado de DIGESA, 2006 (33)	25
Figura 18. Concentración de dióxido de nitrógeno. Tomado de (MINAM, 2014)	25
Figura 19. Concentración de dióxido de Azufre. Tomado de (MINAM, 2014)	26
Figura 20. Fuentes y receptores de la lluvia ácida. Tomado de Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2004 (38)	28
Figura 21: Mecanismos en la formación de NO _x . 1 mecanismo principal y 2 mecanismo secundario. Tomado de Hernández, 2006 (42)	31

Figura 22: Parámetros básicos del semivariograma. Tomado de (Cortés, 2013).....	39
Figura 23: Interpolación de superficies de tendencias con datos puntuales y lineales. Tomado de Peña, 1999 (51).....	42
Figura 24. Teledetección ambiental: Formas de teledetección. Tomado de Chuvieco, 2008 (52).....	43
Figura 25. Esquema de una onda electromagnética. Tomada de Chuvieco, 2008 (52)....	44
Figura 26. Representación de la realidad en formato ráster. Tomado de Departamento de la Guajira, 2007 (55)	45
Figura 27. Superposición de mapas. Tomado de (Gómez, 2001).....	46
Figura 28: Niveles de confiabilidad - 3sigma. Tomado de Carro et al, 2012.	<u>565657</u>
Figura 29. Validación de datos de la estación Santa Ana - confiabilidad al 68%. Elaboración propia	60
Figura 30. Validación de datos de la estación Santa Ana - confiabilidad al 95%. Elaboración propia	<u>606061</u>
Figura 31. Validación de datos de la estación Santa Ana - confiabilidad al 99%. Elaboración propia	61
Figura 32. Distribución espacial periodo 2005-2009.	<u>656566</u>
Figura 33. Semivariograma periodo 2005 – 2009.	<u>656566</u>
Figura 34. Distribución espacial periodo 2010 – 2014.	<u>666667</u>
Figura 35: Semivariograma periodo 2010 – 2014.	<u>676768</u>
Figura 36: Variación temporal del pH en la estación meteorológica de Jauja.....	89
Figura 37: Clasificación en % según el pH – Jauja.....	90
Figura 38. Valor de pH más ácido – Jauja.	91
Figura 39. Valor de pH no ácido – Jauja.	91
Figura 40. Variación temporal del pH en la estación meteorológica de Huayao.	93
Figura 41. Clasificación en % según el pH –Huayao.....	94
<i>Figura 42: Valor de pH más ácido – Huayao.</i>	95
Figura 43. Valor de pH no ácido – Huayao.	95
Figura 44. Variación temporal del pH en la estación meteorológica de Viques.	97
Figura 45. Clasificación en % según el pH –Viques.	98
Figura 46. Valor de pH más ácido – Viques.....	99
Figura 47. Valor de pH no ácido – Viques.....	99
Figura 48. Variación temporal del pH en la estación meteorológica de Santa Ana.....	101
Figura 49. Clasificación en % según el pH – Santa Ana.....	102

Figura 50. Valor de pH más ácido - Santa Ana.....	103
<i>Figura 51.</i> Valor de pH no ácido - Santa Ana.....	103
Figura 52. Mapa de variaciones de pH – año 2007.....	105
Figura 53. Mapa de variaciones de pH – año 2014.....	106
Figura 54: Valor prevalente de pH mensual - Santa Ana.....	107
Figura 55. Valor de pH prevalente - Santa Ana.....	108
Figura 56: Valor prevalente de pH mensual – Viques.....	109
Figura 57. Valor de pH prevalente – Viques.....	110
Figura 58: Valor prevalente de pH mensual - Huayao.....	111
Figura 59. Valor de pH prevalente – Huayao.....	112
Figura 60. Valor prevalente de pH mensual – Jauja.....	113
Figura 61. Valor de pH prevalente – Jauja.....	114
Figura 62. Nivel de pH prevalente.....	115
Figura 63. Daños ocasionados en las esculturas y objetos de arte situados a la intemperie. Tomado de (Rubiera, 2015.).....	131
Figura 64. Manifestaciones de los daños ocasionados por la lluvia ácida. Tomado de (Universidad Complutense de Madrid, 2014.).....	131
Figura 65. Planilla Climatológica. Tomado de (SENAMHI).....	132
Figura 66. Datos de precipitación – Huayao. Tomado de (SENAMHI).....	133
Figura 67. Datos de precipitación – Jauja. Tomado de (SENAMHI).....	134
Figura 68. Datos de precipitación - Santa Ana. Tomado de (SENAMHI).....	135
Figura 69. Datos de precipitación – Viques. Tomado de (SENAMHI).....	136
<i>Figura 70.</i> Datos de pH – Huayao. Tomado de (SENAMHI).....	137
Figura 71. Datos de pH – Jauja. Tomado de (SENAMHI).....	138
Figura 72. Datos de pH - Santa Ana. Tomado de (SENAMHI).....	139
Figura 73. Datos de pH – Viques. Tomado de (SENAMHI).....	140
Figura 74. Ficha de registro de datos de pH y precipitación – Jauja. Elaboración propia.....	141
Figura 75. Ficha de registro de datos de pH y precipitación – Huayao. Elaboración propia	142
Figura 76. Ficha de registro de datos de pH y precipitación – Viques. Elaboración propia	143
Figura 77. Ficha de registro de datos de pH y precipitación - Santa Ana. Elaboración propia.....	144

Figura 78. Control de calidad de datos - Huayao 2005.....	145
Figura 79. Control de calidad de datos - Huayao 2006.....	145
Figura 80. Control de calidad de datos - Huayao 2007.....	145
Figura 81. Control de calidad de datos - Huayao 2008.....	146
Figura 82. Control de calidad de datos - Huayao 2009.....	146
Figura 83. Control de calidad de datos - Huayao 2010.....	146
Figura 84. Control de calidad de datos - Huayao 2011.....	147
Figura 85. Control de calidad de datos - Huayao 2012.....	147
Figura 86. Control de calidad de datos - Huayao 2013.....	147
Figura 87. Control de calidad de datos - Huayao 2014.....	148
Figura 88. Control de calidad de datos - Santa Ana 2005.....	148
Figura 89. Control de calidad de datos - Santa Ana 2006.....	148
Figura 90. Control de calidad de datos - Santa Ana 2007.....	149
Figura 91. Control de calidad de datos - Santa Ana 2008.....	149
<i>Figura</i> 92. Control de calidad de datos - Santa Ana 2009.....	149
Figura 93. Control de calidad de datos - Santa Ana 2010.....	150
Figura 94. Control de calidad de datos - Santa Ana 2011.....	150
Figura 95. Control de calidad de datos - Santa Ana 2012.....	150
Figura 96. Control de calidad de datos - Santa Ana 2013.....	151
Figura 97. <i>Control de calidad de datos - Santa Ana 2014</i>	151
Figura 98. Control de calidad de datos - Jauja 2005.....	151
Figura 99. Control de calidad de datos - Jauja 2006.....	152
Figura 100. Control de calidad de datos - Jauja 2007.....	152
Figura 101. Control de calidad de datos - Jauja 2008.....	152
Figura 102. Control de calidad de datos - Jauja 2009.....	153
Figura 103. Control de calidad de datos - Jauja 2010.....	153
Figura 104. Control de calidad de datos - Jauja 2011.....	153
Figura 105. Control de calidad de datos - Jauja 2012.....	154
Figura 106. Control de calidad de datos - Jauja 2013.....	154
Figura 107. Control de calidad de datos - Jauja 2014.....	154
Figura 108. Control de calidad de datos - Viques 2005.....	155
Figura 109. Control de calidad de datos - Viques 2006.....	155
Figura 110. Control de calidad de datos - Viques 2007.....	155

Figura 111. Control de calidad de datos - Viques 2008	156
Figura 112. Control de calidad de datos - Viques 2009	156
Figura 113. Control de calidad de datos - Viques 2010	156
Figura 114. Control de calidad de datos - Viques 2011	157
Figura 115. Control de calidad de datos - Viques 2012	157
Figura 116. Control de calidad de datos - Viques 2013	157
Figura 117. Control de calidad de datos - Viques 2014	158
Figura 118. Distribución espacial de pH- año 2005.	159
Figura 119. Distribución espacial de pH- año 2006	159
Figura 120. Distribución espacial de pH- año 2007	160
Figura 121. Distribución espacial de pH- año 2008	160
Figura 122. Distribución espacial de pH- año 2009	161
Figura 123. Distribución espacial de pH- año 2010	161
Figura 124. Distribución espacial de pH- año 2011	162
Figura 125: Distribución espacial de pH – año 2012	162
Figura 126: Distribución espacial de pH – año 2013	163
Figura 127. Distribución espacial de pH - año 2014	163

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1:</i> pH para cultivos y especies ornamentales del Valle del Mantaro.....	5
Tabla 2. Descripción de variables.....	11
Tabla 3. Valores de SO ₂ medidos en microgramos por metro cúbico	23
<i>Tabla 4.</i> Valores de NO ₂ medidos en microgramos por metro cúbico	24
Tabla 5. Clasificación del agua de lluvia de acuerdo con el pH.....	27
<i>Tabla 6:</i> Tipos de predictores kriging y sus propiedades.....	35
Tabla 7: Ubicación de estaciones meteorológicas.....	52
<i>Tabla 8:</i> Validación de datos	58
<i>Tabla 9.</i> Niveles de confiabilidad de datos de pH - Santa Ana.....	61
Tabla 10: Niveles de confiabilidad de datos de pH – Viques	62
<i>Tabla 11.</i> Niveles de confiabilidad de datos de pH -Jauja	62 626263
Tabla 12. Niveles de confiabilidad de datos de pH - Huayao.....	63
Tabla 13. Promedio de pH de las precipitaciones en % - estación Jauja 2005- 2014	90
Tabla 14. Promedio de pH de las precipitaciones en % - estación Huayao 2005- 2014 ...	94
Tabla 15. Promedio de pH de las precipitaciones en % - estación Viques 2005- 2014.....	98
<i>Tabla 16.</i> Promedio de pH de las precipitaciones en % - estación Santa Ana 2005- 2014	102

RESUMEN

La presente investigación titulada “Distribución espacial del pH de las precipitaciones pluviales del valle del Mantaro durante el periodo 2005 – 2014” tiene como objetivo determinar la distribución espacial del pH de las precipitaciones pluviales en el Valle del Mantaro durante el periodo 2005-2014; utilizó la estadística descriptiva para la sistematización de información, luego el método geo estadístico Kriging para la interpolación de datos y la generación de los mapas de distribución espacial. Se determinó que durante el periodo 2005-2009 se presentaron precipitaciones con los niveles más bajos de pH, las cuales se concentraron al noroeste del Valle, en la estación de Jauja, con valores desde 5.65, valores que fueron en aumento conforme se dirigía hacia el sur. Durante el segundo periodo de 2010 - 2014, los niveles de pH se mantuvieron constantes en las 4 estaciones, en el rango de 6.94 a 7.14. Asimismo, se determinó a nivel mensual que, las estaciones de Jauja y Huayao presentaron niveles de acidez muy bajos de 4.19 y 3.9 respectivamente. Por tanto, los mapas de distribución espacial determinaron que, los episodios de precipitación durante el periodo 2005-2009 fueron no ácidos, sin embargo, lo niveles de pH más bajos se presentaron en la estación de Jauja, al noroeste del Valle del Mantaro.

Palabras clave: Distribución espacial, Valle del Mantaro, método Kriging, geoestadística.

ABSTRACT

The present investigation entitled “Spatial distribution of the pH of the rainfall of the Mantaro Valley during the period 2005 – 2014” had the objective of determining the spatial distribution of the pH of the rainfall in the Mantaro Valley during the period 2005-2014; He used descriptive statistics for the systematization of information, then the Kriging geostatistical method for data interpolation and the generation of spatial distribution maps. It was determined that during the period 2005-2009 rainfall occurred with the lowest pH levels, which were concentrated northwest of the Valley, in the station of Jauja, with values from 5.65, values that were increasing as it went towards the south. During the second period of 2010 - 2014, the pH levels remained constant in the 4 stations, in the range of 6.94 to 7.14. Likewise, it was determined on a monthly basis that, the stations of Jauja and Huayao had very low levels of acidity of 4.19 and 3.9 respectively. Therefore, spatial distribution maps determined that precipitation episodes during the 2005-2009 period were non-acidic however, the lowest pH levels occurred at the Jauja station, northwest of the Mantaro Valley.

Keywords: Spatial distribution, Mantaro Valley, Kriging method, geostatistics.

INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas que afronta la población mundial, es la degradación del medio ambiente producto de la emisión de contaminantes emitidos a la atmósfera y de actividades industriales, urbanas e intensivas. Las consecuencias de los problemas de contaminación que se presentan hoy en día no solo se traduce en efectos directos al ser humano, sino que, trae consigo la generación de fenómenos que afectan el medio ambiente, tal es el caso de la lluvia ácida; por lo cual surge la necesidad de realizar estudios relacionados a la distribución espacial del pH de las precipitaciones.

La lluvia ácida genera alteraciones en los ecosistemas, tanto terrestres como acuáticos, por tanto, provoca grandes pérdidas de biodiversidad, asimismo provoca impactos económicos y sociales en las poblaciones.

La lluvia ácida es un fenómeno que se produce principalmente por las emisiones de SO_2 y NO_2 , producto de fuentes naturales que comprenden emisiones volcánicas, tormentas eléctricas, biomasa, actividad microbiana, entre otros y de fuentes antropogénicas que corresponden a las emisiones de fuentes fijas provenientes de plantas industriales de combustibles fósiles como carbón y petróleo y fuentes móviles, representadas principalmente por las emisiones de los motores de combustión interna de los vehículos de transporte (1).

Dentro del Valle del Mantaro, las investigaciones relacionadas al tema de la lluvia ácida son muy escasas, lo más actual que se tiene en relación al tema es el inventario de emisiones realizado por el Ministerio del Ambiente en el año 2014, pero las mediciones sólo se hicieron en la ciudad de Huancayo; adicional a ello se tiene un estudio sobre contaminación atmosférica el cual identificó presencia de lluvia ácida en el valle, sin embargo, dicho estudio fue realizado en el año 2008 y, por último los reportes hechos por el SENAMHI, los cuales cesaron en el 2015. Considerando que el Valle del Mantaro es una

zona agrícola, ganadera y piscícola, es necesario el estudio de fenómenos que pueda afectar a los recursos y por tanto a la producción. Por consiguiente, en la investigación se plantea como objetivo determinar la distribución espacial del pH de las precipitaciones pluviales en el Valle del Mantaro durante el periodo 2005-2014.

La hipótesis de la investigación, el grado de acidez de las precipitaciones pluviales del Valle del Mantaro durante el periodo 2005 – 2014 sobrepasan el valor natural de pH según lo establecido por el Instituto Geofísico del Perú.

La investigación consta de 4 capítulos. El primer capítulo, se describe el planteamiento y la formulación del problema, los objetivos, la justificación tecnológica, social, académica y ambiental, a la delimitación del área de estudio, las hipótesis y la descripción de variables.

En el capítulo II, trata del marco teórico y consta de los antecedentes del problema, se consideran artículos científicos, tesis, publicaciones, etc., que guardan relación con el tema a investigar, y que son de vital importancia para darle peso y sustento a esta investigación. También se encuentran las bases teóricas y la definición de términos básicos. El método geoestadístico aplicado a la investigación fue el Kriging porque se adaptó a las condiciones del estudio.

En el capítulo III, se describe la metodología bajo la cual se trabajó esta investigación, el alcance, el diseño, la población y muestra, las técnicas e instrumentos de recolección de datos. En el método específico se realizó el tratamiento de la información mediante estadística descriptiva, y se utilizó la geo estadística como herramienta para la modelación espacial, y el método de interpolación Kriging, para obtener predicciones en sitios del área de estudio en donde no existe información de pH.

En el capítulo IV se describe los resultados y la discusión, que es el resultado del tratamiento y análisis de la información. Se da a conocer las zonas del valle que han sido más propensas a sufrir con el fenómeno de la lluvia ácida, en función a dos periodos de tiempo entre el 2005-2009 y de 2010-2014. Además, se identifica en que año se presentaron con mayor frecuencia los episodios de lluvia ácida y cuáles fueron los valores más bajos y más altos de pH.

La autora.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1 Planteamiento y formulación del problema

1.1.1 Planteamiento del problema

Actualmente los problemas ambientales a los que se enfrenta el mundo son cada vez más notorios, sin embargo, algunos son más evidentes que otros y esto conlleva a que sólo se enfoque la atención en aquellos con consecuencias a corto plazo.

El problema de la lluvia ácida se ha convertido en un icono de la degradación ambiental, es un fenómeno asociado a la calidad del aire, (2) ya que ésta se forma a partir de las emisiones de dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno emitidos a la atmósfera, estos gases son liberados de manera natural como los volcanes, el polvo, etc., o antrópicas por automóviles, chimeneas, industrias como fundidoras, refinerías, etc., que queman combustibles fósiles como el carbón y el petróleo. Y de manera natural a causa de emisiones volcánicas, tormentas de polvo, etc. (3).

La lluvia ácida no tiene límites ni fronteras; ya que tanto la dirección como la velocidad de los vientos inciden en el desplazamiento de los contaminantes que la producen (4); y sus efectos son cada vez más notorios.

La acidificación de las aguas, sean lagos, ríos, arroyos, pantanos y otros medios acuáticos, provoca la excesiva absorción de aluminio lo que incrementa la toxicidad de las aguas (5); las poblaciones de algas, plantas y animales acuáticos se dañan de varias maneras. El agua ácida interrumpe su ciclo reproductivo, también separa compuestos de aluminio del suelo al agua, obstruyendo las branquias de los peces y alterando la química de su sangre o produciendo otros efectos igualmente tóxicos en otros animales. Mientras un lago se acidifica, desaparece una especie tras otra, empezando por las más sensibles

al pH del agua, pero en situaciones extremas desaparecen también las más tolerantes. El exceso de ácido nítrico puede provocar un aumento de nitratos en los lagos, mares y océanos y la consiguiente eutrofización de los mismos con sus dramáticas consecuencias (6).

A largo plazo incrementa la disponibilidad de algunos metales, especialmente el aluminio, al que muchas plantas y animales encuentran tóxico en concentraciones significativas. En los bosques puede tener efectos significativos sobre el ciclo de nutrientes y en la función del ecosistema. Un efecto posible de las entradas atmosféricas crónicas de nitrógeno, es que puede conducir al mantenimiento de altos niveles de nitrógeno en el suelo y en la solución del suelo, lo cual a su vez puede sostener poblaciones activas de microorganismos en el ciclo del nitrógeno y como resultado se estimulan las tasas de nitrificación. Las entradas en la deposición de nitrógeno y los suelos con alta actividad de nitrificación, junto con una baja proporción C: N (carbono: nitrógeno) en el suelo y en el mantillo, son los principales factores en el desarrollo de bosques en saturación de nitrógeno; estos bosques o la cuenca son altamente propensos a perder el nitrógeno en exceso como nitrato en las corrientes de agua (7).

Asimismo, el daño que está causando en los bosques se da fundamentalmente por la acción combinada de los ácidos de la lluvia, estos dificultan el proceso de fotosíntesis al obstruir los estomas; también inhiben su crecimiento a causa de la acidez del suelo (8).

Sobre los suelos, los efectos son similares a los originados sobre el medio hídrico, aunque en menor grado ya que en el suelo los metales son menos móviles (9). El aumento de la acidez destruye a los microorganismos que lo forman, con lo que este se va deteriorando. Además, la persistencia de la lluvia ácida sobre el suelo puede facilitar la pérdida de algunos nutrientes de las plantas como Ca, K y Mg, ya que con el aumento de acidez aumenta su solubilidad y su pérdida por lixiviación inhibiendo la germinación de las semillas y con ello la reproducción de las plantas. (6).

No existe país en el mundo que escape a este fenómeno. Las lluvias ácidas son un verdadero desafío para preservar el equilibrio ecológico del planeta y se presentan en la mayor parte del mundo. Este tipo de precipitaciones hoy están presentes en casi todo el norte y centro de Europa, Canadá, Estados Unidos, Japón y China, y se extienden a países menos desarrollados como Nigeria, India, Brasil, Colombia, México. (10).

En el panorama nacional, la lluvia ácida no es un problema ajeno a nuestra realidad, en Arequipa (11) el volcán Sabancaya, ubicado a 100 kilómetros al norte de la ciudad,

produce muchos daños al ambiente, la agricultura, pastizales, animales y a la salud de las personas. El jefe del Observatorio Vulcanológico del IGP informó que las columnas de cenizas llegan a una altura promedio de 3000 metros sobre el cráter. Uno de los mayores temores que expresaron los especialistas y la autoridad provincial es el daño que causa la lluvia ácida, ya que al hacer contacto con las hojas de las plantas y cultivos se empiezan a "quemar", que finalmente terminan dañando los frutos y marchitando las plantas.

Dentro del contexto regional, se puede considerar al fenómeno de la lluvia ácida como una amenaza que ocasiona desequilibrios marcados de la biodiversidad y los ecosistemas con alteraciones irreversibles y trastornos sociales, económicos y políticos.

En un informe realizado por el Ing. Luis Suarez en el 2008 (12), sobre contaminación atmosférica, señala que, la mitad de la lluvia ácida que cubría Huancayo se producía fuera de este lugar y, en el Valle del Mantaro la lluvia ácida que precipitaba se originaba principalmente por el bióxido de azufre (SO_2) que eliminaba la refinería La Oroya; cerca de 3000 toneladas por día.

La concentración del SO_2 en la Oroya sobrepasaba con creces lo establecido por el Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad de Aire del Perú; este reglamento establecía como máximo: 385 ug/m^3 en 24 horas y 80 ug/m^3 en un año: en la Oroya la concentración del SO_2 en 24 horas era de 3567 ug/m^3 cerca de 1000 % más de lo permitido. En el Valle del Mantaro se investigó el pH de la lluvia en Jauja, Concepción, Ahuac, El Tambo, Sapallanga y Chupaca, hallando que la lluvia en todo el Valle de Mantaro es ácida en el 48% y en Concepción es ácida también en el 98.4%.

También señala que la lluvia es tremendamente ácida (pH 3.5 a 4.2) en los distritos de la Oroya y Santa Rosa de Saco y ácida (pH 4.2 a 5.6) en las provincias de Yauli, Junín, Tarma, Jauja, Chupaca Huancayo, Chanchamayo, Oxapampa, Concepción y parte de Pasco.

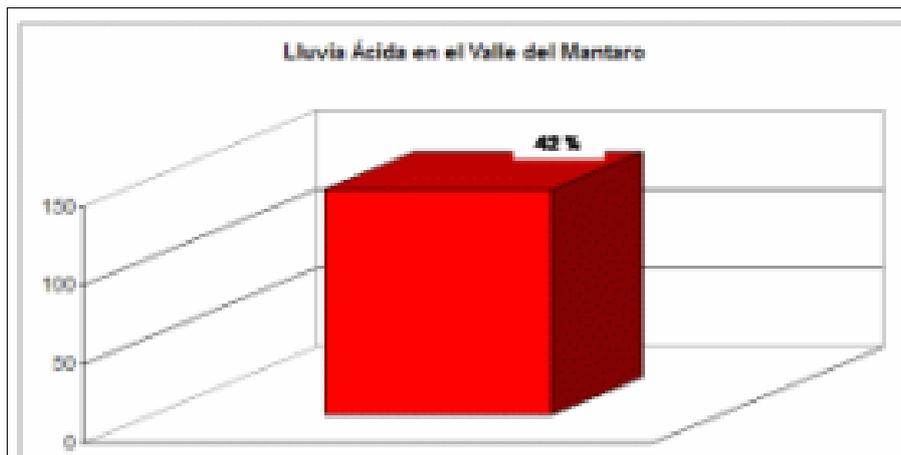


Figura 1. Monitoreo de lluvias ácidas en el Valle del Mantaro. Tomado de (Suarez, 2008)

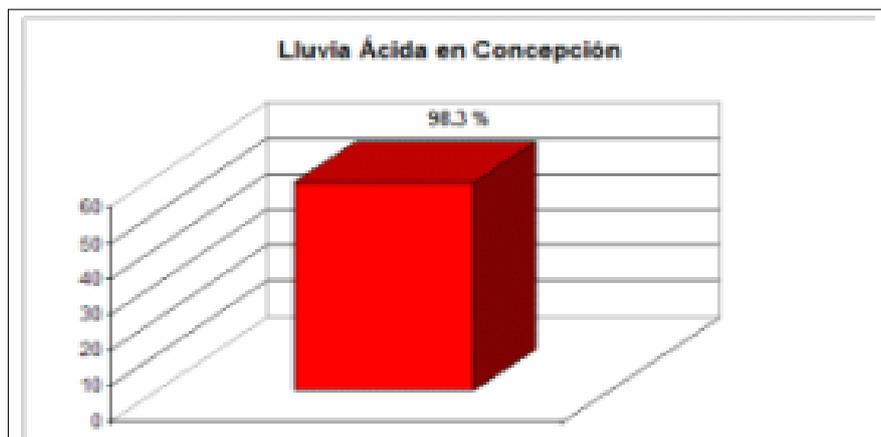


Figura 2: Monitoreo de lluvias ácidas en el Valle del Mantaro. Tomado de (Suarez, 2008)

El Valle del Mantaro representa una de las zonas más productivas de la sierra peruana y es llamada la “despensa” de Lima, debido a su gran potencial agrícola (13), según un informe realizado por el Instituto Geofísico del Perú, las provincias del Valle con mayor producción agrícola son Concepción, Chupaca y Huancayo, la última es la que cuenta con mayor área agrícola, sin embargo la superficie de siembra varía debido a la ocurrencia de fenómenos meteorológicos (14).

Para garantizar la producción agrícola, los agricultores deben asegurarse de proveer las condiciones adecuadas a los cultivos para su correcto crecimiento, dentro de estas condiciones se encuentran el pH, el cual juega un papel sumamente importante en la absorción de nutrientes; a continuación, se muestra una tabla con la lista de los

principales recursos genéticos nativos entre ellos cultivos hortícolas, frutales, extensivos y ornamentales del Valle del Mantaro junto con los pHs óptimos para su desarrollo.

Tabla 1: pH para cultivos y especies ornamentales del Valle del Mantaro

Cultivos hortícolas	pH óptimo	Frutales	pH óptimo	Cultivos extensivos	pH óptimo	Ornamentales y aromáticos	pH óptimo
Acelga	6,0 - 7,5	Ciruelos	7,0 - 7,5	Alfalfa	6,5 - 7,8	Alhelí	6,7 - 7,0
Apio	6,1 - 7,4	Frambuesa	7,0 - 7,5	Avena	5,2 - 7,1	Clavel	5,5 - 6,0
Brócoli	6,0 - 7,2	Manzano	5,3 - 6,7	Papa	5,3 - 6,5	Dalias	5,5 - 6,0
Calabaza	5,6 - 6,8	Melocotonero	5,3 - 6,8	Cebada	6,4 - 7,8	Geranio	6,7 - 7,0
Cebolla	6,0 - 7,2	Membrillero	5,5 - 7,2	Centeno	5,3 - 6,8	Lirio carolina	4,5 - 5,5
Col	6,0 - 7,5	Nogal	6,2 - 7,8	Colza	5,8 - 7,1	Menta	6,7 - 7,0
Coliflor	6,0 - 7,2	Peral	5,6 - 7,2	Frijol	6,7 - 7,5	Pasionaria	6,7 - 7,0
Espinaca	6,3 - 7,1	Pino	5,0 - 6,0	Habas	7,4 - 8,1	Rosas	4,5 - 5,5
Lechugas	5,8 - 7,2			Lenteja	5,0 - 7,0	Violetas	6,7 - 7,0
Nabo	5,7 - 6,7			Lino	5,5 - 7,5		
Pepino	5,7 - 7,2			Maíz	5,5 - 7,5		
Rabanito	6,1 - 7,4			Trébol blanco	5,5 - 7,0		
Remolacha	6,0 - 7,6			Trébol rojo	5,5 - 7,0		
Zanahoria	5,7 - 7,0			Trébol híbrido	5,2 - 7,8		

Nota. Tomado de (Garay Canales, y otros, 2010)

Tal como se muestra en la tabla N°1, cada cultivo necesita de cierto grado de acidez para su desarrollo (15), en una entrevista realizada a agricultores, éstos aseguraron que cuando la lluvia ácida hace contacto con las plantaciones de papa, estas se muestran de un color extraño, y conforme pasan los días, la hojas se van secando, y cuando esto ocurre la papa no crece lo suficiente y por ende baja la producción (16). Algo parecido sucede con las plantas de maíz, ya que la acidez de la lluvia quema las hojas de los plantíos, según la publicación del diario de Yucatán – México, un 75% de 2 hectáreas fueron afectadas por este fenómeno. Podemos tomar como referencia estos testimonios para observar el panorama que se avecina de no saber si este tipo de fenómenos se hace presente en el valle.

Si bien es cierto, en el Valle del Mantaro no existen muchos reportes, estudios y/o informes que expliquen los efectos que tiene la lluvia ácida sobre los cultivos, o sobre el sector ganadero, la gran mayoría de pérdidas agropecuarias se las atribuyen a las heladas, tormentas extremas, veranillos, etc, que son problemas latentes y permanentes, por ejemplo, (17) el 2016 la Dirección Regional de Agricultura de Junín presentó un reporte en que se afirmaba que hubieron pérdidas de hasta 55 millones de soles a causa de las heladas y las sequias, sin embargo, limitarnos a justificar pérdidas por los mismo sucesos, no permite analizar otras posibles causas, tal vez, ahora las lluvias ácidas no generen

problemas evidentes, de hecho tal vez ni siquiera sean frecuentes, pero eso no quiere decir que en un futuro no muy lejano se vuelva la principal responsable de grandes pérdidas económicas, de problemas sociales, y sobre todo de una crisis ambiental.



Figura 3: Pérdidas agrícolas en el Valle del Mantaro. Tomado de (Tinoco, 2016)

Es importante indicar que los efectos de la lluvia ácida en la agricultura, trae consigo problemas en la producción agropecuaria, ya que, al alterar las condiciones normales para el crecimiento de pastos, estos pueden morir, o tal vez puedan brotar, pero eso significa el ingreso de sustancias tóxicas a la cadena alimenticia. Asimismo, se perjudicarían la producción y venta de productos lácteos, lo que también incidiría directamente en la economía regional; de acuerdo al diario Gestión (18), en un artículo publicado el 2016, se menciona que la leche producida en el Valle es un gran potencial como insumo para la preparación de productos lácteos que podrían ser destinados a la Unión Europea, ya que ahí la tendencia es consumir productos orgánicos, saludables y nutritivos, también se menciona que la calidad de la leche se debe a los pastos naturales con los que son alimentadas las vacas. La región se está abriendo camino a exportaciones por la garantía de que sus productos son de calidad, sin embargo, este sector puede resultar muy frágil de no anticipar los efectos de posibles alteraciones en el medio, debido, en este caso a la lluvia ácida.

Respecto a la producción acuícola, la producción de trucha en el Valle del Mantaro representa el 17% de la producción total en Junín, la cual está estimada en 2 millones 243 mil 33 de kilos anuales (19), gracias a la alta producción, en el año 2012 se inauguró una planta procesadora, la cual permitiría aumentar la producción unas 300 toneladas adicionales (20). Sin embargo, una investigación realizada en México, afirma que, la trucha a pesar de ser ligeramente resistente a niveles de acidez por debajo de 4 o 5, corren el riesgo de asimilar elementos tóxicos como el aluminio, el mercurio y el plomo, los cuales

irritan las branquias de las truchas causando secreción mucosa y terminan muriendo por asfixia (21).

1.1.2 Formulación del problema

1.1.2.1. Problema general.

¿Cómo es la distribución espacial del grado de acidez en las precipitaciones pluviales del Valle del Mantaro durante el periodo 2005 – 2014?

1.1.2.2. Problemas específicos.

- ¿Cómo ha evolucionado temporalmente el grado de acidez en las precipitaciones pluviales en el Valle del Mantaro durante el periodo 2005 – 2014?
- ¿En qué año se presentaron mayores variaciones de acidez en el Valle del Mantaro durante el periodo 2005 –2015?
- ¿Cuál es el grado de acidez prevalente en las precipitaciones pluviales del Valle del Mantaro durante el periodo 2005 – 2014?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Determinar la distribución espacial del grado de acidez en las precipitaciones pluviales del Valle del Mantaro en los últimos años.

1.2.2 Objetivos específicos

- Determinar la evolución temporal del grado de acidez de las precipitaciones pluviales del Valle del Mantaro durante el periodo 2005 – 2014.
- Determinar en qué año se presentaron mayores variaciones de acidez en el Valle del Mantaro durante el periodo 2005 – 2014.
- Determinar el grado de acidez prevalente en las precipitaciones pluviales del Valle del Mantaro durante el periodo 2005 – 2014.

1.3 Justificación y delimitación

1.3.1 Justificación

1.3.1.1. *En lo tecnológico.*

La investigación usó la geo estadística por medio de la aplicación del método de kriging, con el cual se realizó la interpolación con los datos de las estaciones seleccionadas para obtener predicciones y superficies de respuesta, y también para cuantificar la estructura espacial de los datos -mediante el uso de variogramas. Así mismo, fue necesario utilizar el software ArcGIS para elaborar los mapas e interpretar la distribución espacial de los datos de pH durante el periodo establecido.

1.3.1.2. *En lo social.*

El uso de tecnologías GIS (Sistemas de información geográfica) para la determinación de la distribución de los niveles de pH en el Valle del Mantaro para un periodo determinado contribuirá de manera social ya que esta investigación sirve como base para la toma de decisiones y aplicaciones de acciones de mejora en las zonas afectadas por niveles de pH muy bajos o muy altos.

1.3.1.3. *En lo académico.*

La investigación permitió identificar la distribución espacial de los niveles de pH en las precipitaciones en el Valle del Mantaro, lo cual contribuyó significativamente con la adquisición de conocimientos más específicos y profundos sobre temas relacionados al análisis del pH en las precipitaciones pluviales, asimismo esta investigación puede servir de base para que tanto organizaciones, así como profesionales y/o estudiantes puedan realizar nuevas investigaciones como complemento o similares a la presente.

1.3.1.4. *En lo ambiental.*

La presente investigación se enfocó en analizar la distribución espacial de las lluvias ácidas en el Valle del Mantaro, ya que, al ser esta una zona muy rica en diversidad y que además basa sus ingresos económicos en la producción agropecuaria y piscícola, es sumamente vulnerables a alteraciones en su entorno, como las que se están dando en la atmosfera a raíz de la contaminación del aire. Es así que el presente trabajo busca diagnosticar si existe o no la presencia del fenómeno de la lluvia ácida, lo que a su vez permitirá identificar qué zonas son las más expuestas con el fin de poder prevenir sus efectos en las principales actividades productivas del valle, así como evitar la pérdida de

los ecosistemas tanto terrestres como acuáticos.

Asimismo, la variación temporal analizada, es un factor importante para complementar lo mencionado en el párrafo anterior, ya que se determinó cómo los niveles de acidez han ido variando a lo largo de 10 años de análisis, y a partir de ello se podrá realizar planes de acción ambiental para prevenir o en su defecto para afrontar el problema medioambiental, la idea es estar alertas y tomar decisiones inmediatas y acertadas con el fin de minimizar los impactos ambientales.

1.3.2 Delimitación del área de estudio

El Valle del Mantaro, se encuentra en el departamento de Junín en la región central del territorio peruanos, tiene una extensión de 75 km, con anchos que varían de 2 km a 28 km, orientado de NW a SE, entre las latitudes 11°40' y 12°10'S y los meridianos 75°10' y 75°22'W, con altitudes comprendidas entre 3 150 msnm y 3 400 msnm. Comprende políticamente a las provincias de Jauja, Concepción, Chupaca y Huancayo (22).



Figura 4: Ubicación geográfica del Valle del Mantaro. Tomado de (Arroyo, 2011)



Figura 5. Imagen satelital del Valle del Mantaro. Tomado de (Arroyo, 2011)

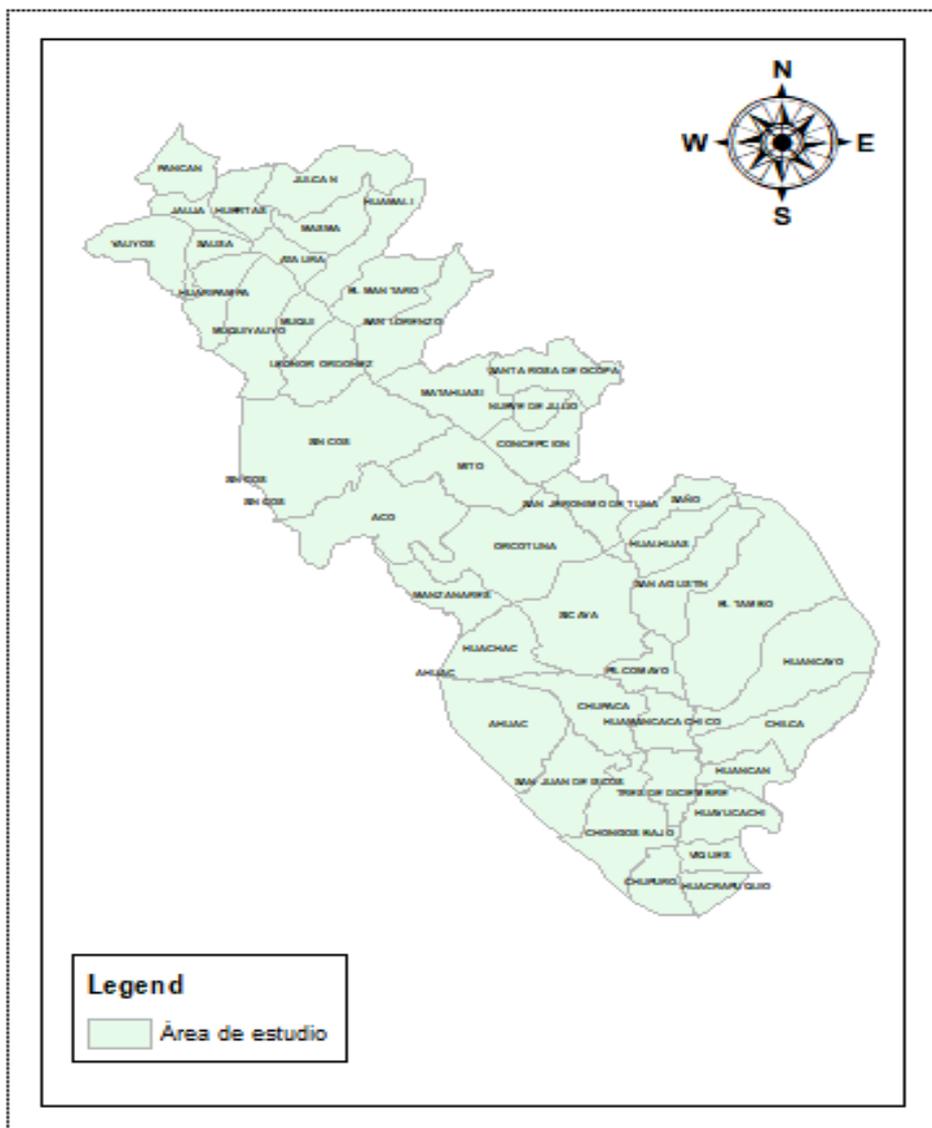


Figura 6. Identificación de estaciones meteorológicas.

1.4 Hipótesis

1.4.1 Hipótesis general (H1)

El grado de acidez de las precipitaciones pluviales del Valle del Mantaro durante el periodo 2005 – 2014 sobrepasan el valor natural de pH según lo establecido por el Instituto Geofísico del Perú.

1.4.2 Hipótesis nula (H₀)

El grado de acidez de las precipitaciones pluviales del Valle del Mantaro durante el periodo 2005 – 2014 no sobrepasan el valor natural de pH según lo establecido por el Instituto Geofísico del Perú.

1.4.3 Hipótesis alterna (H_a)

El grado de acidez en las precipitaciones pluviales en el Valle del Mantaro durante el periodo 2005 – 2014 se mantienen en el valor natural de pH según lo establecido por el Instituto Geofísico del Perú.

1.5 Descripción de variables

Tabla 2. Descripción de variables

Variable	Tipo de variable	Conceptualización	Definición	Indicador
pH	Cuantitativa Simple Dependiente	Coeficiente que indica el grado de acidez o basicidad de una solución acuosa	Indicador de la presencia iones ácidos (ácido sulfúrico y ácido nítrico) en la lluvia.	[H] ⁺
Precipitación	Cuantitativa Simple Dependiente	Se entiende por precipitación a la caída de partículas líquidas o sólidas de agua. Es cualquier tipo de agua que cae sobre la superficie de la tierra	Fenómenos meteorológico en el que se toman las medidas de pH	mm

Variable	Tipo de variable	Conceptualización	Definición	Indicador
<p align="center">$Y(f_t)$ – Función del tiempo (años)</p>	<p align="center">Independent e</p>	<p>Es una unidad de tiempo no adscrita a las establecidas por el Sistema Internacional. Este periodo de tiempo está comprendido por 365 días</p>	<p>Periodo de tiempo en el que se analiza el pH de los episodios de precipitación</p>	

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.1. Artículos científicos

2.1.1.1. Artículos de investigación.

El artículo “Contaminación atmosférica y deposición húmeda en la Amazonía brasileña” realizada en Río Branco (23) tuvo como objetivo determinar la influencia de contaminantes atmosféricos sobre el agua de lluvia. Se monitorearon 185 eventos de lluvia, se determinó en ellos el pH, la conductividad eléctrica y la concentración de carbono orgánico total. Se monitoreó la carga de aerosoles atmosféricos mediante fotometría solar y las condiciones meteorológicas a través de mediciones del vapor de agua, temperatura, vientos y lluvias en su comportamiento estacional. De esta investigación se obtuvo como resultado que la concentración de contaminantes según la profundidad óptica de aerosoles varió desde valores muy altos, entre 3 y 4 durante la seca, hasta valores muy bajos, aproximadamente de 0,08, durante la estación lluviosa. El 25 % de las lluvias fue ácida con pH entre 3 y 4,7. Se concluyó que el valor medio de pH de las lluvias en el contexto amazónico considerado fue de 5,4 y el 25 % de los eventos de lluvia ácida con valores de pH entre 3 y 4,7. Los Sólidos totales disueltos (STD) determinaron, regularmente, valores de conductividad eléctrica (CE) inferiores a $10 \mu\text{S cm}^{-1}$. La concentración de carbono orgánico total (COT) removido de la atmósfera por la lluvia llegó a alcanzar valores relativamente altos, entre 20 y 30 mg L^{-1} .

El artículo “Análisis metodológico de la distribución espacial de la precipitación y la estimación media diaria”, consistió en mostrar un análisis metodológico geoestadístico, para generar un patrón espacial de la lluvia, asociado a la precipitación media diaria.

Caracterizar y conocer la distribución espacial de la precipitación, también conocida como “campo de tormenta”. La metodología propuesta requiere de la construcción de un variograma, elaborado por un ajuste de datos experimentales de un campo de tormenta, que sirva como base para generar la distribución espacial de la lluvia con la aplicación del método geoestadístico del “krigeado”. Esto permite determinar la precipitación media diaria de una cuenca hidrográfica. Los resultados muestran que es posible obtener una función que relacione la lluvia media con el campo de tormenta, mediante los parámetros α y β del variograma ajustado a un modelo esférico. Para validar la aplicación de la metodología se analizaron varios eventos, aquí se presentan dos eventos de precipitación observada en la cuenca del río Juchipila, y río Calvillo, entre los estados de Aguascalientes y Zacatecas. Los resultados muestran una relación única de la lluvia media diaria con la distribución espacial, representada por el campo de tormenta (24).

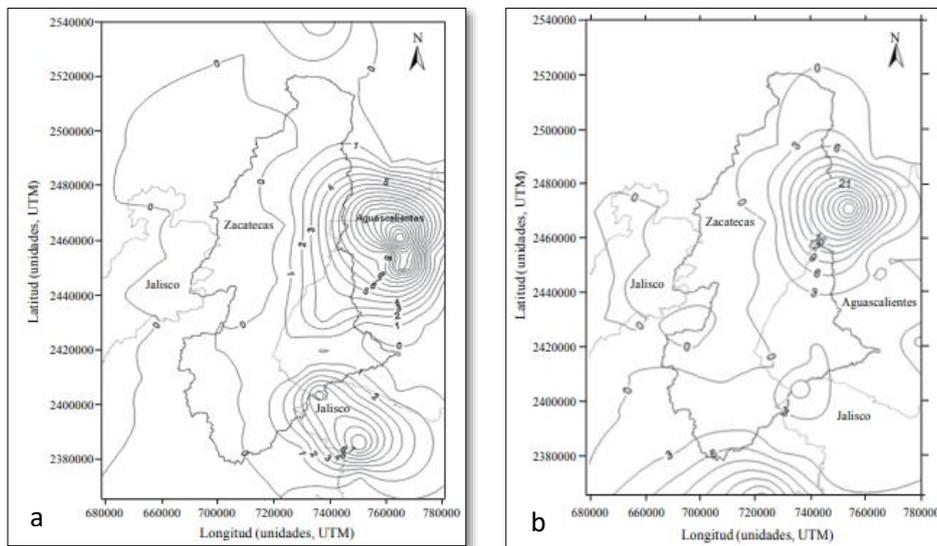


Figura 7. Caracterización del campo de tormenta en mm para el día 111 (a) y 149 (b). Tomado de (Íñiguez et al, 2011).

El artículo de investigación “La contaminación atmosférica precursor de lluvia acida en la zona metropolitana de Guadalajara (ZMG), Jalisco, México” (25) tuvo como objetivo determinar las concentraciones de SO_2 y NO_2 en el aire y su influencia en las lluvias acidas. Para ello se implementó una red pluviométrica con 17 estaciones para evaluar pH, SO_4^{2-} y NO_3^- en la lluvia, SO_2 y NO_2 en el aire y las condiciones atmosféricas en los temporales 1994-2004, para determinar su transporte y depósito. Las técnicas analíticas se obtuvieron del Manual for the gaw precipitation chemistry programme de la Organización Meteorológica Mundial. Para analizar SO_2 y NO_2 en el aire se utilizaron los datos de 8 estaciones de la

Red Automática de Monitoreo Atmosférico. La información se trató mediante métodos de Interpolación gráfica obteniendo mapas espaciales para pH, SO_4^{2-} y NO_3^- en la lluvia y NO_2 y SO_2 en el aire. Concluyeron en:

- Es evidente que la contaminación atmosférica ha modificado la naturaleza química de la lluvia. La temporada de 1999 mostró el comportamiento más ácido en prácticamente toda la ZMG a excepción de la zona noroeste, correspondiendo a niveles casi 10 veces más (ilustración 13a). La distribución promedio ponderada en todo el período reflejó una tendencia ácida dominante hacia el oeste de la ZMG (ilustración 13b).

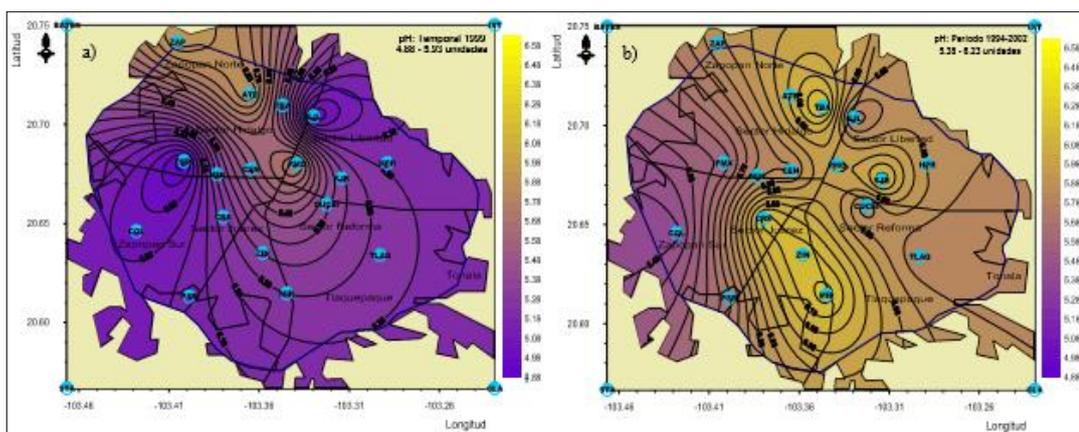


Figura 8. a) Distribución espacial del pH en el temporal 1999 y b) distribución espacial del pH en el periodo 1999-2004. Tomado de (García et al, 2013)

- La mayor frecuencia de lluvia ácida correspondió a 1999 con 30.1 % y la menor a 1995 con 2.9 %. Se observó que, aunque cada temporada presentó variaciones, la concentración de lluvia ácida va en aumento. La estación CUCEl presentó la mayor frecuencia (14.14 %) seguida de las estaciones TLA, ZAP, COL y CEN.

La investigación “Distribución espacial del pH de los suelos agrícolas de Zapopan, Jalisco, México”, buscaba determinar la distribución espacial del pH del suelo en la región agrícola del municipio Zapopan, Jalisco, México. En 2004 se colectaron 105 muestras de suelo georreferenciadas del estrato 0-60 cm y se les determinó el pH. Los valores de pH se capturaron en hoja de cálculo electrónico para integrar una base de datos georreferenciada, a partir de la cual se probaron dos métodos de interpolación espacial: Kriging ordinario y Distancia Inversa Ponderada. Se determinó el cuadrado medio del error y la validación cruzada de los dos métodos y se seleccionó el Kriging Ordinario para generar una imagen ráster del pH, a partir de la cual, mediante análisis espacial, se efectuaron diferentes interpretaciones sobre la distribución espacial del pH. Se utilizó el

sistema de información geográfica Idrisi32. Se tuvo como resultado que la tendencia de los datos se ajustó a un modelo exponencial, con una continuidad espacial definida y el rango (Ao), ubicado en un valor de 31 100 m; asimismo, se aprecia la distribución espacial de los puntos de muestreo dentro de la zona de estudio, con valores de <4.5 a 6.2 lo que lleva a la conclusión de que la totalidad de los suelos agrícolas de Zapopan son de condición ácida, aunque en diferentes niveles de intensidad. El 61.10% de la superficie agrícola le correspondió la condición de pH fuertemente ácido y al 38.90% moderadamente ácido (26).

