

UCUENCA

Universidad de Cuenca

Facultad de Ciencias Químicas

Carrera de Ingeniería Ambiental

Análisis del comportamiento histerético de los parámetros de calidad del agua en zonas urbanas, periurbanas y de conservación de la subcuenca del río Machángara

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


Autores:

Milton Josue Gallegos Ochoa

Karen Andrea Salinas Procel


Director:

Rubén Fernando Jerves Cobo

ORCID:  0000-0002-7141-2390

Asesor:

Felix Rigoberto Guerrero Coronel

ORCID:  0000-0003-3156-1700

Cuenca, Ecuador

2023-07-20

Resumen

El análisis del comportamiento histerético en relación concentración/nivel del agua, permite identificar fluctuaciones en las concentraciones de los parámetros de calidad del agua en función del flujo. La cuenca del río Machángara es de relevancia debido a que es fuente de materia prima para tratamiento de agua potable y generación hidroeléctrica. La presente investigación tiene como objetivo analizar el comportamiento histerético de los parámetros de calidad del agua: turbiedad, sólidos totales, pH, DBO₅, fosfatos, nitritos-nitratos y coliformes totales, ubicados en una zona urbana, periurbana y de conservación de la subcuenca del río Machángara localizada en la cuenca del río Paute, durante el periodo 2006 - 2013. En esta subcuenca se evaluó la influencia de la estacionalidad (seca-húmeda), uso de suelo y cobertura vegetal en el comportamiento histerético de cada uno de los parámetros mencionados. Para la elaboración de los gráficos histeréticos se ordenó cronológicamente el nivel del agua junto con el valor del parámetro, además se representó la estacionalidad y dirección. Los resultados evidenciaron que el comportamiento histerético de la turbidez se ve afectado por la heterogeneidad del uso de suelo y cobertura vegetal y del pH por la vegetación de páramo y su aporte de material orgánico. Además, la estacionalidad influye en la amplitud del comportamiento histerético de las concentraciones de los parámetros. Finalmente, el estudio permitió identificar que en zonas de conservación y urbanas el comportamiento tiende a ser antihorario, mientras que en la zona periurbana en la mayoría de parámetros no se presenta un comportamiento histerético definido.

Palabras clave: hidrología, histéresis, uso de suelo, cobertura vegetal, río Machángara



El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Cuenca ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por la propiedad intelectual y los derechos de autor.

Repositorio Institucional: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

Abstract

The analysis of the hysteretic behavior in relation to the concentration/water level allows to identify fluctuations in the concentrations of the water quality parameters depending on the flow. The Machángara River basin is relevant because it is a source for drinking water treatment, irrigation and hydroelectric generation. The present research aims to analyze the hysteretic behavior of water quality parameters: turbidity, total solids, pH, BOD5, phosphates, nitrites-nitrates, and total coliforms, located in an urban, peri-urban and conservation area of the Machángara River sub-basin located in the Paute River basin, during the period 2006 - 2013. In this sub-basin, the influence of seasonality (dry-wet), land use, and vegetation cover on the hysteretic behavior of each of the aforementioned parameters was evaluated. For the elaboration of the hysteretic graphs, the water level was ordered chronologically along with the value of the parameter, as well as the seasonality and hysteretic direction were also represented. The results showed that the hysteretic behavior of turbidity is affected by the heterogeneity of land use and vegetation cover and the pH due to moorland vegetation and its contribution of organic material. Furthermore, seasonality influences the amplitude of the hysteretic behavior of the parameter concentrations. Finally, the study made it possible to identify that in conservation and urban areas the behavior tends to be counterclockwise, while in the peri-urban area in most parameters there is no defined hysteretic behavior.

Keywords: hydrology, hysteresis, land use, vegetation cover, Machángara river



The content of this work corresponds to the right of expression of the authors and does not compromise the institutional thinking of the University of Cuenca, nor does it release its responsibility before third parties. The authors assume responsibility for the intellectual property and copyrights.

Institutional Repository: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

Índice de contenido

Resumen	2
Abstract.....	3
Capítulo I.....	15
1. Introducción y objetivos	15
1.1. Introducción	15
1.1.1. <i>Antecedentes.....</i>	<i>15</i>
1.1.2. <i>Problemática.....</i>	<i>16</i>
1.1.3. <i>Justificación.....</i>	<i>17</i>
1.2. Objetivo General.....	17
1.3. Objetivos Específicos.....	18
Capítulo II.....	19
2. Marco teórico	19
2.1. Calidad del agua.....	19
2.2. Indicadores de la calidad del agua.....	19
2.3. Parámetros de calidad del agua.....	20
2.3.1. <i>Parámetros físicos.....</i>	<i>20</i>
2.3.2. <i>Parámetros químicos.....</i>	<i>21</i>
2.3.3. <i>Parámetros biológicos.....</i>	<i>23</i>
2.4. Factores que afectan la calidad del agua	24
2.5. Cuencas hidrográficas.....	25
2.5.1. <i>Cuenca del río Paute.....</i>	<i>25</i>
2.5.2. <i>Subcuenca del río Machángara.....</i>	<i>26</i>
2.6. Embalses.....	26
2.7. Uso de suelo	27
2.7.1. <i>Uso de suelo y calidad del agua.....</i>	<i>27</i>
2.8. Monitoreo hidrometeorológico	28
2.9. Histéresis.....	28
2.10. Estacionalidad.....	29
2.10.1. <i>Precipitación.....</i>	<i>29</i>
2.10.1.4. <i>Temperatura de la superficie del mar (TSS).....</i>	<i>31</i>
2.10.2. <i>Caudales.....</i>	<i>31</i>
2.11. Análisis Estadístico	32
2.11.1. <i>Análisis exploratorio de los datos</i>	<i>32</i>
2.11.2. <i>Análisis de consistencia</i>	<i>32</i>
2.11.3. <i>Análisis de Normalidad.....</i>	<i>32</i>

2.11.4.	<i>Análisis de correlación</i>	33
Capítulo III		37
3. Metodología		37
3.1.	Área de estudio.....	37
3.2.	Descripción del Área de estudio.....	38
3.3.	Base de datos.....	38
3.3.1.	<i>Recopilación de información</i>	38
3.4.	Selección de las estaciones de monitoreo	40
3.5.	Selección de los parámetros de calidad del agua.....	41
3.6.	Depuración de datos crudos.....	43
3.6.1.	<i>Análisis de correlación</i>	44
3.7.	Análisis de la precipitación y nivel de agua.....	45
3.8.	Determinación de la estacionalidad hidrológica y meteorológica	46
3.9.	Determinación de los comportamientos histeréticos (Nivel del agua/ Concentración) en las zonas de conservación, periurbana y urbana.....	47
3.10.	Determinación de la influencia de años húmedos y secos en el comportamiento histerético	47
3.11.	Determinación de la influencia del cambio del uso del suelo y la cobertura vegetal en el comportamiento histerético de los parámetros de calidad del agua.....	48
Capítulo IV		50
4. Resultados y Discusión		50
4.1.	Resultados	50
4.1.1.	<i>Depuración de datos crudos</i>	50
4.1.2.	<i>Análisis de la precipitación y el nivel del agua</i>	63
4.1.3.	<i>Hidrograma del nivel del agua para la estación DJ-Chulco</i>	67
4.1.4.	<i>Gráficos de series de tiempo con doble eje vertical</i>	67
4.1.5.	<i>Determinación de la estacionalidad en el periodo de estudio</i>	68
4.1.6.	<i>Estacionalidad hidrológica</i>	72
4.1.7.	<i>Determinación de los comportamientos histeréticos (Nivel del agua/ Concentración) en las zonas de conservación, periurbana y urbana</i>	74
4.1.8.	<i>Determinación de la influencia de años húmedos y secos en el comportamiento histerético</i>	93
4.1.9.	<i>Determinación de la influencia que presenta el cambio del uso del suelo en el comportamiento histerético de los parámetros de calidad del agua</i>	98
4.2.	Discusión de resultados	113
Capítulo V		119

5. Conclusión y Recomendación	119
5.1. Conclusión	119
5.2. Recomendación	120
6. Referencias Bibliográficas	121
7. Anexos	134

Índice de Figuras

Figura 1 <i>Comportamientos histeréticos</i>	29
Figura 2 <i>Ubicación de la zona de estudio (Subcuenca del río Machángara)</i>	37
Figura 3 <i>Ubicación de las estaciones de ETAPA EP</i>	39
Figura 4 <i>Estaciones de monitoreo utilizadas</i>	41
Figura 5 <i>Curva de doble masa Chanlud-El Labrado</i>	50
Figura 6 <i>Curva de doble masa Chanlud-Saucay</i>	51
Figura 7 <i>Curva de doble masa Chanlud-Ucubamba</i>	52
Figura 8 <i>Curva de doble masa Saucay-Ucubamba</i>	52
Figura 9 <i>Curva de doble masa Labrado-Ucubamba</i>	53
Figura 10 <i>Curva de doble masa Labrado-Saucay</i>	54
Figura 11 <i>Q-Q plot</i>	58
Figura 12 <i>Diagrama de caja del nivel del agua y fosfatos</i>	60
Figura 13 <i>Correlación de parámetros</i>	62
Figura 14 <i>Precipitación anual</i>	63
Figura 15 <i>Precipitación mensual Chanlud</i>	64
Figura 16 <i>Precipitación mensual Ucubamba</i>	65
Figura 17 <i>Precipitación mensual Saucay</i>	66
Figura 18 <i>Hidrograma del nivel del agua estación DJ-Chulco</i>	67
Figura 19 <i>Precipitación (Estación Chanlud) vs Nivel del agua (DJ Chulco)</i>	67
Figura 20 <i>Precipitación histórica mensual para la estación Chanlud</i>	68
Figura 21 <i>Precipitación histórica mensual para la estación Saucay</i>	69
Figura 22 <i>Precipitación histórica mensual para la estación Ucubamba</i>	69
Figura 23 <i>Índice estandarizado de precipitación para la estación Chanlud</i>	70
Figura 24 <i>Índice estandarizado de precipitación para la estación Saucay</i>	71
Figura 25 <i>Índice estandarizado de precipitación para la estación Ucubamba</i>	71
Figura 26 <i>Número de eventos para la estación Chulco</i>	72
Figura 27 <i>Curva de duración de caudal</i>	73
Figura 28 <i>Umbral del nivel del agua</i>	73
Figura 29 <i>Comportamiento Histerético de la turbiedad</i>	75
Figura 30 <i>Comportamiento histerético de los sólidos totales</i>	76
Figura 31 <i>Comportamientos histeréticos del pH</i>	77
Figura 32 <i>Comportamientos histeréticos de los Nitritos-Nitratos</i>	78
Figura 33 <i>Comportamientos histeréticos de los Fosfatos</i>	79
Figura 34 <i>Comportamientos histeréticos de la DBO₅</i>	80
Figura 35 <i>Comportamientos histeréticos del Oxígeno disuelto</i>	81
Figura 36 <i>Comportamientos histeréticos de los coliformes totales</i>	82
Figura 37 <i>Hidrograma con los valores de turbiedad</i>	83
Figura 38 <i>Hidrograma con las concentraciones de sólidos</i>	84

Figura 39 Hidrograma con los valores de pH.....	85
Figura 40 Hidrograma con las concentraciones de oxígeno disuelto.....	87
Figura 41 Hidrograma con las concentraciones de Nitritos y nitratos.....	88
Figura 42 Hidrograma con las concentraciones de Fosfatos	89
Figura 43 Hidrograma con los valores de DBO ₅	91
Figura 44 Hidrograma con las concentraciones de Coliformes totales	92
Figura 45 Comparación de la estacionalidad para la Turbiedad.....	93
Figura 46 Comparación de la estacionalidad para la Sólidos Totales	94
Figura 47 Comparación de la estacionalidad para la pH	94
Figura 48 Comparación de la estacionalidad para el Oxígeno disuelto	95
Figura 49 Comparación de la estacionalidad para Nitritos-Nitratos	96
Figura 50 Comparación de la estacionalidad para Fosfatos	96
Figura 51 Comparación de la estacionalidad para la DBO ₅	97
Figura 52 Comparación de la estacionalidad para Coliformes totales.....	97
Figura 53 Mapa de uso de suelo (Zona de conservación).....	98
Figura 54 Porcentaje de los tipos de uso de suelo (Zona de conservación).....	99
Figura 55 Mapa de cobertura vegetal (Zona de conservación)	100
Figura 56 Porcentaje de los tipos de uso de suelo (Zona de conservación).....	101
Figura 57 Mapa de uso de suelo (Zona periurbana)	102
Figura 58 Porcentaje de los tipos de uso de suelo (Zona periurbana)	103
Figura 59 Mapa de cobertura vegetal (Zona periurbana)	104
Figura 60 Porcentajes de cobertura vegetal (Zona periurbana).....	105
Figura 61 Mapa de uso de suelo (Zona urbana).....	107
Figura 62 Porcentaje de los tipos de uso de suelo (Zona Urbana)	108
Figura 63 Mapa de la cobertura vegetal (Zona Urbana)	108
Figura 64 Porcentajes de cobertura vegetal (Zona urbana)	109
Figura 65 Mapas de uso de suelo y cobertura vegetal de la subcuenca del río Machángara.....	111
Figura 66 Porcentajes de los tipos de uso de suelo en la subcuenca del río Machángara	112
Figura 67 Porcentaje de la cobertura vegetal en la subcuenca del río Machángara	113

Índice de Tablas

Tabla 1 <i>Clasificación del Índice de precipitación estandarizado (SPI)</i>	30
Tabla 2 <i>Interpretación del coeficiente de correlación de Pearson</i>	35
Tabla 3 <i>Interpretación del coeficiente de correlación de Spearman</i>	36
Tabla 4 <i>Coeficiente de correlación de rango de Kendall</i>	36
Tabla 5 <i>Estaciones de monitoreo del estudio</i>	40
Tabla 6 <i>Parámetros de calidad del agua</i>	42
Tabla 7 <i>Interpretación del uso de suelo y cobertura vegetal</i>	48
Tabla 8 <i>Estadística descriptiva</i>	54
Tabla 9 <i>Test de Normalidad</i>	59
Tabla 10 <i>Coeficiente de correlación (Método de Spearman)</i>	61
Tabla 11 <i>Uso de suelo (Zona de conservación)</i>	99
Tabla 12 <i>Tipos de cobertura vegetal (Zona de conservación)</i>	100
Tabla 13 <i>Comportamientos histeréticos (Zona conservación):</i>	102
Tabla 14 <i>Tipos de uso de suelo (Zona periurbana)</i>	103
Tabla 15 <i>Tipos de cobertura vegetal (Zona periurbana)</i>	104
Tabla 16 <i>Comportamientos histeréticos (Zona periurbana)</i>	106
Tabla 17 <i>Tipos de uso de suelo (Zona Urbana)</i>	107
Tabla 18 <i>Tipos de cobertura vegetal (Zona Urbana)</i>	109
Tabla 19 <i>Comportamientos histeréticos (Zona Urbana)</i>	110
Tabla 20 <i>Uso de suelo en la subcuenca del río Machángara</i>	111
Tabla 21 <i>Porcentaje de la cobertura vegetal en la subcuenca del río Machángara</i>	112

Índice de Ecuaciones

Ecuación 1 <i>Fórmula de Shapiro Wilk</i>	33
Ecuación 2 <i>Coeficiente de correlación de Pearson</i>	34
Ecuación 3 <i>Coeficiente de Spearman</i>	35

Índice de Anexos

Anexo A. Q-Q Plots.....	134
Anexo B. <i>Diagramas de caja</i>	138
Anexo C. <i>Gráficos Histeréticos (Zona de conservación)</i>	141
Anexo D. <i>Gráficos Histeréticos (Zona periurbana)</i>	147
Anexo E. <i>Gráficos Histeréticos (Zona Urbana)</i>	155

Dedicatoria

A mi amada madre Maritza Ochoa, quien fue mi pilar en cada momento en esta parte de mi camino. Quien a pesar de las duras situaciones estuvo presente en cada momento siendo una guía y un apoyo incondicional para cada adversidad. Todo lo que soy se lo debo a ella, por este y muchos más motivos les dedico el presente trabajo de investigación.