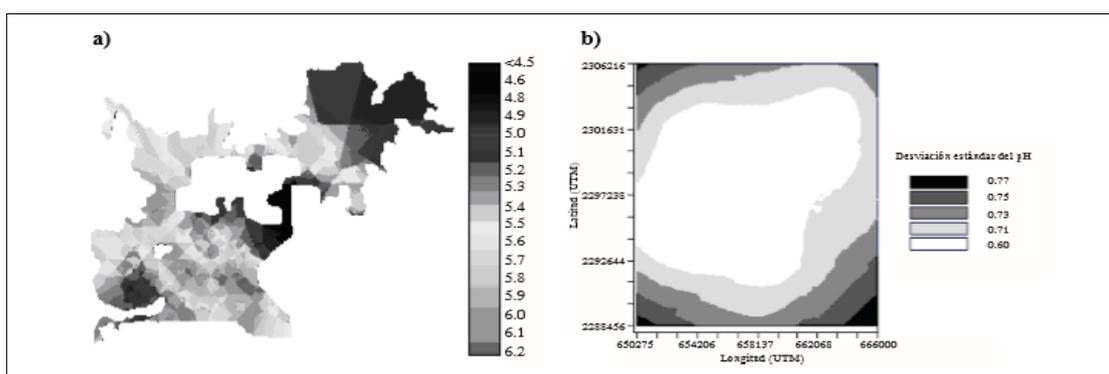


Figura 9. a) Distribución del pH en el suelo agrícola de Zapopan. b) valores de desviación estándar de pH en el área interpolada. Tomado de (Ibarra et al, 2009)

El artículo de investigación “Comparación de los interpoladores IDW y Kriging en la variación espacial de pH, Ca, CICE y P del suelo” (27), buscó comparar los interpoladores Kriging y el IDW (Inverse Distance Weighting), por ser los más utilizados en los estudios de análisis de la variación espacial, en un área de 2 467 m² se procedió a georreferenciar 61 puntos a una distancia de 3,5 m entre sí. Se tomó muestras de suelo a una profundidad de 0-15 cm en cada uno de los puntos. El programa GS+ para Windows se usó en los análisis de variogramas, interpolación y validación cruzada. Con valores de pH, Ca, CICE y P del suelo, se procedió a las interpolaciones. Con el Kriging se calculó los semivariogramas y también se determinó que el modelo esférico fue el de mejor ajuste. Como medidas de precisión se calculó el promedio absoluto del error (PAE) y el promedio del cuadrado del error (PCE); y, como medida de efectividad, el estimado de efectividad de predicción (E). Aunque ambos interpoladores tuvieron un desempeño similar, el Kriging fue superior al predecir de una mejor manera la variación de pH, Ca, y CICE, mientras que el IDW lo fue con el P.

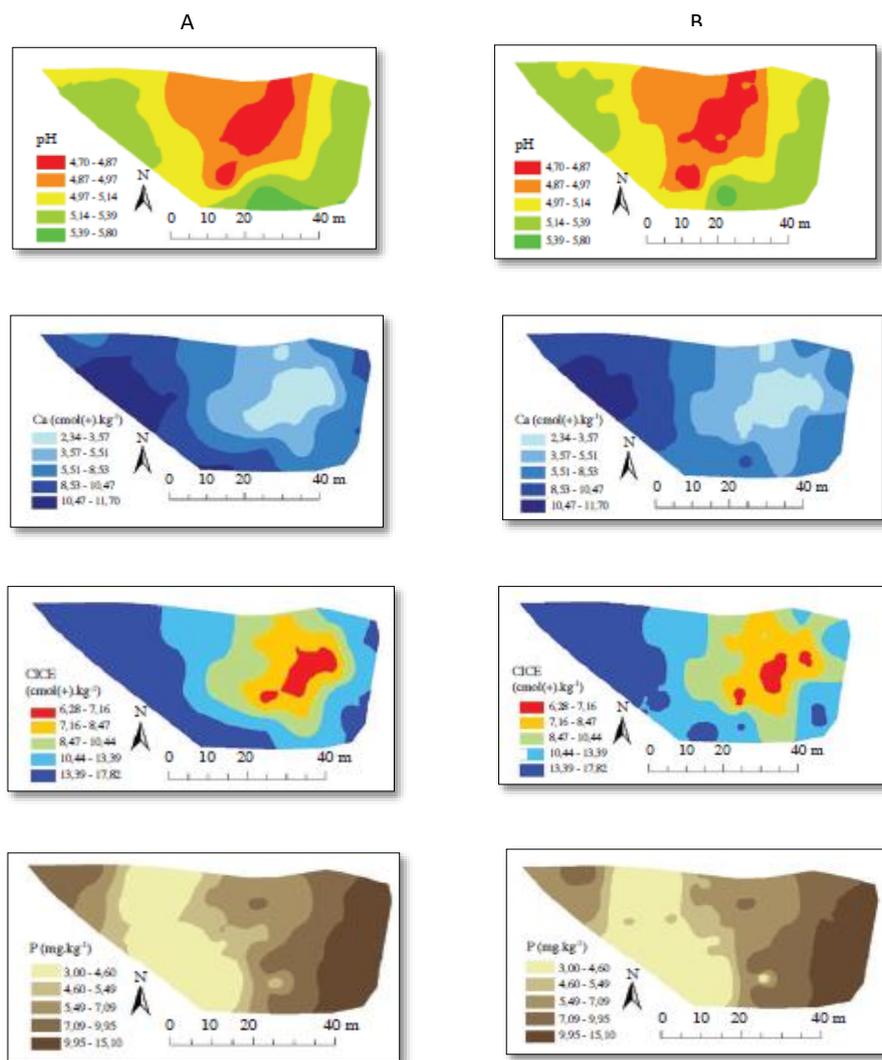


Figura 10. a) Mapa obtenido mediante el interpolador Kriging b) Mapa obtenido mediante el interpolador IDW. Tomado de (Villatoro et al, 2008)

La investigación realizada en Argentina “Distribución espacial de la precipitación y pH del agua lluvia en Bahía Blanca y Tandil” (28), tuvo como objetivo analizar los patrones de distribución espacial de la precipitación y los valores de pH del agua de lluvia para el período de octubre de 2010 a septiembre de 2011 en Tandil y Bahía Blanca. Se instalaron redes de lluvia de calibre en ambas ciudades; en cada evento de precipitación, se recogieron los valores de cantidad y pH. El trazado de isótopos se incluyó en la cartografía temática que se realizó con el software ArcGis 9.3. Aunque las lluvias naturales generalmente se consideran débilmente ácidas, las mediciones de pH del agua de lluvia demostraron que en ambas ciudades la lluvia es alcalina. Con respecto a la distribución espacial de las cantidades de precipitación, las isoyetas de los registros anuales mostraron

que los valores más altos se presentaron en áreas de mayor elevación, mientras que los valores más bajos se presentaron en las dos ciudades del centro, donde se concentran los edificios altos.

El proyecto de investigación “Determinación de la influencia de la contaminación ambiental atmosférica en los niveles de pH y sólidos totales disueltos del agua lluvia del centro del distrito metropolitano de Quito” (29), tuvo como objetivo determinar la influencia de la contaminación ambiental atmosférica en los niveles de pH y de sólidos totales disueltos del agua lluvia del centro del distrito metropolitano de Quito. Se trabajó sobre la base de información existente en el CICAM (Centro de investigaciones y control ambiental de la escuela Politécnica Nacional) referente a valores de pH y sólidos totales disueltos analizados en muestras de agua lluvia de la Estación Meteorológica del Observatorio Astronómico de Quito durante el período 2000-2006, se estableció una relación entre la contaminación ambiental atmosférica (especialmente de los contaminantes NO₂, SO₂ y PM_{2.5}) y los niveles de pH y de sólidos totales disueltos de estas muestras de agua. Para establecer dicha relación se realizó un análisis de estadística descriptiva sobre la base de datos. Como resultado se obtuvo que, aproximadamente 10% de las observaciones corresponden a valores dentro del rango de lo que se considera lluvia ácida (pH < 5.6). Por otra parte, el valor mínimo de las observaciones es 4.58, lo cual se puede considerar lluvia muy ácida. Además, aproximadamente un 30% del agua lluvia que precipitó se encuentra fuera de los límites que señalan las normas ecuatorianas (para agua para consumo humano) que establecen que el pH del agua debe encontrarse dentro de un rango de 6 a 9. Se concluyó que, si bien se puede afirmar que no existe un problema de lluvia ácida en este sector de la ciudad es un hecho que una parte de la precipitación si fue ácida; y, además, buena parte del agua que precipitó no era apta para el consumo directo.

2.1.1.2. Tesis

En la tesis “Análisis y aplicación del método geoestadístico kriging ordinario, en estaciones pluviográficas de la Región Metropolitana, Maule y Biobío” (30), que tuvo como objetivo estimar precipitaciones con diferentes duraciones horarias en estaciones pluviográficas mediante el método geoestadístico Kriging Ordinario. Se consideró un total de 46 estaciones distribuidas en las Regiones Metropolitana, Maule y Biobío, de las que se seleccionó el período de 30 años entre 1980 y 2009, período que presentó la mayor cantidad de datos anuales. Se construyó el variograma empírico, para posteriormente ajustar al modelo global de variograma exponencial en cada una de las duraciones horarias. Luego, se seleccionaron 6 estaciones pluviográficas por Región; tres

provenientes del centro y tres del borde de la nube geográfica de puntos a las que se le estimó el valor de precipitación a través de Kriging Ordinario. Esta tesis obtuvo los siguientes resultados:

- La variabilidad del modelo exponencial para cada una de las duraciones, en donde algunas de ellas manifiestan una muy buena calidad de ajuste al modelo seleccionado, como es el caso de las duraciones 0.75 y 1 hora, mientras que otras duraciones como la de 24 horas, muestran una dispersión en el variograma empírico, lo que se traduce en un ajuste menos preciso del modelo Exponencial.

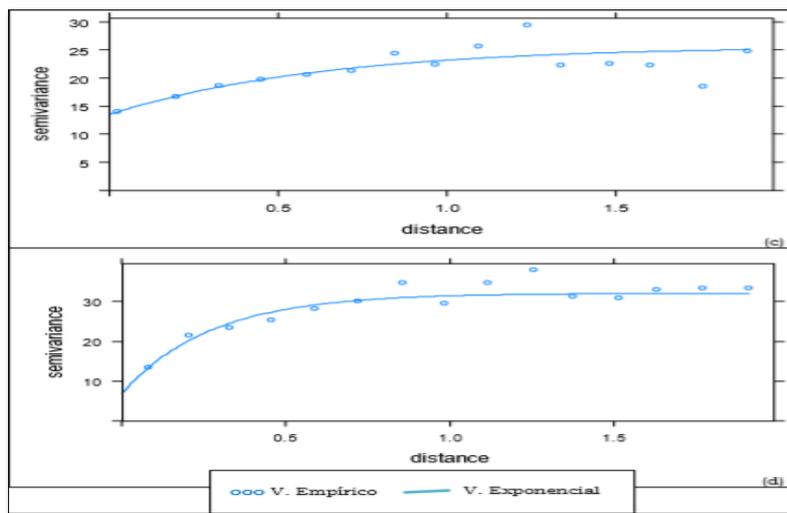


Figura 11. Variograma empírico y ajuste al modelo Exponencial para la duración 0.75 horas(c) y la duración 1 hora (d). Tomado de (Cortés, 2013)

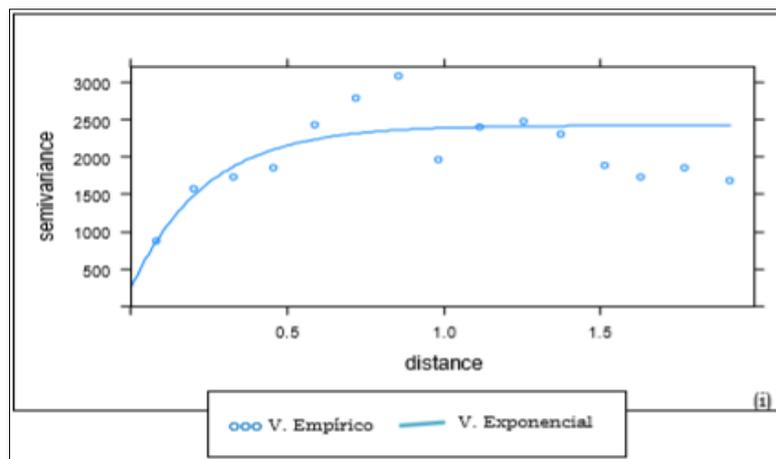


Figura 12. Variograma empírico y ajuste al modelo Exponencial para la duración 24 horas (i). Tomado de (Cortés, 2013)

- La predicción a través de Kriging Ordinario, en base a las 36 estaciones con información existentes para el año 2000, donde se aprecia que, si bien los tonos de gris, que indican intervalos de variación de las precipitaciones, son mayores a medida que aumenta la duración, las áreas de cobertura para dichos montos también aumentan, lo que se traduce en la presencia del mismo valor en grandes extensiones de superficie.
- Por otra parte, se observa que, en la ubicación geográfica correspondiente a la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins, se aprecia un vacío de información, generando en la imagen una zona con poca variación de precipitación. Esto demuestra la importancia de la carencia de información en dicha zona, ya que por esto no es posible determinar de mejor forma la variación espacial de precipitación producida en dicha Región.

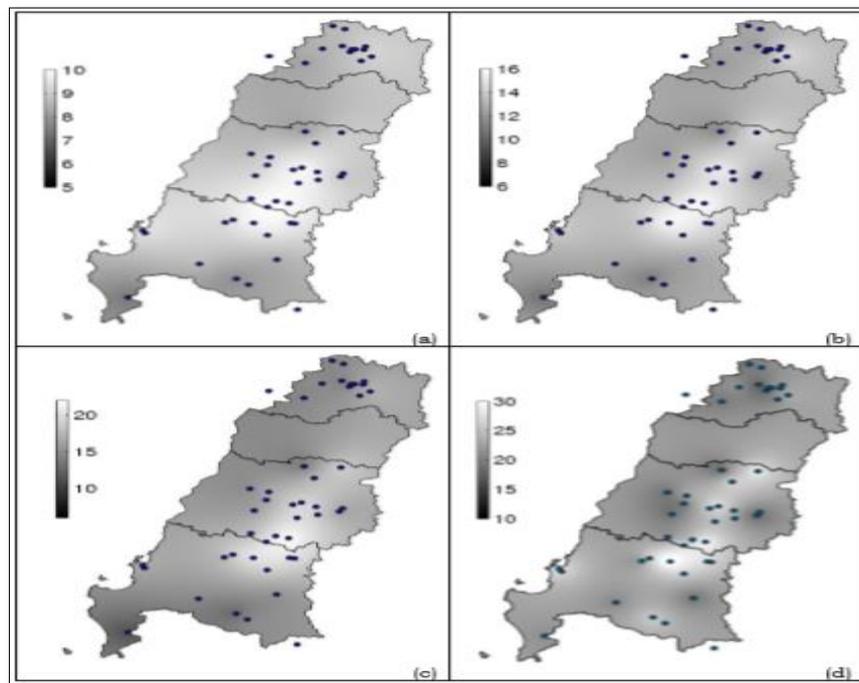


Figura 13: Estimación Kriging Ordinario para las duraciones, 0.25 (a), 0.5 (b), 0.75 (c) y 1 horas (d). Tomado de (Cortés, 2013).

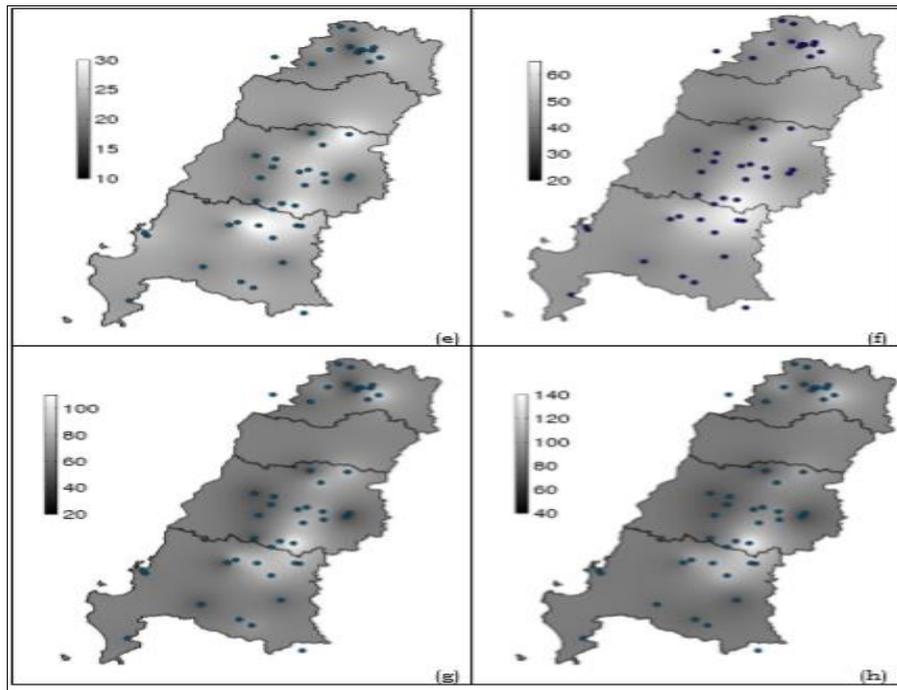


Figura 14: Estimación Kriging Ordinario para las duraciones, 2 (e), 4 (f), 6 (g) y 12 horas (h). Tomado de (Cortés, 2013).

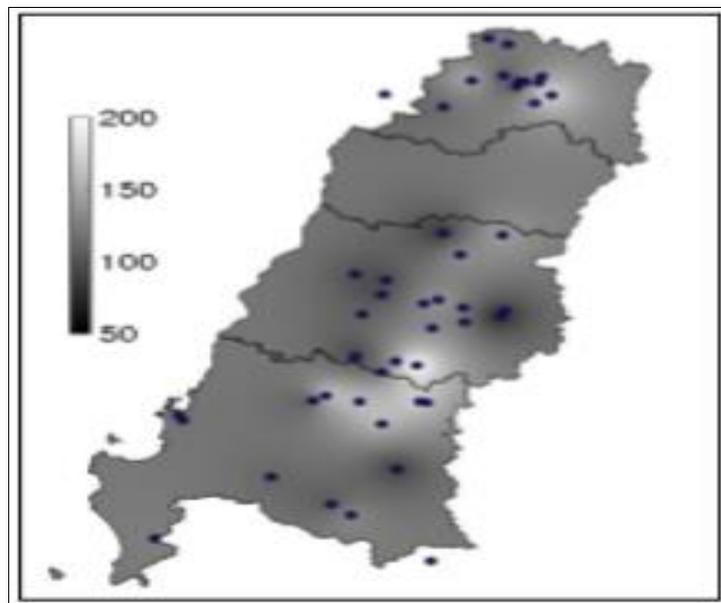


Figura 15. Estimación Kriging Ordinario para la duración 24 horas. Tomado de (Cortés, 2013).

La tesis “Lluvia ácida en la zona metropolitana de la ciudad de México. Evaluación y trascendencia (31), tuvo como objetivo evaluar las características de la deposición húmeda en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM), la procedencia de sus precursores y su impacto. El programa de aseguramiento y control de la calidad (QA/QC) para el muestro y análisis del depósito húmedo se realizó de acuerdo al programa nacional de depósito atmosférico (NADP) de los EE.UU, la red de monitoreo de precipitación y aire canadiense (CAPMON), la red de monitoreo de depósito ácido en el este de Asia (EANET) y el programa de monitoreo y evaluación en Europa (EMEP) de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (UNECE), en cuanto al análisis químico, este consistió en la determinación de los parámetros de pH, conductividad, concentración de cationes Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} y la concentraciones de iones Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , así como la alcalinidad expresada como concentración de iones bicarbonato (HCO_3^-). Asimismo, se procesaron los datos obtenidos con el método de componentes principales para determinar si se proporcionan la información total; para las asociaciones iónicas se usó una correlación lineal mediante coeficientes rho Spearman. Esta investigación obtuvo los siguientes resultados:

- En la Zona Metropolitana de la Ciudad México se ha presentado por más de siete años consecutivos el fenómeno de la lluvia ácida. En este estudio se caracterizó el depósito húmedo durante el periodo de 2003 a 2009 y se identificó que la región más afectadas por éste fenómeno es la región Suroeste, esta región presentó un valor promedio de pH ponderado en seis años (2003 -2009) de 4.41 y un valor máximo anual ponderado de seis años (2003 –2009) de 5.21.
- La tendencia del valor de pH ponderado anual ha disminuido con respecto al tiempo, tomando como ejemplo la región Centro, en la cual el valor de pH ponderado en el año 2003 fue de 5.93 y disminuyó hasta 4.37 en el año 2009.

2.1.1. Artículos de divulgación

El artículo “como veneno caído del cielo” (32), el cual se desarrolló sobre la hipótesis ¿Es posible parar este veneno caído del cielo? Los efectos de la lluvia ácida son devastadores, pero seguramente donde se hacen más evidentes es en el medio acuático, ya que provoca que el pH de los lagos y ríos tengan un nivel inferior a 6, lo que se conoce como acidificación. Esto no sólo mata peces y dificulta la vida acuática, sino que afecta también a la cadena alimentaria, la vegetación también se ve afectada, así como las zonas de cultivo. Estas lluvias son capaces de infiltrarse en el suelo acidificando el agua

subterránea y corrompiendo las tuberías, corroe estructuras, etc. Se concluyó que una de las medidas imprescindibles para reducir la lluvia ácida y su impacto, es la limpieza de chimeneas, tubos de escape y el uso de depuradores y convertidores catalíticos, que impiden la llegada del dióxido de azufre (SO₂) y los óxidos de nitrógeno (NOx) a la superficie y frenar el consumo de combustibles fósiles.

Un informe de “evaluación de la calidad del aire en la ciudad de la Oroya – Junín” realizado por DIGESA en 2006 (33), buscó evaluar la calidad de aire en la ciudad de La Oroya en cumplimiento con el reglamento de estándares nacionales e calidad de aire”, para ello se establecieron 4 estaciones de monitoreo y se midió concentraciones de dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, partículas totales en suspensión, partículas menores a 2.5 micrones. Obtuvieron los siguientes resultados.

- Dióxido de azufre (SO₂)

Tabla 3. Valores de SO₂ medidos en microgramos por metro cúbico

FECHA	ENCINAS	PACCHA	MARCAVALLE	HUARI
16/10/2006				29.87
17/10/2006	1786.24	39.64	72.30	187.60
18/10/2006	295.62		54.81	240.66
19/10/2006	44.61			206.06
20/10/2006				215.19
21/10/2006				19.04
22/10/2006				156.87
ECA (24 hs)	365	365	365	365

Nota. Tomado de DIGESA, 2006 (33)

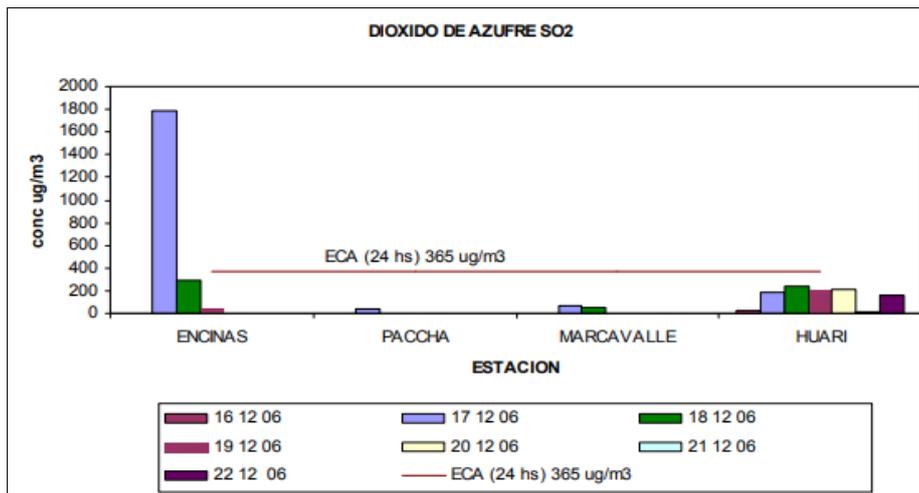


Figura 16. Valores de SO₂ registrados. Tomado de DIGESA, 2006 (33)

- Dióxido de nitrógeno (NO₂)

Tabla 4. Valores de NO₂ medidos en microgramos por metro cúbico

FECHA	ENCINAS	PACCHA	MARCAVALLE	HUARI
16/10/2006				3.64
17/10/2006	9.03	14.40	3.70	
18/10/2006	4.60		6.16	3.17
19/10/2006	7.38			
20/10/2006				3.31
21/10/2006				3.86
22/10/2006				3.73
OMS (24 hs)	150	150	150	150

Nota. Tomado de DIGESA, 2006 (33)

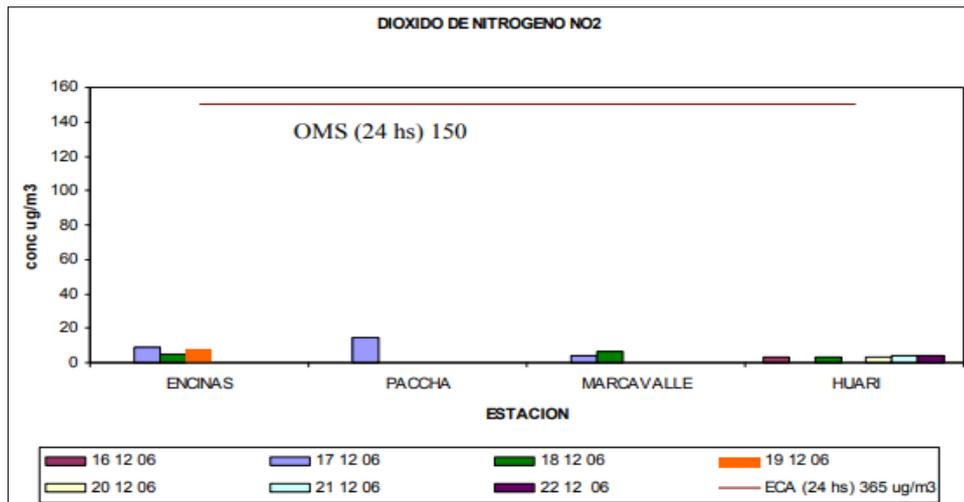


Figura 17. Valores de NO₂ registrados. Tomado de DIGESA, 2006 (33)

El informe de monitoreo de calidad de aire realizado en Huancayo (34), tuvo como objetivo evaluar la calidad del aire y variables meteorológicas, mediante la evaluación de parámetros físico-químicos. Para ello instalaron 3 estaciones de monitoreo en la zona urbana de la ciudad con equipos Teledyne para el muestreo de SO₂ y NO₂ y obtuvieron los siguientes resultados:

- De acuerdo a las mediciones realizadas, la concentración máxima de NO₂ fue de 72.53 ug/m³ y la mínima fue de 16.83 ug/m³, estos valores se encontraron por debajo del valor establecido en los estándares nacionales de calidad ambiental para el aire que es de 200 ug/m³.

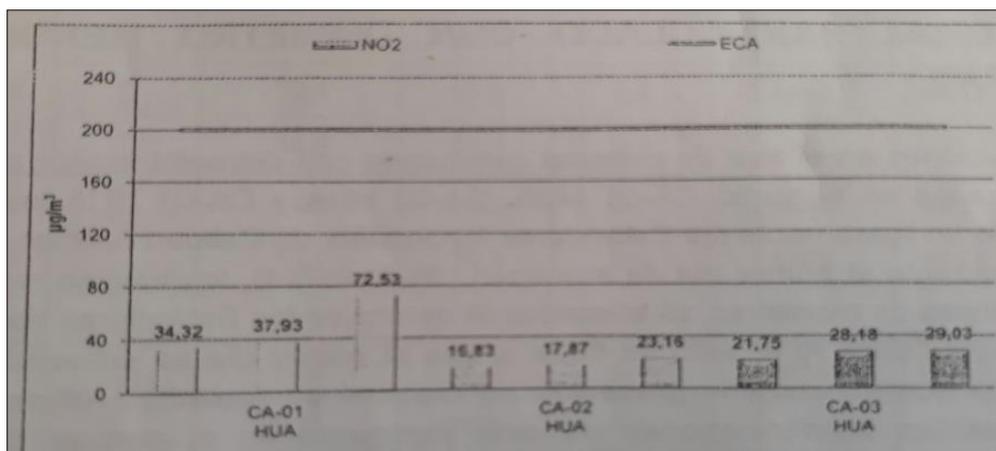


Figura 18. Concentración de dióxido de nitrógeno. Tomado de (MINAM, 2014)

- Respecto a las concentraciones de dióxido de azufre (SO₂) evaluadas en el informe, éstas se encontraron sobre el valor establecido en los estándares nacionales de

calidad ambiental para el aire que era en aquel entonces de 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, los valores de SO_2 normalmente son altos debido al contenido de azufre en los combustibles, los cuales son usados por el transporte público e industria, esto se debe a que las fuentes emisoras son muy móviles, sumando a esto las fuentes fijas y de área como pueden distinguirse en fuente fijas (industrias, restaurantes, pollerías, panaderías, etc).

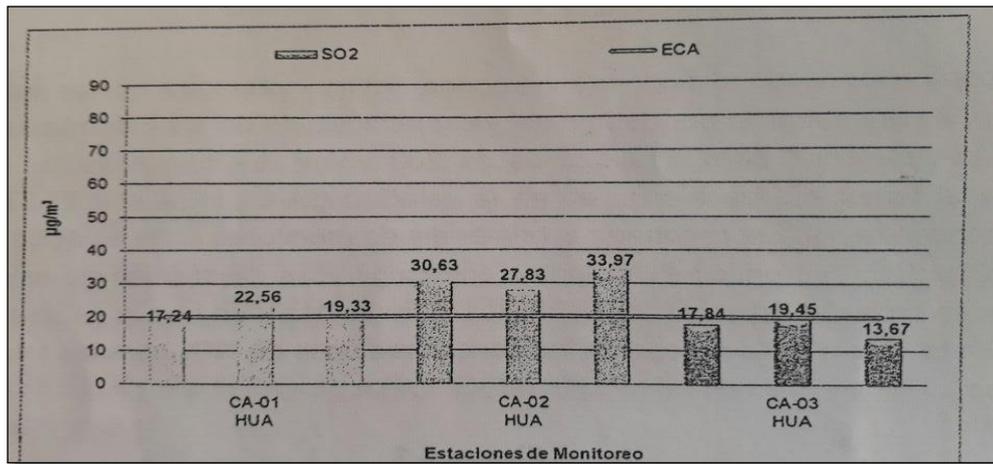


Figura 19. Concentración de dióxido de Azufre. Tomado de (MINAM, 2014)

2.2 Bases teóricas

2.2.1. Fundamentos teóricos

2.2.1.1. Contaminación del aire

La contaminación del aire no tiene los mismos orígenes en un país y en otro, por sus realidades climatológicas generan condiciones de dispersión, concentración, transformación, inmisión de especies químicas generadoras muy diferentes. Por tanto, el termino contaminación de aire se resume en la presencia de gases, partículas y vapores en la atmósfera que han sido incorporados directa o indirectamente al aire por el ser humano o por fuentes naturales en cantidades suficientes como para tener impactos negativos; esta definición conlleva a otro concepto, la calidad del aire, se debe entender como un juicio cualitativo y cuantitativo relacionado directamente con los ecosistemas naturales y con el confort humano. (35)

La contaminación del aire debido a contaminantes dañinos en la atmósfera es un problema antiguo y extendido, el alcance de este tipo de contaminación varía

enormemente. Puede ocurrir en una escala muy pequeña (interior), puede ser de escala local, regional y global (35).

✓ **Contaminantes atmosféricos primarios y secundarios**

Los contaminantes primarios en la atmósfera son aquellos que se emiten directamente. Un ejemplo de contaminante primario es el dióxido de azufre (SO₂). De importancia mayor en la mayoría de los casos son los contaminantes secundarios, que se forman por medio de procesos químicos atmosféricos que actúan sobre los contaminantes primarios o incluso sobre especies no contaminantes en la atmósfera. Generalmente, los contaminantes secundarios son producidos por la tendencia natural de la atmósfera a oxidar los gases traza en ella. El ácido sulfúrico, que es un contaminante secundario, se genera por la oxidación del contaminante primario SO₂, mientras que el contaminante secundario NO₂ se produce cuando se oxida el contaminante primario NO. (36).

2.2.1.2. Lluvia ácida

La lluvia es considerada como una sustancia ácida. Dicha acidez natural del agua de lluvia se genera por el equilibrio existente con el bióxido de carbono (CO₂), formando el ácido carbónico (H₂CO₃) que es un ácido débil, y que a concentraciones y presiones normales, hace que el pH de la lluvia sea de 5.6 (37).

En la Tabla N°5 se presenta la clasificación de la lluvia de acuerdo con el pH. (38)

Tabla 5. Clasificación del agua de lluvia de acuerdo con el pH

PH	CLASIFICACIÓN DE LA LLUVIA
pH > 5,6	Lluvia no ácida
4,7 < pH ≤ 5,6	Lluvia ligeramente ácida
4,3 < pH ≤ 4,7	Lluvia medianamente ácida
pH ≤ 4,3	Lluvia fuertemente ácida

Nota. Tomado de Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2004 (38)

La lluvia aumenta su acidez cuando los óxidos de azufre y nitrógeno intervienen en la química de la atmósfera y en su equilibrio, causando que el pH de la lluvia disminuya por debajo de 5,6 unidades de pH. El proceso de precipitación de la lluvia ácida en el medio es denominado también deposición ácida. La deposición ácida puede ser de dos tipos: seca o húmeda y depende de las formas precursoras (gaseosas o en aerosol) de las precipitaciones ácidas. En la figura N°20 se describe la manera en que los precursores gaseosos de la lluvia ácida son depositados en forma húmeda y seca (38).

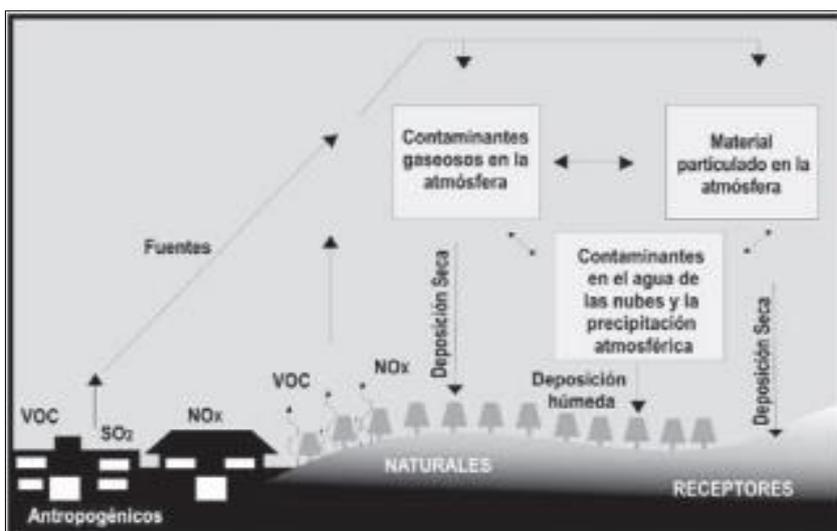
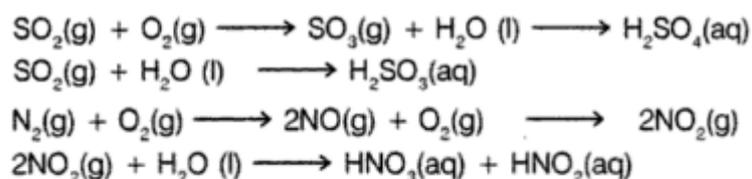


Figura 20. *Fuentes y receptores de la lluvia ácida.* Tomado de Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2004 (38)

A continuación, se presentan las ecuaciones químicas correspondientes a las transformaciones químicas de los precursores de la lluvia ácida: (38)



2.2.1.3. Precursores del cambio del nivel de acidez de la lluvia

La lluvia ácida se produce a causa de los gases como el SO₂ y NO_x emitidos por las industrias; estos gases al llegar a la atmósfera reaccionan con el vapor de agua

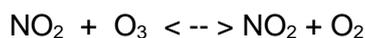
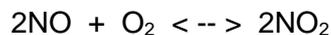
presente y forman los ácidos precursores de la lluvia acida: H_2SO_4 y HNO_3 . (39)

✓ *Óxidos de Nitrógeno*

- *Origen y mecanismo de formación de NO_2*

El termino óxidos de nitrógeno (NO_x) es un concepto amplio que incluye al monóxido de nitrógeno (NO), al bióxido de nitrógeno (NO_2) y a otros óxidos de nitrógeno menos comunes. En general estos compuestos se forman durante los procesos de combustión, son precursores del ozono, y normalmente son eliminados de la atmósfera por deposición seca o húmeda. (40)

El producto primario de la combustión es el NO. Sin embargo, el NO_2 y otros óxidos de nitrógeno son emitidos usualmente al mismo tiempo, por lo que pueden ser no distinguibles en datos de monitoreo de emisiones. En general, estos compuestos se encuentran en estado de cambio rápido (Flux). Donde el NO_2 es el último producto de la oxidación formado directamente o en la corriente de emisión de los productos de combustión (40). La cantidad de NO_2 emitido por los motores diesel puede llegar a alcanzar valores entre un 10 y un 30% en las emisiones totales de NO_x y entre un 15 y un 50% en turbinas de gas. Las reacciones principales que llevan a la formación de NO_2 son las siguientes (41).



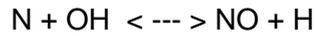
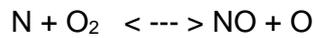
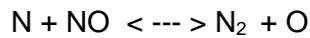
- *Mecanismo de formación de NO_x en motores Diesel*

El compuesto químico que se produce principalmente en la combustión Diesel es NO, y es este el que al liberarse a la atmósfera reacciona fotoquímicamente con la luz solar para formar NO_2 , que a su vez produce N_2O . Como consecuencia, el modelado de NO_x en motor se suele simplificar restringiéndose a la predicción de NO. Los mecanismos químicos responsables de la formación de NO en los procesos de combustión son los siguientes (42):

➤ *Mecanismo térmico*

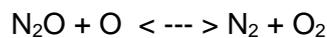
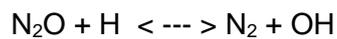
Es el responsable principal de la formación de NO en motores. Este mecanismo se debe a la oxidación del nitrógeno del aire, y recibe su nombre de la alta temperatura de activación necesaria para romper el triple enlace del NO_2 . Las ecuaciones que representan

mejor este proceso fueron propuestas por Zeldovich conocido como el “Mecanismo extendido de Zeldovich” (43).



➤ *Mecanismo debido al N₂O intermedio*

El NO aportado por este mecanismo es debido a que el nitrógeno molecular del aire puede reaccionar con átomos de oxígeno y forma N₂O a bajas temperaturas (menores que 1500 K) debido a su inestabilidad, casi no se mide N₂O en el escape, pero es una vía intermedia para formar NO en reacción con los átomos de oxígeno e hidrógeno. Lavoie considero que las reacciones más importantes que tienen en cuanto éste compuesto son las siguientes (43):



➤ *Mecanismo debido al nitrógeno del combustible*

Este mecanismo puede contribuir de forma importante a la formación de NO_x en las aplicaciones que usen combustibles fósiles de alto contenido de nitrógeno (como el carbón), pero este no es el caso de los combustibles Diesel (43).

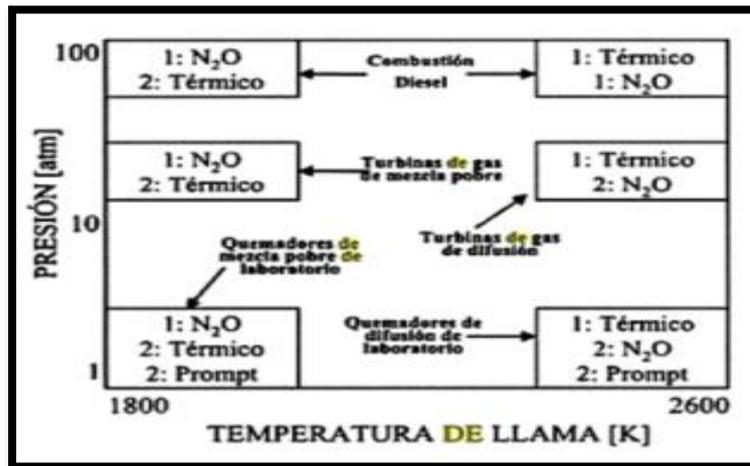


Figura 21: Mecanismos en la formación de NOx. 1 mecanismo principal y 2 mecanismo secundario. Tomado de Hernández, 2006 (42)

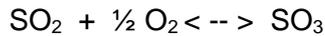
La figura N° 21 muestra la importancia de los diferentes mecanismos en los diversos sistemas de combustión dependiendo de las condiciones de temperatura y presión. Se puede comprobar que en el caso de los motores Diesel, donde se alcanzan altas presiones en un rango amplio de temperaturas, las fuentes principales de formación de NO son el mecanismo de formación debido a la vía térmica y al N₂O intermedio (43).

✓ *Dióxido de azufre*

- *Origen y formación del Dióxido de azufre SO₂*

Los óxidos de azufre en general hacen referencia al Dióxido de azufre (SO₂) y a los demás óxidos que contienen este elemento. Los principales generadores de este tipo de óxidos son las plantas de energía que utilizan como combustible al carbón con alto contenido de azufre. Cuando del SO₂ es emitido a la atmósfera, este reacciona con el oxígeno de la misma para formar el trióxido de azufre (SO₃), posteriormente este óxido reacciona con el agua formando así uno de los precursores de la lluvia ácida, el ácido sulfúrico (H₂SO₄), también se pueden producir otros compuestos derivados de estos óxidos como aerosoles sulfatados (SO₄²⁻). (40)

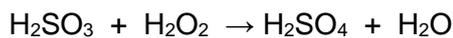
La combustión de cualquier sustancia que contenga azufre producirá SO₂ y SO₃. Se puede escribir un mecanismo simplificado de ambos óxidos que implicaría las siguientes reacciones (40):



El SO_2 que es emitido a la atmósfera se oxida en un corto periodo de tiempo a SO_3 , esta reacción ocurre bajo procesos de naturaleza catalítica o fotoquímica, sin embargo, cual sea el proceso el resultado final es la aparición de ácido sulfúrico. Los procesos mediante los cuales la oxidación del SO_2 puede ocurrir son múltiples, a continuación, se describen (44):

- *Proceso de oxidación heterogénea*

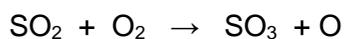
Este proceso puede ocurrir tanto en fase acuosa, debido a la alta solubilidad del SO_2 , o en fase seca. En este proceso pueden actuar como oxidantes el oxígeno o por agentes oxidantes más fuertes como el ozono y el peróxido de hidrógeno (44).



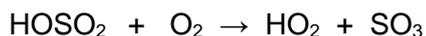
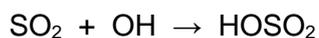
- *Procesos de oxidación homogénea del SO_2*

En este proceso se pueden distinguir dos tipos, la oxidación que se produce por fotooxidación directa del SO_2 , y la oxidación por acciones de especies como el radical hidroxilo (44).

- *Fotooxidación directa*



- *Acción de especies oxidantes*



2.2.1.4. Medición y estimación de las precipitaciones

Se comprende que la distribución temporal de la lluvia es uno de los aspectos que más desconoce el hombre; la observación y medida de las precipitaciones es una condición indispensable para el avance y reservación de una sociedad moderna. Es así que actualmente se realizan medidas en miles de estaciones meteorológicas ubicadas sobre tierra firme, pero también sobre el mar y a distintas alturas de la atmósfera, tanto en posiciones fijas y como a lo largo de las rutas trazadas por los barcos y aviones, aprovechando que todos ellos disponen de instrumentos meteorológicos abordo (45).

El uso que puede darse a la información que proporcionan todas estas fuentes de observación es muy variado: desde el registro temporal en estaciones concretas, a la elaboración de predicciones meteorológicas. En cualquier caso, los centros meteorológicos centralizan la información por áreas, la procesan, controlan su calidad, y la distribuyen a los usuarios que pueden necesitarla para estudiar la atmósfera. La precipitación se mide en milímetros de agua o litros caídos por unidad de superficie (m^2). La cantidad de lluvia que cae en un lugar se mide por los pluviómetros o pluviógrafos: ésta equivale al agua que se acumularía en una superficie horizontal e impermeable durante el tiempo que dure la precipitación o solo en una parte del periodo de la misma. (45)

2.2.1.5. Estaciones climatológicas

El disponer de datos meteorológicos es indispensable para una buena planificación de ingeniería, para la obtención de estos datos se utilizan estaciones climatológicas, las cuales miden las variables meteorológicas más importantes como son: la temperatura, humedad, viento, insolación, precipitación y evaporación. Para que los datos obtenidos sean comparables alrededor del mundo, las mediciones deben ser estandarizadas por lo que exige un cierto nivel de normalización en los instrumentos que estas contienen. Existen dos tipos de estaciones climatológicas: las convencionales y las automáticas (45)

✓ Estaciones climatológicas convencionales

Las estaciones climatológicas convencionales son áreas específicamente planeadas para la recolección de datos climatológicos, por lo que cuentan con varios instrumentos de medición como son:

Una caseta o garita meteorológica, la cual es una estructura de medidas estandarizadas que sirve de protección para el termómetro de mercurio. Está orientada al norte en el hemisferio norte y al sur en el hemisferio sur. Se pinta de blanco y cuenta con

ventilación para que las mediciones que se realicen con el termómetro sean a la sombra.

También cuenta con un evaporímetro que consta de un tanque estandarizado, un vaso estabilizador y un tornillo micrométrico para las mediciones correspondientes.

Cuenta con un pluviómetro, una veleta (que nos indica la dirección del viento) y un anemómetro (magnitud cualitativa del viento). Para obtener los datos registrados en este tipo de estaciones una persona tiene que presentarse y medir manualmente todos los días del año a las 8 am. (45)

✓ *Estaciones climatológicas automáticas*

Es un conjunto de dispositivos eléctricos, electrónicos y mecánicos que realizan mediciones de las variables meteorológicas en forma numérica, está conformada por un grupo de sensores que registran y transmiten información meteorológica de forma automática y autónoma. Su función principal es la recopilación y monitoreo de algunas Variables Meteorológicas para generar archivos del promedio de cada 10 minutos, esta información es enviada por algún medio de transmisión a intervalos regulares (46).

2.2.2. Metodologías de interpolación existentes

2.2.2.1. Método Kriging

El método Kriging provee una solución al problema de la estimación basada en un modelo continuo de variación espacial estocástica. Hace el mejor uso del conocimiento existente tomando en cuenta la forma en que la propiedad varía en el espacio a través del modelo de variograma. En su forma original una estimación de Kriging en un lugar es simplemente una combinación lineal de los datos en la vecindad. El objetivo del método es el de estimar el valor de una variable aleatoria Z , en uno o más puntos no muestreados o sobre grandes bloques, a partir de datos más o menos distribuidos en una plataforma determinada. (47)

Hasta el día de hoy, todos los interpoladores geo estadísticos están en el grupo de los Kriging (variantes), los cuales ofrecen no solo predicciones y superficies de respuesta requeridas, sino también mapas de probabilidades y cuantiles. Se asume que los datos más cercanos a un punto conocido tienen mayor peso o influencia sobre la interpolación, influencia que va disminuyendo conforme se aleja el punto de interés. La tabla N° 6 menciona los tipos de kriging y algunas de sus propiedades (48).

Tabla 6: Tipos de predictores kriging y sus propiedades

TIPO DE PREDICTOR	NOMBRE	PROPIEDADES
LINEAL	<ul style="list-style-type: none"> • Simple • Ordinario • Universal 	<ul style="list-style-type: none"> • Son óptimos si hay normalidad multivariada. • Independiente de la distribución son los mejores predictores linealmente insesgados.
NO LINEAL	<ul style="list-style-type: none"> • Indicador • Probabilístico • Log Normal, Trans-Gaussiano • Disyuntivo 	<ul style="list-style-type: none"> • Son predictores óptimos.

Nota. Tomado de Tamayo, 2009 (47)

✓ *Kriging Ordinario*

Es un método basado en auto correlación espacial de las variables. El Kriging es un estimador insesgado que busca generar superficies continuas a partir de puntos discretos. Asume que la media, aunque desconocida, es constante y que las variables son estacionarias y no tienen tendencias. Permite transformación de los datos, eliminación de tendencias y proporciona medidas de error. Para determinar la auto correlación se usan semivariogramas y vecindades obtenidos a partir de un análisis exploratorio de los datos. El semivariograma permite a partir de la covarianza entre los puntos, representar la variabilidad de los mismos y su dependencia en función de la distancia y la dirección. (49)

Supóngase que se hacen mediciones de la variable de interés Z en los puntos u_α , $\alpha = 1, \dots, n$, de la región de estudio, es decir, se tienen realizaciones de las variables $Z(u_1), \dots, Z(u_n)$, y se desea predecir $Z(u_0)$, en el punto u_0 donde no hubo medición. (50) nos dice que el Kriging Ordinario (OK) tiene en cuenta las posibles fluctuaciones locales de la tendencia o media, limitando el dominio de estacionariedad de la media a la vecindad local $W(u) : m(u^*)$ es una constante (desconocida) para todo $u^* \in W(u)$.