A mis hermanos Johnny, Camila y Sofia quienes fueron mi gran apoyo durante todo este trayecto, a mi hermano le agradezco por confiar en mí y apoyarme a llegar hasta este momento. A mis hermanas por siempre demostrarme su amor y su apoyo en cada uno de las etapas de este camino. Le dedico a mi mama y a ustedes este trabajo, porque siempre fueron mi fuerza para no rendirme en el camino.

A todos mis familiares quienes siempre confiaron en mí, en especial a mi abuela Alcira, quien fue mi apoyo durante todo el trayecto, y a pesar de presentar muchas adversidades siempre estuvo ahí conmigo dándome fuerza para continuar.

A mis queridos amigos y amigas, quienes siempre me mostraron su amistad sincera y confiaron en mí. Agradezco las risas y buenos momentos que pasamos juntos.

Y a todas las personas que conocí durante esta etapa universitaria, gracias por siempre confiar en mis capacidades y decirme que si puedo.

Milton Josue Gallegos Ochoa

Dedicatoria

A mis amados padres, Sergio y Elena, por su amor incondicional y estar presente en cada paso de este camino, por sacrificarse y alentarme a perseguir mis metas. Todo lo que soy se lo debo a ustedes, por ser mi guía e inspiración les dedico este trabajo de investigación.

A mi hermano Robert quién ha sido mi cómplice, gracias por creer en mí y compartir este logro conmigo. A Dios, con humildad y gratitud, reconozco que su presencia ha sido mi guía y fortaleza en cada desafío.

A mi mejor amigo Hugo y a mis queridas amigas Lizbeth, Hilda y Andrea, cada uno de ustedes ha sido mi pilar durante esta travesía. Gracias por estar a mi lado en las buenas y en las malas, por animarme a nunca rendirme y por celebrar cada pequeño triunfo conmigo. Los llevo en mi corazón para siempre.

A mis queridos amigos, Janela, Bernarda, Kevin y Juan, juntos hemos enfrentado desafíos, luchado contra el cansancio y compartido momentos de alegría y frustración. Agradezco nuestras noches de desvelo, días de estudio y la unión que hemos forjado.

A quienes se atravesaron en mi vida durante mi travesía universitaria, esta dedicatoria es una muestra de mi profundo agradecimiento por el apoyo brindado. Sus palabras de aliento, sus sonrisas y sus abrazos me impulsaron a seguir adelante. Cada experiencia compartida ha sido invaluable para moldear mi esencia, calidad como persona y profesional. Gracias por creer en mí, por alentarme en cada paso y por ser parte esencial de esta etapa tan significativa en mi camino.

Con profundo agradecimiento y cariño,

Karen Andrea Salinas Procel

Agradecimientos

Agradecemos de corazón a nuestros familiares y amigos por ser un apoyo constante a lo largo de nuestra formación académica. Su amor, paciencia y aliento incondicional han sido una fuente inagotable de motivación para alcanzar este logro tan significativo en nuestras vidas.

Deseamos extender nuestro más profundo agradecimiento al Ing. Ruben Jerves, quien fue nuestro tutor de tesis. Su guía y conocimiento fueron valiosos para el desarrollo de este trabajo, proporcionándonos una visión crítica y enriquecedora en cada etapa del proceso de investigación.

En especial, queremos reconocer y agradecer enormemente al Ing. Rigoberto Guerrero, nuestro asesor, quien desde el primer momento estuvo pendiente de nuestra investigación y nos brindó un apoyo incondicional. Su dedicación, paciencia y valiosos aportes fueron fundamentales para dar forma y enriquecer el contenido de esta tesis. Sin su orientación y compromiso, este trabajo no habría sido posible.

Agradecemos a nuestra institución educativa y a todos nuestros profesores, quienes nos brindaron una sólida formación académica y nos inspiraron a perseguir la excelencia en nuestro aprendizaje. Además a la empresa pública ETAPA EP, por brindarnos la información necesaria para la realización de la tesis.

Por último, pero no menos importante, queremos agradecer a Dios por guiarnos en los momentos más desafiantes.

A todos los mencionados y a quienes de alguna manera nos apoyaron en este proceso, Gracias.

Milton y Karen

Capítulo I

1. Introducción y objetivos

1.1. Introducción

1.1.1. Antecedentes

La subcuenca del río Machángara se encuentra ubicada entre las provincias de Azuay y Cañar, además pertenece a la cuenca del río Paute y al sistema hidrográfico del Santiago (Díaz, 2015). Es importante debido a la biodiversidad que posee y al amplio aprovechamiento que se obtiene de los recursos hídricos de la zona, desde el abastecimiento para riego y agua potable, además de la generación de energía eléctrica (Elecaastro, 2019). Estos beneficios lo constituyen como un ecosistema estratégico, motivo por el cual, mediante un convenio interinstitucional en julio de 1998 se creó el Consejo de Cuenca del río Machángara, el cual mediante un enfoque sustentable se encuentra encargado de la gestión del recurso hídrico y el manejo de los recursos naturales de la subcuenca (Argüello, 2020).

La calidad del río Machángara se degrada ligeramente durante su recorrido. En la zona baja de la subcuenca, la calidad disminuye posiblemente por descargas del tipo industrial o inconvenientes en los interceptores marginales (desbordamientos) (Pauta et al., 2019), los cuales se encuentran instalados a los márgenes del río (Ordoñez, 2008). Los mayores descensos en la calidad de los ríos de Cuenca se presentan en época de estiaje, es decir, cuando existen niveles de caudales bajos. Además, Pauta et al. (2019) menciona que los niveles de color y turbiedad en la subcuenca del río Machángara son bajos, debido a que la zona alta se encuentra protegida y existen embalses que regulan el caudal, lo cual hace que no se presenten variaciones significativas en la calidad del agua.

En la investigación realizada por Jerves-Cobo et al. (2018), se evalúa el estado biológico en la zona urbanizada del río Machángara. Los autores mencionan que, al pasar por zonas suburbanas y urbanas, la calidad del agua disminuye a pesar de existir servicio de alcantarillado. Además, los parámetros: DBO₅, nitrógeno orgánico, fosfatos y coliformes totales varían dependiendo de la estacionalidad. Tienden a aumentar por descargas y eventos de desbordamiento en el alcantarillado combinado.

En el informe de la integridad ecológica y calidad fisicoquímica de los ríos de Cuenca, se analiza el estado ecológico de la subcuenca del río Machángara desde el 2014 al 2021. Se menciona que existe una ligera afección en la vegetación de ribera, pero que esto no afecta la calidad del agua. Sin embargo, al igual que en otras cuencas, la parte baja presenta

alteraciones en las condiciones biológicas, debido a la contaminación por factores antrópicos (González, 2021).

1.1.2. Problemática

El agua puede tener alteraciones por actividades humanas e influir en la degradación de su calidad. Por este motivo, es importante conocer lo qué sucede durante el recorrido del río. En el Protocolo de integridad ecológica de los ríos de la región austral, se menciona que los ríos tienen un papel fundamental en cubrir las necesidades básicas de la ciudadanía (Acosta et al., 2014). A pesar de esto, en América del Sur los ríos han perdido su calidad. Las causas se asocian principalmente: a la explotación inadecuada del recurso, aportes de nitrógeno y fósforo por actividades agrícolas e industriales (Carpenter et al., 1998), o cambios en la precipitación y erosión (Acosta et al., 2014).

La parte alta de la subcuenca del río Machángara, se caracteriza por ser una zona de conservación y abarcar en su mayoría vegetación de páramo y bosque. En esta zona se encuentra el embalse Chanlud y se desarrollan algunas actividades con restricciones como la agricultura y ganadería. Por otro lado, en la cuenca media se encuentra el embalse El Labrado, el canal Tuñil-Saucay, la central hidroeléctrica Saucay, además de zonas de pastizales y ganadería, con una vegetación predominante de matorrales (Díaz, 2015).

La vegetación nativa en la cuenca baja ha sido desplazada por la expansión agrícola y urbana (Argüello, 2020). Se han construido infraestructuras como el canal y la central hidroeléctrica de Saymirin, planta de potabilización Tixán y el reservorio Dutasay. Se desarrollan actividades agrícolas, además se localizan zonas residenciales, comerciales e industriales, por lo cual, en esta zona existe mayor intervención antrópica (Díaz, 2015).

La modificación de la vegetación produce una situación de fragilidad en los ríos. La zona de ribera es la interfaz que retiene el material orgánico, sedimentos, nutrientes y contaminantes (Acosta et al., 2014). Y al reducirse la franja ribereña, la calidad del agua se encuentra propensa a degradarse por la presencia de contaminantes en los cauces (Auquilla, 2006).

La subcuenca del Machángara se encuentra monitoreada por distintas instituciones por ser una cuenca en conservación. Por lo cual, las áreas urbanas y agropecuarias constituyen apenas el 6% del área de la subcuenca (Díaz, 2015). Pero, aunque es bajo el porcentaje de intervención antrópica, se ha encontrado literatura Jerves-Cobo et al. (2018) y Pauta et al. (2019), donde se menciona que en la parte baja de la subcuenca se altera la calidad del agua.

1.1.3. Justificación

La subcuenca del río Machángara es un importante recurso hídrico en la región, por lo tanto, la calidad del agua en esta subcuenca es vital para garantizar la salud humana y el bienestar de los ecosistemas. Sin embargo, las condiciones climáticas modifican las concentraciones de los contaminantes. A pesar de que los monitoreos se realizan de manera trimestral, los parámetros de calidad del agua pueden variar espacial y temporalmente por alteraciones en el ciclo hidrológico, actividades humanas y la geografía de la zona (Hernández et al., 2022).

La histéresis es la capacidad que tiene un cuerpo para volver a su estado original, con o sin alteraciones. La mayoría de estudios sobre histéresis concentración-descarga se han llevado a cabo para eventos en escala de tormenta. Pero, aun así, se han encontrado patrones estacionales, que se relacionan por la interacción de procesos biológicos (Aubert et al., 2013).

El análisis del comportamiento histerético de los parámetros de calidad del agua permite comprender variaciones espacio - temporales. Esto ayuda a detectar patrones o tendencias en la calidad del agua (estacionales o interanuales), permitiendo entender cómo el clima y otros factores ambientales influyen en las condiciones de la cuenca (Aubert et al., 2013). Se han encontrado estudios que relacionan la curva histerética con características morfológicas e hidrológicas de la cuenca, además de la influencia de la precipitación (Abdelkader & Remini, 2003). Este análisis permitirá identificar posibles fuentes de contaminación y contribuir en la gestión de los recursos hídricos de la subcuenca del río Machángara.

Por lo tanto, el desarrollo de este trabajo consiste en analizar el comportamiento histerético del oxígeno disuelto, pH, turbiedad, coliformes totales, DBO₅, fosfatos, nitritos-nitratos, sólidos totales en una zona de conservación, periurbana y urbana de la subcuenca del río Machángara. Los datos de los parámetros de calidad del agua son proporcionados por ETAPA EP, para el periodo de estudio del 2006 al 2013 tomando como referencia monitoreos trimestrales. El análisis proporcionará información en la toma de decisiones para la implementación de medidas de gestión que protejan la calidad del agua y los ecosistemas acuáticos.

1.2. Objetivo General

Analizar el comportamiento histerético de los parámetros de calidad del agua: oxígeno disuelto, pH, turbiedad, coliformes totales, DBO₅, fosfatos, nitritos-nitratos y sólidos totales, en puntos de monitoreo ubicados en una zona urbana, periurbana y de conservación de la subcuenca del río Machángara.

1.3. Objetivos Específicos

- Determinar la estacionalidad hidrológica y meteorológica en el periodo de estudio mediante técnicas estadísticas.
- Evaluar el comportamiento histerético de parámetros de calidad del agua en tres zonas: urbana, periurbana y conservación.
- Determinar la influencia de años húmedos y secos en el comportamiento histerético.
- Determinar la influencia que presenta el cambio del uso del suelo en el comportamiento histerético de los parámetros de calidad del agua.

Capítulo II

2. Marco teórico

2.1. Calidad del agua

La calidad del agua es la comparación entre estándares establecidos y un conjunto de características físico-químicas y biológicas del agua (BCN, 2016). Cuando se habla de calidad se hace referencia a la respuesta o reflejo de la composición del agua con respecto a los procesos del entorno, sean naturales o antrópicos (Krenkel, 2012).

El agua es un recurso valioso y al evaluar su calidad, se mide el grado de alteración, además dependiendo de la variación en su composición, se clasifica para determinados usos (Castro et al., 2014). Por lo general, se da énfasis a la salud pública, agua potable y seguridad de los ecosistemas acuáticos (Bautista C. & Ruiz V., 2011), para lo cual se realizan monitoreos que permitan corroborar que el agua se encuentre apta para su consumo (Spiro & Stigliani, 2004).

Los efectos en la calidad del agua dependen del uso dado y de las fuentes de contaminación sean puntuales o difusas. El agua doméstica e industrial provoca una disminución del oxígeno disuelto y altera el equilibrio biológico por el vertido de sustancias tóxicas. La agricultura causa sobrecarga de nutrientes, salinización en aguas superficiales y subterráneas, los vertidos mineros además de afectar en la disponibilidad de oxígeno contaminan con drenajes ácidos, compuestos orgánicos y metales (Spiro & Stigliani, 2004).

La calidad del agua debe ser constantemente monitoreada, por lo cual se necesita tener una red de monitoreo de calidad del agua que permita identificar los cambios producidos por factores antrópicos y naturales. La red de monitoreo surge de la necesidad de conocer el estado ambiental de la calidad del agua, debido a que, con el transcurso de los años, es frecuente la degradación de los recursos hídricos (Strobl & Robillard, 2008). La red permite tener una línea base con valores cuantitativos de las características físicas, químicas y biológicas del agua y ver cambios a corto y largo plazo (Acosta et al., 2014). Además de presentar los procesos dinámicos que ocurren en las cuencas hidrográficas (Strobl & Robillard, 2008).

2.2. Indicadores de la calidad del agua

Los indicadores evalúan la composición del agua y van desde observaciones, índices de calidad del agua y métodos analíticos como las concentraciones de los parámetros de calidad del agua. Se debe tener en cuenta que el término calidad, es complicado de contextualizar y esto se debe a que depende del enfoque, criterios de evaluación y la información que se

desea obtener del recurso hídrico (Krenkel, 2012). Por este motivo, la calidad del agua se relaciona según sea la finalidad de uso (Romero, 2009).