(30) El estimador Kriging Ordinario puede predecirse como una combinación lineal de las n variables aleatorias así:

$$\hat{Z}(x_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(x_i)$$

En donde los λ_i representan los pesos o ponderaciones de los valores originales. Dichos pesos se calculan en función de la distancia entre los puntos muestreados y el punto donde se va a hacer la correspondiente predicción. La suma de los pesos debe ser igual a uno.

$$\sum_{i=1}^N \lambda_i = 1$$

Esto es necesario para determinar la presencia de insesgamiento, donde la esperanza del predictor es igual a la esperanza de la variable aleatoria. En base a esto, la estimación de la varianza sería. $E[\hat{Z}(x_0) - Z(x_0)] = 0$

$$\begin{aligned} \text{var}[\hat{Z}(x_0)] &= E\left[\{\hat{Z}(x_0) - Z(x_0)\}^2\right] \\ \text{var}[\hat{Z}(x_0)] &= 2 \sum_{i=1}^N \lambda_i \gamma(x_i, x_0) - \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \lambda_i \lambda_j \gamma(x_i, x_j), \end{aligned}$$

Donde (x_i, j) corresponde a la semivarianza de Z entre los puntos conocidos x_i e x_j , mientras que $\gamma(x_i, x_0)$ es la semivarianza entre el punto x_i y el punto que se desea estimar.

Para cada estimación de Kriging, se determina una varianza asociada a dicho Kriging; esta varianza puede denotarse por $\sigma^2(x_0)$ para un valor puntual. El siguiente paso en Kriging es encontrar los pesos que minimicen las varianzas antes mencionadas, con la restricción que los pesos sumen 1; esto se lleva a cabo con multiplicadores de Lagrange.

En primer lugar se define una función auxiliar (λ_i, ψ) , que incluye la varianza que se desea minimizar, más un término del multiplicador de Lagrange. Para la estimación de un valor puntual se tiene que:

$$T(\lambda_i, \psi) = \text{var}[\hat{Z}(x_0) - z(x_0)] - 2\psi \left\{ \sum_{i=1}^N \lambda_i - 1 \right\}$$

Luego se establecen las derivadas parciales de la función con respecto a los pesos que tiendan a 0.

$$\frac{\partial f(\lambda_i, \psi)}{\partial \lambda_i} = 0$$

$$\frac{\partial f(\lambda_i, \psi)}{\partial \psi} = 0$$

Para $i = 1, 2, \dots$, esto conduce a un conjunto de $N + 1$ ecuaciones con $N + 1$ incógnitas

$$\sum_{i=1}^N \lambda_i \gamma(x_i, x_j) + \psi(x_0) = \gamma(x_j, x_0)$$

$$\sum_{i=1}^N \lambda_i = 1$$

Lo anterior corresponde al sistema de Kriging Ordinario y su solución proporciona los pesos λ_i , los que son introducidos en la primera ecuación y de la cual la estimación de la varianza puede obtenerse como:

$$\sigma^2(x_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i \gamma(x_i, x_0) + \psi(x_0)$$

Si el punto a estimar X_0 , pasa a ser uno de los puntos de datos xy , entonces $\sigma^2 X_0$ es minimizado cuando $\lambda_{x_j} = 1$ y todos los otros pesos son 0. Por tanto si $\sigma^2 X_0 = 0$ y mediante la intersección de los pesos en la ecuación general de Kriging, se obtiene un valor registrado z , como un estimado de $z X_0$, por lo tanto el Kriging puntual es un interpolador exacto.

La ecuación Kriging puede ser representada a través de una matriz. Así, para la interpolación de un valor se tiene que:

$$A\lambda = b$$

Donde:

$$A = \begin{bmatrix} \gamma(x_1, x_1) & \cdots & \gamma(x_1, x_N) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \gamma(x_N, x_1) & \cdots & \gamma(x_N, x_N) \end{bmatrix}$$

$$\lambda = \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \vdots \\ \lambda_N \\ \psi(z_0) \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} \gamma(x_1, x_0) \\ \vdots \\ \gamma(x_N, x_0) \\ 1 \end{bmatrix}$$

Luego, la matriz A es invertida y entonces los pesos de los datos y el multiplicador de Lagrange son obtenidos dada la siguiente fórmula:

$$\lambda = A^{-1}b$$

Por otra parte, la varianza Kriging en base a matrices, está dada por:

$$\sigma^2(x_0) = B^T \lambda$$

➤ *Semivariograma*

El semivariograma está determinado por la presunción de que la varianza de las distancias de la variable regionalizada es finita y representa mediante una gráfica la semivarianza en función de la distancia. Por tanto, utilizando la definición teórica de la varianza en términos del valor esperado de una variable aleatoria, se tiene que:

$$\gamma(h) = E\{[Z(x+h) - Z(x)]^2\}$$

La expresión $Z(x)$ indica que el valor de la variable en un sitio x , $Z(x+h)$, es otro valor muestral separado del anterior a una distancia h .

El semivariograma es una gráfica o fórmula que describe la diferencia de la esperanza al cuadrado entre pares de valores de una muestra con una coordenada

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N} \sum_{i=1}^N [Z(x+h) - Z(x)]^2$$

Para interpretar el semivariograma, se considera que, a menor distancia entre sitios, se encuentra mayor correlación espacial entre las observaciones. Cuando se calcula un variograma, se obtiene un conjunto ordenado de valores, a distancias específicas; en éste se resumen las relaciones espaciales de los datos. Sin embargo, se necesita un variograma

que describa la región. Así, cada semivarianza calculada para una distancia particular, es sólo una estimación de la semivarianza media de dicha distancia, por lo tanto, existe un error, el cual surge en gran medida debido a la fluctuación del muestreo, lo que puede dar al variograma experimental un aspecto errático. Esto se debe a que la fluctuación del variograma es mayor cuando los datos están más separados y hay pocos.

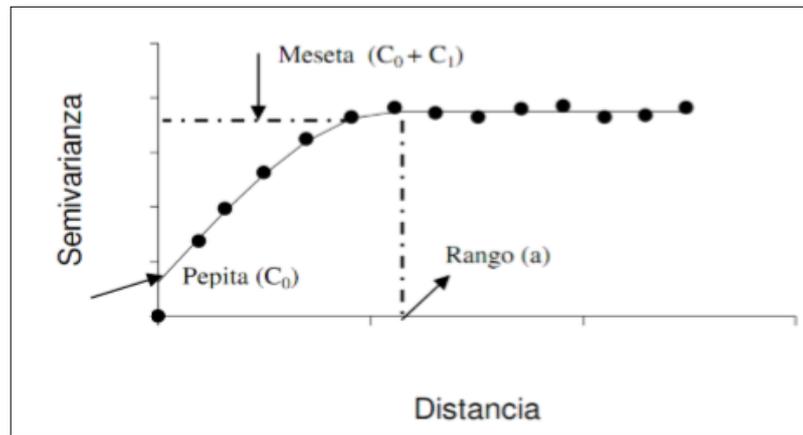


Figura 22: Parámetros básicos del semivariograma. Tomado de (Cortés, 2013)

2.2.2.2. Método IDW (ponderación por distancia)

El método IDW “Inverse Distance Weighted” (ponderación por distancia), combina el concepto de vecindad entre sitios con disponibilidad de datos con un cambio gradual de las superficies definidas con una tendencia, se supone que el valor del atributo Z es una posición donde el valor del atributo no es conocido es un promedio de los valores de sus vecinos, pero donde los vecinos más cercanos tienen más peso o importancia que los más alejados (45).

$$Z^*(X) = \sum_{i=1}^n (\lambda_i Z(x)_i)$$

Donde:

$Z^*(X)$ = valor estimado de la variable

$Z^*(X)_i$ = valor de la variable en el punto conocido i .

λ_i = peso de la estación i .

n = número de estaciones vecinas

Los pesos se calculan en función de la distancia entre las estaciones y el punto a interpolar, de la siguiente forma.

$$Z^*(X) = \sum_{i=1}^n (\lambda_i x Z(x)_i)$$

Donde:

λ_i = peso de la estación i .

d_{ij} = distancia entre la estación y el punto a interpolar

β = coeficiente de ponderación

Mientras más alto es el valor de β , el peso de las estaciones más cercanas será mayor. Para la optimización de este coeficiente se tiene que minimizar el error medio cuadrático (EMC) a través de una validación cruzada.

Sin embargo, como valor predeterminado se usa 2:

$$EMC = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n [z^*(x) - z(x)]^2}{n}}$$

Donde:

$z^*(x)$ = valor estimado

$z(x)$ = valor real

n = muestra total

2.2.2.3. Interpolación global utilizando superficies de tendencia

Este método se utiliza cuando la variación de un atributo ocurre continuamente sobre un paisaje y este se puede modelizar por una superficie matemática. Hay varias maneras de realizar el modelo: todos ellos ajustan las observaciones de los puntos de datos a algunas ecuaciones polinomiales, con lo cual los valores de la localización sin muestrear se calculan a partir de sus coordenadas (51).

La forma más simple de modelizar las variaciones espaciales es por una regresión

múltiple de los valores de los atributos enfrentados a su localización geografía. La idea es ajustar una línea o superficie polinomial, dependiendo de si los datos de origen están en 2 o 3 dimensiones, y que la z, es un atributo de interés, la variable dependiente z esta normalmente distribuida. También, se asume que los errores de regresión son independientes de la localización, lo cual no siempre ocurre (51).

Se considera el valor de un atributo ambiental z que ha sido medida a lo largo de los puntos X1, X2, Xn en un transecto. Si, aparte de la variación, el valor de z se incrementa linealmente con la localización x, su rango de variación puede ser aproximado por un modelo de regresión:

$$z(x) = b_0 + b_1x + \varepsilon$$

Donde b_0 y b_1 son los coeficientes polinomiales conocidos respectivamente como la intersección y la pendiente de una regresión simple. El residual ε (el ruido) se asume normalmente distribuido e independiente de los valores de x.

En la mayoría de circunstancias z no es una función lineal de x, pero puede variar de una forma muy complicada, como los modelos cuadráticos o incluso de orden superior.

$$z(x) = b_0 + b_1x + b_2x^2 + \varepsilon$$

Con el incremento del número de términos es posible ajustar cualquier conjunto de puntos mediante una curva complicada, de este modo reduciendo la ε a cero.

En dos dimensiones los polinomios derivados por regresión múltiple en coordenadas x e y son superficies de la forma de la siguiente función, en el que los 3 primeros son:

$f\{(x, y)\} = \sum_{r+s \leq p} (b_n \cdot x^r \cdot y^s)$	b_0	uniforme
	$b_0 + b_1x + b_2y$	linear
	$b_0 + b_1x + b_2y + b_3x^2 + b_4xy + b_5y^2$	cuadrática

El entero p es el orden de la superficie de tendencia. Hay $P = (p+1)(p+2)$ coeficientes que están normalmente elegidos para minimizar.

$$\sum_{i=1}^n \{z(x_i) - f(x_i)\}^2$$

Donde x es el vector notación para (x,y) . Entonces, un plano horizontal es de orden cero, un plano inclinado es de primer orden, una superficie cuadrática es de segundo orden y una superficie cubica con 10 parámetros de tercer orden. Encontrar los coeficientes b_1 es un problema estándar en la regresión múltiple, de este modo los cálculos son fáciles con paquetes estadísticos estándares.

La ventaja de los análisis de superficie de tendencia reside en ser una técnica que es superficialmente fácil de entender, al menos con respecto al tipo de superficie que se tiene que calcular (51).

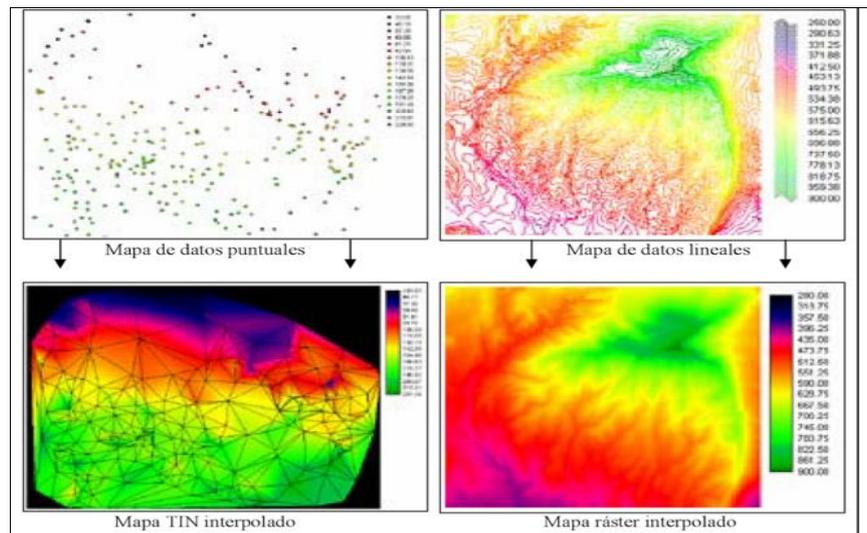


Figura 23: Interpolación de superficies de tendencias con datos puntuales y lineales. Tomado de Peña, 1999 (51)

2.2.3. Técnica e instrumento de investigación

2.2.3.1. Técnica de investigación

✓ *Sensoramiento remoto (teledetección)*

Es una técnica que permite obtener información a distancia de los objetos situados sobre la superficie terrestre. Para que esta observación remota sea posible, es preciso que entre los objetos y el sensor exista algún tipo de interacción.

En un sistema de teledetección intervienen 3 elementos principales: sensor, objeto observado y el flujo energético que los pone en relación y permite, en última instancia, detectar el objeto, también debemos considerar tres formas de adquirir información a partir de un sensor remoto: por reflexión, por emisión y por emisión – reflexión (52).

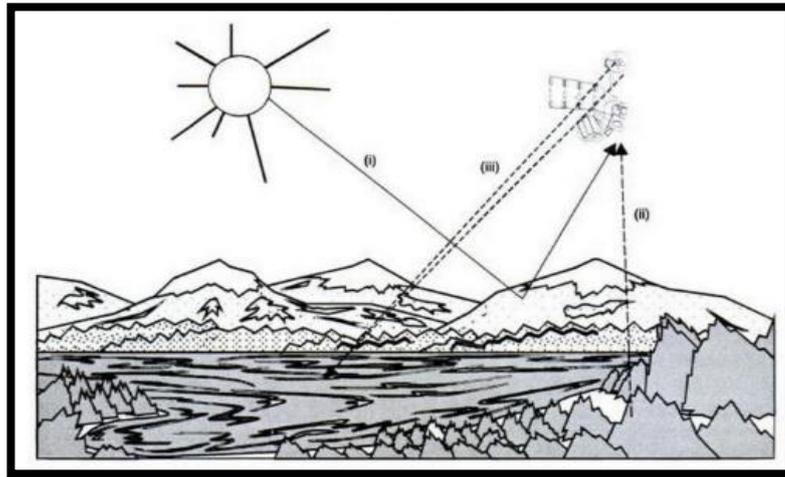


Figura 24. Teledetección ambiental: Formas de teledetección. Tomado de Chuvieco, 2008 (52)

La primera de ellas es la forma más importante de teledetección, pues se deriva directamente de la luz solar. El sol ilumina la superficie terrestre, que refleja esa energía en función del tipo de cubierta presente sobre ella. Ese flujo reflejado se recoge por el sensor, que lo transmite posteriormente a las estaciones receptoras. Entre superficie y sensor se interpone la atmósfera, que dispersa y absorbe parte de la señal original. De igual forma, la observación remota puede basarse en la energía emitida por las propias cubiertas. O en la que podríamos enviar desde un sensor que fuera capaz, tanto de generar su propio flujo energético, como de recoger posteriormente su reflexión sobre la superficie

terrestre (52).

En cualquiera de estos casos, el flujo energético entre la cubierta terrestre y el sensor constituye una forma de radiación electromagnética. Como es sabido, la energía se transfiere de un lugar a otro por tres procesos: convección, conducción y radiación. De ellos el último es el que constituye la base de los sistemas de teledetección (52).

La radiación electromagnética es la base para toda la percepción remota de la Tierra. La radiación es la energía emitida en forma de onda por objetos con una temperatura mayor al cero absoluto (-273 °C). Dada esta característica ondulatoria, la energía puede medirse en término de amplitudes, frecuencias y longitudes de onda. Todos los tipos de energía electromagnética viajan con la misma rapidez (53).

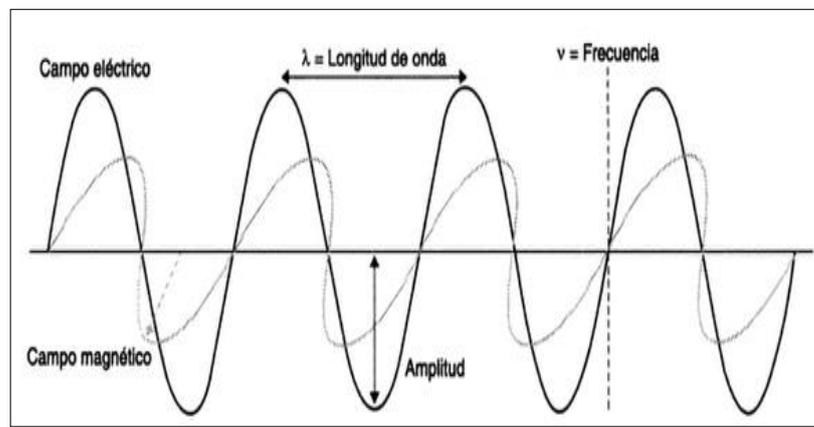


Figura 25. Esquema de una onda electromagnética. Tomada de Chuvieco, 2008 (52)

✓ Georreferenciación

La georreferenciación posee una definición tecno científica, aplicada a la existencia de las cosas en un espacio físico, mediante el establecimiento de relaciones entre las imágenes de raster o sobre una proyección geográfica o sistema de coordenadas, por ellos se apoya para el análisis de datos en sistemas de información geográfica (SIG) (54). Un SIG es un conjunto de métodos, herramientas y datos que están diseñados para actuar coordinada y lógicamente en la captura, almacenamiento, análisis, transformación y presentación de toda la información geográfica y sus atributos, con el fin de satisfacer múltiples propósitos. Los SIG's son una tecnología que permite gestionar y analizar la información espacial (55).

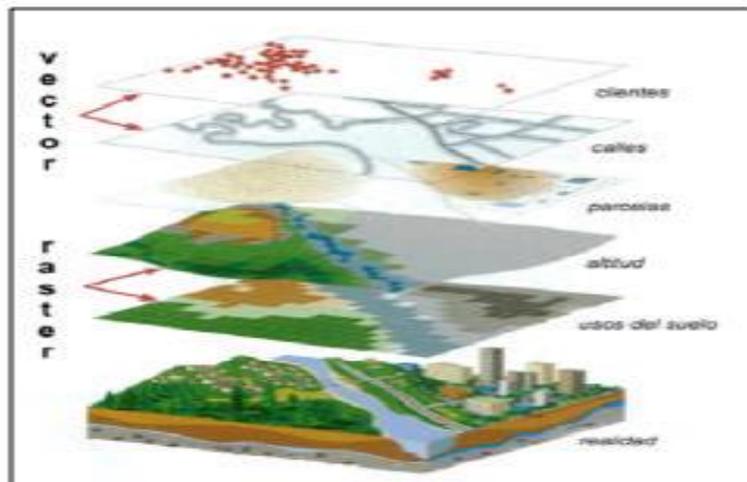


Figura 26. Representación de la realidad en formato ráster. Tomado de Departamento de la Guajira, 2007 (55)

Este sistema sirve como soporte para cualquier uso geográfico, y de esta manera sacar como resultado una aplicación más óptima en el uso del mismo. Además, tiene diferentes técnicas de uso, las más referentes a la aplicación de la georreferenciación en la nube son:

- *Superposición de mapas*

La combinación de varios conjuntos de datos espaciales (puntos, líneas o polígonos) puede crear otro nuevo conjunto de datos vectoriales. Visualmente sería similar al apilamiento de varios mapas de una misma región. Estas superposiciones son similares a las superposiciones matemáticas del diagrama de Venn. Una unión de capas superpuestas combina las características geográficas y las tablas de atributos de todas ellas en una nueva capa. En el caso de realizar una intersección de capas esta definiría la zona en las que ambas se superponen, y el resultado mantiene el conjunto de atributos para cada una de las regiones. En el caso de una superposición de diferencia simétrica se define un área resultante que incluye la superficie total de ambas capas a excepción de la zona de intersección.

Los análisis de datos proporcionados por el ráster que son por su superposición de conjunto de datos llevan a cabo un proceso conocido como "Álgebra de mapas", a través de esta se puede tener varias aplicaciones como la figura N° 27, a través de una función que combina sus valores en una matriz ráster. El álgebra de mapas proporciona una gran variación de escalas en un "Modelo índice" que refleja el grado de influencia de fenómenos geográficos.



Figura 27. Superposición de mapas. Tomado de (Gómez, 2001)

- *Cartografía automatizada*

Por tanto, la cartografía digital como los Sistemas de Información Geográfica codifican relaciones espaciales en representaciones formales estructuradas. Los SIG son usados en la creación de cartografía digital como herramientas que permiten realizar un proceso automatizado o semiautomatizado de elaboración de mapas denominado cartografía automatizada.

El SIG posee este elemento como un subconjunto del mismo, porque los términos que componen un sistema de información geográfica son más amplios, por lo que usan la cartografía para su explicación.

Una vez realizada el completo desarrollo del termino cartografía puede ser representada en forma digital, el cual se apoya en importantes técnicas de análisis espacial, con una realización profesional de estos datos se pueden realizar datos en forma rápida y eficiente, por lo cual se resalta un manejo responsable de los datos. La principal dificultad en cartografía automatizada es el utilizar un único conjunto de datos para producir varios productos según diferentes tipos de escalas, una técnica conocida como generalización

- *Geocodificación*

Geocodificación es el proceso de asignar coordenadas geográficas (latitud-longitud) a puntos del mapa (direcciones, puntos de interés, etc.). Una aplicación interesante que se usa en este proceso es la Georreferenciación para direcciones postales; con ayuda de la

cartografía este se limita con los códigos geográficos para su resultado, de ahí parte a aplicaciones más y más complejas como Geolocalizar calles con nombres números de policía determinada y previamente localizada apoyándose en el uso de metadatos. Para la georreferenciación se posicionan mediante interpolación estimación, el SIG a continuación localiza en la capa de ejes de calles el punto en el lugar más aproximado a la realidad según los algoritmos de geocodificación que utiliza.

2.2.3.2. Instrumento de investigación

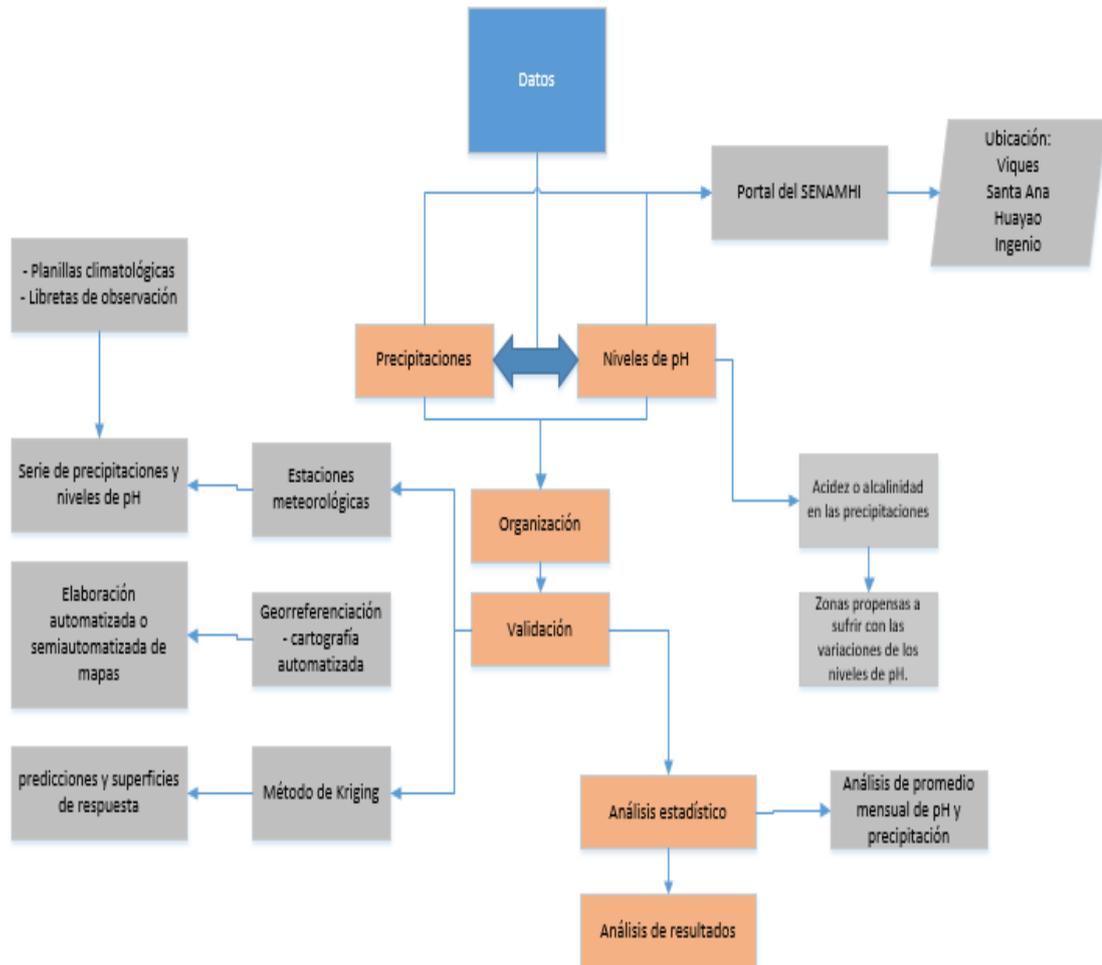
Los instrumentos de la investigación son los siguientes: las planillas del clima, el programa Excel y el software ArcGis

Las planillas del clima se utilizarán para recabar toda la información necesaria de los datos diarios de precipitación durante todos los meses del año en el periodo 2005 - 2014, además serán necesarios para identificar los valores de pH en cada episodio de precipitación. Las planillas del clima utilizadas serán provenientes de cuatro estaciones, la estación meteorología de Santa Ana la cual se encuentra a una longitud de $75^{\circ} 13' 17.07''$, una latitud de $12^{\circ} 00' 34.04''$ y a una altitud de 3249 msnm; la estación de Viques a una longitud de $75^{\circ} 14' 7''$, una latitud de $12^{\circ} 9' 47''$ y una altitud de 3186 msnm; la estación de Huayao con una longitud de $75^{\circ} 19' 13.74''$; latitud de $12^{\circ} 02' 24.66''$ y una altitud de 3328 msnm y la estación de Ingenio que se encuentra a una longitud de $75^{\circ} 17' 3.16''$ O; una latitud de $12^{\circ} 52' 51.00''$ S y una altitud de 3390 msnm. Los datos que se analicen de estos servirán para determinar la distribución espacial del pH dentro de la provincia de Huancayo.

El software Excel será utilizado con el fin de crear un archivo exclusivo para el procesamiento de datos en un GIS, éste archivo contará con los datos de precipitación y pH de cada una de las estaciones con una frecuencia mensual.

El Sistema de información geográfica SIG que se utilizó para el procesamiento de la información y la obtención de la distribución espacial de los datos fue el ArcGis, a partir de este se logró construir gráficos y mapas necesarios para poder cumplir con los objetivos planteados en la investigación.

2.2.4. Diseño de modelo teórico conceptual



2.3 Definición de términos básicos

2.3.1. Aerosol. Dispersiones de partículas sólidas o líquidas en un medio acuoso (59).

2.3.2. Aminas. Son compuestos orgánicos que pueden considerarse derivados del amoníaco por sustitución de uno, dos o tres átomos de hidrógeno radicales hidrocarbonados (58).

2.3.3. Convección. Es un proceso de transferencia de calor que implica el transporte de materia de un lugar a otro en una sustancia o fluido.

2.3.4. Dosado. Se define como la relación entre la cantidad de masa de

combustible y el aire mínimo necesario para quemarla (43).

- 2.3.5. Fotoquímica. Reacción desencadenada por acción de la luz, ya sea visible o ultravioleta. Este tipo de reacciones son responsables de la formación del smog fotoquímico en las atmósferas contaminadas (57).
- 2.3.6. Fotoquímico. Conjunto de reacciones químicas que se produce debido a la influencia de la radiación solar, o cualquier otra fuente electromagnética (60).
- 2.3.7. Geoestadística. Es una rama de la estadística que estudia las relaciones espaciales que ocurren sobre un local topográfico específico con topología adecuada, para lo cual hace uso de varios algoritmos de covarianza y semivariogramas para representar los fenómenos de interpolación geográfica y paisajística (62).
- 2.3.8. Inmisión. concentración de contaminantes presentes en el seno de una atmósfera determinada, y por tanto, es a estos valores a los que están expuestos los seres vivos y los materiales cuya actividad se desarrolla en esa atmósfera concreta (56).
- 2.3.9. Interpolación. Determinación del valor de una función entre dos valores conocidos de una variable y los correspondientes valores de la función (63).
- 2.3.10. Radiación electromagnética. Puede ser considerada como una forma de energía, consistente en campos electromagnético, que se propagan mediante ondas, transportando cantidades discretas de energía. Esta energía se nos pone en manifiesto mediante su interacción con un medio material, de tal manera que, si esa interacción no tiene lugar, la radiación electromagnética es indetectable y no podemos obtener información de ella (68).
- 2.3.11. Regresión. Es un instrumento estadístico de análisis de la relación entre variables. En general, puede utilizarse para el análisis de la relación que una variable mantiene con un conjunto de otras (65) .
- 2.3.12. Sesgo. Es el resultado como el resultado de un error sistemático en el diseño o la conducción de un estudio. Este error sistemático se deriva de deficiencias en el método o en los procedimientos de recopilación de información (64).

2.3.13. Solución acuosa. Es una solución en la que un componente se disuelve en agua (61).

2.3.14. Teledetección. La adquisición de información de un objeto a distancia, esto es, sin que exista contacto material con el objeto o sistema observado y el observador (66); en el ámbito de las ciencias de la tierra, la teledetección es entendida como una técnica que tiene por objetivo la captura, tratamiento y análisis de imágenes digitales tomadas desde satélites artificiales (67).

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1 Método y alcances de la investigación

3.1.1 Método de la investigación

3.1.1.1. Método general o teórico de la investigación

Se utilizó como método general el método hipotético-deductivo y analítico. (69) Hipotético deductivo ya que a partir de los datos de pH de las precipitaciones se deduce si dicho nivel corresponde a una precipitación ácida o básica. (70) Analítico porque los datos que se manejen serán tratados de manera tal, que mediante un gráfico podamos identificar los niveles de pH en diferentes zonas y así determinar cuáles de ellas son más afectadas con las variaciones del mismo.

3.1.1.2. Método específico de la investigación

Se dio inicio con la obtención de los datos de precipitación y pH, para ello se recurrió a solicitar información a Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), quienes brindaron dicha información de manera digital, mediante sus planillas climatológicas.

Luego se inició con el tratamiento y el análisis de datos, como primer paso el uso de la estadística descriptiva o también conocida como análisis exploratorio de datos, ésta se aplicó en el análisis de los valores de precipitación y pH obtenidos, ya que, mediante gráficos elaborados a partir del procesamiento y análisis, se pudo determinar las variaciones de los niveles de acidez en función a los episodios de precipitación ocurridos.

- ✓ El primer paso fue organizar y analizar las variaciones de las precipitaciones por cada mes del año durante el periodo 2005 - 2014; se inició plasmando los datos en un

Excel, se elaboró una tabla de 13 columnas y 11 filas, en las que se consideró la siguiente información: en la primera columna se colocaron todos los años considerados para esta investigación desde el 2005 hasta el 2014), en cuanto a la primera fila, ésta fue de los meses del año, las demás filas y/o columnas fueron completadas con los promedios mensuales con el fin de identificar las variaciones de precipitaciones a nivel de meses del año. El mismo procedimiento se seguirá para el análisis de los datos de pH.

- ✓ Una vez que se tuvo la información correctamente sistematizada, se procedió a elaborar un gráfico de meses vs el nivel de acidez vs precipitación de los 10 años de análisis, con el fin de determinar la evolución temporal de las variaciones de pH.

Tabla 7: Ubicación de estaciones meteorológicas

Estación	Latitud	Longitud	Altitud (m.s.n.m)
Viques	12° 9' 47''S	75° 14' 7''W	3186
Santa Ana	12° 0' 15''S	75° 13' 15''W	3295
Huayao	12°02'18''S	75°19'22''W	3350
Ingenio	12°52'51."S	75°17'3.16"O	3390

Utilizando el método de georreferenciación, los datos de acidez de las precipitaciones fueron ordenados en una hoja Excel (cada año en una pestaña) en función a las coordenadas de las estaciones de donde fueron obtenidos, se consideró la siguiente información: número, coordenadas de las 4 estaciones X y Y, nombre del punto, descripción de cada punto (nombre de la estación) y nivel de pH promedio mensual (enero – diciembre), este archivo se guardó en extensión de Excel xls.

Posteriormente se procedió a utilizar el software ArcGis; con el cual se generaron los mapas de distribución espacial del pH de las precipitaciones; se inició con la delimitación de Valle, lo más próximo posible a los puntos donde se encontraban las estaciones meteorológicas. Seguido a ello se aplicó el método de interpolación Kriging para la generación de los mapas de distribución por cada año.

Adicional a los mapas de distribución espacial anuales (anexo N° 6), y con fines de comparación, se dividió los datos en dos periodos, el primero fue de 2004 al 2009, y el

segundo fue desde 2010 hasta el 2014, con el fin de poder analizar un antes y un después de las variaciones de pH dentro del Valle del Mantaro.

3.1.2 Alcances de la investigación

3.1.1.3. Tipo de investigación

La investigación es aplicada (71), ya que a partir de un marco teórico establecido y de datos existentes, se pondrá poner en práctica los conocimientos empíricos para generar mapas de distribución espacial lo que explicará una realidad concreta. A su vez esta investigación es un estudio de tipo predominantemente cuantitativo ya que se basa en el tratamiento y análisis de datos de pH.

3.1.1.4. Nivel de investigación

Es nivel descriptivo ya que la investigación se basa en circunstancias de un hecho real y a partir de ello, describir las variaciones de los niveles de acidez de las precipitaciones del Valle del Mantaro y la localización de los valores más significativos en dichas variaciones (mayores o menores al promedio), con el fin de identificar las zonas más afectadas por este fenómeno.

3.2 Diseño de la Investigación

Los valores de pH que se manejaron son datos facilitados por le SENAMHI, quienes fueron los encargados de hacer las respectivas mediciones, además los niveles de la variable no se pueden manipular, en tal sentido la investigación es netamente no experimental, es decir se analizó el fenómeno en un contexto real y natural.

3.2.1 Tipo de diseño de investigación.

El tipo de diseño de investigación es descriptivo longitudinal ya que este diseño describe las variaciones de pH en el espacio y tiempo, en este caso 10 años; asimismo se evaluó la distribución de estos puntos dentro de un espacio geográfico para conocer su distribución e identificar las áreas que sufren las variaciones más significativas de pH.

3.3 Población y muestra

3.3.1 Población

La población comprende el Valle del Mantaro.

La unidad de análisis: pH de las precipitaciones durante el periodo 2005- 2014.

La elección de la población se basa en el hecho de una desestabilización de los

ecosistemas y una grave amenaza por el mantenimiento de la biodiversidad, debido a ello se tomó como punto de partida para la elección de la población, la vulnerabilidad.

El Valle del Mantaro es la principal región agrícola y piscícola del país, por lo que muestra una alta dependencia a la alteración de las variables meteorológicas; un desequilibrio en el entorno medioambiental puede provocar grandes pérdidas económicas y ambientales.

Además, la falta de información e investigación respecto a la lluvia ácida está limitando a la población y a las autoridades en su accionar frente a las consecuencias de la contaminación del aire.

3.3.2 Muestra

La muestra comprende las 4 estaciones meteorológicas tomadas como puntos de muestreo (Huayao, Viques, Santa Ana y Jauja).

La elección de la muestra fue no probabilística intensional, ya que se eligieron las estaciones meteorológicas dentro del área de estudio que contaran con mediciones de las variables a analizar en el periodo de tiempo estipulado (10 años).

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1 Técnicas utilizadas en la recolección de datos

3.4.1.1. Técnica de recolección de datos

En la presente investigación se utilizaron 2 técnicas de recopilación de datos, la primera fue el análisis documental (ésta es una forma de investigación técnica, que busca describir y representar los documentos de forma unificada sistemática (72)) para poder sintetizar y unificar la información de interés que se encontraban dentro de las planillas climatológicas digitales facilitadas por el SENAMHI; la segunda técnica fue la de recopilación de datos de información secundaria, aplicada durante la revisión de los archivos en físico del SENAMHI para obtener los datos de pH, así mismo, se procedió con la revisión de los datos históricos de precipitación en la página oficial de la institución mencionada.

Además, se aplicó la técnica de procesamiento de datos basados en la estadística descriptiva (promedios), el análisis temporal: graficas de variación temporal.

3.4.2 Instrumentos utilizados en la recolección de datos

Para la investigación se utilizaron las fichas de registro, en las cuales se sintetizó solo las variables a analizar (precipitación y pH), estos datos considerados en las fichas se extrajeron de las planillas climatológicas de monitoreo de pH y de mediciones de precipitaciones, en ambos casos la fuente directa de información fue el SENAMHI.

3.5 Técnica de análisis estadístico

Para esta investigación se aplicó la técnica de medidas de tendencia central, ya que esta técnica de análisis estadístico es útil para estudios evolutivos, la ventaja de ésta no solo es estadística, sino también espacial, además de que no requiere procesos matemáticos complejos. Asimismo, da idea de los valores más representativos del conjunto de datos a analizar (73).

Para el análisis de datos se utilizó las siguientes medidas:

- **Media:** O también conocida como media aritmética o promedio; sirvió para el cálculo de los promedios mensuales y anuales, de cada estación meteorológica. Datos que fueron utilizados para el logro de los objetivos, ya que nos ayudó a determinar la evolución temporal del pH de la lluvia, así como a identificar en que año se hicieron presentes las mayores variaciones de pH.

Asimismo, dichos promedios fueron utilizados para la generación de los mapas de distribución espacial.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

- **Moda:** Aplicada para determinar qué valor de pH fue más frecuente en cada estación, es decir el valor que más se repite en la serie de datos analizados en la investigación.

3.6 Validación de datos

Para el proceso de validación de datos, se utilizó el método de control estadístico de calidad en función a una línea central, el cual por medio de gráficos de control el cual se basan en la medición de los valores de características de calidad en una escala continua.

Existen dos tipos básicos de gráficos de control para variables:

- **Gráficos de control para el promedio:** Estos gráficos controlan el valor promedio de

la característica de calidad en las muestras. Se conocen como gráficos X.

- **Gráfico de control para la amplitud:** Estos gráficos controlan la amplitud o rango de variación de la característica de calidad en las muestras. El rango, R, se define como la diferencia entre el máximo y el mínimo valor de la característica, X, obtenido en una muestra, así: $R = \text{Max}[X] - \text{Min}[X]$. Estos gráficos se conocen como gráficos R.

Para esta investigación se utilizó los gráficos de control para el promedio; para ello se requirió la determinación de:

- **Línea central:** La línea central se sitúa en el valor de la media del proceso, en el caso de que ésta no se conozca puede estimarse aplicando la teoría del muestreo $LC = \mu = \mu\bar{X} = \bar{X}$.
- **Límite superior de control:** Para gráficos 3 sigma, el LSC se ubica en $\mu + 3\sigma$, donde μ y σ son la media y la desviación estándar del proceso. En el caso de que σ sea desconocido, se estima su valor a partir de datos históricos o extracción de muestras.
- **Límite inferior de control:** Para gráficos 3 sigma, el LIC se ubica en $\mu - 3\sigma$, donde μ y σ son la media y la desviación estándar del proceso.

Los límites Superior e Inferior de los gráficos de control pueden construirse para diferentes intervalos de confianza. Límites 3 sigma garantizan que el 99.74% de las muestras se ubiquen entre los límites superior e inferior de control. En el caso de usar límites de control 2 sigma el 95.44% de las muestras caerán entre los límites de control superior e inferior. El nivel de confianza para gráficos 1 sigma es del 68.26%. (74)

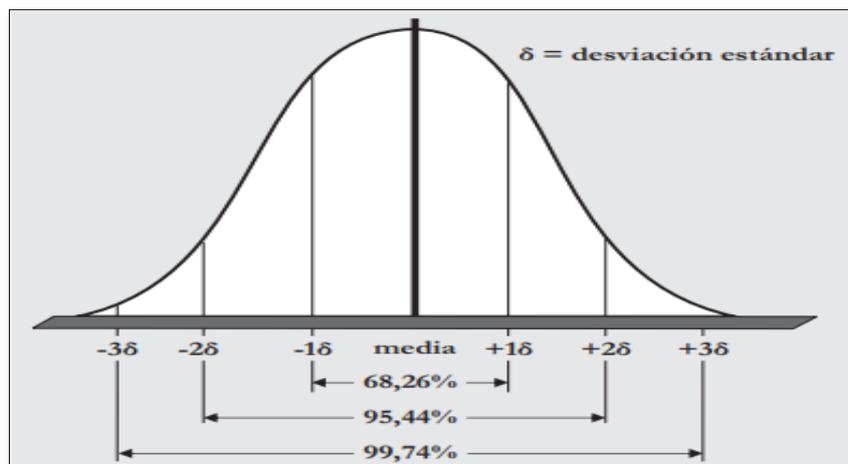


Figura 28: Niveles de confiabilidad - 3sigma. Tomado de Carro et al, 2012.

En esta investigación la validación de datos se hizo bajo el siguiente procedimiento, cumpliendo los principios del método mencionado líneas arriba.

- El primer paso fue calcular el promedio del total de datos del pH. a través de la siguiente fórmula:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

- El siguiente paso fue determinar la desviación respecto a la media, da información de lo alejado o cerca que está un dato de los demás datos del conjunto. Donde x_i es el valor real medido, y \bar{x} es el valor promedio.

$$D_i = x_i - \bar{x}$$

- Luego se procedió a calcular la desviación estándar de los datos, de acuerdo a:

$$\sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{(n-1)}}$$

- Para el cálculo de los niveles de confianza se multiplicó la desviación estándar por las sigmas 1,2 y 3 para obtener el 68%, 95% y 99% respectivamente. Los límites tanto superior como inferior viene a ser los mismos valores obtenidos en los niveles de confiabilidad ya que, el valor de la línea central es 0.

Debido a que la validación de datos se hizo por cada año, en las 4 estaciones meteorológicas, se obtuvieron un gran número de tablas y figuras, por lo tanto, a continuación, se presenta sólo una muestra del procedimiento, los gráficos restantes se encuentran en el anexo N° 6.

Desviación estándar	0.43275446
Promedio	5.62

6.00	0.38	0.00	0.432754	-0.432754	0.865509	-0.865509	1.298263	-1.298263
6.00	0.38	0.00	0.432754	-0.432754	0.865509	-0.865509	1.298263	-1.298263
6.50	0.88	0.00	0.432754	-0.432754	0.865509	-0.865509	1.298263	-1.298263

Nota. Tomado de Santa Ana 2005

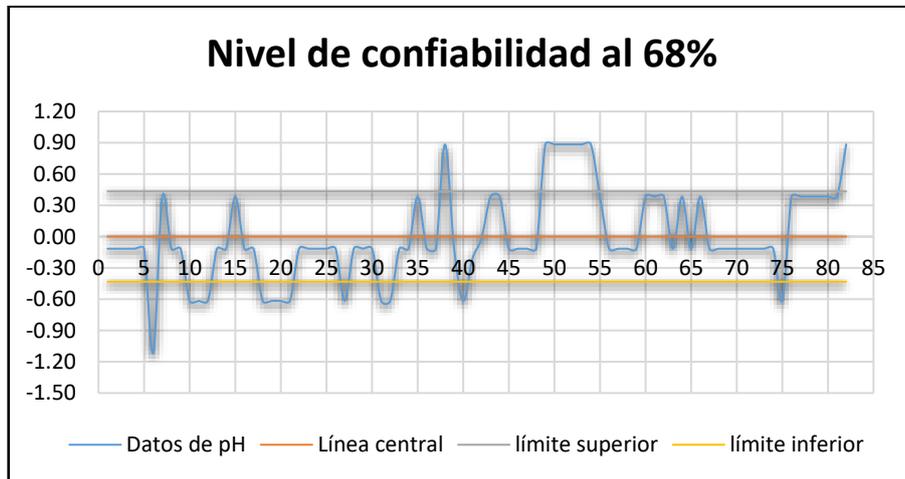


Figura 29. Validación de datos de la estación Santa Ana - confiabilidad al 68%.
Elaboración propia

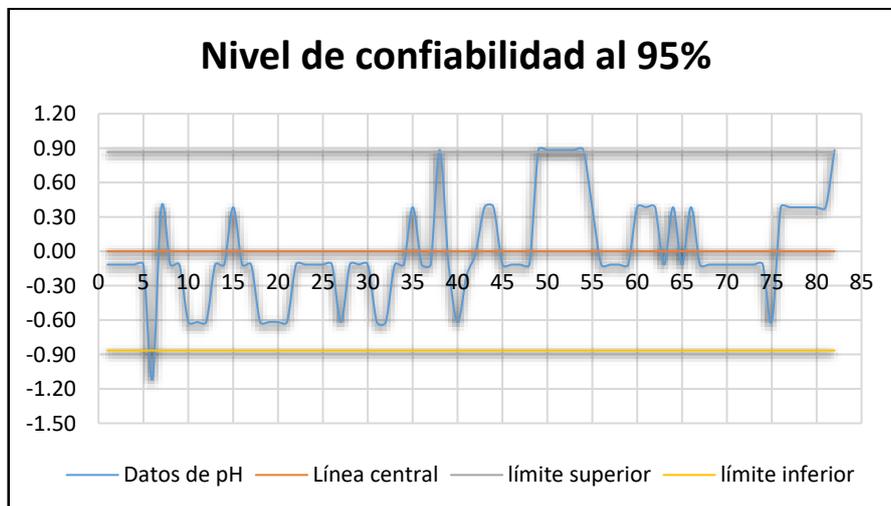


Figura 30. Validación de datos de la estación Santa Ana - confiabilidad al 95%.
Elaboración propia

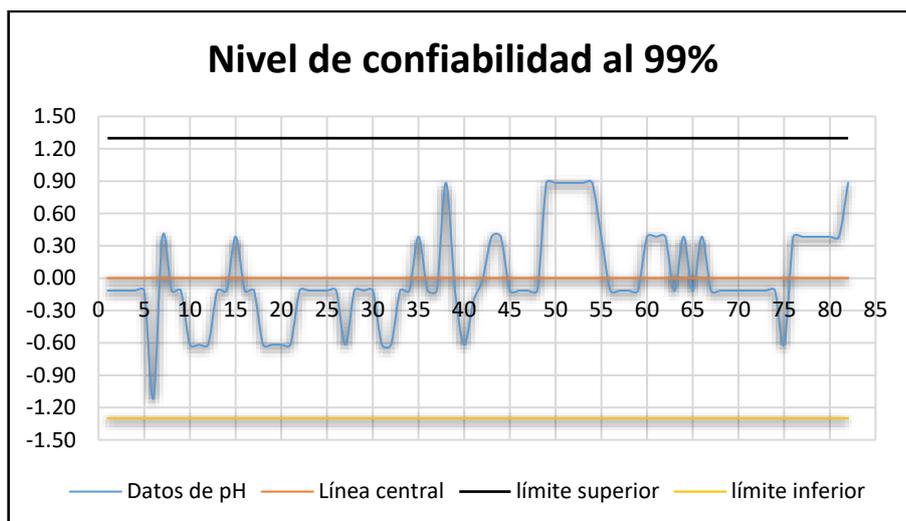


Figura 31. Validación de datos de la estación Santa Ana - confiabilidad al 99%.
Elaboración propia

Tabla 9. Niveles de confiabilidad de datos de pH - Santa Ana

Año	pH promedio	Desviación estándar	N° de datos promediados	N° de datos anómalos	Nivel de confianza en %
2005	5.6	0.43275454	82		99%
2006	6.3	0.58726976	66		99%
2007	6.7	0.34933326	52		99%
2008	6.8	0.31337287	71	1	99%
2009	6.7	0.37520264	123		99%
2010	6.7	0.52060353	108		99%
2011	6.5	0.47983409	131		99%
2012	6.4	0.40152424	135	1	99%
2013	6.5	0.40767459	111		99%
2014	6.8	0.20739754	94	1	99%

Tabla 10: Niveles de confiabilidad de datos de pH – Viques

Año	pH promedio	Desviación estándar	N° de datos promediados	N° de datos anómalos	Nivel de confianza en %
2005	5.5	0.32928919	51		99%
2006	5.8	0.30608653	65		99%
2007	6.7	0.81356879	38		99%
2008	7.31	0.04997411	51		99%
2009	7.3	0.04095846	61		99%
2010	7.34	0.03437898	62		99%
2011	7.3	0.06806832	52		99%
2012	7.3	0.06806832	52		99%
2013	7.3	0.38221844	60	4	99%
2014	7.2	0.06891148	46		99%

Tabla 11. Niveles de confiabilidad de datos de pH -Jauja

Año	pH promedio	Desviación estándar	N° de datos promediados	N° de datos anómalos	Nivel de confianza en %
2005	5.48	0.10650454	106	3	99%
2006	5.67	0.45472507	114		99%
2007	5.16	0.76551061	107		99%
2008	4.88	0.50929029	107		99%
2009	5.5	0.7488077	148		99%
2010	7.5	0.61500033	30		99%
2011	7.7	0.10213923	93		99%
2012	7.5	0.15613372	73		99%
2013	7.4	0.07246302	86		99%
2014	7.3	0.03865465	90		99%

Tabla 12. Niveles de confiabilidad de datos de pH - Huayao

Año	pH promedio	Desviación estándar	N° de datos promediados	N° de datos anómalos	Nivel de confianza en %
2005	5.42	1.14045178	85		99%
2006	6.27	0.67492698	107		99%
2007	6.58	0.44477582	95		99%
2008	6.46	0.49147661	112		99%
2009	6.2	0.42243234	108		99%
2010	5.84	0.40847325	107		99%
2011	5.6	0.48341752	128		99%
2012	5.4	0.49062354	142	1	99%
2013	5.9	0.69437772	140		99%
2014	5.9	0.31764088	133	1	99%

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados del tratamiento y análisis de la información

4.1.1. Distribución espacial del grado de acidez en las precipitaciones atmosféricas.

Para el análisis de la distribución espacial se agruparon los datos de pH en dos grupos de 5 años cada uno, el primer intervalo va desde el 2005 hasta el 2009 y el segundo va desde 2010 hasta 2014, esto con el fin de comparar dos periodos de tiempo.

En la figura N° 32 se observa la distribución espacial del pH de los primeros años de análisis (2005 – 2009), en él se determinó que los niveles de pH más bajos se presentaron al noroeste del Valle, en la estación de Jauja (S-4), predominando valores de 5.65 a 5.76, asimismo se observa que parte de suroeste, en el noreste y este entre las estaciones las estaciones S-4, S-3 y S-1 se presentan intervalos de pH más amplios, que van desde 5.76 y aumenta hasta llegar aproximadamente hasta valores de 6.19.

Para la estación S-3 los valores prevalentes se encuentran entre el límite de dos rangos de pH, los cuales comprenden 6.19 y 6.40, los valores a partir de entonces siguen aumentando; en la estación S-1 el pH, al igual que en la estación anterior, se encuentra en el límite de dos rangos, pero en este caso dichos rangos se comprenden 6.40 y 6.62.

Por último, en el sur, en la estación S-2, se presenta los valores de pH más altos, por ello el mapa presenta la coloración roja, lo que indica que la acidez de las precipitaciones durante los años 2005 – 2009 fueron no ácidas, ya que comprende valores de 6.62 a 6.73.

A diferencia del mapa anterior, el que se presenta a continuación en la figura N° 34 no presenta variaciones durante el periodo de análisis 2010 – 2014, los valores se mantienen dentro del rango de pH de 6.94 y 7.14, las 4 estaciones registraron datos similares, es decir, las precipitaciones pluviales mostraron niveles de acidez que estuvieron por encima de 6.9.

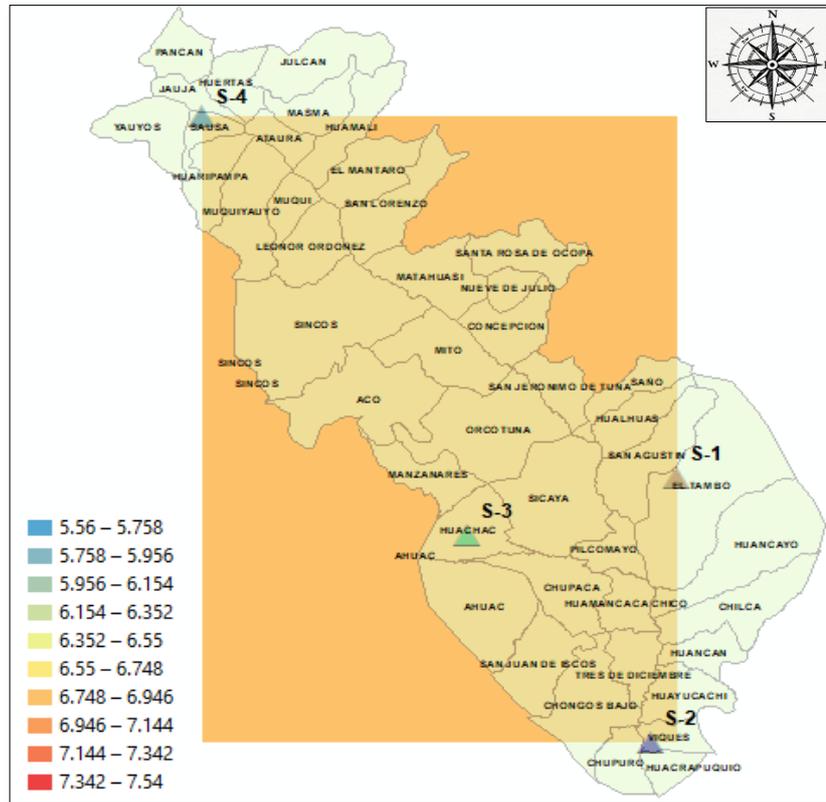


Figura 34. Distribución espacial periodo 2010 – 2014.

El caso del variograma para el periodo 2010-2014, se presenta una anomalía conocida como el efecto pepita puro, este modelo representa a un fenómeno completamente aleatorio, en el cual no hay correlación espacial, no importa cuán cerca se encuentren los valores de las variables, siempre serán no correlacionados; por ello el sill es 0, y el nivel promedio del error se acerca a 1, tal como se muestra en la figura N° 35.

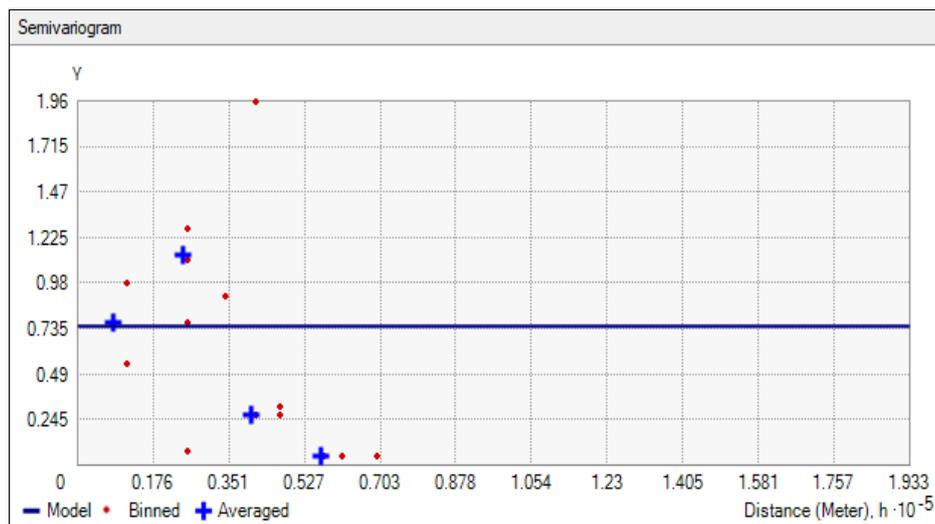


Figura 35: Semivariograma periodo 2010 – 2014.

4.1.2. Evolución temporal del grado de acidez de las precipitaciones atmosféricas

Se describe la variación temporal del grado de acidez en las 4 estaciones consideradas para esta investigación durante el periodo 2005 – 2014. Los valores de pH analizados se presentan por cada estación.

En la estación meteorológica de Jauja, tenemos variaciones del grado de acidez muy marcadas, durante los meses de enero a diciembre del año 2005 y durante los meses de enero, febrero, setiembre, noviembre y diciembre del año 2006, los niveles de pH se mantuvieron como ligeramente ácido, a partir de marzo hasta el mes de agosto, y en octubre del mismo año se colocaron dentro de la clasificación de no ácido.

Para el año 2007, prevalecieron las lluvias no ácidas, teniendo a mayo en el límite entre no ácido y ligeramente ácido. En marzo, agosto y diciembre se encontró valores considerados como ligeramente ácidos; para los meses de octubre y noviembre se tuvieron episodios de lluvias fuertemente ácidas, ya que alcanzaron valores de hasta 4.19.

Durante el año 2008, prevaleció las lluvias ligeramente ácidas, con algunas excepciones; en enero se presentaron niveles de pH considerados medianamente ácidos, y solo durante los meses de junio y diciembre las lluvias fueron no ácidas.

En 2009, durante los meses de enero, febrero y marzo las lluvias se mostraron ligeramente ácidas, con valores entre $4.7 < \text{pH} \leq 5.6$, lluvias medianamente ácidas se presentaron durante los meses de abril y mayo. De junio del mismo año en adelante hasta

el año 2014 los episodios de precipitación pluvial presentaron niveles de pH por encima de 5.6, lo que muestra que las lluvias a partir de ese año se mostraron no ácidas (ver en la figura N° 36).

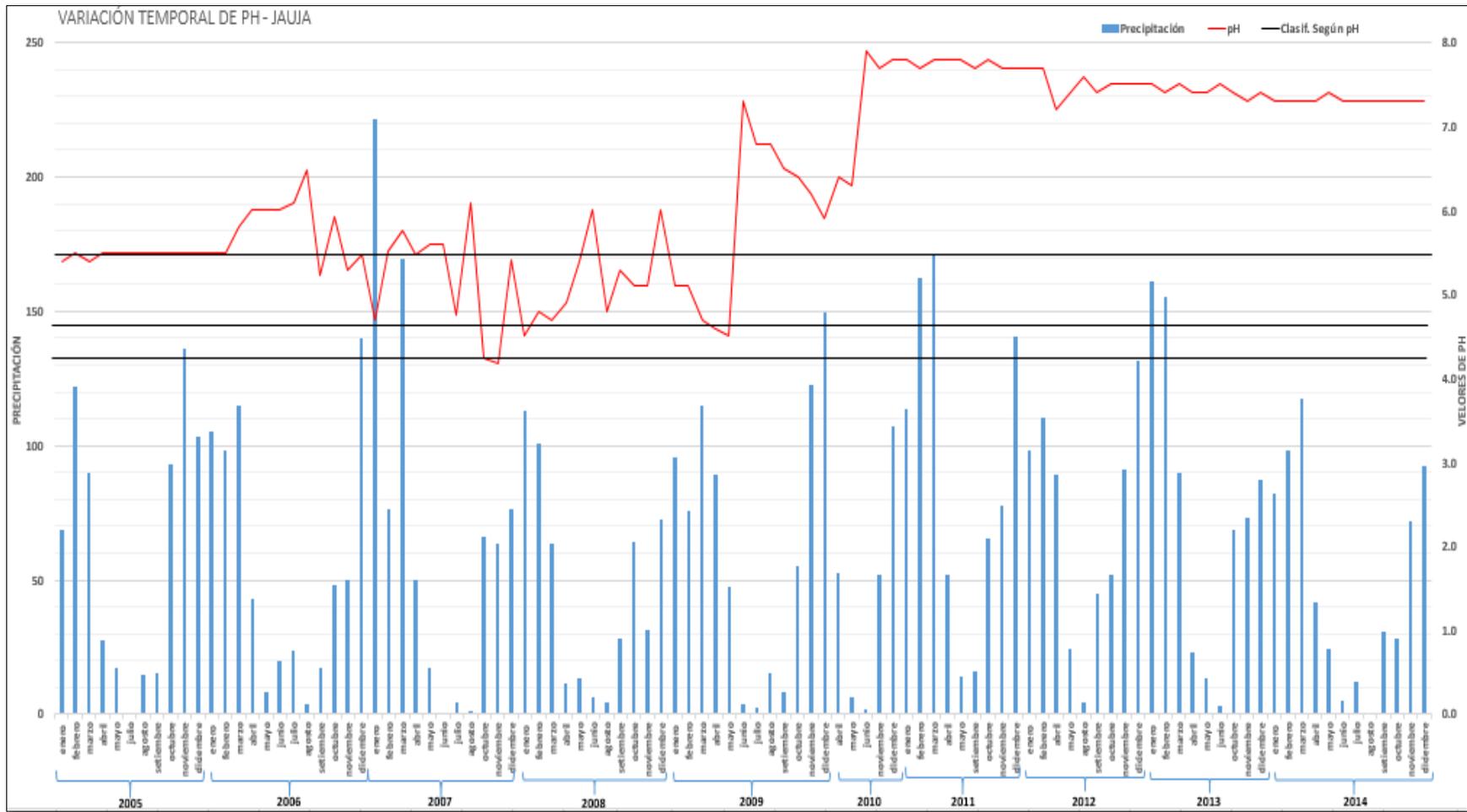


Figura 36: Variación temporal del pH en la estación meteorológica de Jauja.

En síntesis, de acuerdo al análisis de la serie de datos de la estación de Jauja, se determinó que el 61.76% de los episodios de precipitación fueron no ácidas, un 30.39% de las mismas fueron ligeramente ácidas, un 5.88% fueron medianamente ácidas y un 1.96% fueron precipitaciones fuertemente ácidas, tal y como se muestra en la tabla N° 13.

Tabla 13. Promedio de pH de las precipitaciones en % - estación Jauja 2005- 2014

	No ácida	Ligeramente ácida	Medianamente ácida	Fuertemente ácida
Clasif.	pH > 5,6	4,7 < pH ≤ 5,6	4,3 < pH ≤ 4,7	pH ≤ 4,3
pH %	61.76	30.39	5.88	1.96

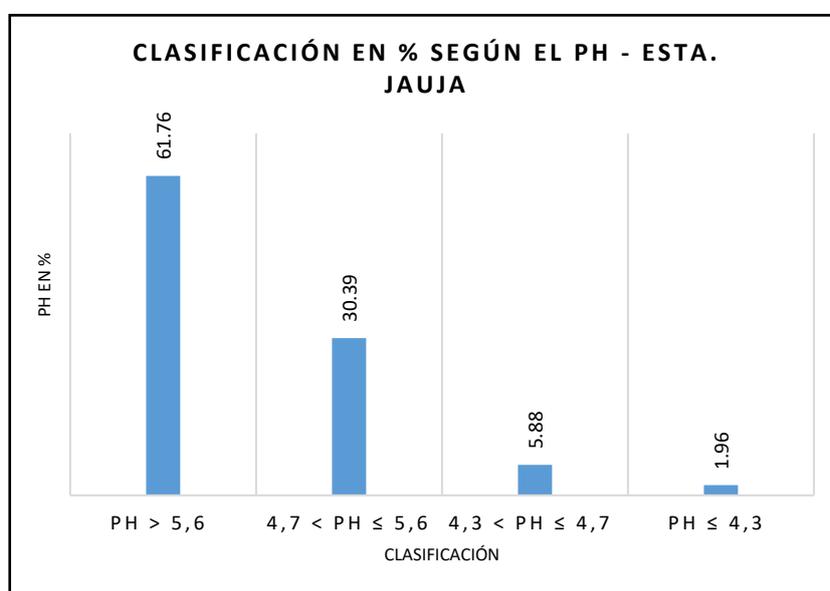


Figura 37: Clasificación en % según el pH – Jauja.

De acuerdo a la interpretación de la ilustración anterior, se determinó que el valor más bajo de pH fue de 4.19 en el mes de noviembre del año 2007, el cual es considerado fuertemente ácido según la clasificación de las precipitaciones en función al pH (ver figura N° 38); este valor fue medido con una precipitación promedio de 63.3 mm.

De otro lado, el valor más alto de pH fue de 7.9 en junio de 2010, que se encuentra por encima del nivel aceptado como normal para las precipitaciones pluviales (5.6) (ver figura N°39) con una precipitación promedio de 2.2 mm.

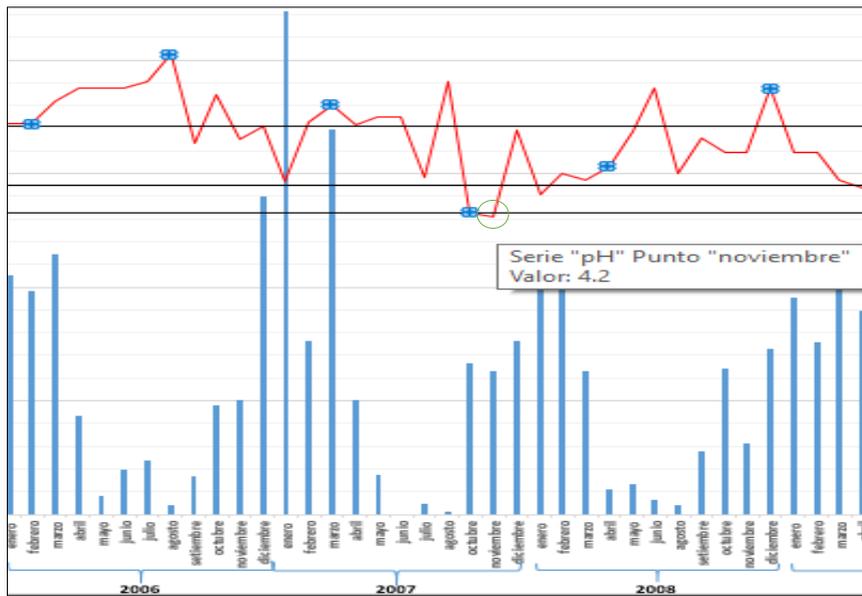


Figura 38. Valor de pH más ácido – Jauja.

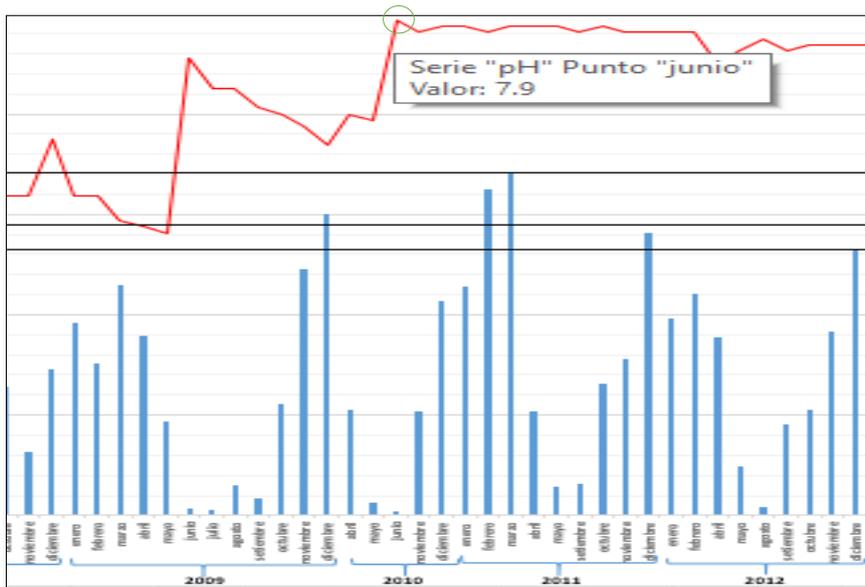


Figura 39. Valor de pH no ácido – Jauja.

En la estación de Huayao, el año 2005 los niveles de pH fueron muy variados, durante los meses de febrero, octubre, noviembre y diciembre, el nivel de acidez se mantuvo como no ácido, sin embargo, para marzo pasó a ser medianamente ácido y para los meses de enero y mayo, fue ligeramente ácido. Los meses de abril, julio, agosto y setiembre presentaron niveles de acidez fuertemente ácidos.

Durante el año 2006 prevalecen las lluvias no ácidas en los meses de enero hasta agosto y, en noviembre y diciembre; éstas se tornan ligeramente ácidas para setiembre y octubre.

Los años siguientes a partir de 2007 hasta 2009 las precipitaciones pluviales permanecieron según la clasificación como no ácidas. Sin embargo, para el 2010 volvieron a aparecer algunas variaciones en los niveles de acidez ya que en enero y diciembre estos se tornaron ligeramente ácidas, pero el resto del año permaneció como lluvias no ácidas.

En enero, febrero, marzo, noviembre y diciembre del año 2011, las precipitaciones se mostraron ligeramente ácidas, mientras que durante los meses de abril, mayo, julio, agosto y setiembre fueron no ácidas. Casi el mismo panorama se tuvo para el año 2012, mostrando lluvias entre no ácidas y ligeramente ácidas. Durante los meses de enero, febrero, marzo, abril y octubre las precipitaciones se mantuvieron ligeramente ácidas, mientras que durante los meses de mayo a setiembre fueron no ácidas.

En 2013, los meses de enero, febrero y marzo las precipitaciones se presentaron como ligeramente ácidas y, desde el mes de abril hasta fines de año se mantuvieron no ácidas. El 2014 los niveles de pH volvieron a mantenerse constantes como precipitaciones no ácidas (ver figura N° 40).

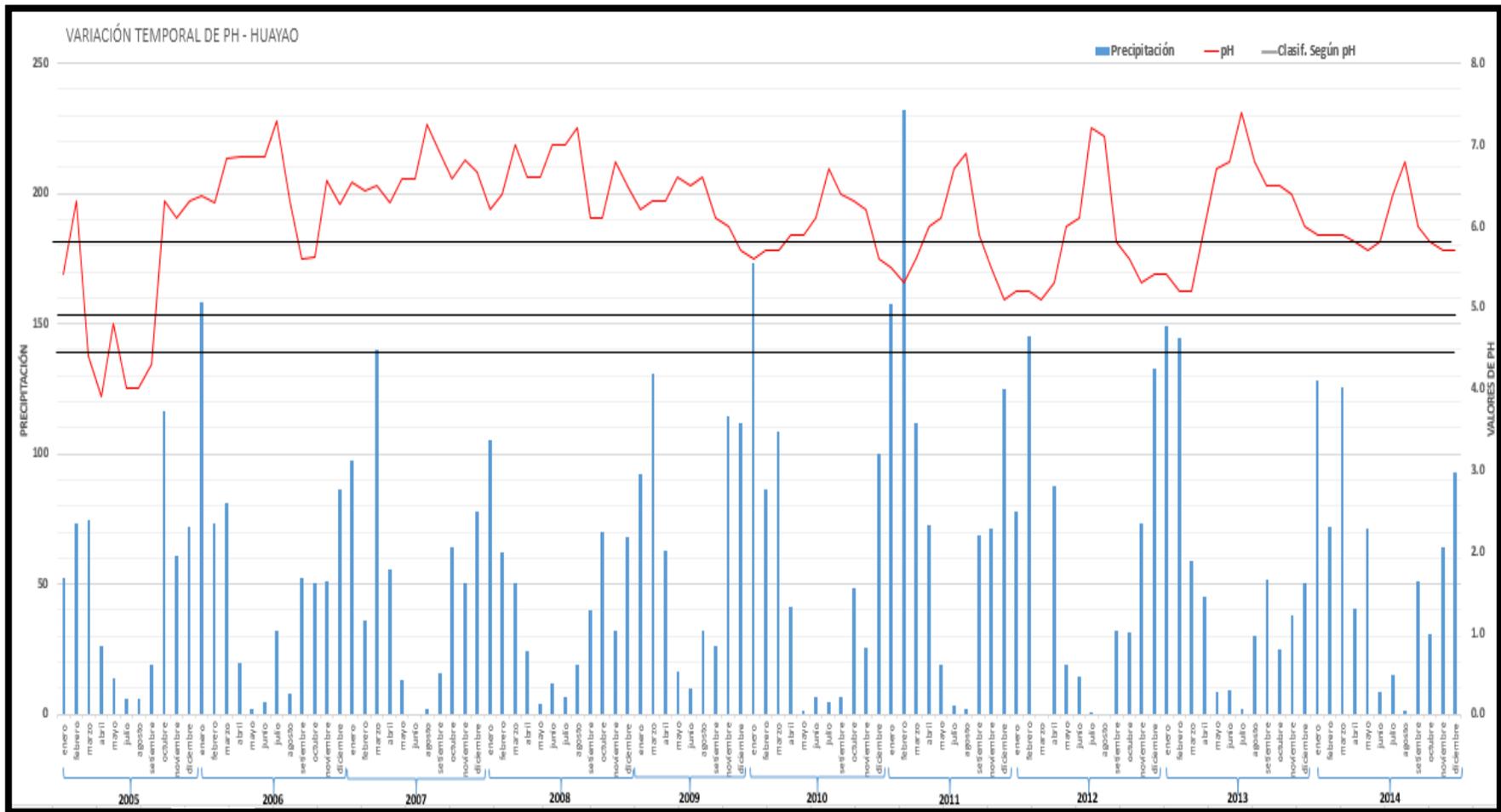


Figura 40. Variación temporal del pH en la estación meteorológica de Huayao.

Según lo muestra la tabla N° 14, las precipitaciones en la estación de Huayao se distribuyen en los 4 niveles considerados dentro de la clasificación según el pH. Un 77.68% de las precipitaciones fueron no ácidas, un 17.86% se mostraron ligeramente ácidas, en un menor porcentaje 0.89% fueron medianamente ácidas, y en un porcentaje mayor con respecto al anterior, de 3.57% fueron fuertemente ácidas.

Tabla 14. Promedio de pH de las precipitaciones en % - estación Huayao 2005- 2014

	No ácida	Ligeramente ácida	Medianamente ácida	Fuertemente ácida
Clasif.	pH > 5,6	4,7 < pH ≤ 5,6	4,3 < pH ≤ 4,7	pH ≤ 4,3
pH %	77.68	17.86	0.89	3.57

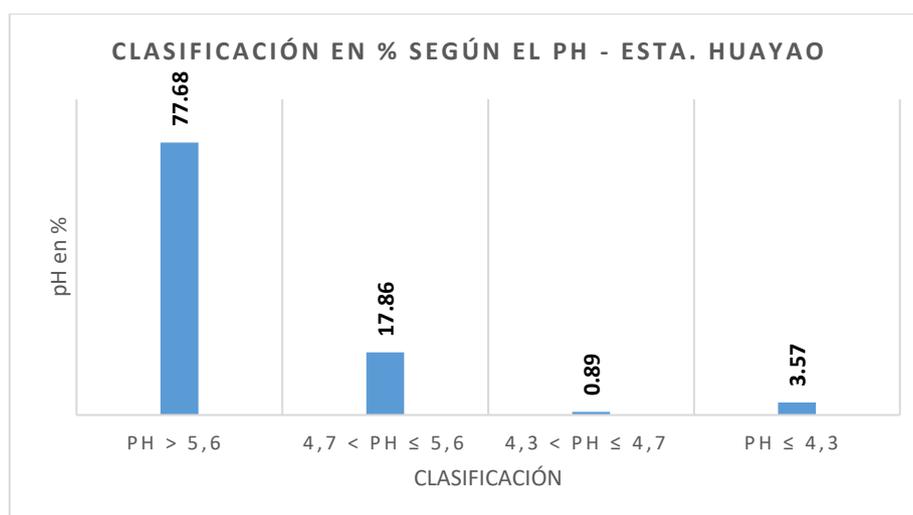


Figura 41. Clasificación en % según el pH –Huayao.

De acuerdo al análisis de los datos de la estación meteorológica de Huayao, se determinó que el valor de pH más bajo medido fue de 3.9 durante el mes de abril del año 2005, con una muestra de precipitación promedio de 26.5 mm (figura N° 42). Por otro lado, el valor de pH más alto fue de 7.4 en julio del año 2013 con una muestra de precipitación de 1.8 mm (figura N° 43).

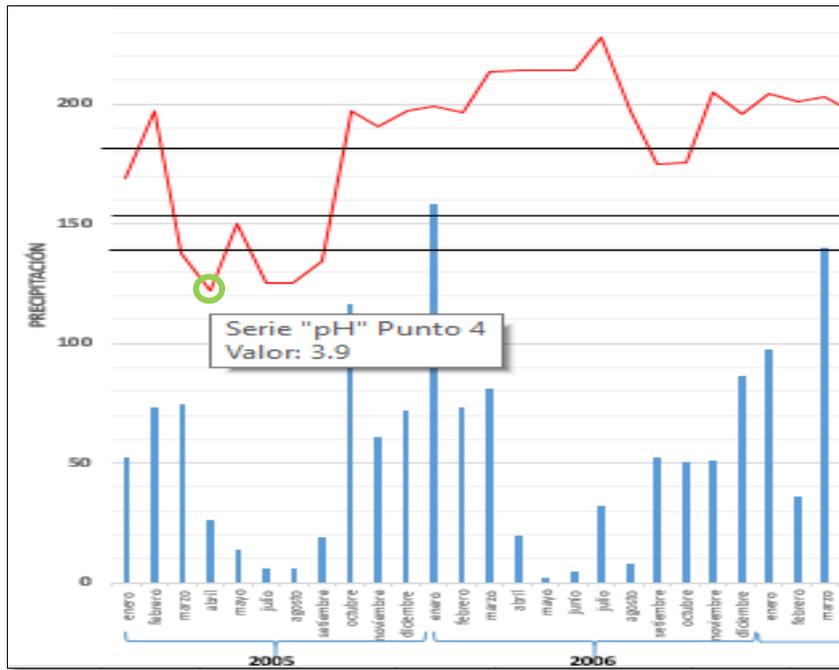


Figura 42: Valor de pH más ácido – Huayao.

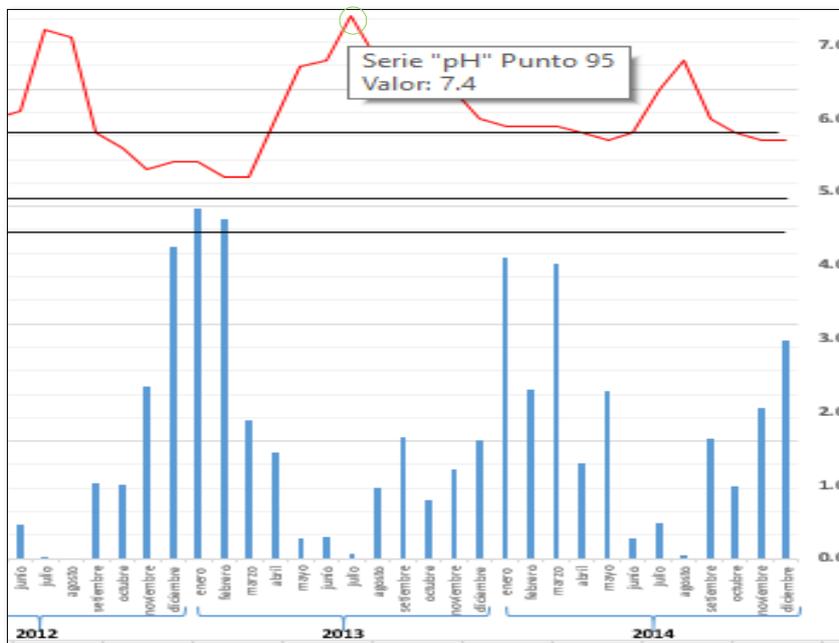


Figura 43: Valor de pH no ácido – Huayao.

En la estación de Viques los niveles de pH variaron en menor magnitud a diferencia de las anteriores. Durante el año 2005 prevalecieron las precipitaciones ligeramente

ácidas, a excepción de los meses de octubre y noviembre, en los cuales se presentaron precipitaciones no ácidas.

En 2006, de los 9 meses en los que se tuvo mediciones de pH, 6 de ellos fueron valores por encima de 5.6, es decir, fueron episodios no ácidos, los meses restantes se mostraron ligeramente ácidos. El 2007 fue un año en el que sólo durante el mes de enero las precipitaciones fueron ligeramente ácidas, de febrero a diciembre con excepción de abril, mayo, junio, julio y agosto no se encontró mediciones de pH, las precipitaciones fueron no ácidas. Durante los años siguientes, desde el 2008 hasta el 2014, las precipitaciones fueron en un 100% no ácidas (ver figura N° 44).

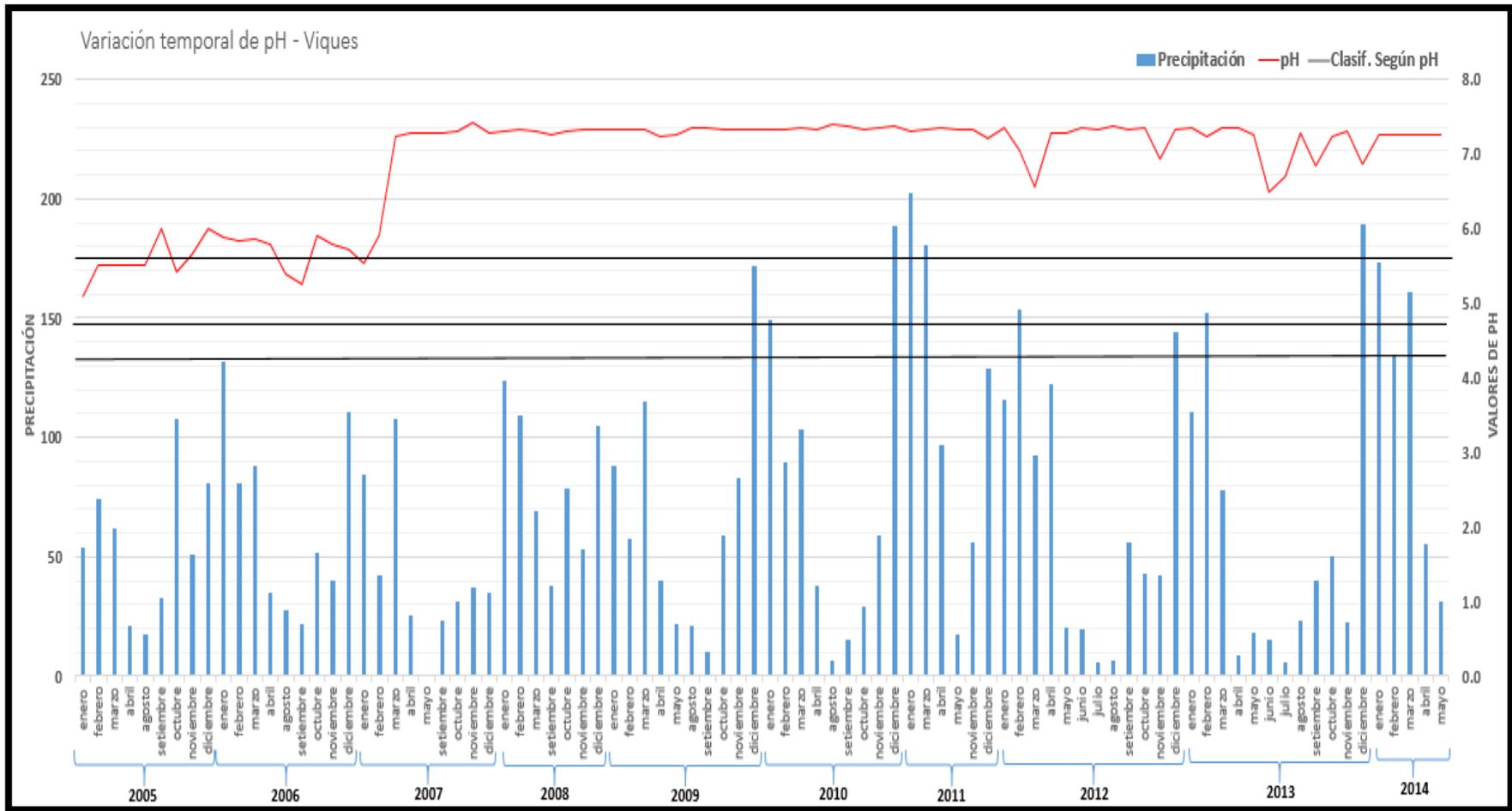


Figura 44: Variación temporal del pH en la estación meteorológica de Viques.

De acuerdo con la tabla N°15 que se ve a continuación, se identificó que las precipitaciones en la estación de Viques se mantuvieron dentro de la clasificación de no ácida y ligeramente ácida de acuerdo a la escala de acidez. En términos porcentuales, un 90.22% de las precipitaciones fueron no ácidas y un 9.78% fueron ligeramente ácidas.

Tabla 15. Promedio de pH de las precipitaciones en % - estación Viques 2005- 2014

	No ácida	Ligeramente ácida	Medianamente ácida	Fuertemente ácida
Clasif.	pH > 5,6	4,7 < pH ≤ 5,6	4,3 < pH ≤ 4,7	pH ≤ 4,3
pH %	90.22	9.78		

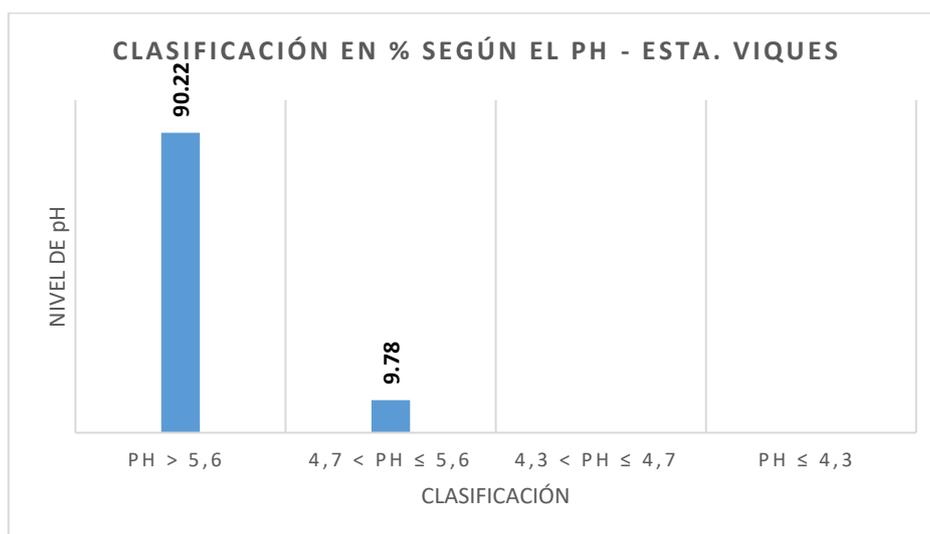


Figura 45. Clasificación en % según el pH –Viques.

Con la organización y tratamiento de datos de la estación de Viques se identificó que, dentro de la variación temporal, el valor más bajo de pH fue de 5.1 medido con una precipitación de 54.1 mm (figura N° 46), este evento se presentó durante el mes de enero de 2005. Contrario a ello, el pH más alto (no ácido) fue de 7.41 en el mes de noviembre de 2007, dicha medición fue hecha con precipitaciones de 37.2 mm (figura N° 47).

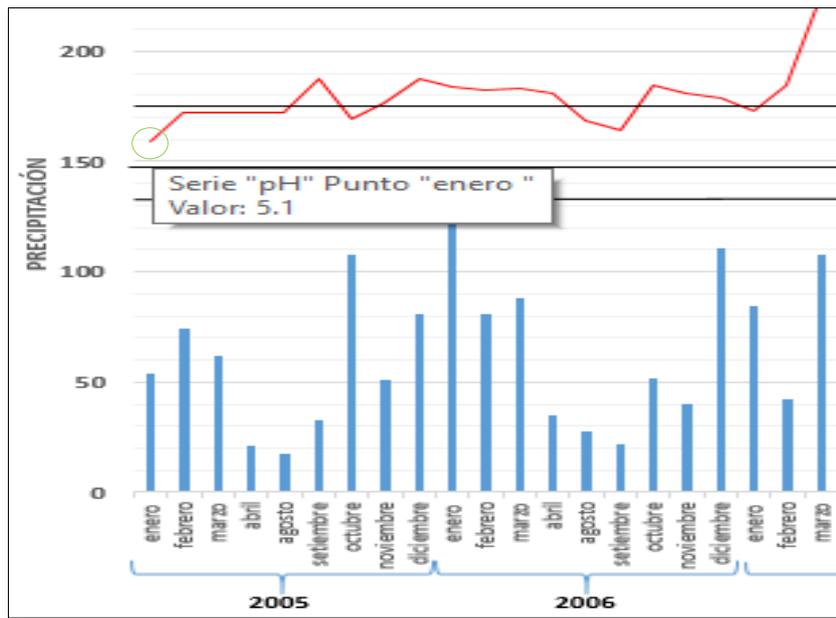


Figura 46. Valor de pH más ácido – Viques.

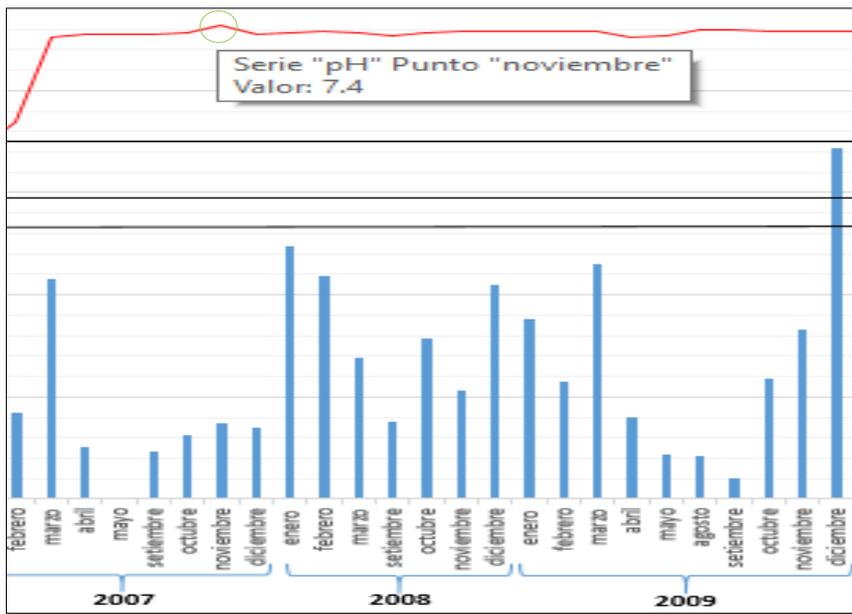


Figura 47. Valor de pH no ácido – Viques.

En la estación de Santa Ana, durante el año 2005 se presentaron lluvias ligeramente ácidas en los meses de enero, febrero y abril, durante los meses restantes en los que se presentaron episodios de precipitación, el pH se mantuvo sobre 5.6, es decir, fueron no ácidas.

En el año 2006, a diferencia del año anterior, no presentó precipitaciones con pH por debajo de 5.6, situación que se mantuvo constante en los años siguientes hasta el 2009. En 2010 también prevalecieron las precipitaciones no ácidas, con excepción del mes de agosto, ya que durante este mes se presentaron episodios ligeramente ácidos. Para el 2011 y hasta el 2014 el promedio de pH se mantuvo constante, por sobre el promedio aceptado como normal para la acidez de las precipitaciones (ver figura N° 48)

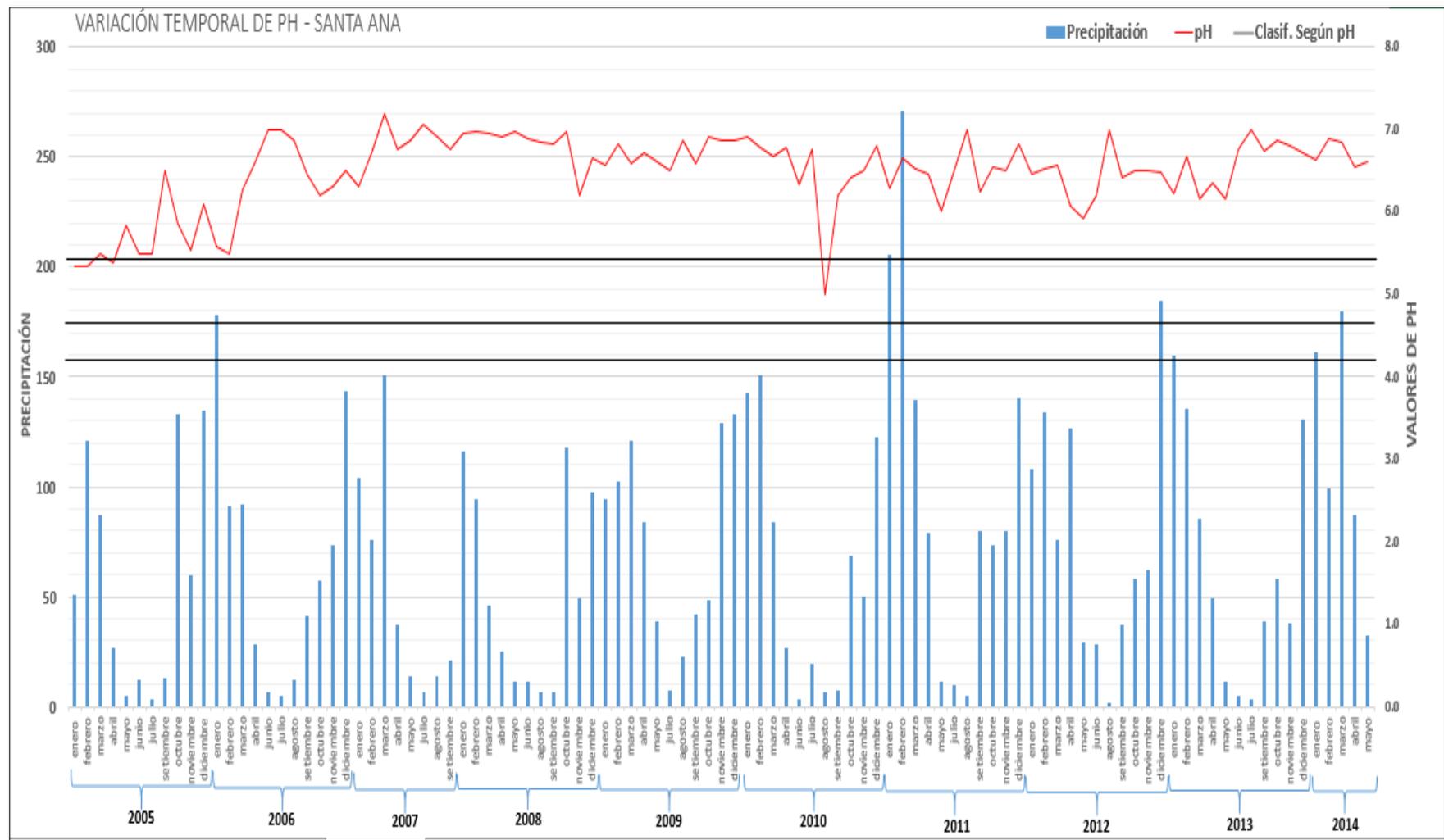


Figura 48. Variación temporal del pH en la estación meteorológica de Santa Ana.

En el caso de la estación de Santa Ana, al igual que la estación de Viques, las precipitaciones se presentaron con niveles de acidez entre no ácida y ligeramente ácida. Un 89.32% de dichas precipitaciones fueron no ácidas mientras que un 10.68% fueron ligeramente ácidas, tal como se muestra en la tabla N° 16.

Tabla 16. Promedio de pH de las precipitaciones en % - estación Santa Ana 2005- 2014

	No ácida	Ligeramente ácida	Medianamente ácida	Fuertemente ácida
Clasif.	pH > 5,6	4,7 < pH ≤ 5,6	4,3 < pH ≤ 4,7	pH ≤ 4,3
PH %	89.32	10.68		

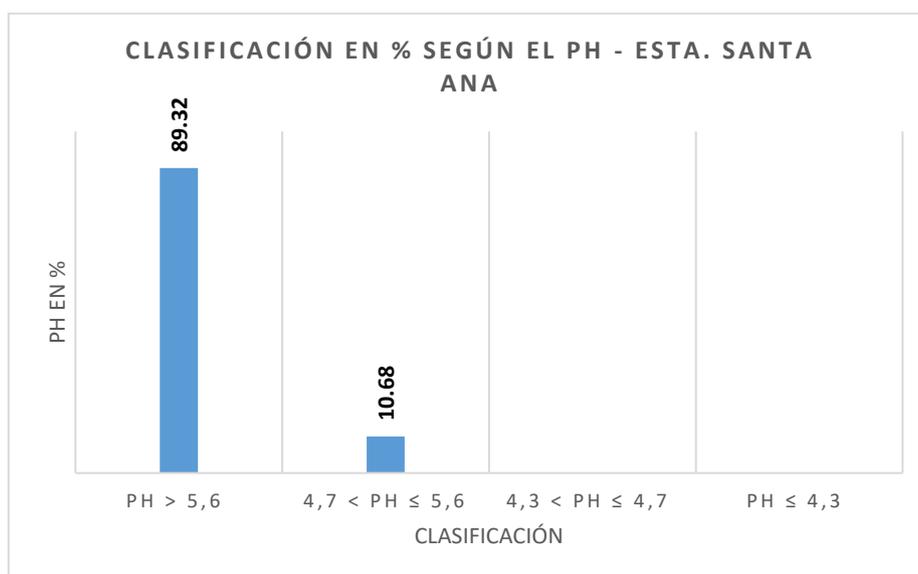


Figura 49. Clasificación en % según el pH – Santa Ana.

De la serie de datos de la estación se determinó que, durante el mes de agosto de 2010 se presentaron los episodios de precipitación con el pH más bajo, siendo este 5, considerado como ligeramente ácido, dicha medición de pH fue realizada con una precipitación promedio de 6.9 mm (figura N° 50). Para el mes de marzo de 2007 se tuvo un pH de 7.2 (no ácido), el más alto de todas las mediciones hechas en la estación con una precipitación promedio de 150.7 mm (figura N° 51).