Un indicador de calidad facilita la obtención de información y permite reducir el número de mediciones y parámetros para conocer el estado o calidad del agua. Además, los resultados de los indicadores pueden ser comprendidos y comunicados al público en general (principal objetivo de los indicadores) (Castro et al., 2014).

Es complicado realizar un monitoreo continuo de todos los patógenos presentes en el agua, por este motivo se usan indicadores. Los factores que influyen en su uso son: logística, motivos económicos y grandes volúmenes de muestra. Los indicadores deben ser abundantes, detectarse fácilmente, no ser patógenos y tener una relación elevada de indicador/patógeno (American Water Works Association & Letterman, 2002).

2.3. Parámetros de calidad del agua

La calidad del agua debe medirse y esto se puede realizar mediante la caracterización de las propiedades físicas, químicas y biológicas, siendo un método simple y con alta confiabilidad (Romero, 2009). El control y monitoreo del agua dulce, se puede realizar mediante el cumplimiento de los límites máximos permisibles (Mite et al., 2016). En el Ecuador se cuenta con la normativa TULSMA libro VI, Anexo 1 (TULSMA, 2015), donde los límites máximos permisibles dependen del aprovechamiento del agua, además se pueden utilizar los valores establecidos por estándares internacionales como la Organización Mundial de la Salud (OMS) o la Agencia de Protección Ambiental (EPA).

Dentro de los factores que podrían determinar las características físicas en el agua, se encuentran el color, olor, sabor, turbiedad y conductividad. Los factores químicos que inciden son: cloruros, fluoruros, nitratos, dureza, pH, sólidos suspendidos o disueltos, alcalinidad, entre otros. Para los parámetros biológicos se basa en la presencia de distintos organismos, principalmente bacterias (BCN, 2016).

2.3.1. Parámetros físicos

Los parámetros físicos utilizados en el presente estudio, se detallan a continuación:

2.3.1.1. Turbiedad

La turbidez ocurre cuando hay la presencia de partículas en suspensión, lo que hace que la luz sea reemitida y no transmitida. Por lo cual, mientras mayor sea la intensidad de luz

dispersada existe mayor turbidez. Este parámetro es importante debido a que establece el grado de tratamiento para la potabilización (Romero, 2009).

La turbidez es causada por la materia en suspensión como: arcilla, fango, limo, materia orgánica y microorganismos (Summers, 2020; American Water Works Association & Letterman, 2002). Se asocia a enfermedades si la materia absorbe metales pesados y productos químicos, por lo cual, es un parámetro que se encuentra normado y se mide en Unidades Nefelométrica de Turbidez (NTU), donde los valores mayores a 5 NTU son visibles para el ser humano (Summers, 2020).

2.3.1.2. Sólidos

La materia sólida contenida en los líquidos se denomina sólidos y estos se pueden clasificar en totales, disueltos, suspendidos, volátiles y fijos. Los sólidos totales, son los residuos que quedan después de la evaporación y secado a 103°C, incluyendo sólidos disueltos y suspendidos (Romero, 2009).

Los sólidos totales tienen gran relevancia en la potabilización y se recomienda un contenido menor a 1000 mg/l en los suministros de agua (Romero, 2009). Además, la presencia de sales en el agua no tiene un sabor agradable, afecta las operaciones industriales y puede tener efectos en las personas que consumen agua (American Water Works Association & Letterman, 2002).

2.3.2. Parámetros químicos

Los parámetros químicos de interés para el presente estudio, se detallan a continuación:

2.3.2.1. Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto (OD) indica si existen condiciones aerobias o anaerobias y depende de la presencia de la materia orgánica. Es un factor importante en la autodepuración de los ríos (Romero, 2009). Se considera un parámetro importante de la calidad de ríos, arroyos y lagos, porque es un test clave para determinar la contaminación. De este modo, mientras mayor sea la concentración de oxígeno disuelto se considera que el agua tiene mayor calidad (Summers, 2020). Los factores que afectan el oxígeno disuelto son: presión, temperatura y la salinidad del agua (Summers, 2020), además de alta intensidad lumínica y turbulencia (Valencia, 2011).

2.3.2.2. *pH*

El pH es producto del equilibrio carbónico y la actividad biológica, este parámetro se ve alterado por la disolución del CO₂ y carbonatos en el agua, y la insolubilidad de los bicarbonatos (Amado Alvarez et al., 2006). Es importante debido a que el ajuste de pH se considera en los procesos previos a la potabilización y brinda una idea preliminar de las características fisicoquímicas del agua (Romero, 2009).

La acidez en el agua se debe al dióxido de carbono, ácidos minerales y sales, siendo la capacidad de neutralizar bases y reaccionar con iones hidroxilos (Summers, 2020). Por otra parte, la alcalinidad en aguas naturales es causada principalmente por bicarbonatos, carbonatos. Además, la alcalinidad es la capacidad para neutralizar ácidos y reaccionar con iones hidrógeno (Romero, 2009).

Los valores de pH altos o bajos pueden tener consecuencias en el ecosistema acuático. La OMS no establece valores debido a que no tiene efectos en la salud, pero considera que es un parámetro operativo importante en la calidad del agua (Organización Mundial de la Salud, 2018). El pH tiene efectos sobre las sustancias químicas, haciendo que los metales pesados como cadmio, plomo y cromo sean muy solubles en valores bajos. Además, cambia la forma del amoníaco cuando el agua se vuelve alcalina y ocasiona que este compuesto sea venenoso para los microorganismos (Summers, 2020).

2.3.2.3. *DBO₅*

La DBO es la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para consumir la materia orgánica. La DBO₅ representa el 65-70% de la materia orgánica (MO) oxidada a los 5 días (Romero, 2009). Los microorganismos metabolizan la materia orgánica y en este proceso consumen el oxígeno disuelto, por lo tanto, mientras exista mayor materia orgánica se incrementará la DBO (Summers, 2020).

La demanda biológica de oxígeno mide el carácter reductor del agua debido a la presencia de materia orgánica, siendo el número de miligramos de oxígeno que se necesitan para oxidar la MO en un litro de agua (Spiro & Stigliani, 2004).

2.3.2.4. *Fósforo*

El fósforo es uno de los nutrientes que controla el crecimiento de las algas (Romero, 2009), por lo tanto, es importante determinarlo cuando se analiza la contaminación de un río, lago o embalse, siendo clave por la influencia en la eutrofización (Sierra & Garcia, 2012).

El aporte de fósforo por fuentes puntuales viene dado por depósitos y rocas fosfóricas. Además, existe un aporte antrópico por parte de las aguas residuales, industriales y por fuentes difusas como la agricultura y la escorrentía (Sierra & Garcia, 2012). La presencia del fósforo en el agua puede ser en forma de ortofosfatos, polifosfatos y fosfatos orgánicos (Romero, 2009).

La temperatura y el pH afectan las concentraciones de fósforo debido a las reacciones de especiación. Por otro lado, la conductividad ocasiona la precipitación de fosfatos (Carrera et al., 2020).

2.3.2.5. Nitritos-Nitratos

Las aguas que contienen el Nitrógeno en forma de nitratos, dan a conocer que ocurrió una contaminación en un periodo previo al análisis. Por el contrario, los nitritos indican procesos biológicos activos (Romero, 2009). Los nitratos son nutrientes que pueden limitar el crecimiento de las plantas, por este motivo, si existen grandes concentraciones de este nutriente pueden causar eutrofización y degradar la calidad del agua. Además, causa enfermedades en niños menores a 3 años (Summers, 2020).