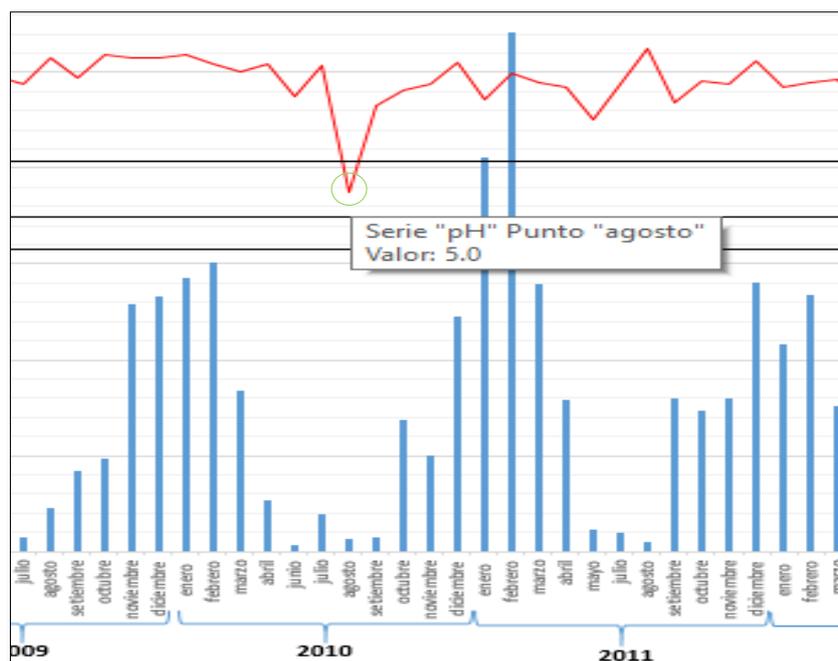


Figura 50. Valor de pH más ácido - Santa Ana.

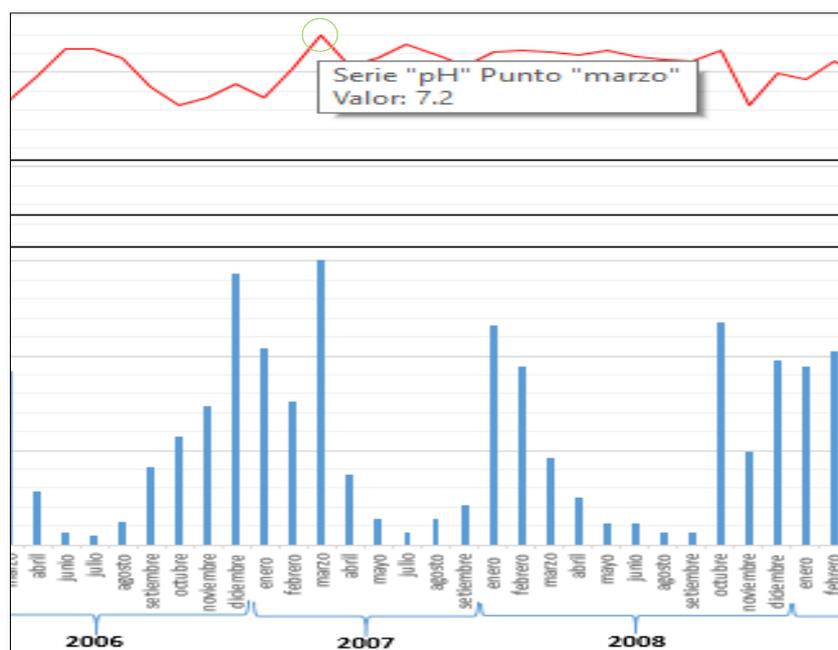


Figura 51. Valor de pH no ácido - Santa Ana.

4.1.3. Año en el que se presentaron mayores variaciones de acidez en el Valle del Mantaro durante el periodo 2005 – 2014.

Durante el análisis de los datos de pH, se observaron variaciones durante los 2005, 2006, 2007 y 2008, entre rangos que van desde 5.42 como el valor de pH más bajo y de 7.26 como el valor más alto, sin embargo, desde el 2009 hasta el 2014 las variaciones cesan, con excepción del 2013, obteniendo lo siguiente:

- Para el 2009 las variaciones de pH se mantienen dentro del rango de 6.18 a 6.34.
- En el 2010, a diferencia del anterior, el rango varía siendo este de 6.7 a 6.92.
- Durante los años 2011 y 2012 las variaciones no se hacen presentes, también se mantienen dentro de un solo rango, para el 2011 se encuentra entre 6.92 a 7.18, y para el año siguiente el rango es de 6.87 a 7.08.

Durante el año 2013 las variaciones vuelven a presentarse, siendo el valor de pH más bajo 6 y el más alto es de 7.4; durante el último año de análisis, el 2014 las variaciones vuelven a desaparecer, manteniendo el pH entre 6.82 y 6.98.

De todo el conjunto de datos sistematizados y analizados, se determinó que durante el año 2007 se presentaron mayores variaciones de pH, tal como se puede apreciar en la figura N° 48, en el sureste del Valle, en la estación de Viques (S-2) se hicieron presentes precipitaciones con niveles de pH más altos (no ácidos), los cuales se encuentran entre 6.91 a 7.28.

En la estación de Santa Ana (S-1) y la estación de Huayao (S-3) las precipitaciones pluviales se presentaron con valores de pH entre 6.54 y 6.91, valores que dentro de la clasificación de pH son no ácidas.

En el noroeste del Valle, en la estación de Jauja (S-4), tal como se observa en la figura N° 52, predominan valores de pH medianamente ácidos que van desde los 5.42 y aumentan hasta alcanzar la clasificación de no ácido. Al estar ésta geográficamente lejos de las estaciones S-1 y S-3 presentan rangos pH más amplios, tal y como se puede ver, los cuales varían entre 6.35 hasta 5.6, sin considerar los valores ligeramente ácidos identificados en la misma estación S-4.

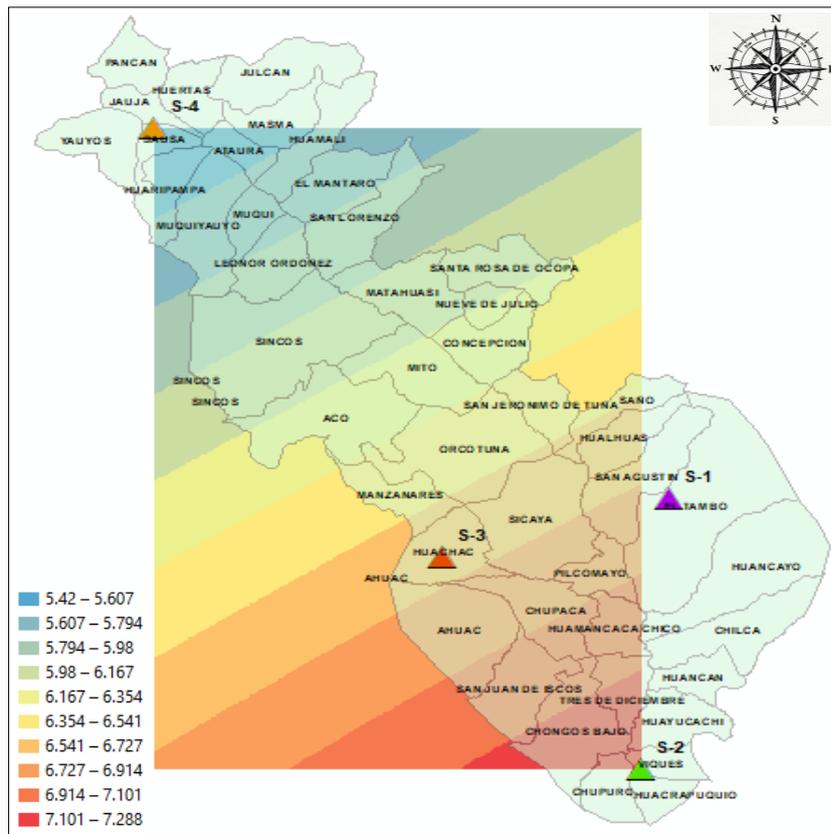


Figura 52. Mapa de variaciones de pH – año 2007.

Tal como se mencionó líneas arriba, el año que presentó más variaciones de pH fue el 2007, sin embargo, para el 2013 en el mapa de distribución espacial, se identificó rangos más marcados de las variaciones de pH. Si se observa la figura N° 53, al sur, en la estación de Huayao (S-3) se presentó datos de pH que estuvieron entre 6 y 6.56, lo cual es evidentemente claro gracias al mapa, además de que estos datos abarcan gran parte del Valle del Mantaro.

La estación S-2, al sureste, se identificó valores de pH entre 6.84 y 6.98 como los más próximos, sin embargo, también se encontraron valores dentro de otro rango, el cual está entre 6.7 y 6.84, estos valores también se hacen presentes en la estación S-1.

En la estación S-4 los valores van subiendo, dominando aquellos que van desde 7. En el intermedio de las estaciones S-4, S-3 y S-1 se obtuvieron los valores entre 6.7 y 6.98, tal como se muestra en la figura N° 49.

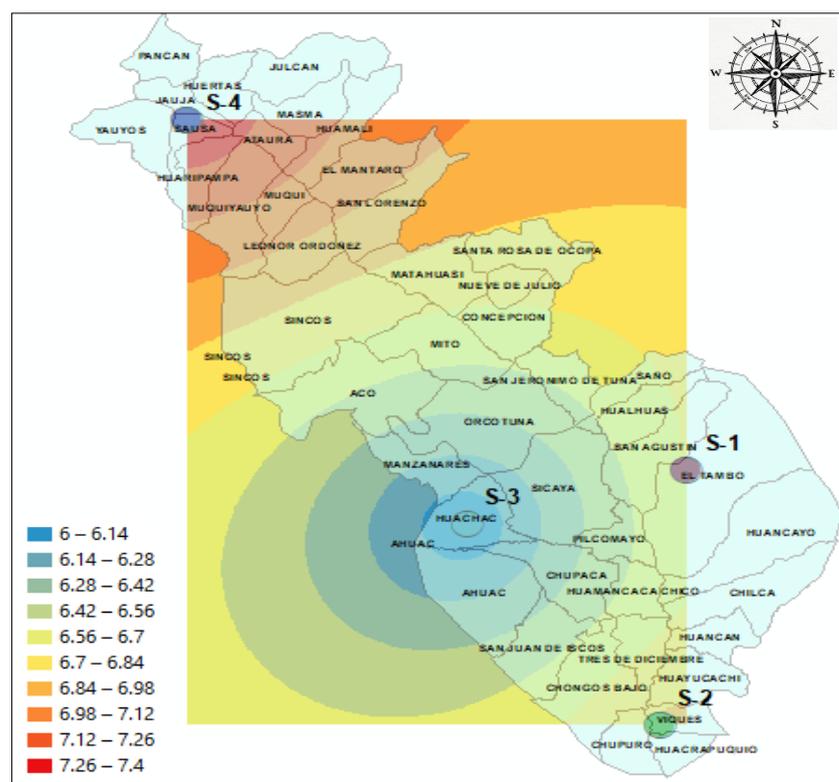


Figura 53. Mapa de variaciones de pH – año 2014.

4.1.4. Grado de acidez prevalente en las precipitaciones pluviales del Valle del Mantaro

Para determinar la prevalencia de los grados de acidez, primero se procedió a hacer el análisis mensual por cada estación meteorológica, seguido por un análisis global de cada una.

De acuerdo al análisis de los datos de pH, se identificó que, en la estación de Santa Ana, durante los meses de julio, agosto y noviembre los valores prevalentes fueron de 7, 6.9 y 6.5 respectivamente (ver figura N° 54), los meses restantes presentaron valores aleatorios. Cabe mencionar que los valores de pH fueron obtenidos de los promedios mensuales de todos los datos de la estación.

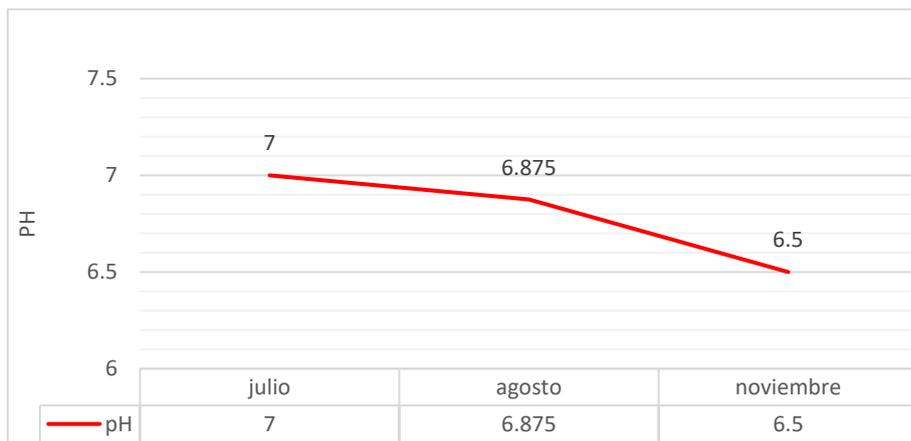


Figura 54: Valor prevalente de pH mensual - Santa Ana.

Asimismo, se calculó el valor prevalente de acidez total de las precipitaciones, es decir, de los 10 años de mediciones de pH de la estación Santa Ana, el cual fue de 6.5, tal como se muestra en la figura N° 55.

Se identificó que para el mes de setiembre del año 2005 se presentó el primer episodio de precipitación con el mencionado valor de pH, seguido por diciembre del año 2006; en 2009 también se presentó el pH de 6.5 durante el mes de julio al igual que en 2011. Las precipitaciones con el pH mencionado se presentaron de manera repetitiva durante el mes de noviembre de los años 2010, 2011 y 2012. En este último año durante el mes de octubre también se identificó El mismo valor.

En total, en la estación de Santa se tuvo 5 meses que presentaron precipitaciones pluviales con el nivel de pH prevalente, y dichos valores estuvieron por encima de 6.5 lo que indica que las precipitaciones fueron no acidas.

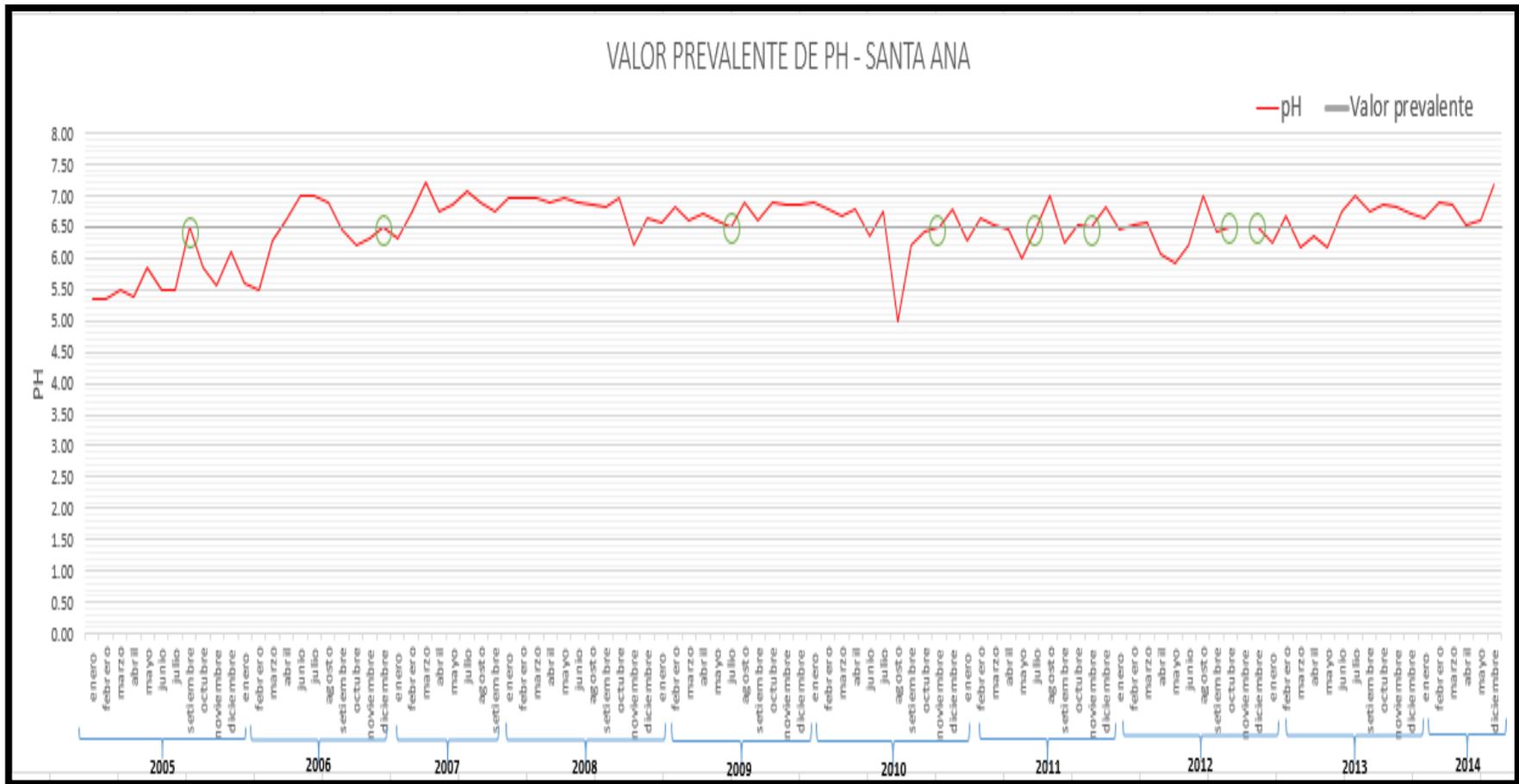


Figura 55: Valor de pH prevalente - Santa Ana.

Para la estación de Viques, los datos de acidez obtenidos fueron variables, sin mostrar valores prevalentes mensuales a excepción del mes de mayo, en el cual se presentaron precipitaciones con niveles de acidez de 7.27 en dos ocasiones, tal como se puede ver en la figura N° 56.

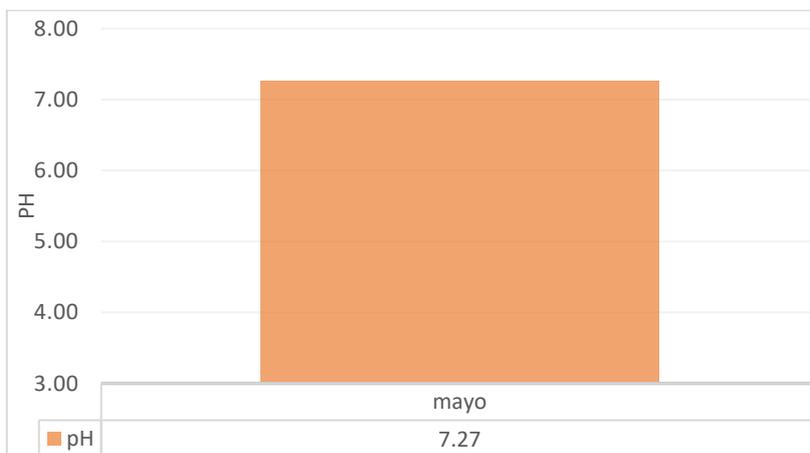


Figura 56: Valor prevalente de pH mensual – Viques.

Para la estación de Viques, las precipitaciones de los 10 años de análisis presentaron un valor de pH prevalente de 7.35, estos episodios ocurrieron en 7 de los 12 meses de año, para una visión general se puede observar la figura N° 57.

El 2009 se dieron los primeros episodios de precipitación con el pH de 7.35, los cuales tuvieron lugar los meses de agosto y setiembre. Al año siguiente, solo se hizo presente durante el mes de noviembre. Los años siguientes la ocurrencia de precipitaciones con el valor de pH prevalente fue aumentando, para el 2012 fueron los meses de enero y junio; y al otro año, 2013, fueron los meses de enero, marzo y abril. Sin embargo, el último año de análisis ya no se encontraron muestras de precipitación con ese valor.

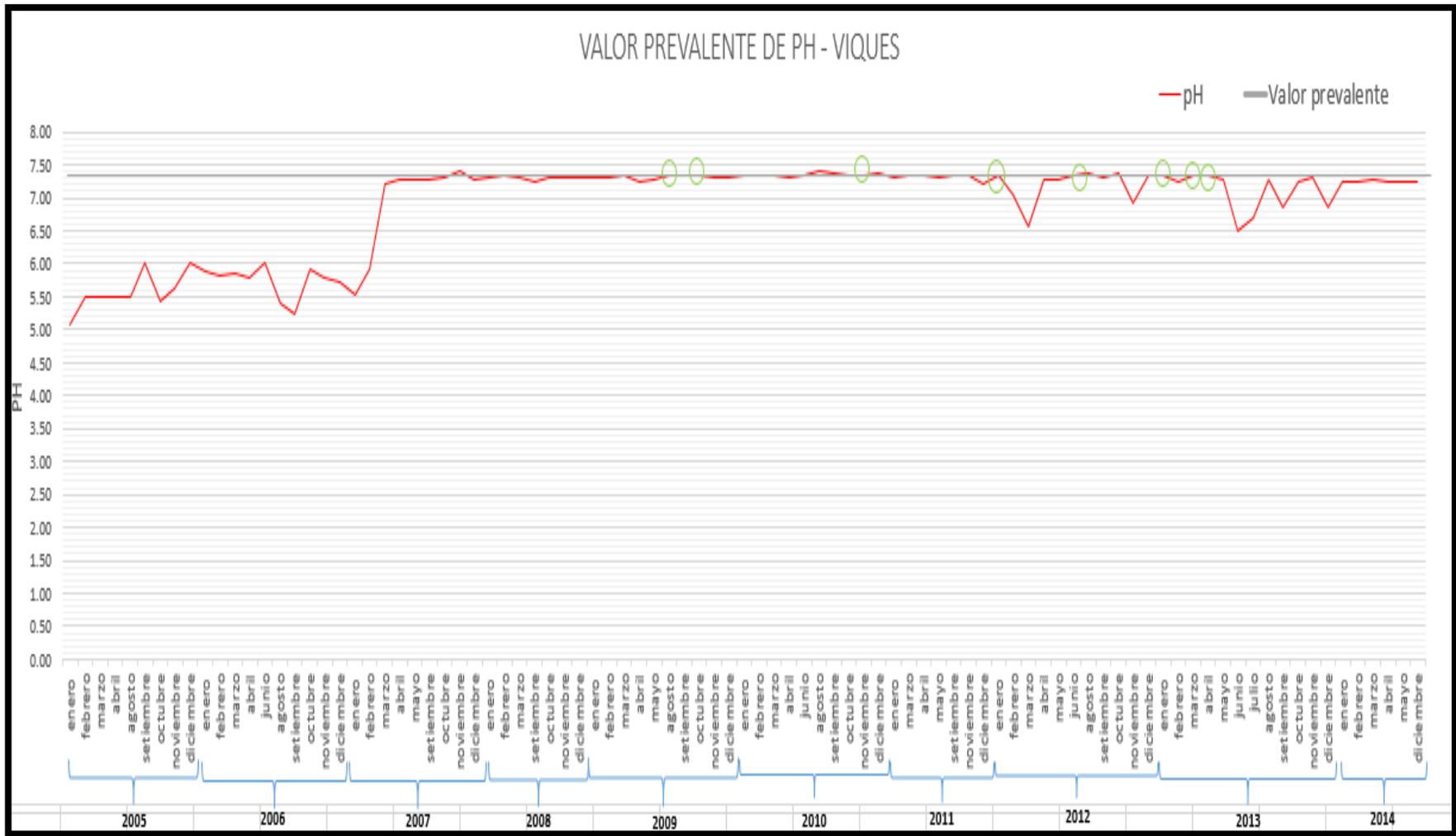


Figura 57. Valor de pH prevalente – Viques.

A diferencia de los casos anteriores, en la estación de Huayao, la mayoría de los meses presentaron valores repetitivos, es decir, valores que prevalecen en cada mes (figura N°58). Durante enero se presentó el valor de 5.4, para el mes de febrero fue 5.2, durante el mes de abril las precipitaciones tuvieron valores de 6, los meses de mayo, junio, julio, agosto los valores registrados fueron de 6.6, 6.1, 6.7 y 6.8 respectivamente; en setiembre se tuvo un valor de 6.1, octubre presentó la acidez prevalente de 6.3 y finalmente, en diciembre el valor fue de 5.7.

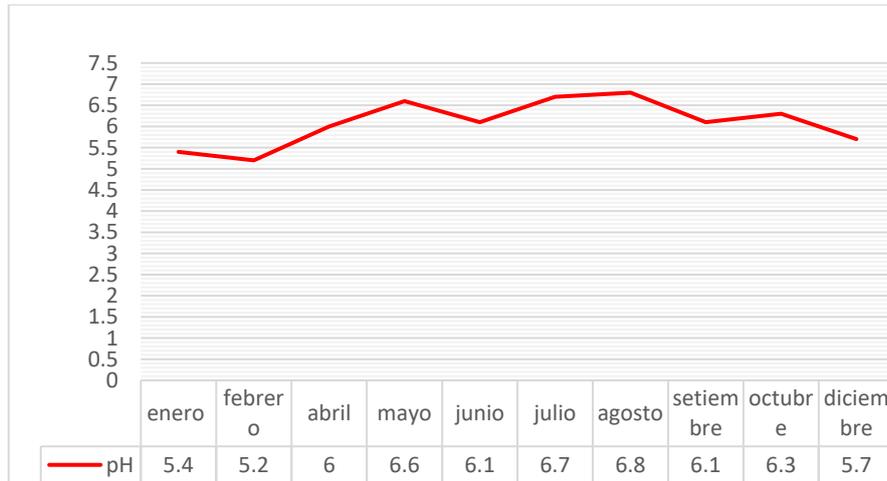


Figura 58: Valor prevalente de pH mensual - Huayao.

Tal como se puede apreciar en la figura N° 59, en la estación de Huayao las precipitaciones tuvieron como valor prevalente de pH 6.3. Durante el año 2005, las precipitaciones con el nivel de acidez mencionado se hicieron presente en los meses de febrero, octubre y diciembre; en el año 2006, a diferencia del año anterior solo se presentaron en el mes de agosto.

Los años siguientes, 2007 y 2008 no se identificaron episodios similares, sin embargo, en el 2009 las precipitaciones volvieron a hacerse presente en los meses de marzo y abril. el 2010 fue el último año en que se pudo encontrar niveles de pH de 6.3 ya que los años siguientes los valores fueron bastante variables.

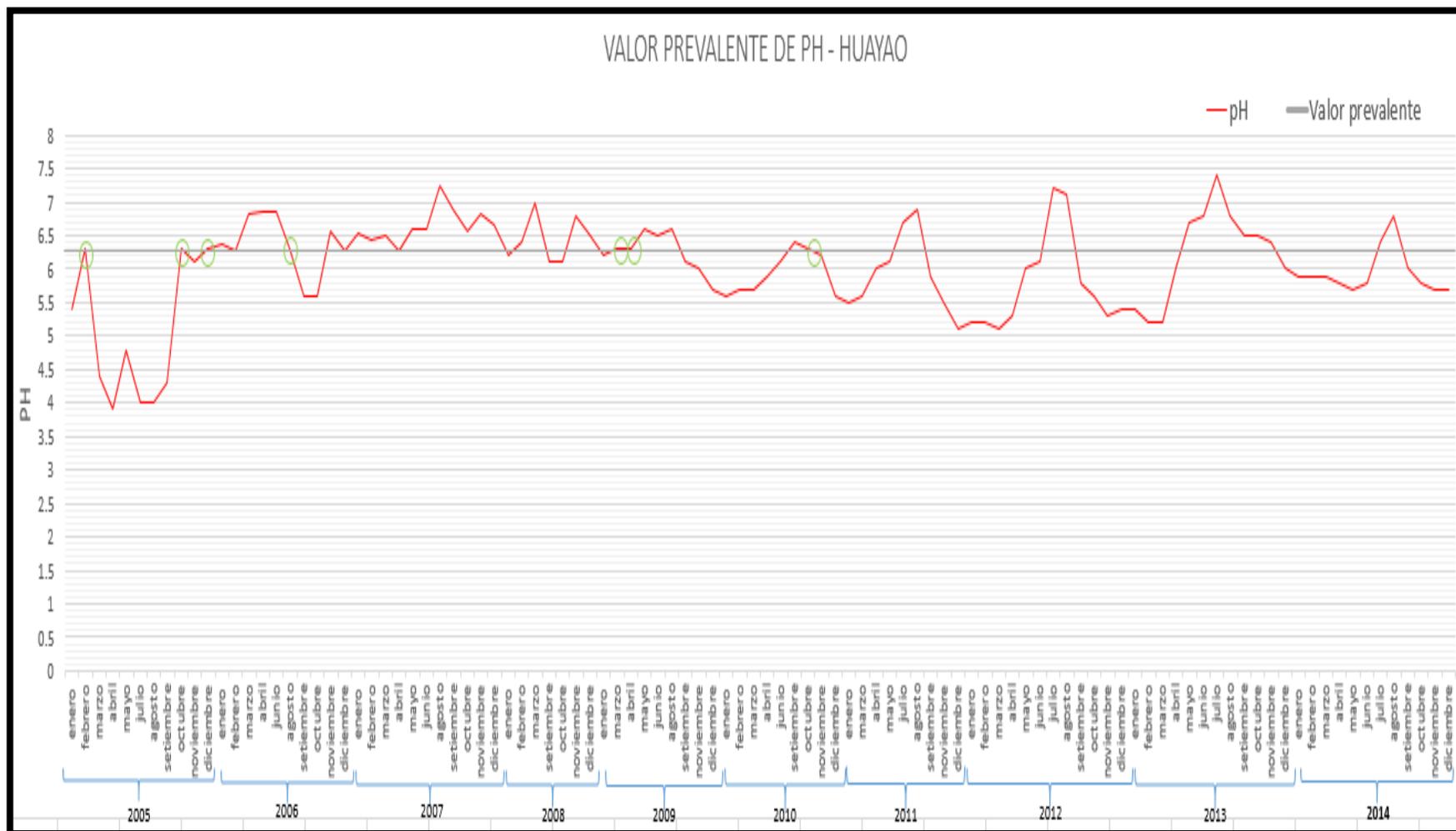


Figura 59. Valor de pH prevalente – Huayao.

En la estación de Jauja, los valores prevalentes mensuales se presentaron de la siguiente manera: durante el mes de febrero se presentaron precipitaciones pluviales con pH de 5.5, durante el mes de marzo es donde se presentó el valor prevalente más bajo a diferencia de las otras 3 estaciones, siendo este de 4.7 considerado ligeramente ácido.

En los siguientes meses, mayo, junio y noviembre los valores de pH prevalente fueron 7.4, 6 y 7.7 respectivamente, tal como se puede observar en la figura N° 60



Figura 60. Valor prevalente de pH mensual – Jauja.

En esta estación, a diferencia de las anteriores, el valor prevalente de 7.3 se hace presente durante el último año de análisis, es decir el 2014. Como se observa en la figura N°61, la primera muestra de la presencia del valor prevalente aparece durante el mes de junio del 2009, luego aparece otro episodio en noviembre de 2013. En el 2014, tal como se mencionó líneas arriba durante todo el año con excepción del mes de mayo, se hace presente dicho valor.

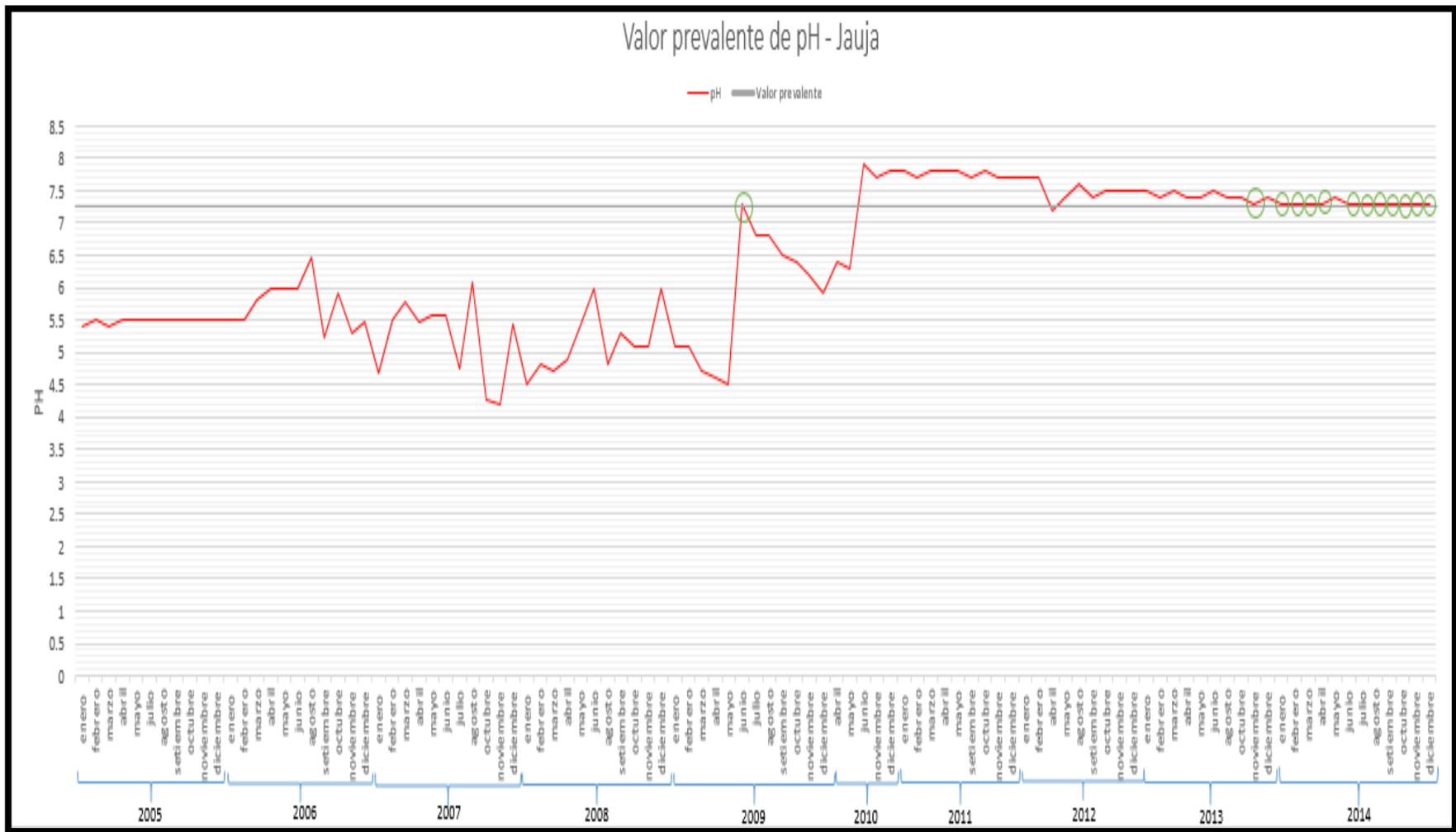


Figura 61. Valor de pH prevalente – Jauja.

En resumen, tenemos valores prevalentes de pH por estación, tal como muestra en la figura N° 62, en donde apreciamos el nivel de acidez prevalente y las veces en que estos episodios se presentan, y si notamos el nivel de pH de 7.3 en la estación de Jauja, es el que más veces se presentó; por lo que podemos decir que en el Valle del Mantaro prevalecen las lluvias no acidas, de acuerdo a la clasificación de pH utilizada para esta investigación.

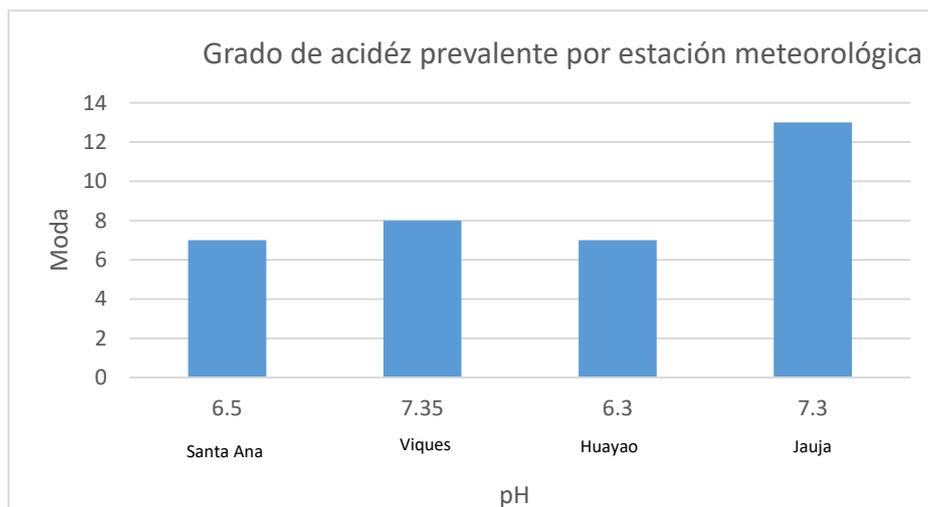


Figura 62. Nivel de pH prevalente.

4.2. Discusión de resultados

La investigación tuvo como objetivo determinar la distribución espacial del grado de acidez de las precipitaciones en el Valle del Mantaro en los últimos años. Los objetivos específicos fueron determinar la evolución temporal del grado de acidez de las precipitaciones pluviales y determinar el grado de acidez prevalente en las precipitaciones pluviales del Valle del Mantaro durante el periodo 2005-2014. La información de precipitación y de pH se obtuvieron a través del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI); utilizando la técnica de georreferenciación y luego el método de Kriging se obtuvieron los mapas de distribución espacial. La metodología resulto eficiente para interpolación de los datos de pH y obtención de los mapas de distribución espacial.

El periodo de 2005-2009 evidencio una lluvia más propensa a la contaminación, ya que mostró variaciones de pH que fueron de 5.6 hasta 6.7, sin embargo, las precipitaciones no se mostraron ácidas. Durante el segundo periodo de análisis desde el 2010 hasta el 2014, los niveles de pH se mostraron constantes entre 6.9 y 7.1. El método Kriging utilizado

para la interpolación mostro ser eficiente durante el primer periodo, ya que el error obtenido fue de 0.227, valor comparable con el error de obtenido por Ibarra (2007) de 0.134. Contario a ello, durante segundo periodo se obtuvo un error de 0.999 debido al efecto pepita, que es el comportamiento discontinuo en el origen o el grado de salto en el valor del variograma desde el origen, efecto que puede atribuirse a errores de medición o al hecho que las muestras no fueron tomadas en intervalos lo suficientemente pequeños como para mostrar un comportamiento continuo (Fili et al, 1999).

Los gráficos de distribución espacial, sobre todo durante el periodo 2005-2009 muestran una tendencia de niveles de pH más bajos en la parte noroeste, en la estación jauja (S-4), y un valor de pH constante durante el periodo 2010-2014; a diferencia de la investigación realizada por García (2013), el cual determino durante el año 1999, que sólo en la parte noroeste de la Zona Metropolitana de Guadalajara no se presentó un comportamiento ácido, además encontró que durante todo el periodo de análisis de 10 años, la tendencia ácida de las precipitaciones fue dominante en el oeste. Asimismo, podemos diferir de los resultados obtenidos por Campo (2013), ya que los valores de pH más altos se concentraron en la zona norte, del este al oeste, y el pH más bajo se extienden por el sur; contrario a lo encontrado en esta investigación en la que, como se dijo líneas arriba, los valores más bajos se presentaron en el noroeste y los más altos al sur del Valle.

La evolución temporal del pH, por cada estación meteorológica fue variable, en Jauja durante el periodo 2005 al 2009 se presentaron fluctuaciones que van desde 4.19 hasta los 7.9, lo que según la clasificación de la lluvia de acuerdo al pH (38), confirma que los episodios de precipitación se encontraron dentro de los 4 niveles de dicha clasificación. Sin embargo, los últimos años de análisis mostraron que los niveles de pH se estabilizaron por encima de 5.6. En síntesis, un 61.76% fueron precipitaciones no ácidas, un 30.39% fueron ligeramente ácidas, el 5.88% medianamente ácidas y el 1.96% fuertemente ácidas. En la estación de Huayao, los niveles de acidez fueron muy variables, durante el año 2005 las precipitaciones se presentaron desde no acidas hasta fuertemente ácidas, durante este año se hizo presente en episodio con el nivel más bajo de pH siendo este de 3.9; los años siguientes, aunque hubo fluctuaciones de pH, ningún episodio volvió a ser fuertemente ácido. En términos porcentuales un 77.68% de las precipitaciones fueron no ácidas, un 17.86% fueron ligeramente ácidas, 0.89% se mostraron como medianamente ácidas, y a diferencia de las otras 3 estaciones meteorológicas, ésta mostro el mayor porcentaje de episodios de precipitaciones fuertemente ácidas con un 3.57%. Al igual que en el primer caso, en la estación de Viques los niveles de pH varían cierto periodo de tiempo, en este caso hasta el 2007, luego se estabilizan por encima de 5.6, en ésta sólo se presentaron

lluvias no ácidas (90.22%) y ligeramente ácidas (9.78%). En la estación de Santa Ana, aunque predomina las precipitaciones no ácidas (83.32%), hubo algunas variaciones en las que las precipitaciones se mantuvieron como ligeramente ácidas (10.68%).

A diferencia de la investigación de Fonseca et al (2013), quien determinó que el 25% de las lluvias son ácidas en Río Branco – Brasil, dentro del Valle hasta el momento solo un 5.5% de las lluvias son ácidas. Además, de acuerdo a García (2013), en Guadalajara la concentración de lluvia ácida va en aumento, a diferencia del Valle del Mantaro, en el que se identificó que la tendencia de la lluvia ácida al disminuir.

Los resultados obtenidos son comparables a los de Pazmiño (2007), ya que dentro de su investigación encontró como valor mínimo 4.58, valor que también fue detectado en la estación de Jauja, en el año 2005, también podemos considerar similares los resultados de Alarcón (2012), quien dentro de su estudio de lluvia ácida en México encontró el valor de 4.41 como el nivel más bajo de pH.

De acuerdo a los resultados obtenidos en esta investigación, vemos que los episodios de precipitaciones mediana y fuertemente ácidas que se presentaron en el Valle del Mantaro coinciden con el periodo de funcionamiento de la refinería Doe Run Perú y por lo tanto con las emisiones de SO₂ que fueron medidas por DIGESA (2006) en la ciudad de la Oroya, las cuales evidencian que los niveles permitidos por ley fueron sobrepasados, de acuerdo a la normativa vigente para ese año, el máximo de emisiones de SO₂ permitidas era de 365 ug/m³, sin embargo, se encontraron concentraciones de 1786 ug/m³.

En el año 2007 se presentaron las mayores variaciones de pH, las cuales comprendieron niveles que van desde 5.42 como el más bajo y 7.28 como el valor más alto, teniendo a Jauja al noroeste como la estación que presentó los niveles de pH más bajos, y a Viques en el sureste como la estación con los niveles de pH más altos. Sin embargo, en el año 2013 se obtuvo el mapa de distribución espacial con las franjas de variación de pH mucho más marcadas, lo que, determinó que en la estación de Huayao prevalecen los valores más bajos de pH; comprendió niveles que van desde 6 hasta 6.42, mientras que en la estación de Jauja se presentan los valores más altos (5.42 hasta 5.79), en las otras dos estaciones los niveles de pH variaron entre 6.84 y 6.42. Al igual que el punto anterior, las variaciones de pH más notorias se asocian a las emisiones medidas en la ciudad de la Oroya (DIGESA-2006).

El grado de acidez prevalente varió en función a la estación en análisis, en Santa Ana el valor fue de 6.5. Para Viques, el nivel prevalente de acidez aumenta notoriamente en comparación a la anterior, ya que este fue de 7.35. En Huayao, a pesar de que los

valores prevalente mensuales varían entre 5.2 hasta 6.8 lo cual, ubica a las precipitaciones entre no ácido y ligeramente ácidos, el valor prevalente de la estación en los 10 años de análisis fue de 6.3; y la situación de la estación de Jauja presenta un comportamiento similar a la estación de Viques, ya que el valor prevalente es de 7.3; en todos los casos, el valor prevalente se mantuvo por encima de 5.6, lo que indica la presencia de lluvias no ácidas.

Los valores obtenidos en esta investigación difieren con los encontrados por Fonseca (2007), quien en su investigación hayo promedios de pH entre 5.4 y 3, lo mismo sucede con los valores obtenidos por Pazmiño (2007), ya que estos indican que prevalecieron lluvias ácidas.

Se acepta la hipótesis general, de acuerdo con los valores de pH prevalentes en cada estación meteorológica, se determinó que las precipitaciones pluviales en el Valle del Mantaro estuvieron por encima del nivel de pH aceptado como normal por el Instituto Geofísico del Perú.

Se identificó que, 325 episodios de precipitaciones en el Valle del Mantaro presentaron valores de acidez correspondientes a la clasificación de no ácido, 71 de los episodios de precipitaciones pluviales fueron ligeramente ácidas, solo 6 mostraron niveles de acidez medianamente ácidos al igual que los episodios con precipitaciones fuertemente ácidas.

CONCLUSIONES

1. Los mapas de distribución espacial, determinaron que, los episodios de precipitación durante el periodo 2005-2009 fueron no ácidos, sin embargo, lo niveles de pH más bajos se presentaron en la estación de Jauja, al noroeste del Valle del Mantaro, lo que podría suponer la influencia de la refinería La Oroya, ya que esta mantuvo su funcionamiento hasta el año 2009. Los valores de pH fueron aumentando hacia la estación S.2, esto podría atribuirse a factores como la dirección del viento ya que dentro del Valle prevalecen los vientos del norte.
2. Durante el año 2007, se presentaron las mayores variaciones de pH, en comparación a los demás años de estudio. Al igual que como se mencionó líneas arriba, esto coincide con el periodo de funcionamiento de la refinería La Oroya y a la vez pudo haber sido influencia por variables meteorológicas.
3. La evolución temporal varió por estación, predominaron las precipitaciones no ácidas en las 4 estaciones, en términos de porcentajes Jauja presentó 61.76% de las precipitaciones no ácidas, en Huayao fue un 77.68%, en Viques 90.22% y en Santa Ana un 83.32%. En lo que respecta a la clasificación de ligeramente ácida, Jauja presentó del total de datos un 30.39%, Huayao un 17.86%, Viques 9.78% y Santa Ana 10.68. Y con respecto a las otras dos clasificaciones de mediana y fuertemente ácida, éstas solo se hicieron presentes en dos estaciones, Huayao y Jauja.
4. Del total de datos analizados por cada estación se determinó que, los valores de pH que prevalecieron en las estaciones de Santa Ana, Viques, Huayao y Jauja fueron todos por encima del valor considerado como normal para las precipitaciones pluviales, es decir, fueron precipitaciones no ácidas.
5. Con un análisis a nivel de promedio por estación en el Valle del Mantaro, las precipitaciones pluviales son en su totalidad no ácidas, sin embargo, si se hace un análisis más detallado por cada estación a nivel de días o meses, se podrán encontrar episodios de precipitación ácida.
6. De los 408 datos de pH analizados para la investigación, el 79.66% estuvieron por encima del promedio normal de 5.6, el 17.4% fueron ligeramente ácidas y las precipitaciones mediana y fuertemente ácidas fueron de 1.47% para cada una.

RECOMENDACIONES

1. A las instituciones competentes, realizar inventarios de emisiones anuales, ya la información con la que se cuenta ahora es obsoleta, y no es suficiente para poder realizar nuevas investigaciones, las cuales podrían relacionar las emisiones de NO₂ y SO₂ de Valle con las variaciones de pH de las precipitaciones.
2. A las entidades responsables del medio ambiente y del desarrollo agrícola de la Región, evaluar los efectos de las variaciones de pH en los cultivos, y en general en la producción agropecuaria. Estos sectores son la base de la economía, y a la vez son muy vulnerables a los cambios medioambientales. Si se quiere evitar grandes pérdidas económicas y ambientales, es necesario hacer este tipo de investigaciones.
3. El análisis de datos fue hecho hasta el 2014, debido a que el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) cesó las mediciones de esta variable desde el 2015 debido a una renovación de equipos, lo que limita en cierto grado el análisis de la situación actual del Valle. La recomendación es en primer lugar para la institución mencionada, la cual debería reiniciar las mediciones de pH con el fin de poder proporcionar información actual para las futuras investigaciones; y en segundo lugar a la Universidad, ya que, al contar con los equipos necesarios para poder tomar datos de precipitación y pH, podría empezar a generar su propia base de datos, lo cual podría ser muy útil para los alumnos que quieran iniciar proyectos y/o investigaciones.
4. Identificar los niveles de acidez prevalentes en las 4 estaciones analizadas puede ser el punto de partida para las instituciones tanto públicas como privadas para proponer y ejecutar planes de acción ante las variaciones y sus efectos en la sociedad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **Garcés Giraldo, Luis y Hernández Ángel, Marta.** *La lluvia ácida: un fenómeno físicoquímico de ocurrencia local.* 2, Antioquia : s.n., 2004, LASALLISTA , Vol. 1, págs. 67-72.
2. **Miralles, Jordi.** *Ecología para entidades juveniles, guía de sensibilización mediambiental.* [ed.] Fundación Francisco Ferrer. Barcelona : s.n., 1996. Vol. 1.
3. **Pérez Salazar , Salvador.** *Introducción a la química y el ambiente.* [ed.] Javier Enrique Callejas. 3. Distrito Deferal de México : Patria, 2014. 43.
4. **Cárdenas , Erazo.** *Ecología, impacto de la problemática ambiental actual sobre lasalud y el ambiente.* [ed.] Andrea Sierra. primera . Bogotá : Ecoe ediciones, 2013.
5. **National Geographic.** nationalgeographic. [En línea] 9 de 09 de 2010. <http://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/lluvia-acida>.
6. **Universidad Complutense de Madrid.** Aspectos ambientales: lluvia ácida. [En línea] 2014. http://pendientedemigracion.ucm.es/info/diciex/proyectos/agua/contaminacion_aerea_central.html.
7. **Granados Sanchez, D, López Ríos, G y Hernandez García , M.** La lluvia ácida y los ecosistemas forestales. Texcoco -México : s.n., 2010.
8. **A. Valtueña , José.** *Enciclopedia de la ecología y la salud.* [ed.] Rodríguez Bernal Jose. 1. Ginebra : s.n., 2002.
9. **Miralles Bellver, Lourdes, y otros.** *Agentes medioambientales de la generalitat valenciana.* Sevilla : Mad S.L, 2005. Vol. II.
10. **Rubiera, José.** On Cuba. [En línea] 30 de noviembre de 2015. [Citado el: 16 de octubre de 2017.] <http://oncubamagazine.com/ciencia/cae-lluvia-acida-en-cuba/>.
11. **La Nación.** El volcán Sabancaya de Perú registra explosiones 48 veces al día. *La Nación.* 2016.
12. **Suarez, Luis.** *Contaminación atmosférica.* Universidad Alas Peruanas . 2008.
13. **Garay Canales, Óscar y Ochoa Acevedo , Alex.** *Primera aproximación para la identificación de los diferentes tipos de suelo agrícola en el Valle del Mantaro.* Instituto Geofísico del Perú. Lima : s.n., 2010.
14. **Instituto Geofísico del Perú.** *Sector Agricultura.* Junín : s.n., 2012.
15. **Arguedas , Carlos.** Agricultores revelan daño en cultivo de papa. *La Nación.* 2007.
16. **Diario de Yucatán.** Afecta la "lluvia ácida". 2017.