Se considera uno de los aniones principales de las aguas naturales y aumenta la concentración por el lixiviado proveniente de abonos o fosas sépticas (American Water Works Association & Letterman, 2002).

2.3.3. Parámetros biológicos

Los parámetros biológicos utilizados en el presente estudio, se detallan a continuación:

2.3.3.1. Coliformes totales

Los coliformes son un grupo de bacterias gram-negativas, que son empleadas con frecuencia como indicadores biológicos (Summers, 2020; Romero, 2009). Su presencia indica si existe contaminación con aguas residuales domésticas, aunque también su origen puede ser no fecal (American Water Works Association & Letterman, 2002; Summers, 2020). Este parámetro acelera la productividad primaria de los cuerpos lóticos (Durán, 2016).

El agua contaminada con microorganismos patógenos constituye un riesgo en la salud pública, debido a que provoca enfermedades entéricas (Silva et al., 2004). Es un tema de interés sanitario especialmente en los países en vías de desarrollo, los principales indicadores son: coliformes totales y fecales. La *Escherichia coli* es una bacteria que, por estar presente

en el intestino del ser humano y animales, se utiliza con mayor frecuencia en los análisis bacteriológicos del agua (Fewtrell & Bartram, 2001; Spiro & Stigliani, 2004; Romero, 2009).

2.4. Factores que afectan la calidad del agua

El monitoreo constante en los diferentes cuerpos de agua, permite detectar de manera oportuna cuando existen cambios en la calidad. Sin embargo, se debe tomar en cuenta el propósito para el cual el agua será utilizada, dependiendo de ello varían los factores que interfieren la calidad (Castro et al., 2014).

El clima puede tener repercusiones en la calidad del agua y esto se debe a que dependiendo de las condiciones extremas ya sean húmedas o secas, afectarán la turbidez, materia orgánica, color y metales. Las precipitaciones abundantes pueden arrastrar microorganismos como *Giardia lamblia* y ooquistes de *Cryptosporidium* a cuerpos de agua, principalmente en zonas agrícolas y zonas residenciales que no tienen un buen manejo de las aguas negras . (Doménech, 2003). Por el contrario, en la ausencia de lluvia se puede producir la retención de compuestos orgánicos en lagos y desarrollarse algas (American Water Works Association & Letterman, 2002). Además, se ha encontrado que en épocas de sequía aumenta la DBO₅, nutrientes y cloruros (Jerves-Cobo et al., 2018).

La temperatura afecta la actividad biológica, satura los niveles de oxígeno y transferencia de masas (American Water Works Association & Letterman, 2002). El patrón de temperaturas en épocas de lluvia, es que la temperatura del agua sea mayor que en épocas de sequía y esto a su vez disminuye el oxígeno disuelto (OD). Sin embargo, en ríos de zonas andinas se puede presentar la particularidad que el OD es mayor en temporadas secas (Jerves-Cobo et al., 2018). Sumado a los factores climatológicos, las características de los cauces de agua pueden modificar la calidad. La escorrentía puede arrastrar sedimentos, desechos y nutrientes que alteren el color, turbidez y la presencia de algas en cuerpos hídricos. Por el contrario, la vegetación ribereña puede actuar de barrera impidiendo que estos contaminantes lleguen al río (American Water Works Association & Letterman, 2002).

En la agricultura la calidad del agua incide en la producción de los cultivos. Cuando existen suelos contaminados la escorrentía traslapa estos contaminantes a los cauces de agua. Por lo tanto, los factores que afectan la calidad del agua para regadío son: metales pesados, fosfatos, nitratos y la salinidad (Anchundia Troya, 2019).

El agua potable utilizada para el consumo humano, se ve afectada por muchos factores, pero especialmente por coliformes fecales (CF), turbidez y pH (Fewtrell & Bartram, 2001). En el

TULSMA se establece que los CF no deben exceder los 2 000 NMP/100 ml; coliformes totales (CT) hasta 20 000 NMP/100 ml, la turbiedad hasta 100 NTU y el pH debe estar en un rango de 6 - 9 (TULSMA, 2015).

2.5. Cuencas hidrográficas

La cuenca hidrográfica es un sistema biofísico, abarca la superficie terrestre donde se drenan los cursos de agua, con sedimentos, nutrientes y componentes químicos. Esto es arrastrado por arroyos y ríos hasta una desembocadura delimitada topográficamente (Brooks et al., 2013). Se conoce como cuenca al área donde discurren todos los afluentes hacia un punto de descarga. La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), define como *“Zona geográfica que se encuentra drenada por una corriente de agua”* (Aguirre Núñez, 2011).

Los servicios ecosistémicos aportados por una cuenca hidrográfica pueden ser directos como el abastecimiento de agua, e indirectos como la regulación de caudales, hábitat para diferentes especies y servicios de ecoturismo (Aguirre Núñez, 2011). La cuenca se encuentra conformada por una red de ríos y arroyos que van desde menor a mayor orden según su posición en el paisaje, siendo los canales no ramificados de primer orden y estos a su vez alimentan a uno de segundo orden (Ibañez et al., 2011). De tal modo que los flujos de agua se dirigen hacia un cauce principal (Brooks et al., 2013; Ibañez et al., 2011).

Los múltiples beneficios que son proporcionados por una cuenca hacen que sea el ente geográfico apropiado para la planificación y gestión de los recursos hídricos, esto ha sido expresado en varias conferencias como la Conferencia Internacional sobre el Agua y el Medio Ambiente (CIAMA), Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (CNUMAD) en 1992 y la Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible en el 2002 (Jouravlev, 2009).

2.5.1. Cuenca del río Paute

La cuenca del río Paute se encuentra ubicada en los Andes centro sur y pertenece al sistema hidrográfico del río Santiago. Presenta una extensión de 6439 km² distribuidos entre las provincias de Azuay, Cañar y Morona Santiago (Cordero, 2013) y presenta altitudes desde los 2 000 a 4 600 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.). En la parte alta de la cuenca, se encuentran las subcuencas de los ríos: Yanuncay, Tomebamba, Tarqui y Machángara, la cuenca media está conformada por las subcuencas: Burgay, Jadán y Gualaceo y la cuenca baja por los ríos: Culticay, Collay, Pindilig, Mazar, Juval y Púlpito (Donoso, 2002).

2.5.1.1. Características de la cuenca

La temperatura en la cuenca es variada e inversamente proporcional a la altitud, con 4 °C en las zonas altas y 16 °C en los valles. El gradiente térmico es de 0,6 °C por cada 100 m (Cordero, 2013). El clima es diverso: frío de alta montaña - páramo, templado - subtropical y tropical en las llanuras. Estas variaciones son causadas por la morfología de la cuenca, ubicación geográfica y factores meteorológicos como el anticiclón del sur, fenómeno del Niño y de la Niña (Donoso, 2002).

La cuenca del río Paute tiene variaciones considerables en cuanto a la precipitación. La mayor cantidad se presenta en la cuenca alta, en esta zona se encuentra la subcuenca del río Machángara, Tomebamba y Tarqui, las cuales tienen precipitaciones del régimen oriental y occidental (Donoso, 2002).

La calidad de los ríos de la cuenca media y baja se ve alterada por actividades agrícolas, ganaderas y vertidos de aguas residuales. La vegetación predominante está compuesta por pastos, vegetación arbórea y cultivos (Cordero, 2013).

2.5.2. Subcuenca del río Machángara

La Subcuenca del río Machángara se ubica entre las provincias de Azuay y Cañar y posee una extensión de 325,45 km², esta subcuenca pertenece a la Cuenca del río Paute y al sistema hidrográfico del Santiago. Al estar ubicada entre los 2 500 a 4 000 m.s.n.m. presenta temperaturas entre 8 y 14 °C. En la parte alta de la subcuenca se encuentran los embalses Chanlud a 3 440 m.s.n.m. y El labrado a 3 420 m.s.n.m. los cuales aportan a las centrales para la generación de energía hidroeléctrica y además la subcuenca abastece de agua potable a la mitad de la población cuencana (Díaz, 2015).

2.6. Embalses

Los embalses son acumulaciones de agua (reservorios), que permiten la generación de energía, aprovisionamiento de agua para consumo y riego, atenuación de crecientes, provisión de hábitat (Ledesma et al., 2013; Sriwongsitanon et al., 2011), y es un mecanismo que permite mitigar o prevenir inundaciones (Bedoya & López, 2015).

Los embalses son cuencas creadas por el ser humano, con condiciones hídricas entre un río y un lago. Permite el aporte de sedimentos y los cambios en la temperatura, además el tiempo de residencia del agua ocasiona la estratificación de los embalses (Pérez & Restrepo, 2008).

2.7. Uso de suelo

2.7.1. *Uso de suelo y calidad del agua*

La calidad del agua y el uso de suelo se asocia principalmente por la expansión urbana y agrícola. Lo cual puede afectar la calidad, debido a que los suelos sin la cobertura vegetal facilitan el transporte de sedimentos. Se estima que a cada hectárea de suelo urbano le corresponden 100 toneladas de sedimentos/año, los cuales a su vez pueden contener metales pesados, MO, entre otros contaminantes (Krenkel, 2012).

El impacto antropogénico por el crecimiento urbano, agrícola e industrial, provoca presión en los ecosistemas. Ocurren cambios en el paisaje o en el uso del suelo, afecta los cuerpos hídricos cercanos y a nivel de cuencas hidrográficas altera el equilibrio del medio por aporte de contaminantes (Zhao et al., 2015).

Zona urbana: Son áreas densamente pobladas con al menos 50 000 habitantes en zonas contiguas (Dijkstra et al., 2021). El suelo urbano, abarca asentamientos humanos (infraestructura y servicios públicos) (Ley Orgánica de ordenamiento territorial, uso y gestión de suelo, 2016). Esta zona se dedica especialmente al comercio y a la industria (Gutiérrez de MacGregor, 2003).

La hidrología en estas zonas se ve afectada por el predominio de superficies impermeables, lo cual hace que la escorrentía sea mayor, debido a que hay menos áreas permeables y por ende menos infiltración (Bedient et al., 2013). Además, cambia la forma y densidad del drenaje de agua, en especial por la poda de cauces naturales para la creación de zanjas y canales pluviales, alcantarillado o combinados (Marsh, 2005).

Zona periurbana: Las zonas periféricas son las que se encuentran en los márgenes de la ciudad y conservan las características urbanas y se encuentra formado por una franja en mayor o menor grado urbanizada (Arteaga, 2005).

Zona de conservación: Son espacios de terreno y/o mar en los cuales se pretende la conservación a largo plazo de su entorno, servicios ecosistémicos y valores culturales. Estas zonas son gestionadas por medios legales u otros medios efectivos (convenios, tratados, etc.) (Dudley, 2008).

Áreas o zonas de recarga hídrica: Son territorios que debido a las condiciones de la zona y factores biofísicos (precipitación, suelo y cobertura vegetal), presentan una gran capacidad de retención, almacenamiento y dotación de recursos hídricos (Donis, 2015). Es importante

mencionar que son territorios no intervenidos y que por lo general se encuentran a varios m.s.n.m. (Masache, 2018).

2.8. Monitoreo hidrometeorológico

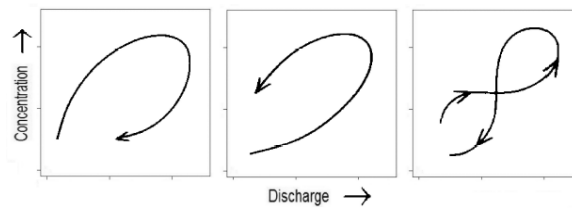
El monitoreo de la calidad del agua en conjunto con el caudal y el clima permiten conocer los recursos disponibles de una zona determinada y sus cambios espacio-temporales (Moraes et al., 2020). Las redes de monitoreo proporcionan información valiosa a los tomadores de decisiones, los datos de calidad del agua permiten detectar fuentes de contaminación, tendencias en la calidad, previene afecciones en los usuarios y, por otro lado, los datos meteorológicos ayudan a conocer el clima diario y posibles efectos climáticos severos (Bradford & Marsh, 2015; Moraes et al., 2020).

Las estaciones hidrometeorológicas miden y recopilan datos meteorológicos e hidrológicos, el sensor piezométrico toma los datos del nivel del río y los registra en tiempo real, la frecuencia de envío puede variar, por defecto en una estación automática es cada minuto (Tupunatron, 2020). El pluviómetro mide la cantidad de agua que se precipita en una zona en mm, es decir cuántos litros caben en un área determinada (m^2), pueden ser manuales, de báscula o con tubo de descarga (Pliego, 2017).

2.9. Histéresis

La histéresis se define como un retraso de un efecto físico en un cuerpo detrás de su causa, es decir, cuando las fuerzas externas actúan sobre un objeto, el cual volverá inmediatamente a su estado original o, lo que es más probable, de alguna manera cambiará o exhibirá propiedades de deformaciones (Lish, 2017). El comportamiento histerético al analizarlo con parámetros de calidad del agua permite conocer en qué momento la escorrentía se encuentra en valores altos o bajos y que efecto tiene sobre el comportamiento de parámetros físicos y químicos (Schob, 2014).

Los ciclos de histéresis pueden dar una idea de los procesos hidrogeoquímicos que resultan de la interacción de varios factores, presentando formas lineales, curvas en sentido horario, antihorario, sin sentido, valor único más un bucle, o en forma de 8 (*Figura 1*). En la investigación de Schob (2014), se menciona que una cuenca presenta diferentes respuestas con respecto al lecho rocoso, geomorfología, características de lluvia, escorrentía, propiedades y uso del suelo, nutrientes y contaminantes, lo cual se ve reflejado en el comportamiento de distintos parámetros en el transcurso del tiempo.

Figura 1*Comportamientos histeréticos*

Nota. Adaptado de Gráficos de bucles de histéresis, Calderón & Ramírez, 2018.

2.10. Estacionalidad

2.10.1. Precipitación

Las precipitaciones son todas las formas de humedad que se producen en la atmósfera y se depositan en la superficie en forma de lluvia, granizo, rocío, neblina, nieve o helada (Sáenz, 2004). Es un fenómeno que tiene variabilidad espacial y temporal dependiendo de las características propias de la zona y tiene un impacto en la hidrología de las cuencas (Chen et al., 2015), debido a que influye en el manejo de recursos hídricos, abastecimiento de agua a la población, prevención de inundaciones y sequías (Ablan et al., 2008). Al analizar la variabilidad se puede conocer la disponibilidad de agua en las cuencas (Matovelle et al., 2021).

Los regímenes de precipitación en los Andes Ecuatorianos se ven influenciados por oscilaciones a gran escala como el fenómeno del Niño - Oscilación del Sur (ENOS), el cual está conformado por una fase cálida (El Niño) y una fase fría (La Niña) (Salton et al., 2021), además de la zona de convergencia intertropical (Celleri et al., 2007). Las variaciones climáticas interanuales corresponden a variaciones que se producen en las variables climatológicas año con año (Montealegre, 2009).

2.10.1.1. Índice de precipitación estandarizado

El índice de precipitación estandarizado (SPI) permite detectar periodos de sequías o exceso de lluvias, los valores altos de SPI reflejan épocas húmedas y valores bajos épocas de estiaje, el valor se obtiene al indicar cuantas desviaciones estándar se alejan de la media (Campitelli, 2017).