17. **Tinoco , Pedro.** Heladas y sequía en el Valle del Mantaro causan pérdidas por S/: 55 mlls. *Andina*. 2016.
18. **Redacción Gestión.** Productos lácteos de Valle del Mantaro tienen potencial en Unión Europea. *Gestión*. 2016.
19. **Portal de información en acuicultura.** AQUAHOY. [En línea] 2008. <http://www.aquahoy.com/156-uncategorised/3857-peru-junin-ocupa-segundo-lugar-en-produccion-de-truchas>.
20. **Aranda , Evelyn.** RPP noticias. [En línea] 2012. <http://rpp.pe/economia/economia/junin-elevara-produccion-de-trucha-con-planta-procesadora-noticia-533523>.
21. *Efectos al ambiente de la lluvia ácida.* **Ramírez Ramírez, Rocío y Olmos Castillo , Héctor.** Guanajuato : s.n., 2008, Enlace Químico.
22. *Tendencias y cambio del clima del Valle del Mantaro mediante los análisis de índices de precipitación efectiva y temperatura eficiente.* **Arroyo Aliaga, Jacinto .** Huancayo : s.n., 2011, Apuntes de ciencia y sociedad.
23. **Fonseca Duarte, Alejandro, y otros.** Contaminación atmosférica y deposición húmeda en la Amazonia brasileña. Rio Branco : s.n., 2013.
24. *Análisis metodológico de la distribución espacial de la precipitación y la estimación media diaria.* **Íñiguez Covarrubias, Mauro, y otros.** Texcoco : s.n., 02 de 2011, Scielo - Revista Mexicana de ciencias agrícolas.
25. **García Guadalupe, Mario, y otros.** ReserachGate. [En línea] 2013.
26. **Ibarra Castillo , Daniel, y otros.** *Distribución espacial del pH de los suelos agrícolas de Zapopan, Jalisco, México .* México : s.n., 2009. pág. 10.
27. *Comparación de los interpoladores IDW y Kriging en la varación de pH, Ca, CICE y P del suelo.* **Villatoro, Mario, Henríquez , Carlos y Sancho, Carlos.** 2008, UAEM Redalyc.
28. **Campo, Alicia M, Zappen , Paula A. y Picone , Natasha.** Precipitation and Rainwater pH Spatial Distribution in Bahía Blanca and Tandil, Argentina. Bahía Blanca : s.n., 2013.
29. **Pazmiño Vernaza, Daniel Alejandro.** *Determinación de la influencia de la contaminación ambiental atmosférica en los niveles de pH y sólidos totales disueltos del agua de lluvia del centro del distrito Metropolitano de Quito.* Escuela Politécnica Nacional. Quito : s.n., 2007.
30. **Cortés Reyes, María Inés.** *Análisis y aplicación del método geoestadístico kriging ordinario, en estaciones pluviográficas de la Región Metropolitana, Maule y Biobío.* Talca - Chile : s.n., 2013.
31. **Alarcón Jiménez , Ana Luisa.** *Lluvia ácida en la zona metropolitana de la ciudad de México. Evaluación y trascendencia .* UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO. 2012. pág. 198.

32. **Spores. La Veu del Botánic.** <http://espores.org/es>. [En línea] 12 de julio de 2013. [Citado el: 12 de 12 de 2016.] <http://espores.org/es/investigacion/pluja-acida-contaminacio.html>.
33. **Dirección General de Salud Ambiental -DIGESA.** *Evaluación de la calidad del aire en la ciudad de La Oroya - Junín.* Dirección de ecología y protección del ambiente, DIGESA. 2006.
34. **Ministerio del Ambiente.** *Informe de monitoreo de la calidad del aire de la ciudad de Huancayo.* Ministerio del Ambiente. Lima : s.n., 2014.
35. **Alfaro, María del Rosario.** *Contaminación del aire: emisiones vehiculares, situación actual y alternativas.* primera. Costa Rica : Carlos Fco. Zamora Murillo, 1998. pág. IX. ISBN 9977 64 993 6.
36. **Manahan , Stanley .** *Introducción a la Química Ambiental.* primera. Méxic D.F : Reverté S.A, 2007. pág. 402. ISBN 84 291 7907 0.
37. **Instituto Geofísico del Perú (IGP).** *Estudio del cambio climático, lluvias ácidas y turbidez ambiental.* Departamento de Meteorología e impacto ambiental. Lima : s.n., 2000. págs. p- 7-14.
38. **Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.** *Estado y cambio del agua lluvia en Colombia.* Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. 2004.
39. **Henry, J. Glynn y Heinke , Gary W.** *Ingeniería Ambiental.* [ed.] Pablo Eduardo Roig Vázquez. Segunda. s.l. : MEG WEIST, 1999. ISBN 970 17 0266 2.
40. **Fernández Bremauntz, Adrián .** *Guía de elaboración y usos de inventarios de emisiones.* 2005. pág. 80.
41. **Hernández Adrover , Juan Jose.** *Modelado de la formación y emisión de contaminantes en sistemas de combustión.* [ed.] Servicio de publicaciones de la Universidad de Castilla - La Mancha. Valencia : s.n., 2001. pág. 23. ISBN 84 8427 105 6.
42. **Hernández López , Leonor.** *Predicción y optimización de emisores y consumo mediante redes: neuronales en motores diesel.* Barcelona : Reverté S.A, 2006. págs. 27 - 35.
43. *Predicciones y optimización de emisiones y consumo mediante redes neuronales en motores diesel.* Valencia : Reverté S.A, 2006.
44. **Orozco Barrentxea, Carmen , y otros.** *Contaminación Ambiental: Una visión desde la química.* [ed.] María López Raso. Madrid : s.n., 2003. pág. 357. ISBN 902 995 240.
45. **Buendía Marmanillo , Rosmery .** *Influencia de las precipitaciones extremas en los riesgos de inundaciones pluviales registradas mediante imágenes del satélite GOES 13 en el valledel mataro - estación de verano del 2015.* 2015.
46. **Secretaría de Economía.** *Estimaciones meteorológicas, climatológicas e hidrológicas - parte 1: especificaciones técnicas que deben cumplir los materiales e instrumentos de*

medición de las estaciones meteorológicas automáticas y convencionales. Secretaría de Economía. México : s.n., 2013.

47. **Tamayo , Jorge.** KRIGING ORDINARIO. [En línea] Agosto de 2009. [Citado el: 09 de octubre de 2017.] <https://es.scribd.com/doc/36371879/PrACTICA-3-KRIGING-ORDINARIO>.
48. **Universidad Nacional de Colombia .** *Introducción a la Geoestadística : Teoría y Aplicación.* Bogotá : s.n.
49. **Murillo, Diego, y otros.** Comparación de métodos de interpolación para la generación de mapas de ruido en entornos urbanos . Medellín : s.n., 2012.
50. **Ginzo Villamayor, María José.** Análisis Geostadístico.
51. **Peña Llopis, Juan.** *Sistemas de información geográfica aplicados a la gestión del territorio.* San Vicente : s.n., 1999. pág. 43.
52. **Chuvieco, Emilio.** *Teledetección ambiental.* 3. Barcelona : Ariel S.A, 2008. pág. 591.
53. **Gómez Aguirre , Raúl.** *Los mares Mexicanos a través de la percepción remota.* [ed.] Diana Otero Andrés. 1. México D.F : s.n., 2001. pág. 83.
54. **Escámez Trujillo , Juan Francisco.** *Caracterización histórica del diseño y desarrollo de las murallas musulmanas de la ciudad de Almería. Influencia urbanística en el casco antiguo y expansión de la ciudad.* 2012.
55. **Departamento de la Guajira.** *Mejora de los sistemas de cartografía del territorio colombiano.* 2007.
56. **Orozco Barrenetxea, Carmen, y otros.** *Contaminación Ambiental una visión desde la química.* [ed.] María López Raso. Madrid : Paraninfo, 2003. pág. 331.
57. **Andalucía, Observatorio de Salud y Medio Ambiente de.** WWW.OSMAN.ES. [En línea] Martínez Romieu, 1997. [Citado el: 06 de diciembre de 2017.] <http://www.osman.es/diccionario/definicion.php?id=12721>.
58. **Cabildo Miranda, María del Pilar , y otros.** *Química Orgánica.*
59. **Fernández Espinoza , Antonio José.** *Especiación química y física de metales en la materia particulada atmosférica: aplicación al estudio de la contaminación ambiental de la ciudad de Sevilla.* Sevilla : s.n., 2001.
60. **Entrena Gonzáles , Francisco José.** *UF0212: Determinación del potencial solar.* Málaga : IC Editorial , 2014.
61. **Daub, William y Seese , William .** *Química.* [ed.] Paul Corey. 7. Naucalpan de Juárez : s.n., 1996.
62. **Sarmiento , Fausto.** *Diccionario de Ecología: paisajes, conservación y desarrollo sustentable para latinoamérica.*
63. **Vasquez Cruz , Ruperto.** *Estadística elemental.* San Juan : Universidad de Puerto

- Rico, 1993.
64. **Szklo, Moyses y Nieto , Javier** . *Epidemiología intermedia: conceptos y aplicaciones*. [ed.] Juana de Castilla. [trad.] Carlos SIlva Aycaguer. Madrid : Díaz de Santos S.A, 2003.
 65. **Rey Graña , Carla y Ramil Díaz , María** . *Introducción a a estadística descriptiva*. [ed.] Cristina Seco. 2da. 2007.
 66. **Sobrino, José, y otros**. *Teledetección*. Valencia : s.n., 2000.
 67. **Pérez Gutierrez, Carlos y Muñoz Nieto, Ángel**. *Teledetección: nociones y aplicaciones*. 2006.
 68. **Universidad de Valencia: Unidad de teledetección** . *La teledetección en el seguimiento de Iso fenómenos naturales. Recursos renovables:agricultura*. [ed.] S. Gandía y J Meliá. Valencia : s.n., 1991.
 69. **Cegarra Sánchez, José**. *Los métodos de Investigación*. Madrid : s.n., 2012.
 70. **Elizondo López, Arturo**. *Metodología de la investigación contable*. 3 . México D.F : s.n., 2002.
 71. **Naghi Namakforoosh , Mohammad**. *Metodología de la investigación*. México : Limusa S.A, 2005.
 72. *Análisis documental y de información: dos componentes de un mismo proceso*. **Dulzaidés Iglesias, María Elionor y Molina Gómez, Ana María**. Cienfuegos : s.n., 22 de 03 de 2004, BVSCUBA.
 73. **Martínez Mediano , Catalina y Galán González, Arturo**. *Técnicas e instrumentos de recogida y análisis de datos*. Madrid : Edición digital, 2014.
 74. **Rendón Castaño, Hernán**. *Control estadístico de calidad*. Universidad Nacional de Colombia. Medellín : Centro editorial de la Facultad de Minas, 2013.
 75. **Rodríguez Montellano, Armando y Sánchez Sejas , Claudia** . *Lluvia ácida y sus efectos: compilación técnica*. 2012.
 76. **López Lee, Rosemay, Collazo Aranda, Arnaldo y Hernández Saavedra, Félix**. *Acidificación de las precipitaciones en Cuba*. 2014.
 77. **Rebato , Carlos** . GISMODO. [En línea] 2014. <http://es.gizmodo.com/la-lluvia-acida-esta-transformando-algunos-lagos-de-can-1660711325>.
 78. **SciLogs**. *La lluvia ácida, hoy*. 2015.
 79. **Ramos, Carmen**. *Advierten: Lluvia ácida y radiación elevada en Junín*. *Correo*. 08 de 04 de 2013.
 80. **Sanchez , Ligbel, y otros**. *Composición iónica y niveles de acidez de las lluvias en Maracaibo, Venezuela entre 1989 y 2001*. Maracaibo : s.n., 2009.
 81. **Sudama , S., Purwanto, P. y Wahyu Santoso, Lannggeng**. *El efecto de SO2 y NO2 de fuentes de transporte y emisiones estacionarias a SO42- y NO3- en el agua de lluvia*

- en Semarang. 2015.
82. **García Villegas, Beatriz.** *Caracterización del agua de lluvia captada en una edificación para su aprovechamiento con fines de sustentabilidad hídrica* . México : s.n., 2013.
 83. **Ayala Morales, Lourdes Elizabeth.** *Determinación de las concentraciones de iones presentes en el agua lluvia de la zona urbana de la Ciudad de Cuenca causantes de la lluvia ácida.* Cuenca : s.n., 2014.
 84. **Gonzales Duque, Carlos Mario.** *Calidad de aire en la zona centro y oriente de la ciudad de Manizales: Influencia del Material Particulado(PM10) y lluvia ácida* . Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. Manizales : s.n., 2012.
 85. **Quereda Vásquez, Victoria.** *Escenarios atmosféricos de contaminación y lluvia ácida sobre la vertiente mediterránea del Sistema Ibérico.* Castellón : s.n., 2016.
 86. **Comisión Nacional del Agua.** *Informe de evaluación ambiental - proyecto de modernización del servicio meteorológico nacional.* Comisión Nacional del Agua. México : s.n., 2011.
 87. **Gallardo , A.** Geostatística. 2006.
 88. **Quirós Hernández, Manuel.** *Metodologías de la información geográfica (TIC): Cartografía, fotointerpretación, teledetección y SIG.* 1. Salamanca : Universidad de Salamanca, 2011.
 89. **F. Fili, Mario, y otros.** *Variables hidrogeológicas regionalizadas.* Santa Fe : s.n., 1999.
 90. **CONAM.** INFOArequipa. [En línea] 10 de marzo de 2007. <https://www.infoarequipa.com/nacionales/conam-huancayo-y-chimbote-son-las-ciudades-mas-contaminadas/>.
 91. **Arauzo Chuco, Godofredo.** ECOPORTAL. [En línea] 17 de setiembre de 2007. https://www.ecoport.net/temas-especiales/contaminacion/la_lluvia_acida_en_el_centro_del_peru/. <http://eldiariointernacional.com/spip.php?article805>.
 92. *Georreferenciación.* **Canqui Llusco , Javier Elvis.** San Andrés : s.n., 2012, Revistas Bolivianas . 1997 4044.
 93. **De Anda Cárdenas , Pascual.** *Química 2.* [ed.] Juan Comparán Rizo. Jalisco : s.n., 2005.
 94. **Servicio Nacional de Hidrología y Meteorología.** *Condiciones climáticas, hidrológicas y ambientales en la región Junín, Pasco, Huancavelica y Ayacucho.* SENAMHI. Junín : s.n., 2015.
 95. **Agrotratos.** <http://agrotratos.com>. [En línea] 13 de enero de 2016. [Citado el: 25 de 10 de 2017.] <http://agrotratos.com/v2/index.php/12-clima/583-destruye-lluvia-acida-500-hectareas-de-cultivo-en-tabasco>.
 96. **Gobierno Regional Junín.** *Memoria descriptiva del estudio climático y zonas de vida del departamento de Junín a escala 1:1000.* Gobierno Regional Junín. Huancayo : s.n.,

2015.

97. **Ávalo, G., y otros.** *Atlas climático de precipitación y temperatura del aire en la cuenca del Río Mantaro.* SENAMHI. s.l. : Navarrete, 2011.
98. **Indacochea, Alejandro, y otros.** *Junín competitivo: el Valle del Mantaro.* DOE RUN Perú. 2005.
99. **Flores Suárez, Geraldo César.** *Actores y procesos sociales en La Oroya (1999-2009): un análisis de los discursos de la empresa Doe Run Perú, de sus trabajadores y de dos medios de comunicación escrita".* 2012.
100. *Influencia de los contaminantes SO₂ y NO₂ en la formación de la lluvia ácida en la zona metropolitana de Guadalajara, Jalisco, México.* **García Guadalupe, Mario, y otros.** Guadalajara : s.n., 31 de 05 de 2006, e-Gnosis, Vol. 4.

ANEXOS

Anexo N° 1

Matriz de Consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	MARCO TEÓRICO	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
<p>Problema general</p> <p>¿Cuál es el grado de acidez prevalente en las precipitaciones pluviales del Valle del Mantaro durante el periodo 2005 – 2014?</p> <p>Problemas específicos</p> <p>¿Cómo ha evolucionado temporalmente el grado de acidez en las precipitaciones pluviales en el Valle del Mantaro durante el periodo 2005 – 2014?</p> <p>¿En qué año se presentaron mayores variaciones de acidez en el Valle del Mantaro durante el periodo 2005 – 2015?</p> <p>¿Cómo es la distribución espacial del grado de acidez en las precipitaciones pluviales del Valle del Mantaro durante el periodo 2005 – 2014?</p>	<p>Objetivo general</p> <p>Determinar el grado de acidez prevalente en las precipitaciones pluviales del Valle del Mantaro durante el periodo 2005 – 2014</p> <p>Objetivos específicos</p> <p>Determinar la evolución temporal del grado de acidez de las precipitaciones pluviales del Valle del Mantaro durante el periodo 2005 – 2014.</p> <p>Determinar en qué año se presentaron mayores variaciones de acidez en el Valle del Mantaro durante el periodo 2005 – 2015.</p> <p>Determinar la distribución espacial del grado de acidez en las precipitaciones pluviales del Valle del Mantaro en los últimos años</p>	<p>Antecedentes</p> <p>El artículo científico de (Ibarra Castillo , y otros, 2009) tiene como título "Distribución espacial del pH de los suelos agrícolas de Zapopan, Jalisco, México"</p> <p>El artículo científico de (Villatoro, y otros, 2008) tiene como título "Comparación de los interpoladores IDW y Kriging en la variación espacial de pH, CA, CICE y P del suelo"</p> <p>El artículo científico de (Campo, y otros, 2013), tiene como título "Distribución espacial de la precipitación y pH del agua lluvia en Bahía Blanca y Tandil"</p> <p>Bases teóricas</p> <ol style="list-style-type: none"> Contaminación del aire contaminación de aire se resume en la presencia de gases, partículas y vapores en la atmósfera que han sido incorporados directa o indirectamente al aire por el ser humano o por fuentes naturales en cantidades suficientes como para tener impactos negativos. Precusores de la lluvia ácida La lluvia acida se produce a 	<p>HI: El grado de acidez de las precipitaciones pluviales del Valle del Mantaro durante el periodo 2005 – 2015 sobrepasan el valor aceptado como normal para las precipitaciones.</p> <p>Ho: El grado de acidez de las precipitaciones pluviales del Valle del Mantaro durante el periodo 2005 – 2015 no sobrepasan el valor de acidez aceptado como normal para las precipitaciones.</p> <p>Ha: El grado de acidez en las precipitaciones pluviales en el Valle del Mantaro durante el periodo 2005 – 2015 están por debajo del valor de acidez aceptado como normal para las</p>	<p>Variable 1</p> <p>Precipitación</p> <ul style="list-style-type: none"> Tipo: Cuantitativa/dependiente <p>Variable 2</p> <ul style="list-style-type: none"> Tipo: Cuantitativa/ dependiente Dimensiones Lluvia no ácida Lluvia ligeramente ácida Lluvia medianamente ácida. Lluvia fuertemente ácida 	<p>Tipo de investigación Aplicada</p> <p>Nivel de investigación Descriptivo</p> <p>Método general hipotético-deductivo y analítico</p> <p>Diseño de investigación: No experimental</p> <ul style="list-style-type: none"> Tipo de diseño de investigación: transversal descriptivo. Población: Valle del Mantaro <p>Muestra Las 4 estaciones meteorológicas tomadas como puntos de muestreo.</p>

		<p>causa de los gases como el SO₂ y NO_x emitidos por las industrias; estos gases al llegar a la atmósfera reaccionan con el vapor de agua presente y forman los ácidos precursores de la lluvia ácida: H₂SO₄ y HNO₃</p> <p>3. <u>clasificación del agua de lluvia de acuerdo con el pH</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Lluvia no ácida: pH > 5,6. • Lluvia ligeramente ácida: 4,7 < pH ≤ 5,6. • Lluvia medianamente ácida: 4,3 < pH ≤ 4,7. • Lluvia fuertemente ácida: pH ≤ 4,3 <p>4. <u>Medición y estimación de las precipitaciones</u> La cantidad de lluvia que cae en un lugar se mide por los pluviómetros o fluviógrafos: ésta equivale al agua que se acumularía en una superficie horizontal e impermeable durante el tiempo que dure la precipitación o solo en una parte del periodo de la misma.</p>	precipitaciones		<p><u>Técnica de recolección</u> planillas climatológicas</p> <p><u>Técnica de procesamiento</u> Técnica del Método de Kriging en el ArcGis</p>
--	--	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------	--	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Elaboración propia

Anexo N° 2



Figura 63. Daños ocasionados en las esculturas y objetos de arte situados a la intemperie. Tomado de (Rubiera, 2015.)



Figura 64. Manifestaciones de los daños ocasionados por la lluvia ácida. Tomado de (Universidad Complutense de Madrid, 2014.)

Anexo N° 3

SENAMHI		JUNIN : MONITOREO DEL pH DE LA PRECIPITACION PLUVIAL																									
Estación:		MAP-SANTA ANA		Latitud: 12°00'34.5" S		Altitud: 3326 msnm		Inicio: 38363.00																			
				Longitud: 75°13'17.6" W		Distrito: El Tambo																					
		2005		Año 2006				Año 2007				Año 2008				Año 2009											
MES	DIA	pH	Hora de Análisis	pH Inicial	Temp. Amb	Hora de Análisis	pH Final	Temp. Amb	Hora de Análisis	pH Inicial	Temp. Amb	Hora de Análisis	pH Final	Temp. Amb	Hora de Análisis	pH Inicial	Temp. Amb	Hora de Análisis	pH Final	Temp. Amb	Hora de Análisis	pH Inicial	Temp. Amb	Hora de Análisis	pH Final	Temp. Amb	Hora de Análisis
I	1-1															7.00	14.4	18:20	7.00	13.8	18:45	7.0	7.8	06:20	7	7.8	06:50
	2-1																					7.0	9.8	09:35	7	12.2	10:20
	3-1															6.92	13.2	19:50	7.00	12.2	20:10						
	4-1			5.50		23:50										6.96	13	14:10	6.98	12.6	14:30	6.5	8	05:45	6.5	8.2	06:35
	5-1									6.00	14.2	15:30			MII							7.0	12.2	16:25	7	11.8	07:12
	6-1															7.00	13.8	18:20	7.00	13.2	19:20						
	7-1									6.00	15.2	18:30	6.00	12.8	19:35												
	8-1									6.50	13	17:35	6.50	10.8	19:10							6.0	8.2	06:10	6.5	8.8	06:35
	9-1			5.50		16:40																					
	10-1																										
	11-1	5.50	07:00																								
	12-1	5.50	19:00																								
	13-1	5.50	13:00	5.50		18:47				6.00	12.1	20:10			MII							7.0	8.6	02:24:00 a.m	7	9.2	07:50
	14-1															6.88	14.2	17:40	6.90	14	18:20	6.0	6	06:35	6	7	07:15
ENE	15-1	5.50	07:00																			7.0	15.2	15:15	6.5	14.8	16:30
	16-1			5.50		12:00																					
	17-1									6.00	20.2	15:35			MII							6.0	11	16:30	6	10	18:15
	18-1																										
	19-1															6.92	15.2	13:35	6.96	15	14:10	6.5	8.8	20:35	6.5	8	21:00
	20-1																										
	21-1			5.50		21:10										6.90	15	14:40	6.92	14.8	15:10						
	22-1															7.00	15.8	14:20	7.00	15.6	15:40						
	23-1																										
	24-1									7.00	13.4	18:50			MII												
	25-1																					6.0	13.2	10:20	6.5	12.8	11:15
	26-1									7.00	16.6	17:00			MII							6.5	13	10:50	6.5	11	12:10
	27-1	5.50	07:00																								
	28-1			6.00		13:50										7.00	15.6	14:10	7.00	14.8	15:20	7.0	13.2	11:35	7	11.4	12:20
	29-1															7.00	11.4	08:05	7.00	11.8	09:15						
	30-1									6.00	11.9	13:10			MII												
	31-1	4.50	07:00																			6.5	7.8	05:50	6.5	8	06:25

Figura 65. Planilla Climatológica. Tomado de (SENAMHI)

Anexo N° 4

ESTACION :	Huayao				LATITUD:	12 2' 18"				DPTO	Junín			
N°	635				LONGITUD:	75 20' 17"				PROV	Chupaca			
CATEGORIA	Convencional, Meteorológica				ALTITUD:	3360				DIST	Huachac			
Parámetro: Precipitación													Periodo: 2005 - 2014	
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ANUAL	
2005	52.1	73.4	74.3	26.5	14.0	0.6	6.3	5.8	19.3	116.7	61.1	72.1	522.2	
2006	158.3	73.4	80.9	19.4	2.3	5.0	31.9	7.9	52.3	50.7	51.2	86.6	619.9	
2007	97.4	36.3	139.8	55.6	13.0	0.0	2.6	2.2	15.9	64.4	50.6	77.8	555.6	
2008	105.1	62.3	50.7	24.5	3.8	11.8	6.4	18.9	40.1	70.1	32.3	67.9	493.9	
2009	92.5	90.2	131.0	62.9	16.4	9.7	7.4	32.1	26.4	40.1	114.6	111.7	735.0	
2010	173.6	86.3	108.3	41.3	1.1	6.4	4.8	1.0	6.7	48.8	25.4	100.2	603.9	
2011	157.3	231.8	111.8	72.9	19.3	0.0	3.6	1.9	68.6	48.7	71.3	124.9	912.1	
2012	77.6	145.3		87.7	19.3	14.3	0.4	0.0	32.0	31.8	73.6	132.9	614.9	
2013	149.2	144.6	58.7	45.5	8.5	9.0	1.8	30.2	51.5	24.8	37.9	50.3	612.0	
2014	128.3	71.8	125.6	40.4	71.1	8.5	15.4	1.4	50.8	31.0	64.3	93.0	701.6	
2015													0.0	

Figura 66. Datos de precipitación – Huayao. Tomado de (SENAMHI)

ESTACION :	Jauja			LATITUD:	11 47' 11.9"			DPTO	Junín					
N°	503			LONGITUD:	75 29' 12.8"			PROV	Jauja					
CATEGORIA	Convencional, Meteorológica			ALTITUD:	3378			DIST	Jauja					
Parámetro: Precipitación													Periodo: 2005 - 2014	
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ANUAL	
2005	68.4	122.2	89.8	27.5	17.3	0.0	0.7	14.9	15.4	93.2	136.1	103.1	688.6	
2006	105.3	98.1	114.6	43.2	8.0	19.9	23.9	3.9	17.0	48.1	50.2	140.1	672.3	
2007	221.2	76.2	169.4	50.1	17.4	0.0	4.6	1.4	12.5	66.3	63.3	76.2	758.6	
2008	112.7	100.5	63.3	11.3	13.3	6.4	0.6	4.2	28.0	64.2	31.4	72.8	508.7	
2009	95.7	76.0	115.1	89.4	47.2	3.8	2.6	15.4	8.6	55.4	122.8	149.9	781.9	
2010	130.5	96.1	59.0	52.7	6.2	2.2	0.5	0.6	27.9	72.6	51.8	106.9	607.0	
2011	113.8	162.4	170.8	51.8	14.2	0.0	0.5	2.3	16.0	65.7	77.8	140.7	816.0	
2012	98.4	110.2	62.4	89.0	24.6	3.2	0.4	4.4	45.2	52.3	91.4	131.8	713.3	
2013	161.1	155.2	89.8	22.8	13.7	3.4	2.5	21.5	5.8	68.7	73.4	87.5	705.4	
2014	82.4	98.5	117.8	42.0	24.5	4.8	11.9	0.9	30.6	28.2	72.2	92.6	606.4	

Figura 67. Datos de precipitación – Jauja. Tomado de (SENAMHI)

ESTACION :	SANTA ANA			LATITUD:	12 0' 15"			DPTO	Junín				
Nº	477			LONGITUD:	75 13' 15"			PROV	Huancayo				
CATEGORIA	Convencional Meteorológica			ALTITUD:	3295			DIST	El Tambo				
Parámetro: Precipitación													
Periodo: 2005 - 2014													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ANUAL
2005	50.8	120.8	87.5	26.8	5.2	12.0	3.5	0.4	12.8	132.8	60.0	134.7	647.3
2006	178.3	91.0	91.7	28.5	1.4	6.4	5.1	12.1	41.4	57.6	73.2	143.3	730.0
2007	104.0	75.5	150.7	37.2	13.7	0.0	6.5	13.6	20.8	56.9	60.3	74.5	613.7
2008	116.0	94.5	46.3	24.7	11.0	11.1	0.0	6.2	6.2	117.4	48.9	97.5	579.8
2009	94.7	102.8	120.9	84.2	38.4	1.8	7.6	22.6	41.9	48.4	129.1	133.2	825.6
2010	142.9	151.0	84.1	26.9	0.7	3.1	19.4	6.9	7.0	68.7	49.8	122.4	682.9
2011	205.7	271.0	139.2	79.1	11.5	0.0	9.8	4.7	79.9	73.4	79.9	140.7	1094.9
2012	108.4	133.6	75.8	126.7	29.5	28.0	0.0	1.5	37.1	58.0	61.8	184.5	844.9
2013	160.0	135.4	85.9	49.6	11.1	5.0	3.7	32.0	38.7	58.3	38.0	131.0	748.7
2014	161.0	99.5	179.7	87.3	32.1	0.3	4.2	32.1	83.4	34.6	103.1	100.7	918.0

Figura 68. Datos de precipitación - Santa Ana. Tomado de (SENAMHI)

ESTACION :	VIQUES				LATITUD:	12 9' 47"			DPTO	Junín			
Nº	608				LONGITUD:	75 14' 7"			PROV	Huancayo			
CATEGORIA	Convencional Meteorológica				ALTITUD:	3186			DIST	Viques			
Parámetro: Precipitación							Periodo: 2005 - 2014						
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ANUAL
2005	54.1	74.2	61.8	21.2	11.9	0.0	0.0	17.5	32.4	108.0	51.1	80.6	512.8
2006	131.7	81.0	87.8	34.8	0.0	4.4	0.0	27.7	21.6	51.8	39.9	110.3	591.0
2007	84.1	42.1	108.1	25.1	0.0	0.0	9.2	0.0	23.4	31.2	37.2	35.0	395.4
2008	123.8	109.2	69.1	0.0	2.1	9.6	0.0	0.0	38.0	78.4	52.8	104.8	587.8
2009	87.8	57.5	114.7	39.9	22.1	0.0	5.8	21.4	9.9	59.0	83.1	171.8	673.0
2010	149.0	89.5	103.5	38.0	0.0	22.1	0.0	6.8	15.4	28.8	59.2	188.6	700.9
2011	202.6	298.8	180.7	96.7	17.3	0.0	8.4	11.0	69.4	53.4	56.0	128.6	1122.9
2012	115.5	153.4	92.1	122.1	20.2	19.7	5.6	6.2	55.7	42.9	42.2	144.3	819.9
2013	110.4	152.4	77.8	9.0	18.3	15.2	5.8	23.5	40.2	50.5	22.4	189.1	714.6
2014	173.4	134.5	160.8	55.6	31.3	16.3	2.0	3.1	63.3	74.6	73.1	124.5	912.5

Figura 69. Datos de precipitación – Viques. Tomado de (SENAMHI)

		2005			Año 2006						Año 2007						Año 2008						Año 2009					
VAL. MÍNIMOS		pH	pH	Temp.	pH	pH	Temp.	pH	pH	Temp.	pH	pH	Temp.	pH	pH	Temp.	pH	pH	Temp.	pH	pH	Temp.	pH	pH	Temp.			
		Máximo	Promedi		Máximo	Promedi	Promedi	Máximo	Promedi	Promedi	Máximo	Promedi	Promedi	Máximo	Promedi	Promedi	Máximo	Promedi	Promedi	Máximo	Promedi	Promedi	Máximo	Promedi	Promedi	Máximo	Promedi	Promedi
	Ene	5.00	5.4		6.00	6.38	9.2	6.05	6.5	8.2	5.94	6.53	10.6	5.11	5.68	9.0	5.07	6.2	10.0	4.42	5.9	10.6	5.1	6.2	10.2	5.1	6.0	11.5
	Feb	5.00	6.3		6.00	6.28	9.8	6.05	6.1	9.2	5.11	6.43	10.3	6.16	6.39	8.2	5.56	6.4	8.9	6.23	6.5	12.2	0.0	#DIV/0!	#DIV/0!	0.0	#DIV/0!	#DIV/0!
	Mar	3.50	4.4		6.00	6.84	9.8	6.05	6.1	9.2	6.07	6.49	9.6	6.20	6.39	12.0	7.00	7.0	#DIV/0!	7.00	#DIV/0!		6.0	6.3	9.5	6.2	6.4	12.5
	Abr	3.50	3.9		6.68	6.85	9.8	6.05	6.1	9.2	5.20	6.29	9.7	6.14	6.24	11.9	5.70	6.6	8.3	6.28	6.3	11.6	5.8	6.3	9.1	6.2	6.2	11.0
	May	4.00	4.8		6.68	6.85	9.8	6.05	6.1	9.2	5.19	6.59	11.8	0.00	#DIV/0!	#DIV/0!	6.47	6.6	7.7	0.00	#DIV/0!	#DIV/0!	5.6	6.6	7.6	0.0	#DIV/0!	#DIV/0!
	Jun	0.00	#DIV/0!		6.68	6.85	9.8	5.29	5.7	9.1	5.19	6.59	11.8	0.00	#DIV/0!	#DIV/0!	6.71	7.0	7.0	0.00	#DIV/0!	#DIV/0!	6.5	6.5	11.5	0.0	#DIV/0!	#DIV/0!
	Jul	3.50	4.0		7.29	7.29	9.8	5.29	5.7	9.1	0.00	#DIV/0!	#DIV/0!	0.00	#DIV/0!	#DIV/0!	6.95	7.0	4.3	0.00	#DIV/0!	#DIV/0!	0.0	#DIV/0!	#DIV/0!	0.0	#DIV/0!	#DIV/0!
	Ago	3.50	4.0		5.87	6.30	9.8	5.29	5.67	9.1	7.21	7.26	8.1	0.00	#DIV/0!	#DIV/0!	7.22	7.2	7.0	6.15	6.8	9.7	5.8	6.6	9.7	0.0	#DIV/0!	#DIV/0!
	Set	4.00	4.3		4.16	5.59	11.2	5.44	5.90	10.1	6.51	6.89	10.1	7.05	7.05	11.4	4.89	6.1	8.5	6.05	6.1	11.2	5.7	6.1	8.3	6.4	6.4	10.2
	Oct	4.00	6.3		4.54	5.61	11.1	5.11	5.70	9.3	5.53	6.57	11.3	6.59	6.59	11.6	5.61	6.1	9.5	5.53	5.9	10.6	0.0	#DIV/0!	#DIV/0!	0.0	#DIV/0!	#DIV/0!
	Nov	4.00	6.1		5.24	6.95	10.8	5.22	6.18	12.0	6.41	6.81	11.1	0.00	#DIV/0!	#DIV/0!	6.41	6.8	11.1	0.00	#DIV/0!	#DIV/0!	5.5	6.0	11.0	5.8	5.9	11.7
	Dic	5.50	6.3		4.52	6.27	10.7	6.17	6.35	12.4	6.37	6.67	9.8	6.36	6.87	9.7	5.85	6.5	10.6	6.19	6.5	11.6	5.0	5.7	10.1	5.4	5.8	10.6

Año 2010						Año 2011						Año 2012						Año 2013						Año 2014					
pH	pH	Temp.	pH	pH	Temp.	pH	pH	Temp.	pH	pH	Temp.	pH	pH	Temp.	pH	pH	Temp.	pH	pH	Temp.	pH	pH	Temp.	pH	pH	Temp.			
Máximo	Promedi		Máximo	Promedi	Promedi	Máximo	Promedi	Promedi	Máximo	Promedi	Promedi	Máximo	Promedi	Promedi	Máximo	Promedi	Promedi	Máximo	Promedi	Promedi	Máximo	Promedi	Promedi	Máximo	Promedi	Promedi			
4.8	5.6	9.6	5.5	5.6	10.6	5.1	5.5	9.7	5.2	5.6	11.1	4.5	5.2	9.6	4.9	5.1	11.2	4.6	5.4	9.7	5.2	5.3	9.4	5.3	5.9	9.6	5.6	6.1	
5.1	5.7	10.5	5.5	5.7	10.9	5.0	5.3	8.7	5.2	5.4	10.4	4.5	5.2	9.7	4.8	5.0	10.9	4.6	5.2	9.3	5.0	5.2	10.4	5.5	5.9	10.1	5.7	5.9	
5.2	5.7	10.9	5.5	5.5	14.9	5.2	5.6	9.4	5.4	5.6	11.3	4.7	5.1	8.7	4.8	6.0	11.2	4.6	5.2	10.7	4.8	4.9	12.1	5.4	5.9	8.8	5.3	5.8	
5.4	5.9	9.1	6.3	6.3	13.4	5.2	6.0	8.9	5.3	5.6	12.1	4.8	5.3	8.6	4.9	5.1	10.4	5.5	6.0	9.7	0.0	#DIV/0!	#DIV/0!	5.4	5.8	8.8	5.7	5.8	
5.7	5.9	8.1	0.0	#DIV/0!	#DIV/0!	5.9	6.1	11.3	0.0	#DIV/0!	#DIV/0!	4.9	6.0	9.2	0.0	#DIV/0!	#DIV/0!	6.6	6.7	8.6	0.0	#DIV/0!	#DIV/0!	5.6	5.7	9.5	5.8	5.8	
6.1	6.1	9.7	0.0	#DIV/0!	#DIV/0!	0.0	#DIV/0!	#DIV/0!	0.0	#DIV/0!	#DIV/0!	5.6	6.1	5.2	5.8	6.1	11.9	6.4	6.8	10.2	0.0	#DIV/0!	#DIV/0!	5.7	5.8	6.4	0.0	#DIV/0!	#DIV/0!
6.7	6.7	13.6	0.0	#DIV/0!	#DIV/0!	6.7	6.7	6.7	0.0	#DIV/0!	#DIV/0!	7.2	7.2	9.4	0.0	#DIV/0!	#DIV/0!	7.4	7.4	9.1	0.0	#DIV/0!	#DIV/0!	6.0	6.4	6.7	0.0	#DIV/0!	#DIV/0!
0.0	#DIV/0!	#DIV/0!	0.0	#DIV/0!	#DIV/0!	6.8	6.9	12.3	0.0	#DIV/0!	#DIV/0!	7.1	7.1	10.4	0.0	#DIV/0!	#DIV/0!	6.6	6.8	9.0	6.9	6.9	7.1	6.8	6.8	11.2	0.0	#DIV/0!	#DIV/0!
6.1	6.4	9.9	0.0	#DIV/0!	#DIV/0!	5.3	5.9	9.1	5.7	5.7	11.0	5.3	5.8	8.3	5.4	5.6	9.6	6.2	6.5	9.6	6.6	6.6	9.9	5.3	6.0	9.1	5.6	5.8	
5.9	6.3	9.5	6.3	6.3	10.9	0.0	#DIV/0!	#DIV/0!	0.0	#DIV/0!	#DIV/0!	4.9	5.6	10.4	0.0	#DIV/0!	#DIV/0!	6.3	6.5	9.5	6.2	6.4	10.5	5.4	5.8	9.1	5.6	5.7	
5.8	6.2	10.3	5.9	6.0	11.3	5.0	5.5	10.1	5.4	5.4	8.4	4.6	5.3	9.9	5.2	5.6	10.5	5.9	6.4	11.2	6.5	6.5	11.0	5.5	5.7	10.6	5.6	5.7	
5.2	5.6	9.1	5.5	5.6	11.0	4.1	5.1	9.5	5.0	5.3	9.8	4.9	5.4	10.2	5.1	5.3	10.7	5.6	6.0	9.9	5.7	6.1	11.4	5.2	5.7	10.5	5.4	5.7	

Figura 70. Datos de pH – Huayao. Tomado de (SENAMHI)

NIMOS	2005		Año 2006			Año 2007			Año 2008			Año 2009														
	pH Máximo	pH Promedio	pH Máximo	pH Promedio	Temp. Promedio	pH Máximo	pH Promedio	Temp. Promedio	pH Máximo	pH Promedio	Temp. Promedio	pH Máximo	pH Promedio	Temp. Promedio	pH Máximo	pH Promedio	Temp. Promedio									
Ene	5.00	5.4	5.50	5.50	10.4	7.80	7.8	#DIV/0!	4.12	4.69	13.0	4.24	4.65	10.2	3.88	4.5	11.7	3.92	4.7	10.4	4.8	5.1	12.8	4.9	5.1	10.9
Feb	5.50	5.5	5.50	5.50	10.5	0.00	#DIV/0!	#DIV/0!	4.88	5.52	12.5	5.28	6.10	11.0	4.25	4.8	11.0	4.32	4.9	10.5	4.8	5.1	12.2	4.9	5.2	10.9
Mar	5.00	5.4	5.50	5.81	10.5	0.00	#DIV/0!	#DIV/0!	5.35	5.77	11.8	5.54	6.11	10.1	4.32	4.7	11.5	4.34	4.8	10.0	4.4	4.7	12.7	4.6	4.8	10.7
Abr	5.50	5.5	6.00	6.00	10.5	0.00	#DIV/0!	#DIV/0!	4.52	5.48	11.7	4.76	5.57	10.7	4.76	4.9	11.1	4.86	5.0	10.2	4.3	4.6	11.4	4.3	4.7	10.6
May	5.50	5.5	6.00	6.00	10.5	0.00	#DIV/0!	#DIV/0!	5.30	5.59	11.5	6.37	6.46	8.8	5.13	5.4	9.5	5.27	5.5	8.1	4.4	4.5	11.6	4.4	4.5	9.4
Jun	0.00	#DIV/0!	6.00	6.00	9.9	0.00	#DIV/0!	#DIV/0!	5.30	5.59	10.9	6.37	6.46	8.8	5.86	6.0	10.6	6.19	6.2	10.2	7.3	7.3	9.0	7.3	7.3	8.8
Jul	5.50	5.5	6.10	6.10	9.9	0.00	#DIV/0!	#DIV/0!	4.64	4.75	9.0	5.90	5.90	9.4	0.00	#DIV/0!	#DIV/0!	0.00	#DIV/0!	#DIV/0!	6.8	6.8	11.5	0.0	#DIV/0!	#DIV/0!
Ago	5.50	5.5	6.36	6.48	11.1	0.00	#DIV/0!	#DIV/0!	4.86	6.09	11.5	5.64	6.18	10.9	4.68	4.8	12.6	4.87	4.9	10.8	6.8	6.8	10.3	6.8	6.9	7.7
Set	5.50	5.5	4.93	5.22	11.2	5.70	5.73	10.8	0.00	#DIV/0!	#DIV/0!	0.00	#DIV/0!	#DIV/0!	5.17	5.3	13.8	5.52	5.7	10.2	6.4	6.5	12.2	6.5	6.6	10.3
Oct	5.50	5.5	4.82	5.32	11.9	5.46	6.15	11.2	3.92	4.25	11.3	4.07	4.80	9.9	4.35	5.1	12.8	4.45	5.3	10.5	6.3	6.4	11.6	6.3	6.4	10.1
Nov	5.50	5.5	4.52	5.29	11.8	5.05	5.55	9.5	3.32	4.19	11.4	3.48	4.59	10.4	4.52	5.1	12.0	4.88	5.3	10.7	6.1	6.2	12.1	6.1	6.3	11.4
Dic	5.50	5.5	5.08	5.47	13.5	5.50	6.17	13.1	4.64	5.42	11.0	4.77	5.70	10.3	5.62	6.0	12.3	5.89	6.1	11.0	5.8	5.9	12.5	5.9	6.0	10.7

Año 2010			Año 2011			Año 2012			Año 2013			Año 2014												
pH Máximo	pH Promedio	Temp. Promedio	pH Máximo	pH Promedio	Temp. Promedio	pH Máximo	pH Promedio	Temp. Promedio	pH Máximo	pH Promedio	Temp. Promedio	pH Máximo	pH Promedio	Temp. Promedio	pH Máximo	pH Promedio	Temp. Promedio							
6.0	#DIV/0!	#DIV/0!	6.0	#DIV/0!	#DIV/0!	7.6	7.8	#DIV/0!	7.7	7.8	#DIV/0!	7.6	7.7	#DIV/0!	7.4	7.5	#DIV/0!	7.4	7.5	#DIV/0!	7.3	7.3	#DIV/0!	7.3
6.0	#DIV/0!	#DIV/0!	6.0	#DIV/0!	#DIV/0!	7.5	7.7	#DIV/0!	7.5	7.7	#DIV/0!	7.6	7.7	#DIV/0!	7.4	7.4	#DIV/0!	7.4	7.5	#DIV/0!	7.3	7.3	#DIV/0!	7.2
6.0	#DIV/0!	#DIV/0!	6.0	#DIV/0!	#DIV/0!	7.7	7.8	#DIV/0!	7.7	7.8	#DIV/0!	6.0	#DIV/0!	#DIV/0!	7.4	7.5	#DIV/0!	7.4	7.5	#DIV/0!	7.3	7.3	#DIV/0!	7.2
5.8	6.4	#DIV/0!	6.1	6.5	9.8	7.7	7.8	#DIV/0!	7.7	7.7	#DIV/0!	7.1	7.2	#DIV/0!	7.2	7.3	#DIV/0!	7.4	7.4	#DIV/0!	7.4	7.4	#DIV/0!	7.2
6.3	6.3	#DIV/0!	6.4	6.4	#DIV/0!	7.7	7.8	#DIV/0!	7.7	7.8	#DIV/0!	7.4	7.4	#DIV/0!	7.4	7.4	#DIV/0!	7.4	7.5	#DIV/0!	7.4	7.4	#DIV/0!	7.3
7.3	7.9	#DIV/0!	7.8	7.9	#DIV/0!	6.0	#DIV/0!	#DIV/0!	6.0	#DIV/0!	#DIV/0!	6.0	#DIV/0!	#DIV/0!	7.5	7.5	#DIV/0!	7.4	7.4	#DIV/0!	7.3	7.3	#DIV/0!	7.3
6.0	#DIV/0!	#DIV/0!	6.0	#DIV/0!	#DIV/0!	7.3	7.3	#DIV/0!	7.3															
6.0	#DIV/0!	#DIV/0!	7.6	7.6	#DIV/0!	7.6	7.6	#DIV/0!	7.4	7.4	#DIV/0!	7.4	7.4	#DIV/0!	7.3									
6.0	#DIV/0!	#DIV/0!	6.0	#DIV/0!	#DIV/0!	7.6	7.7	#DIV/0!	7.7	7.7	#DIV/0!	7.4	7.4	#DIV/0!	7.4	7.4	#DIV/0!	6.0	#DIV/0!	#DIV/0!	6.0	#DIV/0!	#DIV/0!	7.2
6.0	#DIV/0!	#DIV/0!	6.0	#DIV/0!	#DIV/0!	7.7	7.8	#DIV/0!	7.7	7.8	#DIV/0!	7.4	7.5	#DIV/0!	7.5	7.6	#DIV/0!	7.3	7.4	#DIV/0!	7.3	7.3	#DIV/0!	7.3
7.4	7.7	#DIV/0!	7.5	7.7	#DIV/0!	7.6	7.7	#DIV/0!	7.6	7.7	#DIV/0!	7.4	7.5	#DIV/0!	7.4	7.5	#DIV/0!	7.3	7.3	#DIV/0!	7.3	7.3	#DIV/0!	7.3
7.7	7.8	#DIV/0!	7.7	7.8	#DIV/0!	7.6	7.7	#DIV/0!	7.7	7.7	#DIV/0!	7.4	7.5	#DIV/0!	7.4	7.5	#DIV/0!	7.3	7.4	#DIV/0!	7.3	7.3	#DIV/0!	7.2

Figura 71. Datos de pH – Jauja. Tomado de (SENAMHI)

		2005			Año 2006			Año 2007			Año 2008			Año 2009													
VAL. MÍNIMOS		pH	pH	Temp.	pH	pH	Temp.	pH	pH	Temp.	pH	pH	Temp.	pH	pH	Temp.											
		Máximo	Promedio	Máximo	Promedio	Máximo	Promedio	Máximo	Promedio	Máximo	Promedio	Máximo	Promedio	Máximo	Promedio	Máximo	Promedio										
Ene	4.50	5.3	5.50	5.58				6.00	6.31	14.6	6.00	6.25	11.8	6.88	7.0	14.2	6.90	7.0	13.8	6.0	6.6	10.2	6.0	6.6	10.1		
Feb	5.00	5.3	5.00	5.50				6.00	6.71	13.4	6.00	6.75	12.9	6.86	7.0	9.2	6.88	7.0	9.6	6.0	6.8	10.9	6.0	6.9	10.8		
Mar	5.00	5.5	5.50	6.27				7.00	7.09	12.1	7.00	7.30	11.7	6.46	6.9	11.5	6.91	7.0	11.3	6.0	6.6	12.1	6.0	6.6	20.5		
Abr	5.00	5.4	6.40	6.60				6.40	6.72	13.0	6.40	6.94	12.6	6.96	6.9	14.3	6.96	6.9	13.3	6.0	6.7	10.2	6.0	6.7	10.3		
May	5.50	5.8	S/P	S/P				6.50	6.70	11.3	7.05	7.07	11.2	6.96	7.0	11.5	6.98	7.0	11.5	6.0	6.6	11.4	6.0	6.6	10.2		
Jun	5.50	5.5	7.00	7.00				S/P	S/P			S/P	S/P			6.96	6.9	12.9	6.97	6.9	11.2	0.0	#DIV/0!	#DIV/0!	0.0	#DIV/0!	#DIV/0!
Jul	5.50	5.5	7.00	7.00				7.00	7.10	14.0	7.00	7.09	12.6	0.00	#DIV/0!	#DIV/0!	0.00	#DIV/0!	#DIV/0!	6.0	6.5	12.3	6.0	6.5	10.2		
Ago	S/P	S/P	6.50	6.88	14.8	6.50	6.83	10.3	6.80	6.80	12.2	7.00	7.00	9.4	6.82	6.8	11.0	6.82	6.9	10.7	6.5	6.9	8.5	6.5	6.9	8.6	
Set	6.50	6.5	5.50	6.43	13.0	5.50	6.13	12.0	6.56	6.72	13.2	6.56	6.78	11.5	6.64	6.8	10.1	6.66	6.8	10.5	6.0	6.6	12.0	6.0	6.6	11.4	
Oct	5.50	5.9	5.00	6.20	13.8	6.00	6.00	13.8	6.54	6.87	13.2	6.50	6.82	12.5	6.92	7.0	11.4	6.92	7.0	9.8	6.0	6.9	12.4	6.0	6.9	11.8	
Nov	5.00	5.5	6.00	6.20	11.6	6.00	6.67	9.9	6.70	6.85	13.1	6.80	6.90	12.6	5.50	6.2	11.4	5.50	6.2	10.6	6.0	6.9	12.9	6.0	6.9	12.6	
Dic	6.00	6.1	6.00	6.50	11.7	6.50	6.75	6.2	6.60	6.79	12.5	6.64	6.80	12.1	6.00	6.7	10.6	6.00	6.6	#DIV/0!	6.0	6.9	12.2	6.0	6.9	12.1	

		Año 2010			Año 2011			Año 2012			Año 2013			Año 2014																
VAL. MÍNIMOS		pH	pH	Temp.																										
		Máximo	Promedio	Promedio	Máximo	Promedio																								
Ene	6.5	6.9	11.2	6.5	6.9	11.1	5.0	6.3	9.9	5.0	6.3	10.1	6.0	6.5	10.5	6.0	6.5	10.4	6.0	6.2	11.0	6.0	6.2	10.9	6.0	6.8	11.7	4.0	6.5	11.5
Feb	6.0	6.8	12.3	6.0	6.8	12.1	6.0	6.6	10.8	6.0	6.6	10.9	6.0	6.5	10.1	6.0	6.5	10.4	6.0	6.7	12.1	6.0	6.7	11.2	6.7	6.9	13.6	6.7	6.9	13.5
Mar	6.0	6.7	11.1	6.0	6.7	11.1	5.5	6.5	10.3	5.5	6.5	10.0	6.0	6.6	10.8	6.0	6.6	10.9	5.5	6.2	11.2	5.5	6.2	11.1	6.6	6.8	10.5	6.6	6.8	10.1
Abr	6.0	6.8	12.4	6.0	6.8	12.4	6.0	6.5	9.5	6.0	6.5	9.9	5.0	6.1	10.9	5.5	6.1	10.9	5.5	6.4	10.2	5.5	6.4	9.4	6.2	6.5	9.9	6.2	6.6	9.6
May	0.0	#DIV/0!	#DIV/0!	0.0	#DIV/0!	#DIV/0!	5.5	6.0	10.4	5.5	6.0	9.5	5.5	5.9	9.8	5.5	5.9	9.8	6.0	6.2	9.8	6.0	6.2	10.5	6.4	6.6	9.8	6.4	6.6	9.5
Jun	6.0	6.3	12.3	6.0	6.3	12.2	0.0	#DIV/0!	#DIV/0!	0.0	#DIV/0!	#DIV/0!	6.0	6.2	9.6	6.0	6.2	9.5	6.5	6.8	12.3	6.5	6.8	12.8	0.0	#DIV/0!	#DIV/0!	0.0	#DIV/0!	#DIV/0!
Jul	6.5	6.8	10.3	6.5	6.8	10.1	6.0	6.5	7.7	6.0	6.5	7.8	0.0	#DIV/0!	#DIV/0!	0.0	#DIV/0!	#DIV/0!	7.0	7.0	14.0	7.0	7.0	13.8	6.4	6.8	11.1	6.5	6.8	10.6
Ago	5.0	5.0	9.0	5.0	5.0	9.4	7.0	7.0	12.9	7.0	7.0	12.4	7.0	7.0	11.4	7.0	7.0	11.6	0.0	#DIV/0!	#DIV/0!									
Set	5.0	6.2	10.4	5.0	6.2	10.4	6.0	6.3	10.8	6.0	6.3	10.9	6.0	6.4	9.9	6.0	6.4	9.5	6.5	6.8	13.3	6.5	6.7	13.0	0.0	#DIV/0!	#DIV/0!	0.0	#DIV/0!	#DIV/0!
Oct	5.0	6.4	10.2	5.0	6.4	10.1	6.0	6.5	10.5	6.0	6.5	10.2	6.0	6.5	10.3	6.0	6.5	9.9	6.6	6.9	11.6	6.6	6.9	11.3	0.0	#DIV/0!	#DIV/0!	0.0	#DIV/0!	#DIV/0!
Nov	5.5	6.5	11.1	5.5	6.5	10.8	6.0	6.5	9.5	6.0	6.5	10.0	6.0	6.5	13.6	6.0	6.5	13.3	6.7	6.8	10.9	6.6	6.8	10.7	0.0	#DIV/0!	#DIV/0!	0.0	#DIV/0!	#DIV/0!
Dic	6.0	6.8	10.3	6.0	6.8	10.2	6.5	6.8	13.7	6.5	6.8	13.7	6.0	6.5	11.2	6.0	6.5	11.1	5.9	6.7	13.5	6.0	6.7	12.8	6.7	7.5	11.7	6.7	6.9	12.2

Figura 72. Datos de pH - Santa Ana. Tomado de (SENAMHI)

		2005			Año 2006			Año 2007			Año 2008			Año 2009												
VAL. MÍNIMOS		pH Máximo	Hora de Análisis	pH Promedio	Temp. Promedio	pH Máximo	pH Promedio	Temp. Promedio	pH Máximo	pH Promedio	Temp. Promedio	pH Máximo	pH Promedio	Temp. Promedio	pH Máximo	pH Promedio	Temp. Promedio	pH Máximo	pH Promedio	Temp. Promedio	pH Máximo	pH Promedio	Temp. Promedio			
		Ene	4.50	5.1	5.50	5.9					5.00	5.6	13.6	5.50	5.5	13.0	7.15	7.3	13.4	7.30	7.3	10.9	7.3	7.3	14.1	7.3
Feb	5.50	5.5	5.50	5.8					5.50	5.9	12.7	6.00	6.0	14.8	7.28	7.3	13.4	7.30	7.3	13.1	7.3	7.3	13.4	7.3	7.3	12.8
Mar	5.50	5.5	5.50	5.9					7.15	7.2	14.8	7.15	7.2	13.6	7.28	7.3	12.7	7.25	7.3	12.1	7.3	7.3	13.5	7.3	7.3	13.5
Abr	5.50	5.5	5.50	5.8					7.28	7.3	13.8	7.30	7.3	9.9	0.00	#DIV/0!	#DIV/0!	0.00	#DIV/0!	#DIV/0!	7.2	7.2	13.8	7.3	7.3	13.5
May	S/P	S/P	S/P	S/P					7.28	7.3	13.8	7.30	7.3	9.9	0.00	#DIV/0!	#DIV/0!	0.00	#DIV/0!	#DIV/0!	7.3	7.3	12.2	7.3	7.3	11.9
Jun	S/P	S/P	6.00	6.0					S/P	S/P		S/P	S/P		0.00	#DIV/0!	#DIV/0!	0.00	#DIV/0!	#DIV/0!	0.0	#DIV/0!	#DIV/0!	0.0	#DIV/0!	#DIV/0!
Jul	S/P	S/P	S/P	S/P					S/P	S/P		S/P	S/P		0.00	#DIV/0!	#DIV/0!	0.00	#DIV/0!	#DIV/0!	0.0	#DIV/0!	#DIV/0!	0.0	#DIV/0!	#DIV/0!
Ago	5.50	5.5	5.00	5.4	10.4				S/P	S/P		S/P	S/P		0.00	#DIV/0!	#DIV/0!	0.00	#DIV/0!	#DIV/0!	7.4	7.4	13.8	7.4	7.4	12.0
Set	6.00	6.0	5.00	5.1	14.0	5.50	5.5		7.29	7.3	15.5	7.30	7.3	13.8	7.20	7.2	11.4	7.25	7.3	10.4	7.4	7.4	13.8	0.0	#DIV/0!	#DIV/0!
Oct	5.00	5.4	5.50	5.9	14.4	5.50	5.9		7.29	7.3	13.1	7.30	7.3	11.0	7.25	7.3	12.8	7.25	7.3	10.0	7.3	7.3	15.0	7.3	7.3	14.5
Nov	5.50	5.6	5.50	5.8	12.5	5.50	5.8	15.0	7.35	7.4	14.0	7.40	7.4	15.0	7.30	7.3	14.0	7.30	7.3	12.5	7.3	7.3	14.5	7.3	7.3	13.7
Dic	6.00	6.0	5.50	5.8	12.0	5.50	5.7	14.2	7.28	7.3	13.3	7.30	7.3	10.0	7.30	7.3	14.1	7.30	7.3	12.9	7.3	7.3	13.2	7.3	7.3	13.3

		Año 2010			Año 2011			Año 2012			Año 2013			Año 2014															
VAL. MÍNIMOS		pH Promedio	Temp. Promedio	pH Máxima	pH Promedio	Temp. Promedio	pH Máxima	pH Promedio	Temp. Promedio	pH Máxima	pH Promedio	Temp. Promedio	pH Máxima	pH Promedio	Temp. Promedio	pH Máxima	pH Promedio	Temp. Promedio	pH Máxima	pH Promedio	Temp. Promedio	pH Máxima	pH Promedio	Temp. Promedio					
		Ene	7.3	13.5	7.3	7.3	13.6	7.3	7.3	12.2	7.3	7.3	11.3	7.3	7.3	12.8	7.3	7.3	12.2	7.3	7.3	12.53	7.3	7.3	12.18	7.1	7.2	#DIV/0!	7.1
Feb	7.3	14.2	7.3	7.3	13.3	0.0	#DIV/0!	#DIV/0!	0.0	#DIV/0!	#DIV/0!	6.4	7.0	13.2	7.0	7.1	12.1	7.0	7.2	13.40	7.0	7.3	12.57	7.1	7.2	12.3	7.2	7.3	16.0
Mar	7.3	16.4	7.3	7.3	15.0	7.2	7.3	14.1	7.3	7.3	12.8	6.0	6.6	12.3	6.0	6.4	11.5	7.3	7.4	13.44	7.3	7.3	13.85	7.1	7.2	12.2	7.1	7.2	11.9
Abr	7.3	13.3	7.3	7.3	11.3	7.3	7.3	13.7	7.3	7.3	12.0	7.2	7.3	13.0	7.2	7.3	12.4	7.4	7.4	13.90	7.3	7.3	11.80	7.2	7.2	12.4	7.2	7.3	11.5
May	#DIV/0!	#DIV/0!	0.0	#DIV/0!	#DIV/0!	7.3	7.3	12.4	7.3	7.3	11.5	7.3	7.3	13.0	7.3	7.3	12.1	7.2	7.3	13.27	0.0	#DIV/0!	#DIV/0!	7.2	7.3	13.6	7.2	7.2	12.5
Jun	7.3	12.0	7.4	7.4	10.7	0.0	#DIV/0!	#DIV/0!	0.0	#DIV/0!	#DIV/0!	7.4	7.4	16.3	7.3	7.3	16.1	6.1	6.3	11.10	7.0	7.0	10.10	0.0	#DIV/0!	#DIV/0!	0.0	#DIV/0!	#DIV/0!
Jul	#DIV/0!	#DIV/0!	0.0	#DIV/0!	#DIV/0!	0.0	#DIV/0!	#DIV/0!	0.0	#DIV/0!	#DIV/0!	7.3	7.3	10.4	7.3	7.3	10.5	6.3	6.3	11.20	7.0	7.0	10.30	0.0	#DIV/0!	#DIV/0!	0.0	#DIV/0!	#DIV/0!
Ago	7.4	13.1	0.0	#DIV/0!	#DIV/0!	0.0	#DIV/0!	#DIV/0!	0.0	#DIV/0!	#DIV/0!	7.4	7.4	10.8	7.4	7.4	9.2	7.2	7.3	9.85	7.4	7.4	6.50	0.0	#DIV/0!	#DIV/0!	0.0	#DIV/0!	#DIV/0!
Set	7.4	16.0	7.4	7.4	12.8	7.3	7.3	13.0	7.3	7.3	13.6	7.3	7.3	12.7	7.3	7.3	12.2	6.0	6.8	11.80	6.0	6.6	10.45	0.0	#DIV/0!	#DIV/0!	0.0	#DIV/0!	#DIV/0!
Oct	7.3	13.0	7.3	7.3	12.2	0.0	#DIV/0!	#DIV/0!	0.0	#DIV/0!	#DIV/0!	7.3	7.4	13.3	7.4	7.4	13.3	7.0	7.2	12.44	7.3	7.3	12.15	0.0	#DIV/0!	#DIV/0!	0.0	#DIV/0!	#DIV/0!
Nov	7.4	14.5	7.3	7.3	12.3	7.3	7.3	13.2	7.3	7.3	12.4	6.3	6.3	15.5	6.4	7.0	14.4	7.2	7.3	12.13	7.3	7.3	12.40	0.0	#DIV/0!	#DIV/0!	0.0	#DIV/0!	#DIV/0!
Dic	7.4	10.5	7.3	7.3	9.3	7.1	7.2	11.7	7.1	7.2	11.5	7.3	7.3	14.4	7.3	7.3	14.0	6.0	6.3	10.33	6.5	6.3	10.35	7.1	7.2	12.3	7.2	7.2	12.5

Figura 73. Datos de pH – Viques. Tomado de (SENAMHI)

Anexo N° 5

PH													
Año	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	setiembre	octubre	noviembre	diciembre	Prom anual
2005	5.4	5.5	5.4	5.5	5.5		5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.48
2006	5.5	5.5	5.8	6.0	6.0	6.0	6.1	6.5	5.2	5.9	5.3	5.5	5.77
2007	4.7	5.5	5.8	5.5	5.6	5.6	4.8	6.1		4.3	4.2	5.4	5.21
2008	4.5	4.8	4.7	4.9	5.4	6.0		4.8	5.3	5.1	5.1	6.0	5.15
2009	5.1	5.1	4.7	4.6	4.5	7.3	6.8	6.8	6.5	6.4	6.2	5.9	5.83
2010				6.4	6.3	7.9					7.7	7.8	7.22
2011	7.8	7.7	7.8	7.8	7.8				7.7	7.8	7.7	7.7	7.76
2012	7.7	7.7		7.2	7.4			7.6	7.4	7.5	7.5	7.5	7.50
2013	7.5	7.4	7.5	7.4	7.4	7.5		7.4		7.4	7.3	7.4	7.42
2014	7.3	7.3	7.3	7.3	7.4	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.31
Prom mensual	6.17	6.28	6.12	6.26	6.33	6.80	6.09	6.50	6.42	6.35	6.38	6.60	

Precipitación													
Año	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	setiembre	octubre	noviembre	diciembre	Prom anual
2005	68.4	122.2	89.8	27.5	17.3	0.0	0.7	14.9	15.4	93.2	136.1	103.1	57.38
2006	105.3	98.1	114.6	43.2	8.0	19.9	23.9	3.9	17.0	48.1	50.2	140.1	56.03
2007	221.2	76.2	169.4	50.1	17.4	0.0	4.6	1.4	12.5	66.3	63.3	76.2	63.22
2008	112.7	100.5	63.3	11.3	13.3	6.4	0.6	4.2	28.0	64.2	31.4	72.8	42.39
2009	95.7	76.0	115.1	89.4	47.2	3.8	2.6	15.4	8.6	55.4	122.8	149.9	65.16
2010	130.5	96.1	59.0	52.7	6.2	2.2	0.5	0.6	27.9	72.6	51.8	106.9	50.58
2011	113.8	162.4	170.8	51.8	14.2	0.0	0.5	2.3	16.0	65.7	77.8	140.7	68.00
2012	98.4	110.2	62.4	89.0	24.6	3.2	0.4	4.4	45.2	52.3	91.4	131.8	59.44
2013	161.1	155.2	89.8	22.8	13.7	3.4	2.5	21.5	5.8	68.7	73.4	87.5	58.78
2014	82.4	98.5	117.8	42.0	24.5	4.8	11.9	0.9	30.6	28.2	72.2	92.6	50.53
Prom mensual	118.95	109.54	105.20	47.98	18.64	4.37	4.82	6.95	20.70	61.47	77.04	110.16	

Figura 74. Ficha de registro de datos de pH y precipitación – Jauja. Elaboración propia

PH													
Año	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	setiembre	octubre	noviembre	diciembre	Prom anual
2005	5.4	6.3	4.4	3.9	4.8		4.0	4.0	4.3	6.3	6.1	6.3	5.1
2006	6.4	6.3	6.8	6.9	6.9	6.9	7.3	6.3	5.6	5.6	6.6	6.3	6.5
2007	6.5	6.4	6.5	6.3	6.6	6.6		7.3	6.9	6.6	6.8	6.7	6.6
2008	6.2	6.4	7.0	6.6	6.6	7.0	7.0	7.2	6.1	6.1	6.8	6.5	6.6
2009	6.2		6.3	6.3	6.6	6.5		6.6	6.1		6.0	5.7	6.3
2010	5.6	5.7	5.7	5.9	5.9	6.1	6.7		6.4	6.3	6.2	5.6	6.0
2011	5.5	5.3	5.6	6.0	6.1		6.7	6.9	5.9		5.5	5.1	5.9
2012	5.2	5.2	5.1	5.3	6.0	6.1	7.2	7.1	5.8	5.6	5.3	5.4	5.8
2013	5.4	5.2	5.2	6.0	6.7	6.8	7.4	6.8	6.5	6.5	6.4	6.0	6.2
2014	5.9	5.9	5.9	5.8	5.7	5.8	6.4	6.8	6.0	5.8	5.7	5.7	6.0
Prom mensual	5.83	5.86	5.85	5.89	6.18	6.47	6.59	6.55	5.96	6.10	6.14	5.92	
Precipitación													
Año	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	setiembre	octubre	noviembre	diciembre	Prom anual
2005	52.1	73.4	74.3	26.5	14.0	0.6	6.3	5.8	19.3	116.7	61.1	72.1	43.52
2006	158.3	73.4	80.9	19.4	2.3	5.0	31.9	7.9	52.3	50.7	51.2	86.6	51.66
2007	97.4	36.3	139.8	55.6	13.0	0.0	2.6	2.2	15.9	64.4	50.6	77.8	46.30
2008	105.1	62.3	50.7	24.5	3.8	11.8	6.4	18.9	40.1	70.1	32.3	67.9	41.16
2009	92.5	90.2	131.0	62.9	16.4	9.7	7.4	32.1	26.4	40.1	114.6	111.7	61.25
2010	173.6	86.3	108.3	41.3	1.1	6.4	4.8	1.0	6.7	48.8	25.4	100.2	50.33
2011	157.3	231.8	111.8	72.9	19.3	0.0	3.6	1.9	68.6	48.7	71.3	124.9	76.01
2012	77.6	145.3		87.7	19.3	14.3	0.4	0.0	32.0	31.8	73.6	132.9	55.90
2013	149.2	144.6	58.7	45.5	8.5	9.0	1.8	30.2	51.5	24.8	37.9	50.3	51.00
2014	128.3	71.8	125.6	40.4	71.1	8.5	15.4	1.4	50.8	31.0	64.3	93.0	58.47
Prom mensual	119.14	101.544	97.9	47.67	16.88	6.53	8.06	10.14	36.355	52.71	58.23	91.74	

Figura 75. Ficha de registro de datos de pH y precipitación – Huayao. Elaboración propia

PH													
Año	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	setiembre	octubre	noviembre	diciembre	Prom anual
2005	5.1	5.5	5.5	5.5				5.5	6.0	5.4	5.6	6.0	5.6
2006	5.9	5.8	5.9	5.8		6.0		5.4	5.3	5.9	5.8	5.7	5.7
2007	5.5	5.9	7.2	7.3	7.3				7.3	7.3	7.4	7.3	6.9
2008	7.3	7.3	7.3						7.3	7.3	7.3	7.3	7.3
2009	7.3	7.3	7.3	7.2	7.3			7.4	7.4	7.3	7.3	7.3	7.3
2010	7.3	7.3	7.3	7.3		7.3		7.4	7.4	7.3	7.4	7.4	7.4
2011	7.3		7.3	7.3	7.3				7.3		7.3	7.2	7.3
2012	7.3	7.0	6.6	7.3	7.3	7.4	7.3	7.4	7.3	7.4	6.9	7.3	7.2
2013	7.4	7.2	7.4	7.4	7.3	6.5	6.7	7.3	6.8	7.2	7.3	6.9	7.1
2014	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3							7.2	7.3
Prom mensual	6.77	6.75	6.91	6.93	7.28	6.80	7.01	6.72	6.89	6.90	6.93	6.97	
Precipitación													
Año	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	setiembre	octubre	noviembre	diciembre	Prom anual
2005	54.1	74.2	61.8	21.2	11.9	0.0	0.0	17.5	32.4	108.0	51.1	80.6	42.7
2006	131.7	81.0	87.8	34.8	0.0	4.4	0.0	27.7	21.6	51.8	39.9	110.3	49.3
2007	84.1	42.1	108.1	25.1	0.0	0.0	9.2	0.0	23.4	31.2	37.2	35.0	33.0
2008	123.8	109.2	69.1	0.0	2.1	9.6	0.0	0.0	38.0	78.4	52.8	104.8	49.0
2009	87.8	57.5	114.7	39.9	22.1	0.0	5.8	21.4	9.9	59.0	83.1	171.8	56.1
2010	149.0	89.5	103.5	38.0	0.0	22.1	0.0	6.8	15.4	28.8	59.2	188.6	58.4
2011	202.6	298.8	180.7	96.7	17.3	0.0	8.4	11.0	69.4	53.4	56.0	128.6	93.6
2012	115.5	153.4	92.1	122.1	20.2	19.7	5.6	6.2	55.7	42.9	42.2	144.3	68.3
2013	110.4	152.4	77.8	9.0	18.3	15.2	5.8	23.5	40.2	50.5	22.4	189.1	59.6
2014	173.4	134.5	160.8	55.6	31.3	16.3	2.0	3.1	63.3	74.6	73.1	124.5	76.0
Prom mensual	123.24	119.26	105.64	44.24	12.32	8.73	3.68	11.72	36.93	57.86	51.70	127.76	

Figura 76. Ficha de registro de datos de pH y precipitación – Viques. Elaboración propia

PH													
Año	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	setiembre	octubre	noviembre	diciembre	Prom anual
2005	5.3	5.3	5.5	5.4	5.8	5.5	5.5		6.5	5.9	5.5	6.1	5.7
2006	5.6	5.5	6.3	6.6		7.0	7.0	6.9	6.5	6.2	6.3	6.5	6.4
2007	6.3	6.7	7.2	6.8	6.9		7.1	6.9	6.8				6.8
2008	7.0	7.0	6.9	6.9	7.0	6.9		6.8	6.8	7.0	6.2	6.7	6.8
2009	6.6	6.8	6.6	6.7	6.6		6.5	6.9	6.6	6.9	6.9	6.9	6.7
2010	6.9	6.8	6.7	6.8		6.3	6.8	5.0	6.2	6.4	6.5	6.8	6.5
2011	6.3	6.6	6.5	6.5	6.0		6.5	7.0	6.3	6.5	6.5	6.8	6.5
2012	6.5	6.5	6.6	6.1	5.9	6.2		7.0	6.4	6.5	6.5	6.5	6.4
2013	6.2	6.7	6.2	6.4	6.2	6.8	7.0		6.7	6.9	6.8	6.7	6.6
2014	6.6	6.9	6.8	6.5	6.6		6.8					7.2	6.8
Prom mensual	6.33	6.49	6.53	6.46	6.37	6.45	6.63	6.64	6.53	6.53	6.40	6.68	

Precipitación													
Año	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	setiembre	octubre	noviembre	diciembre	Prom anual
2005	50.8	120.8	87.5	26.8	5.2	12.0	3.5	0.4	12.8	132.8	60.0	134.7	53.9
2006	178.3	91.0	91.7	28.5	1.4	6.4	5.1	12.1	41.4	57.6	73.2	143.3	60.8
2007	104.0	75.5	150.7	37.2	13.7	0.0	6.5	13.6	20.8	56.9	60.3	74.5	51.1
2008	116.0	94.5	46.3	24.7	11.0	11.1	0.0	6.2	6.2	117.4	48.9	97.5	48.3
2009	94.7	102.8	120.9	84.2	38.4	1.8	7.6	22.6	41.9	48.4	129.1	133.2	68.8
2010	142.9	151.0	84.1	26.9	0.7	3.1	19.4	6.9	7.0	68.7	49.8	122.4	56.9
2011	205.7	271.0	139.2	79.1	11.5	0.0	9.8	4.7	79.9	73.4	79.9	140.7	91.2
2012	108.4	133.6	75.8	126.7	29.5	28.0	0.0	1.5	37.1	58.0	61.8	184.5	70.4
2013	160.0	135.4	85.9	49.6	11.1	5.0	3.7	32.0	38.7	58.3	38.0	131.0	62.4
2014	161.0	99.5	179.7	87.3	32.1	0.3	4.2	32.1	83.4	34.6	103.1	100.7	76.5
Prom mensual	132.18	127.51	106.184	57.1	15.46	6.77	5.98	13.21	36.92	70.61	70.41	126.25	

Figura 77. Ficha de registro de datos de pH y precipitación - Santa Ana. Elaboración propia

Anexo N° 6

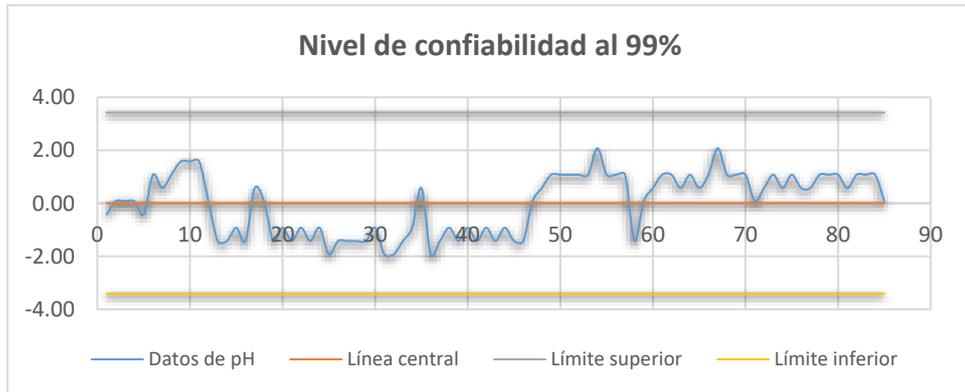


Figura 78. Control de calidad de datos - Huayao 2005

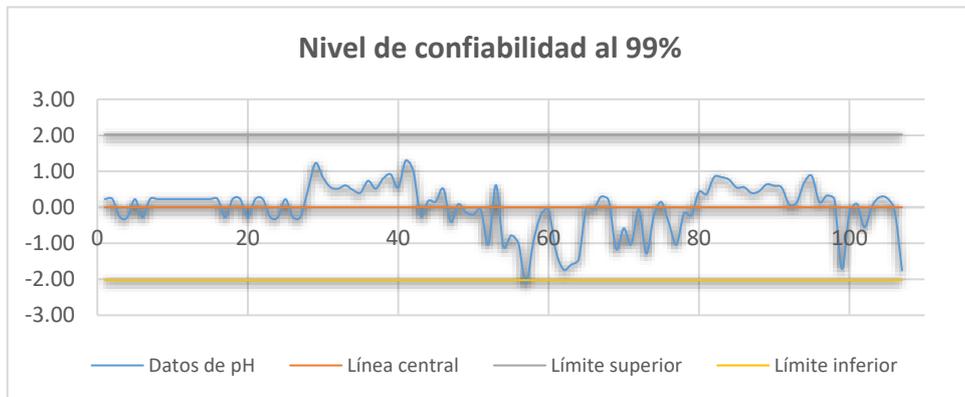


Figura 79. Control de calidad de datos - Huayao 2006

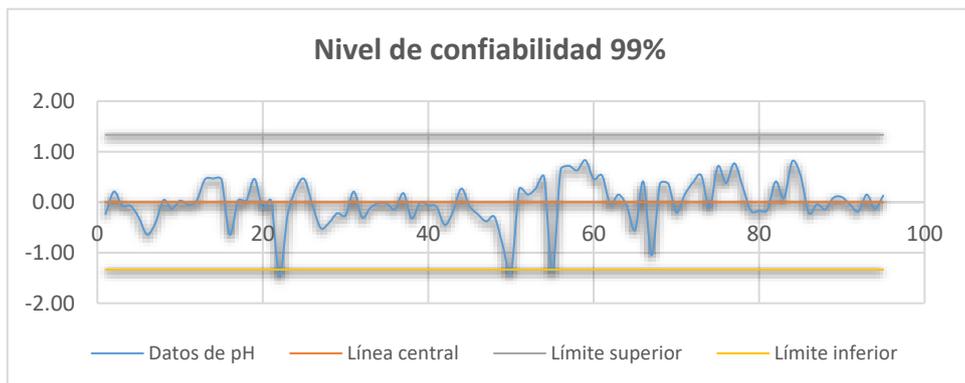


Figura 80. Control de calidad de datos - Huayao 2007

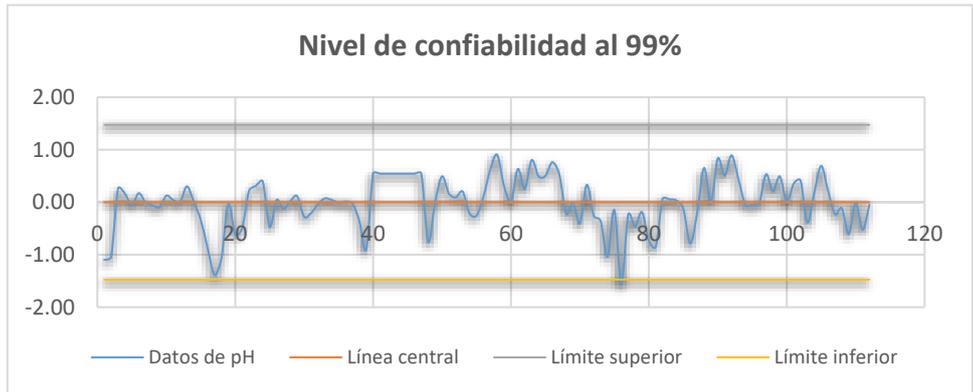


Figura 81. Control de calidad de datos - Huayao 2008

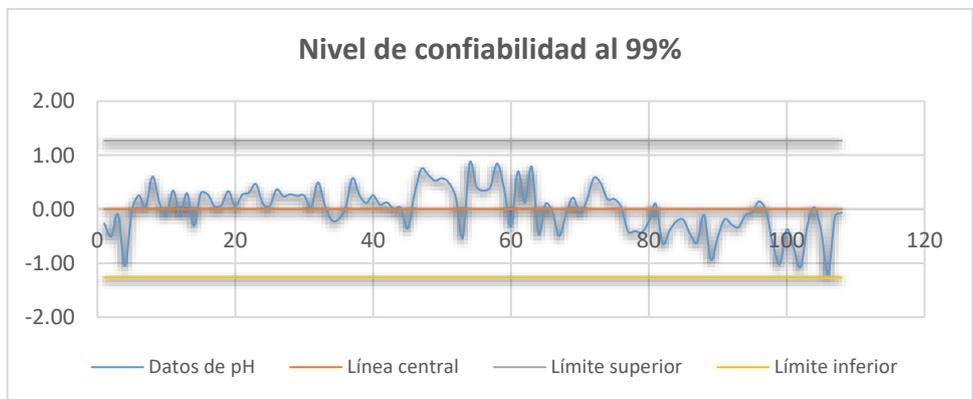


Figura 82. Control de calidad de datos - Huayao 2009

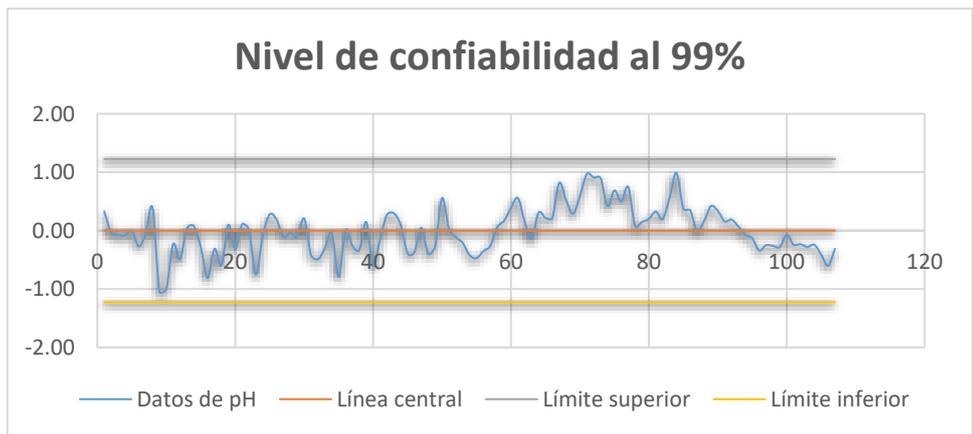


Figura 83. Control de calidad de datos - Huayao 2010

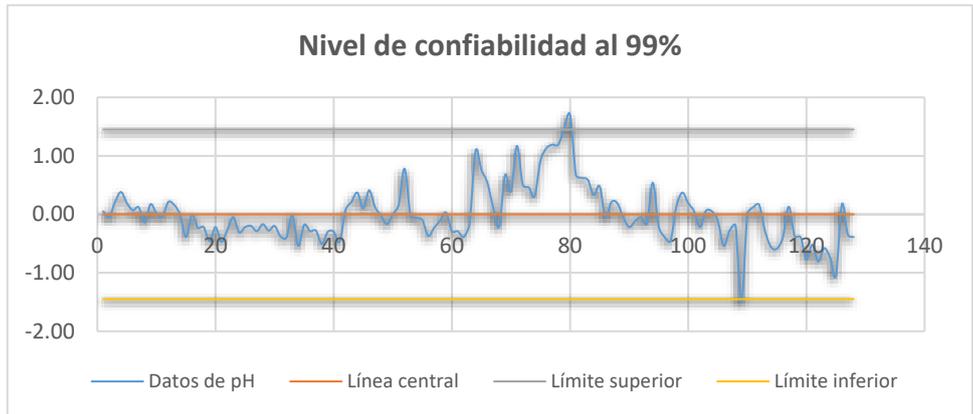


Figura 84. Control de calidad de datos - Huayao 2011

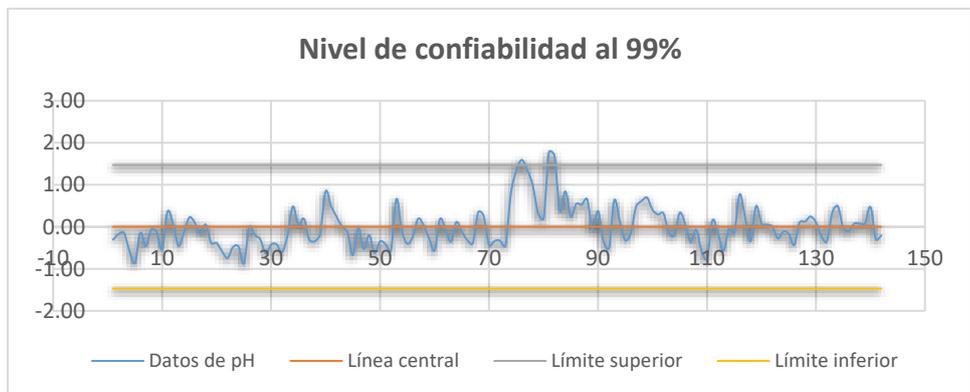


Figura 85. Control de calidad de datos - Huayao 2012

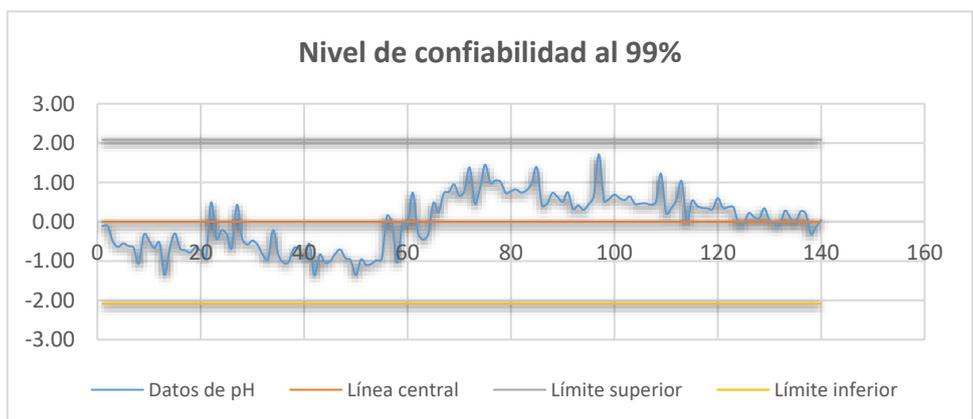


Figura 86. Control de calidad de datos - Huayao 2013

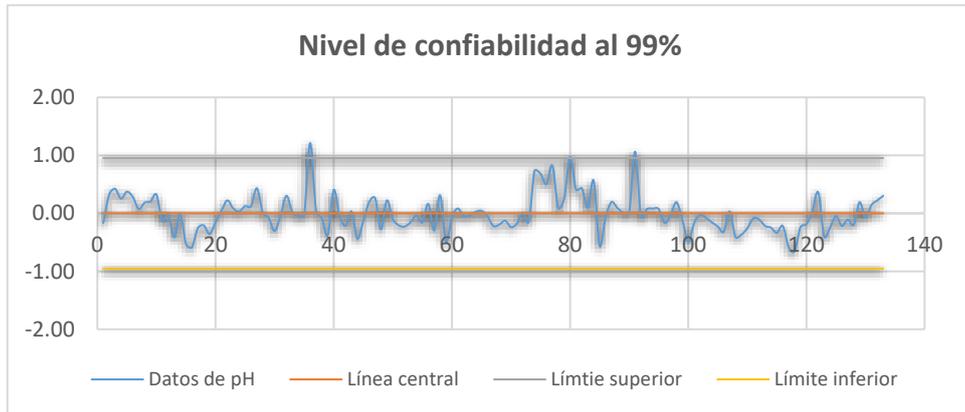


Figura 87. Control de calidad de datos - Huayao 2014

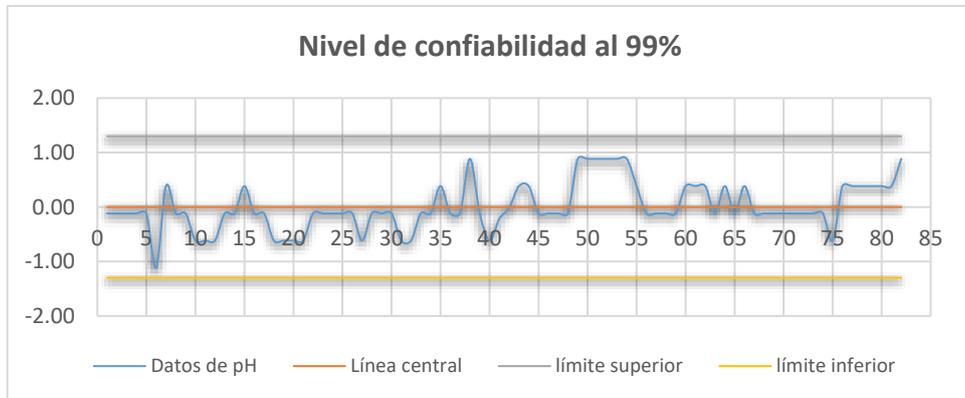


Figura 88. Control de calidad de datos - Santa Ana 2005

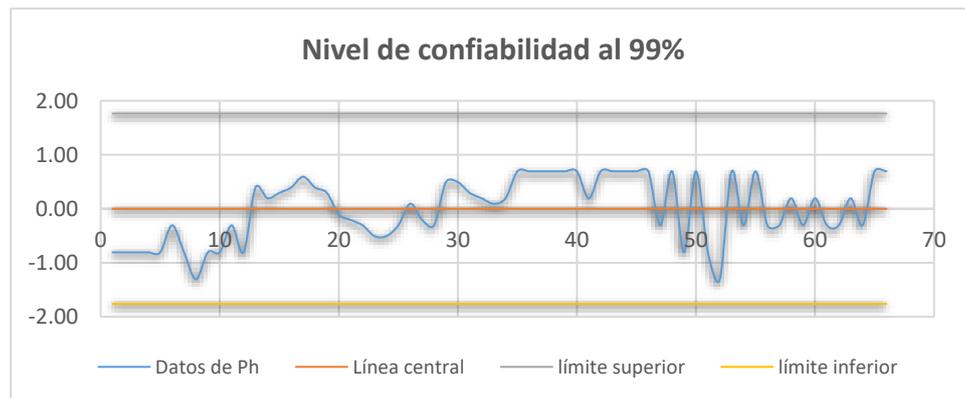


Figura 89. Control de calidad de datos - Santa Ana 2006

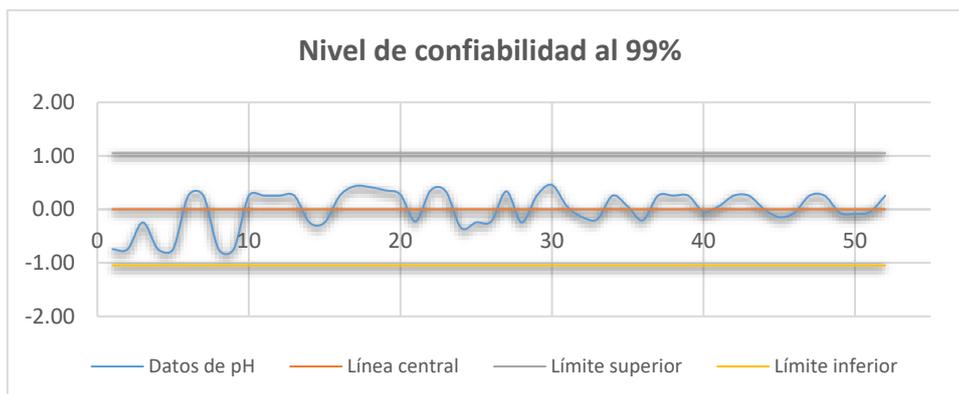


Figura 90. Control de calidad de datos - Santa Ana 2007

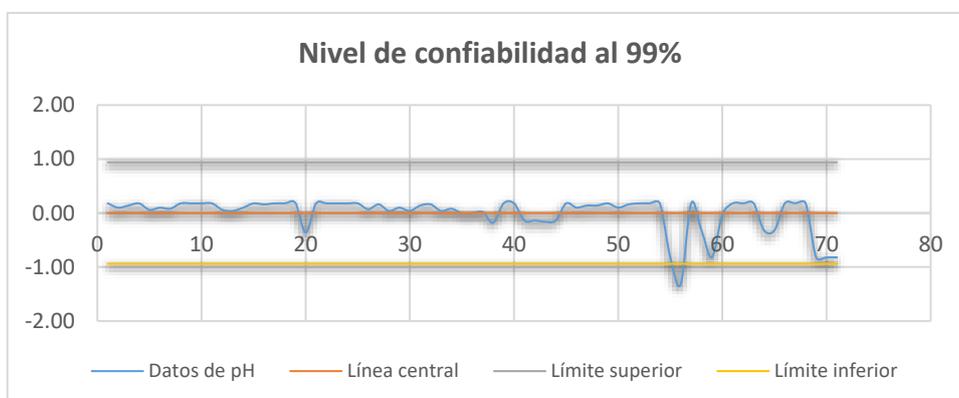


Figura 91. Control de calidad de datos - Santa Ana 2008

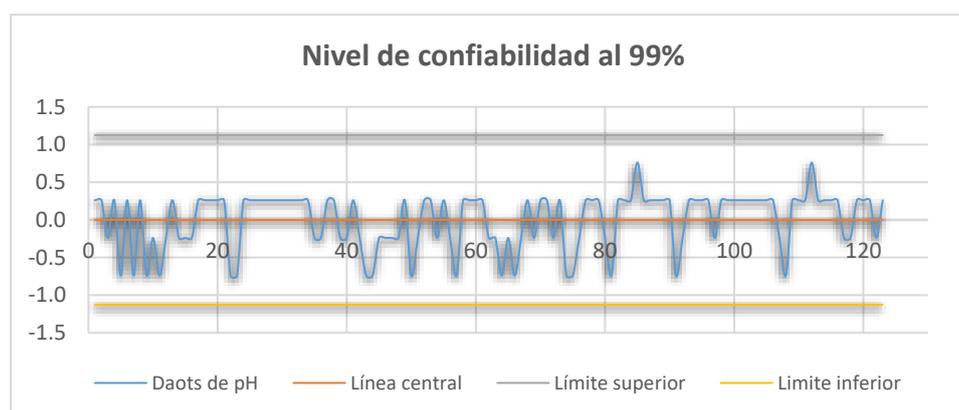


Figura 92. Control de calidad de datos - Santa Ana 2009

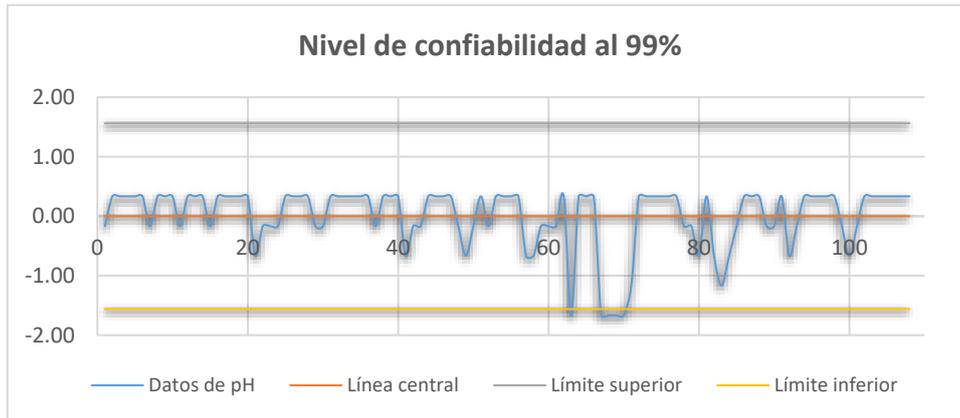


Figura 93. Control de calidad de datos - Santa Ana 2010

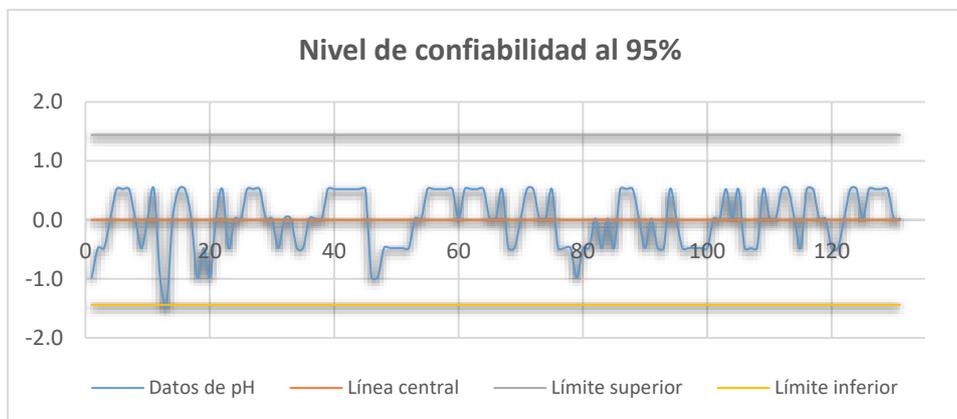


Figura 94. Control de calidad de datos - Santa Ana 2011

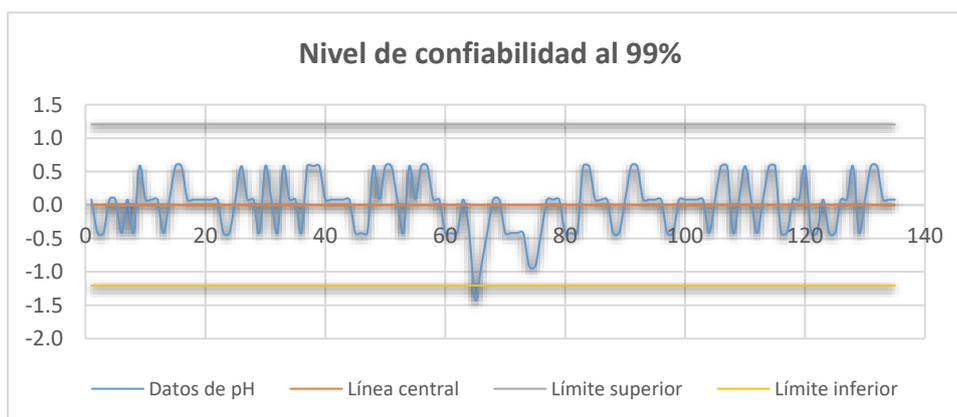


Figura 95. Control de calidad de datos - Santa Ana 2012

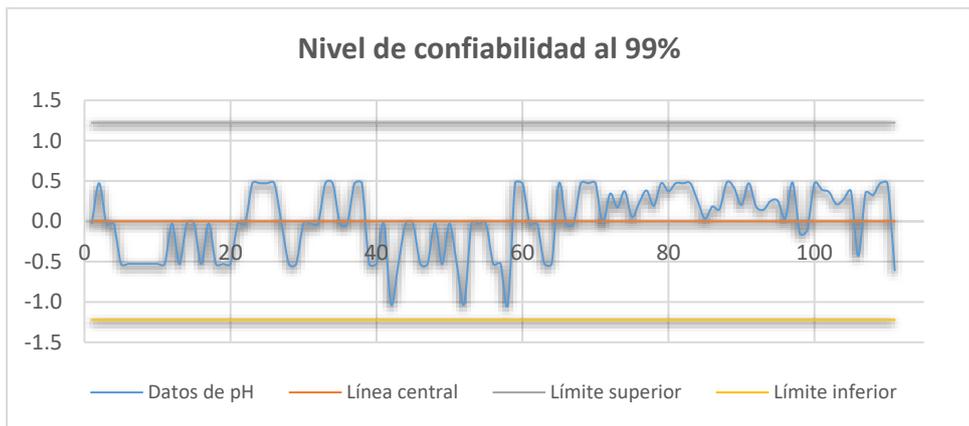


Figura 96. Control de calidad de datos - Santa Ana 2013

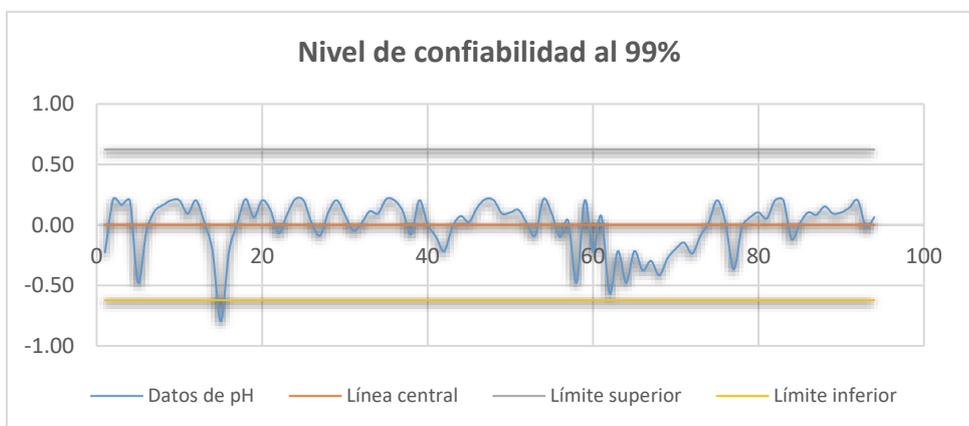


Figura 97. Control de calidad de datos - Santa Ana 2014

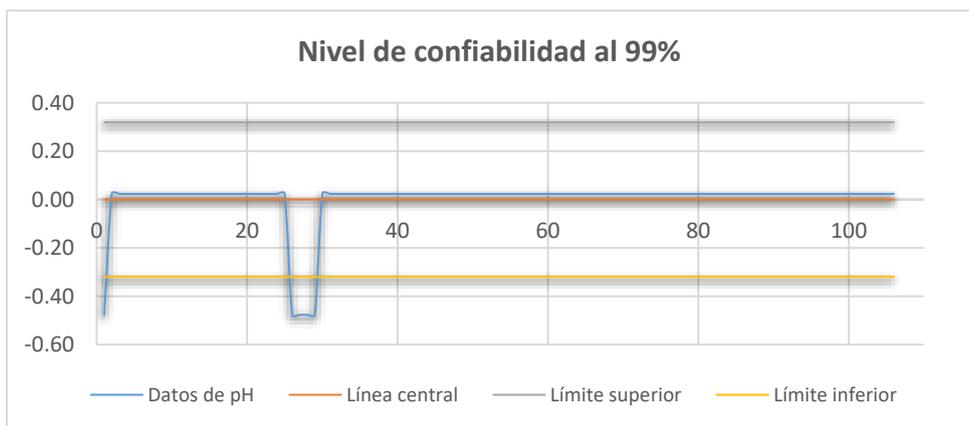


Figura 98. Control de calidad de datos - Jauja 2005

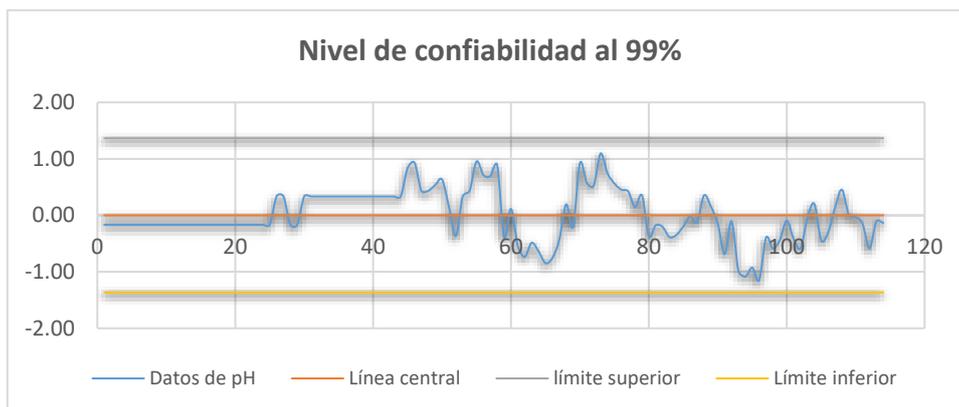


Figura 99. Control de calidad de datos - Jauja 2006

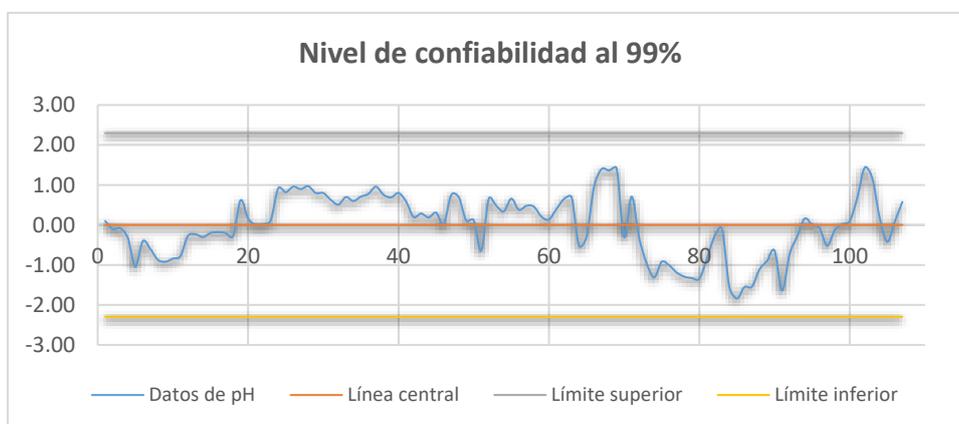


Figura 100. Control de calidad de datos - Jauja 2007

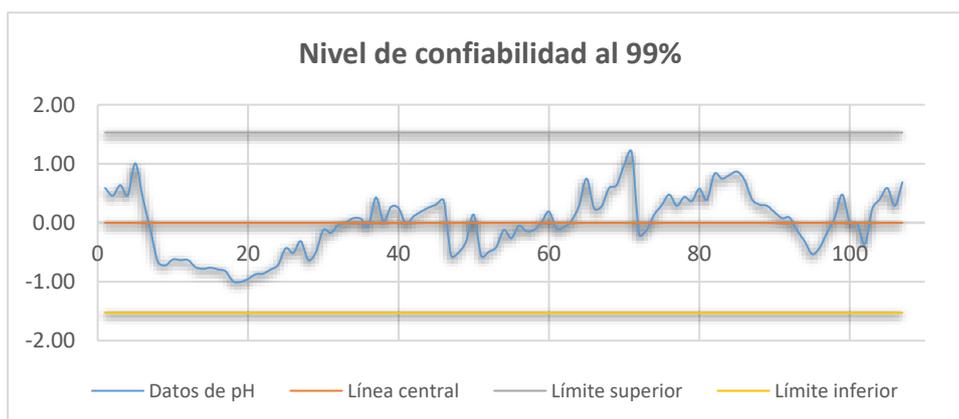


Figura 101. Control de calidad de datos - Jauja 2008

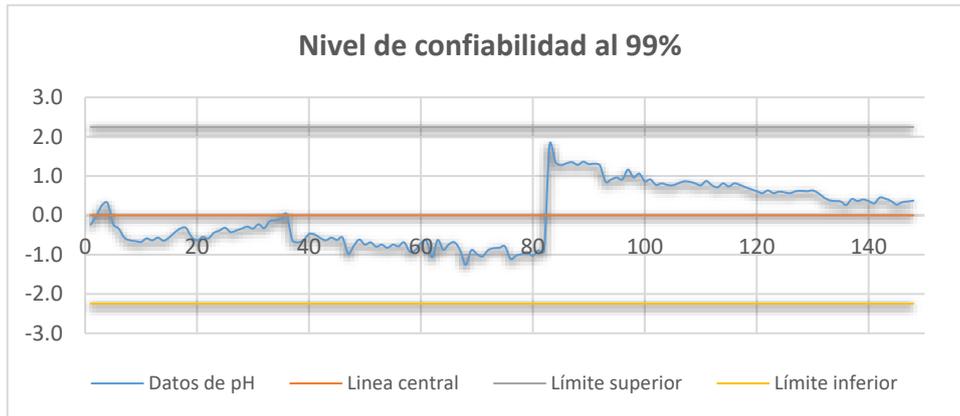


Figura 102. Control de calidad de datos - Jauja 2009

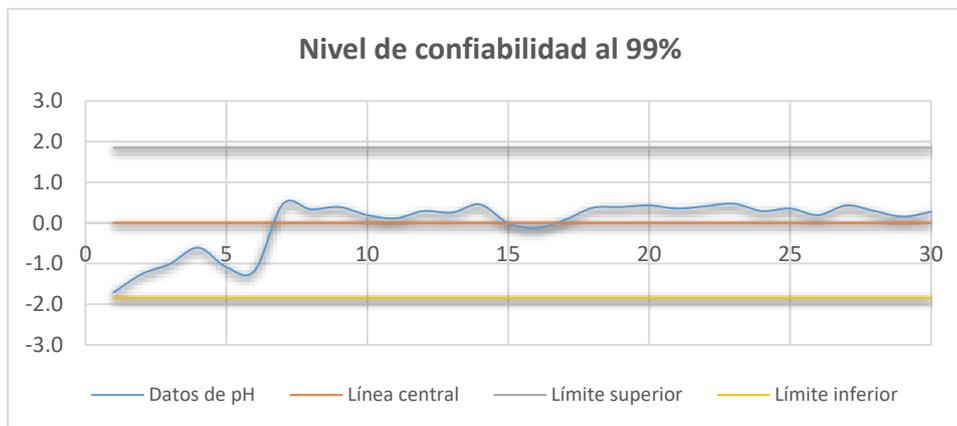


Figura 103. Control de calidad de datos - Jauja 2010

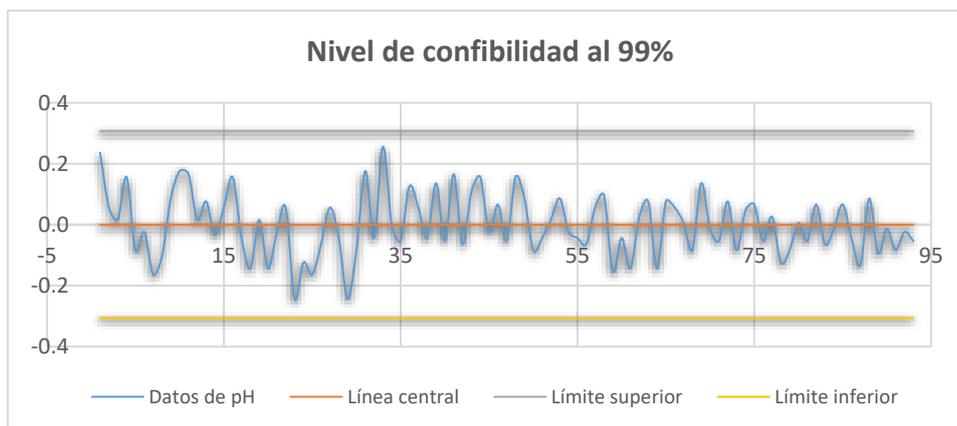


Figura 104. Control de calidad de datos - Jauja 2011

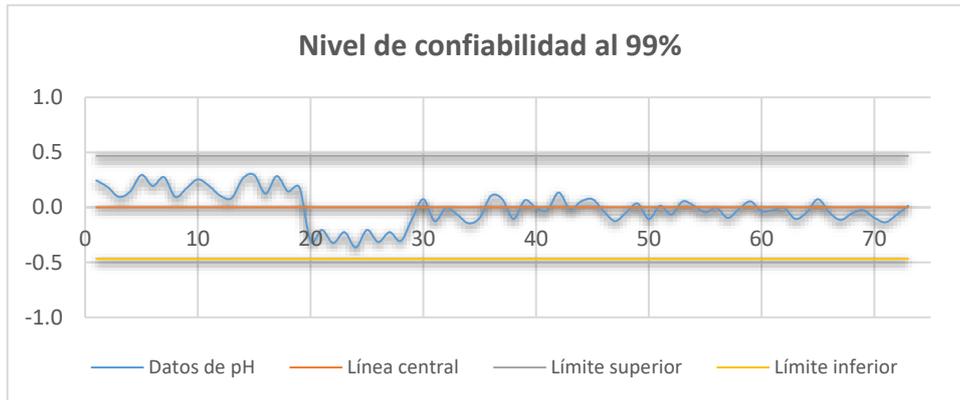


Figura 105. Control de calidad de datos - Jauja 2012

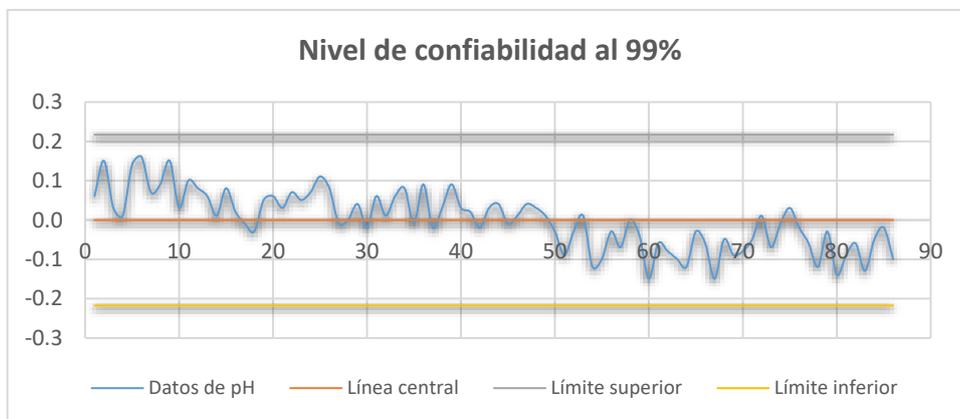


Figura 106. Control de calidad de datos - Jauja 2013

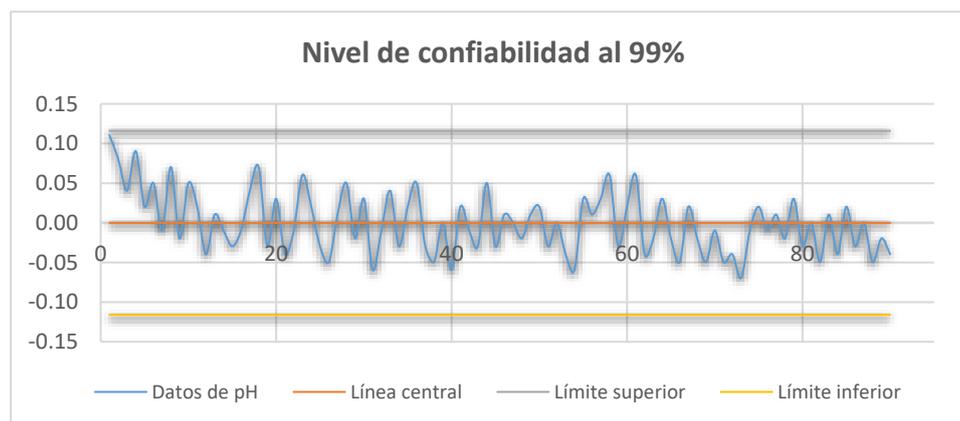


Figura 107. Control de calidad de datos - Jauja 2014

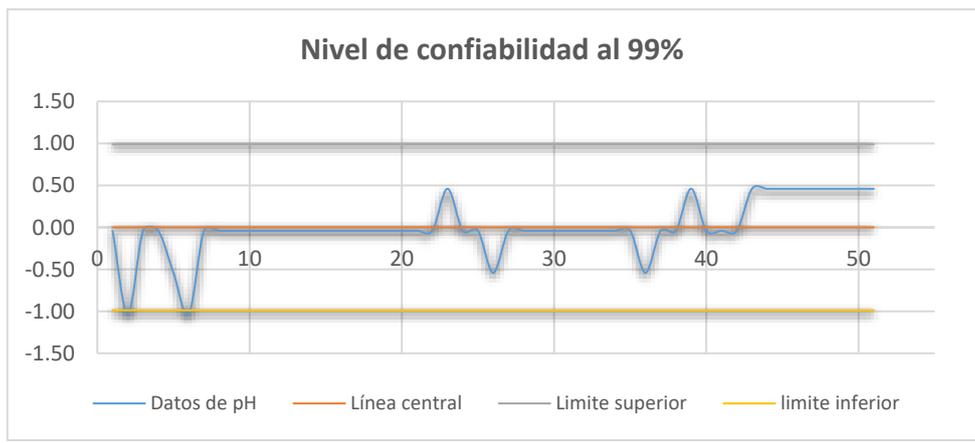


Figura 108. Control de calidad de datos - Viques 2005

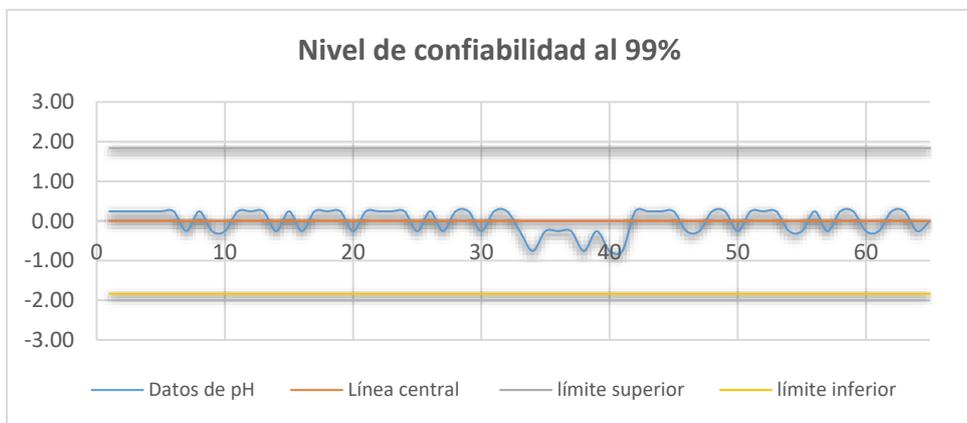


Figura 109. Control de calidad de datos - Viques 2006

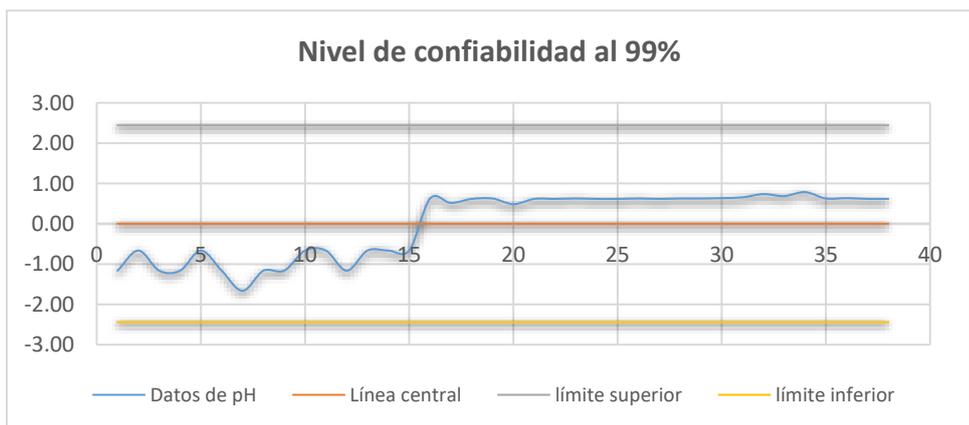


Figura 110. Control de calidad de datos - Viques 2007

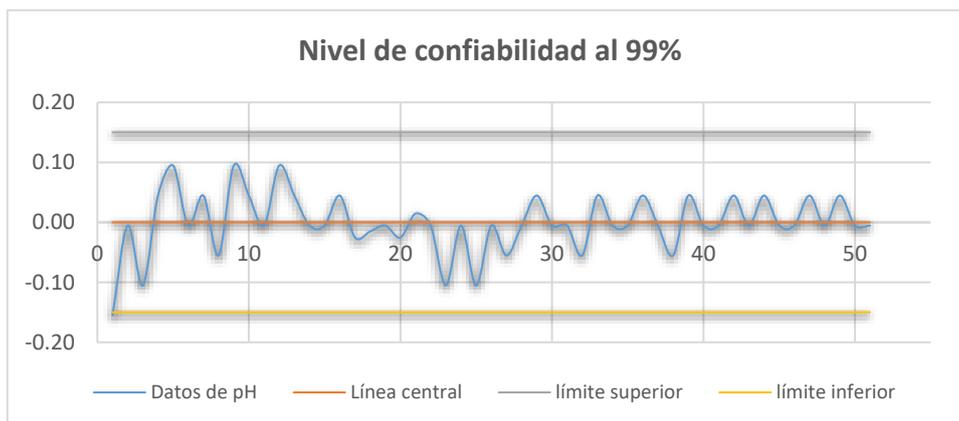


Figura 111. Control de calidad de datos - Viques 2008

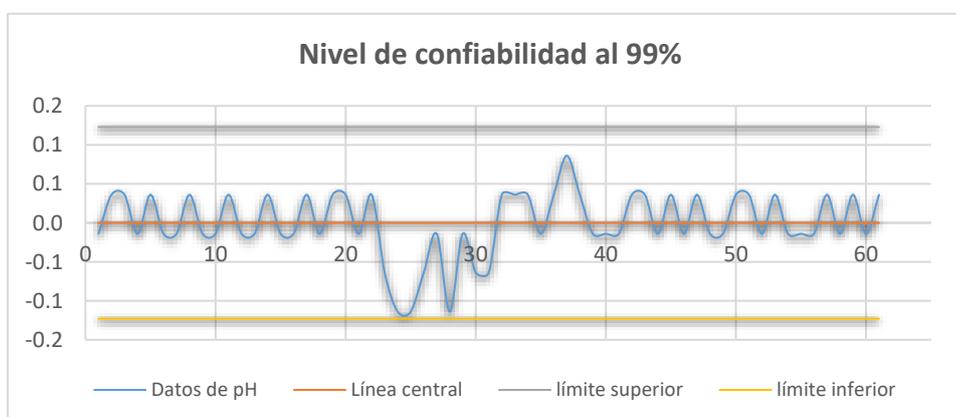


Figura 112. Control de calidad de datos - Viques 2009

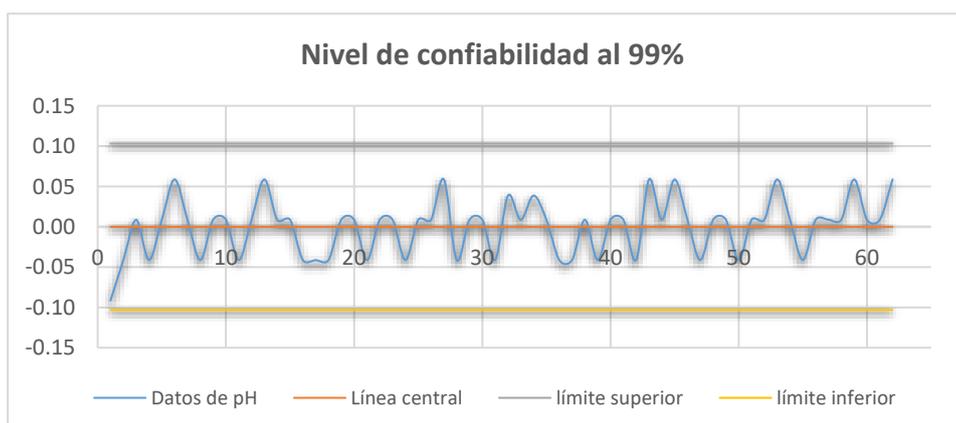


Figura 113. Control de calidad de datos - Viques 2010

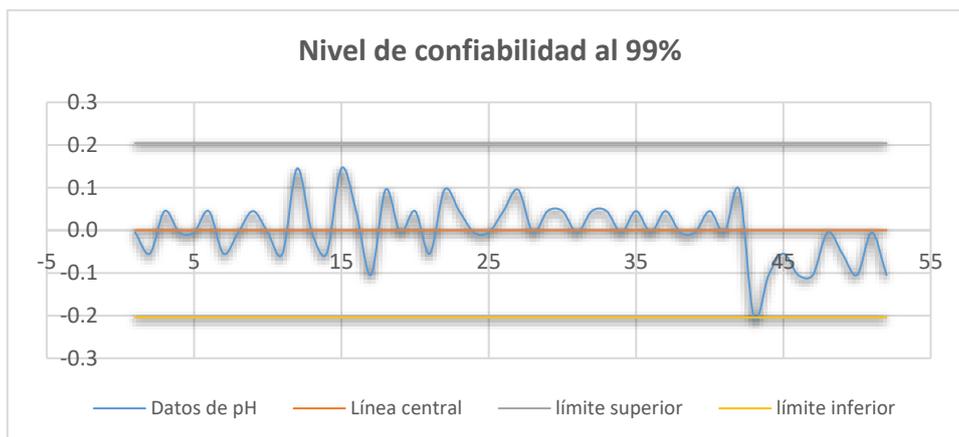


Figura 114. Control de calidad de datos - Viques 2011

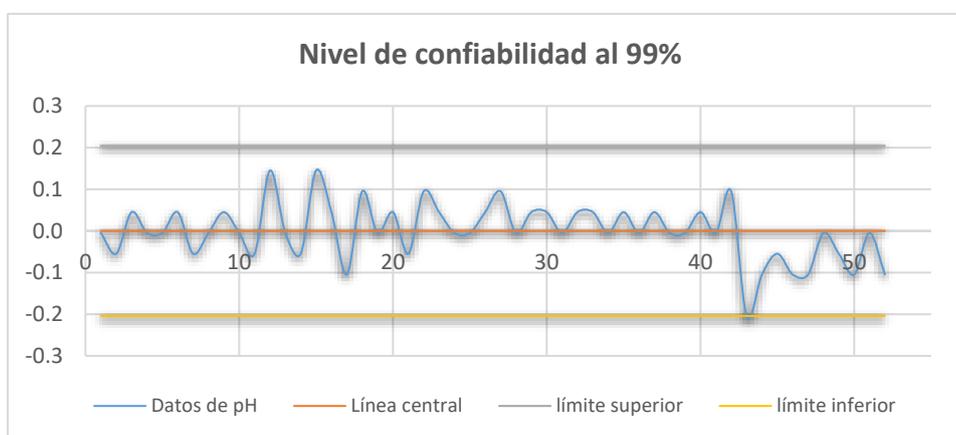


Figura 115. Control de calidad de datos - Viques 2012

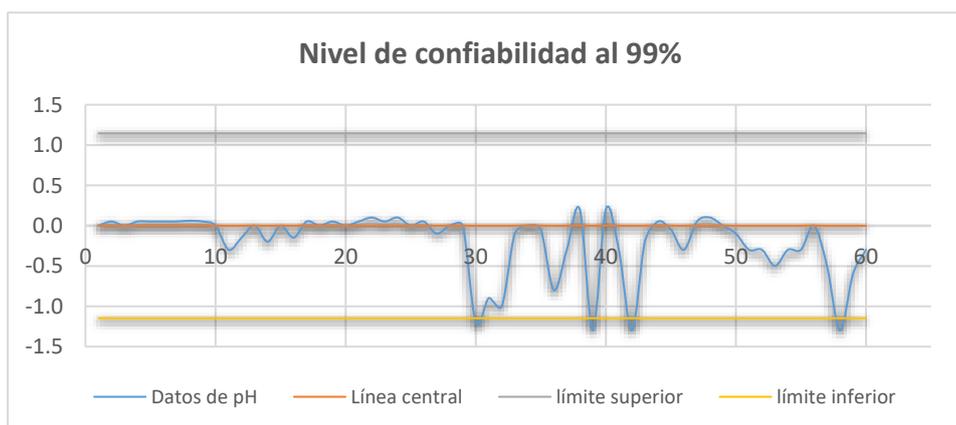


Figura 116. Control de calidad de datos - Viques 2013

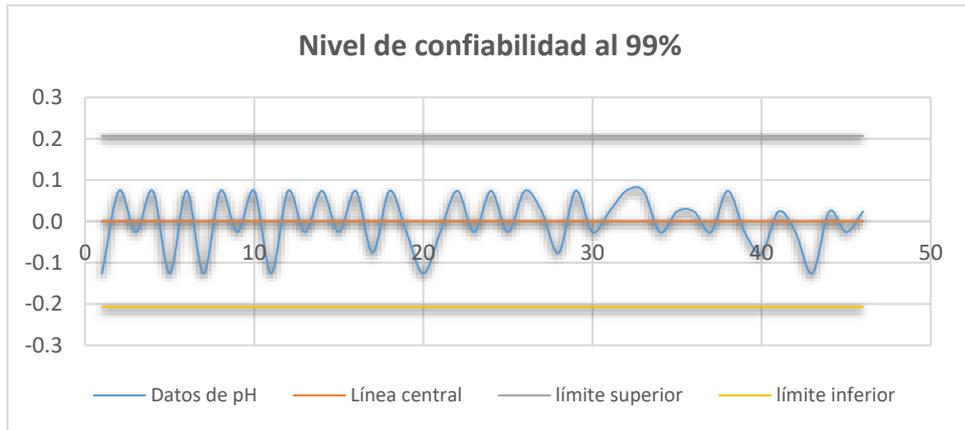


Figura 117. Control de calidad de datos - Viques 2014

Anexo N° 7

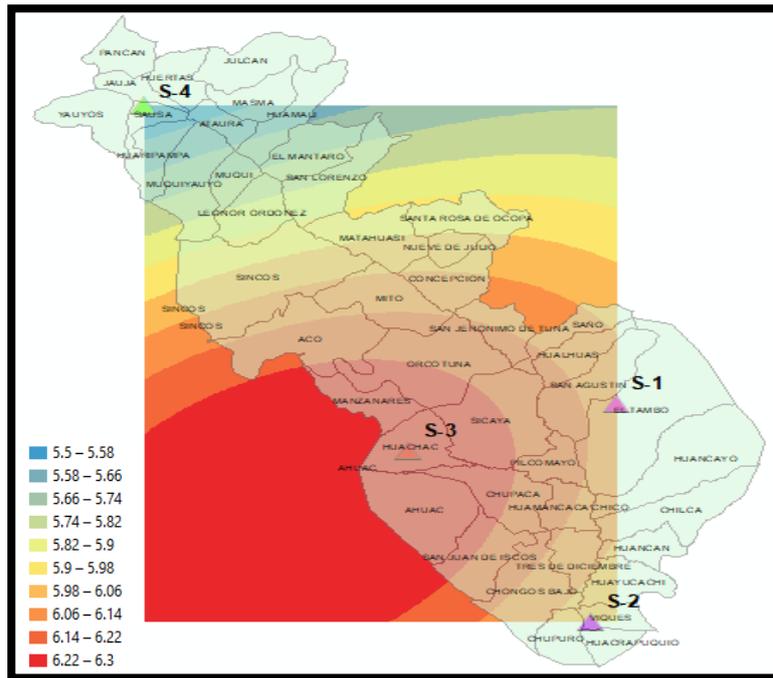


Figura 118. Distribución espacial de pH- año 2005.

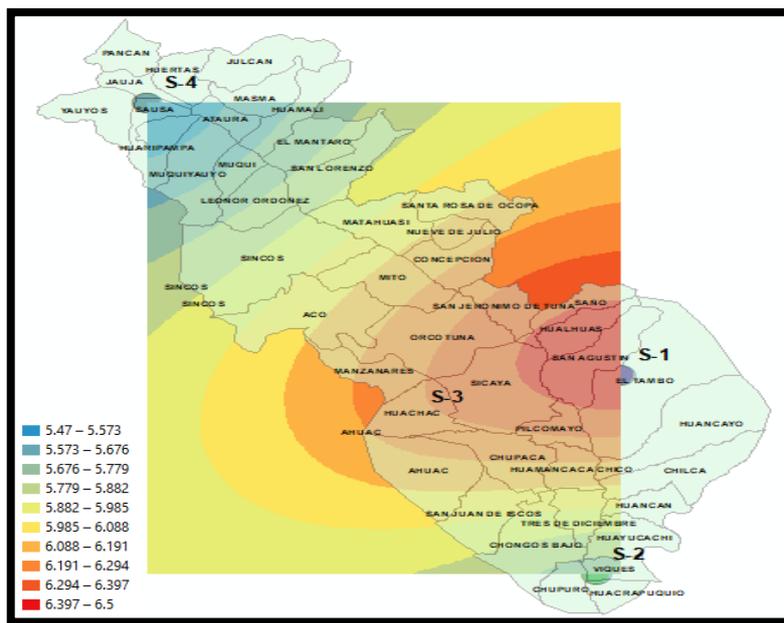


Figura 119. Distribución espacial de pH- año 2006

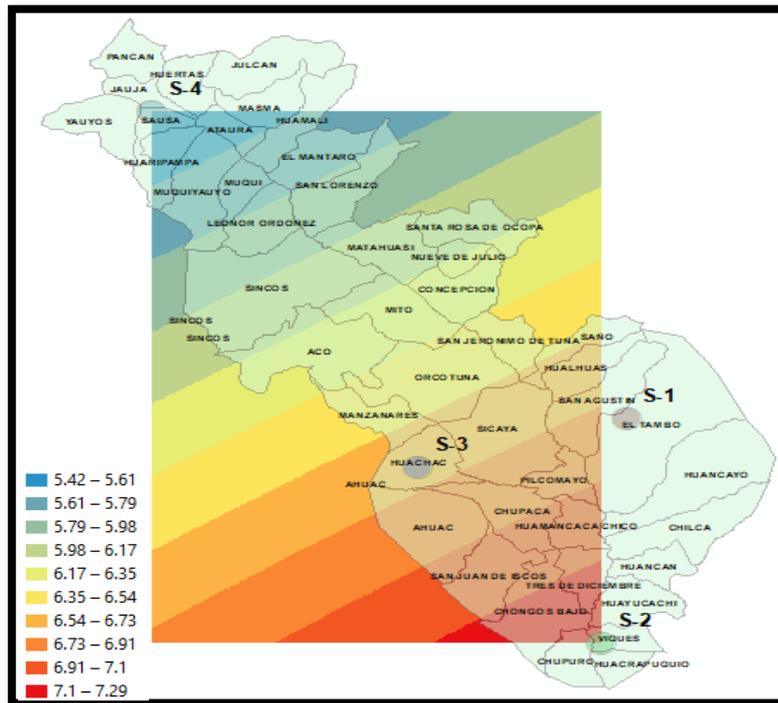


Figura 120. Distribución espacial de pH- año 2007

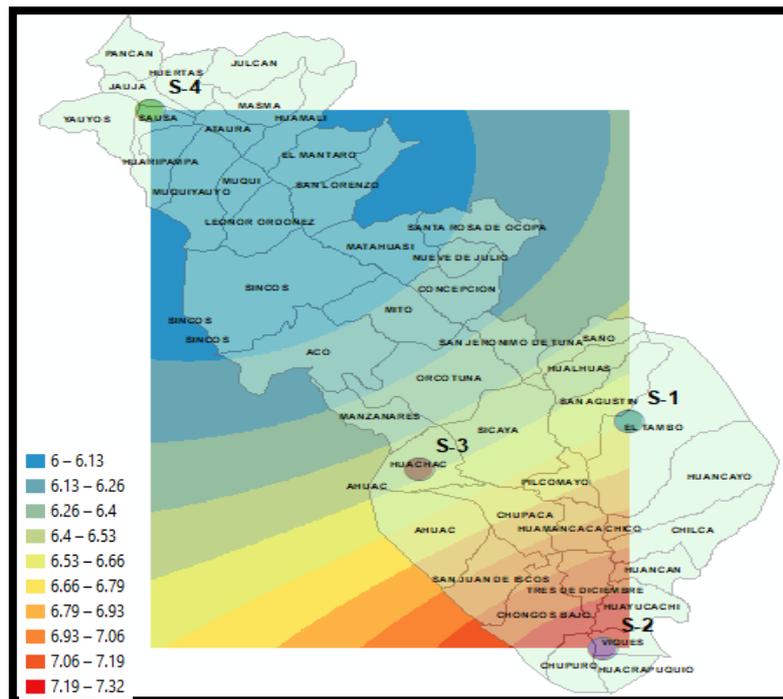


Figura 121. Distribución espacial de pH- año 2008

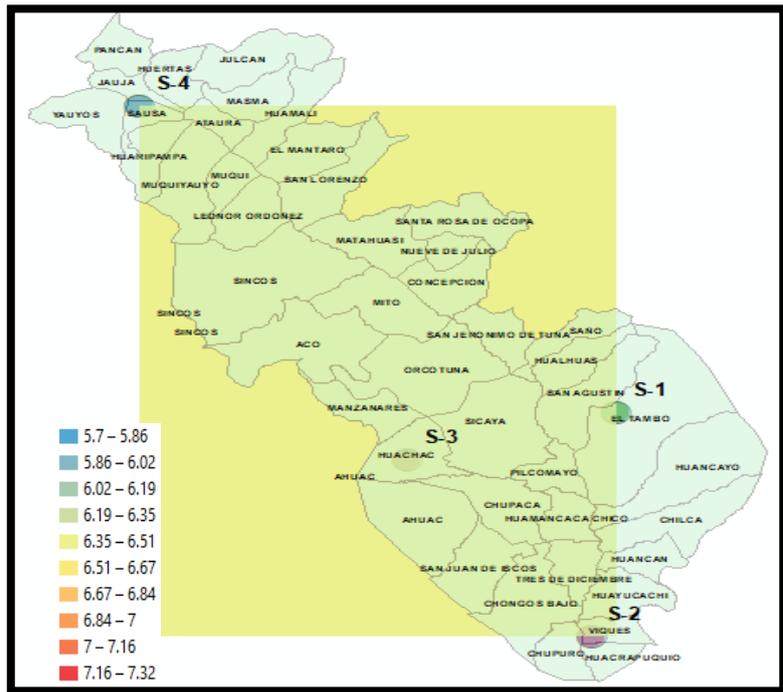


Figura 122. Distribución espacial de pH- año 2009

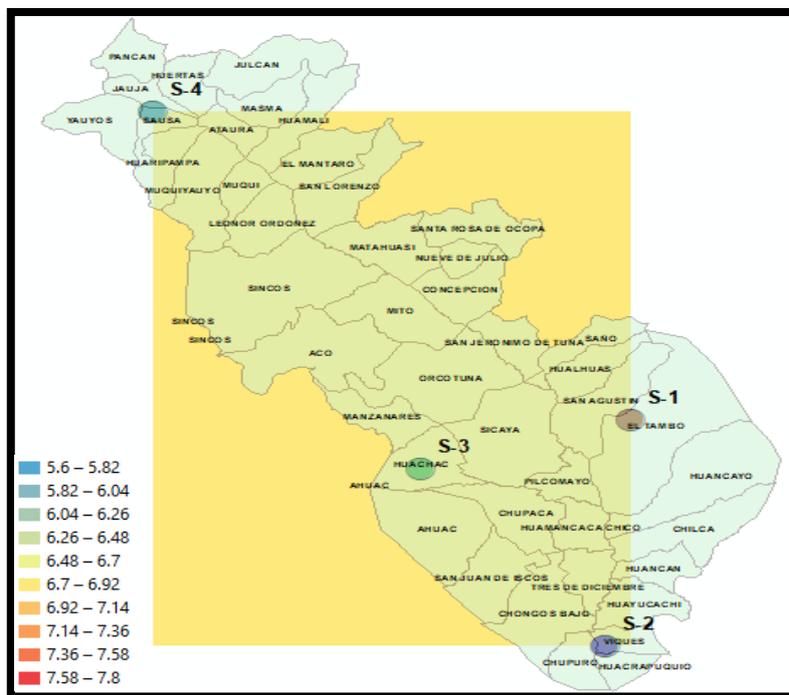


Figura 123. Distribución espacial de pH- año 2010

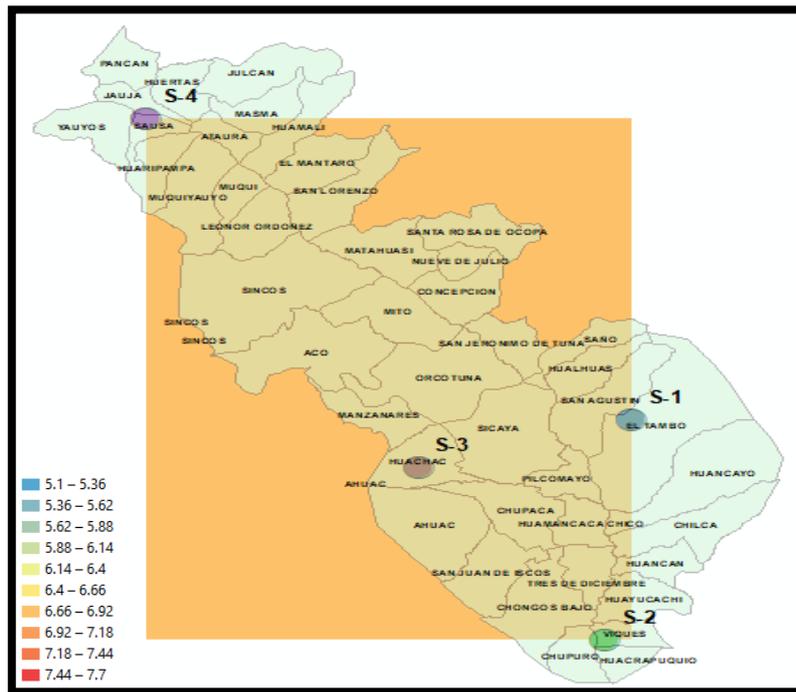


Figura 124. Distribución espacial de pH- año 2011

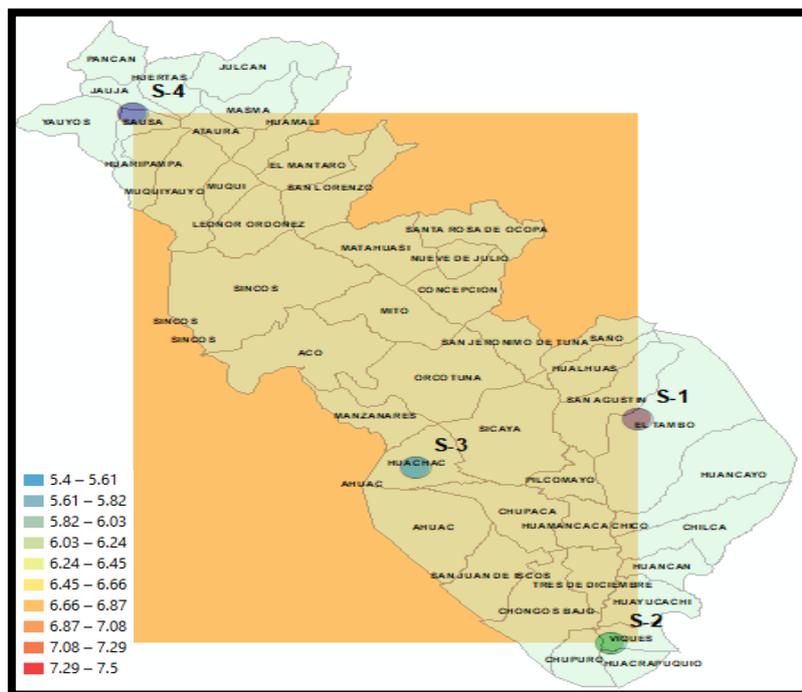


Figura 125: Distribución espacial de pH – año 2012

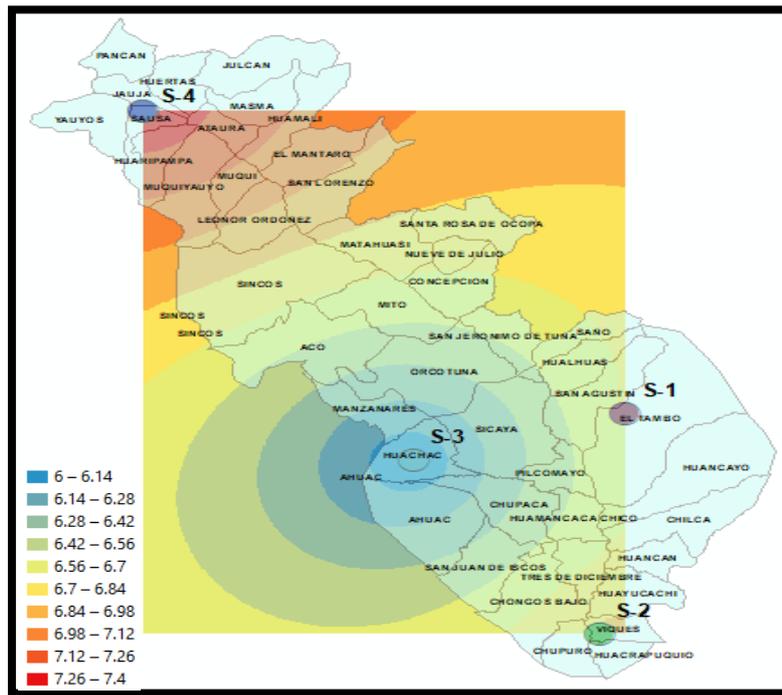


Figura 126: Distribución espacial de pH – año 2013

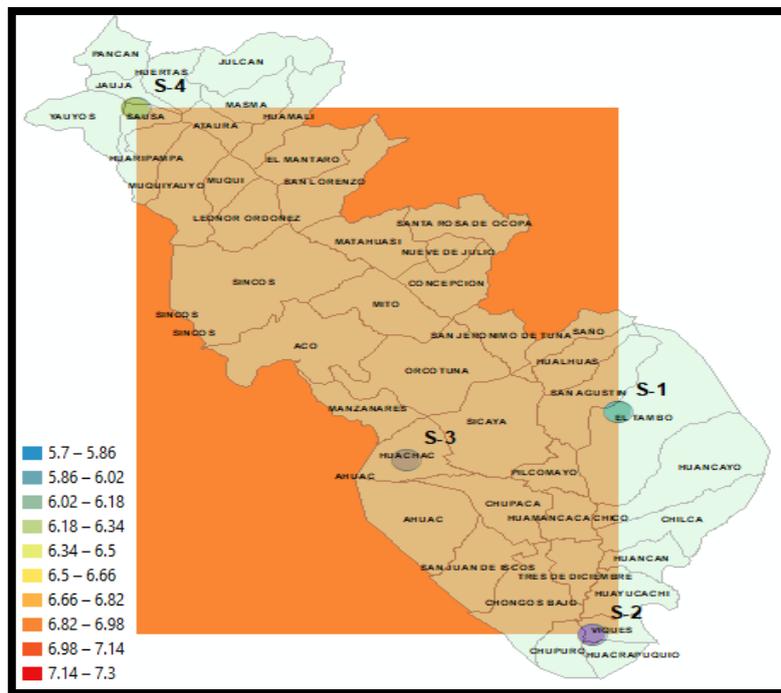


Figura 127. Distribución espacial de pH - año 2014

Glosario de términos

Siglas	Significado
pH-PPV	pH promedio ponderado del volumen
MAVDT	Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial (Colombia)
CICE	Capacidad de intercambio catiónico efectivo
VWM	Volume weightd mean (volumen ponderado)
SR	Scavenging ratios (relaciones de barrido)
LSD	Least significant difference (diferencia menos significativa)
QA/QC	Aseguramiento de la Calidad (QA) y Control de Calidad (QC)
$\mu\text{Eq/L}$	Microequivalente por litro
DQM	Distrito metropolitano de Quito
$\mu\text{g/m}^3$	Microgramos por metro cúbico
STD	Sólidos totales disueltos
COT	Carbono orgánico total
SO ₂	Dióxido de azufre
NO ₂	Dióxido de nitrógeno
P	Fósforo