Se basa en la función de probabilidad acumulada de registros históricos de precipitación y estima la probabilidad para cada mes, convirtiendo esa probabilidad al cuartil apropiado de la

distribución estándar (Campitelli, 2017). Es una herramienta de planificación porque con él se obtiene información de la intensidad, magnitud, frecuencia, duración y cobertura espacial de la sequía tomando como base el registro de datos históricos de precipitación, además permite modificar la escala, con la cual se puede analizar a corto, mediano y largo plazo los eventos de sequía (Olivares et al., 2016).

Tabla 1

Clasificación del Índice de precipitación estandarizado (SPI)

SPI	Categoría
>2	Extremadamente húmedo
1,5 a 1,99	Muy húmedo
1 a 1,49	Moderadamente húmedo
-0.99 a 0.99	Normal o aproximado
-1 a -1.49	Moderadamente seco
-1.5 a -1.99	Severamente seco
< -2	Extremadamente seco

Nota. Adaptado de “Estudio de la Sequía Meteorológica en Localidades de los Llanos de Venezuela Mediante el Índice de Precipitación Estandarizado Clasificación del SPI” (p.273), por Olivares et al., 2016, ACTA NOVA, 7(3).

2.10.1.2. El Niño Oscilación del Sur

El Niño Oscilación del Sur (ENOS), es un fenómeno atmosférico-oceánico que causa variabilidad en el clima, provocando sequías y temperaturas extremas. Cuando las anomalías de la temperatura en una media móvil de 3 meses son positivas y superan los +0,5 °C, se conoce como fase cálida (Nóia Júnior et al., 2020). La llegada de esta oscilación a los Andes se caracteriza por traer masas de aire con humedad desde el Norte. El Niño se caracteriza por calentamiento, mientras que la Niña por enfriamiento (Celleri et al., 2007).

2.10.1.3. Zona de convergencia intertropical

La Zona de convergencia intertropical denominada (ZCIT), está ubicada en la depresión ecuatorial (Waliser & Jiang, 2015). Se origina por la convergencia de los vientos alisos del hemisferio norte y sur, los cuales se encuentran cargados de calor y humedad. Se mueve en dirección del sol, por lo cual se dirige al norte en el verano y hacia el sur en el invierno. Lo cual genera estaciones húmedas y secas en los trópicos (NOAA, 2023).

2.10.1.4. Temperatura de la superficie del mar (TSS)

La temperatura de la superficie del mar influye en la circulación atmosférica, los patrones de lluvia y los ciclones tropicales (Copernicus, 2023). Mora & Willems (2012) mencionan que las variaciones pluviales en la Amazonía se relacionan con la TSS. De igual manera Vuille et al. (2000), hace referencia que las variaciones pluviales en los Andes se deben a las anomalías de la temperatura de la superficie del mar en el Pacífico.

2.10.2. Caudales

Es la cantidad de agua que fluye por una sección transversal, corriente o río en un momento dado, se mide en función de la velocidad del flujo y el área de la columna de agua. Además, se considera un parámetro importante debido a que varía dependiendo el clima, topografía y actividades antrópicas (Cantera et al., 2009).

El caudal ecológico es el flujo mínimo que puede existir para la conservación del ecosistema, manteniendo las características paisajísticas. Por otro lado, el caudal ambiental es el régimen modificado establecido en un río para sustentar el ecosistema y sus beneficios, además se utiliza para determinar cuánta agua se le puede quitar sin causar deterioros en el río o la cantidad necesaria para restaurarlo (Cantera et al., 2009).

2.10.2.1. Nivel del Agua

El nivel del agua se determina sobre una corriente de agua y hace referencia a la altura alcanzada por el nivel del agua en relación con un nivel de referencia, de este modo una creciente se representará como un nivel normal dentro del lecho de corriente y una inundación como una elevación inusual que provoca desbordamientos (Sáenz, 2004).

2.10.2.2. Curva de duración de caudal

La curva de duración de caudal (CDC), permite conocer la variabilidad del flujo y es un método que determina caudales altos y también eventos de estiaje (Burgan & Aksoy, 2022). Es la relación entre la magnitud y la frecuencia. Este permite evaluar el porcentaje de tiempo que dicha magnitud es igualada o excedida (Gaviria & Carvajal-Serna, 2020) y se usa para estudiar la disponibilidad hídrica, estudios de crecientes y caudales ecológicos (Gallego Arias & Carvajal Serna, 2017).

2.11. Análisis Estadístico

La United States Geological Survey (USGS) menciona que el análisis estadístico de los datos hidrológicos permite detectar tendencias, patrones e incluso la incertidumbre que se asocia a los datos. Al conocer las características de los datos se comprende el contenido y calidad de los mismos, lo que permite utilizar los estadísticos adecuados y evitar análisis no concluyentes (Helsel & Hirsch, 2002).

2.11.1. Análisis exploratorio de los datos

El análisis exploratorio de los datos permite encontrar patrones, detectar datos atípicos y relaciones entre variables, es decir, se resumen sus principales características, para lo cual se utilizan métodos analíticos y gráficos (IBM, 2021). Por lo general, los datos hidrológicos pueden tener las siguientes características: sesgo positivo porque no son posibles valores negativos y por la presencia de valores atípicos; siguen una distribución no normal debido a los valores extremos; patrones estacionales, es decir valores altos o bajos dependiendo de la estación; autocorrelación y dependencia con variables no controladas (Helsel & Hirsch, 2002).

2.11.2. Análisis de consistencia

El análisis de consistencia permite comprobar si la base de datos no presenta anomalías y puede ser utilizada en el estudio.

2.11.2.1. Curva de doble masa

Es un método que se emplea para verificar la homogeneidad de los datos en una estación pluviométrica, mediante una curva doble acumulativa se relaciona la precipitación acumulada de un lugar, lo cual permite comprobar si no existió alguna anomalía durante ese periodo, esto se comprueba si al construir el gráfico no existe un cambio en la pendiente, por el contrario, si hay un cambio se deben corregir los datos (Sáenz, 2004).

2.11.3. Análisis de Normalidad

El test de normalidad analiza si los datos siguen una distribución normal, para lo cual se pueden realizar tests que midan la diferencia entre las distribuciones empíricas y la función de distribución acumulada normal como el test Lilliefors, por otro lado, se puede basar en la

relación de dos estimaciones por mínimos cuadrados como el test de Shapiro, cabe destacar que también se puede encontrar la distribución por asimetría y curtosis (Cabrera, 2017).

2.11.3.1. Test de Shapiro-Wilk

El test de Shapiro-Wilk se emplea cuando existen menos de 50 datos en la muestra, detectando desviaciones a la normalidad por asimetría o curtosis, en una muestra aleatoria $x_1 < x_2 \dots < x_n$ (Mohd Razali & Yap, 2011).

Ecuación 1

Fórmula de Shapiro Wilk

$$W = \frac{1}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \left(\sum_{i=1}^h a_{(i)n} (x_{n-(i)+1} - x_{(i)}) \right)^2$$

Nota. Adaptado de “Power Comparisons of Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors and Anderson-Darling Tests”, por N. Mohd Razali, 2011, *J. Stat. Model. Analytics*.

Donde:

$x_{(i)}$ = número que ocupa la i-ésima posición en la muestra

\bar{x} = medial muestral

2.11.3.2. Test de Lilliefors

El test de Lilliefors es la modificación de Kolmogórov-Smirnov, y se utiliza cuando no se conoce la distribución. Realiza una estimación a la distribución con los datos de la muestra y evita el error tipo I que se obtendría si se aplica Kolmogórov-Smirnov sin conocer la desviación (Mohd Razali & Yap, 2011).

2.11.4. Análisis de correlación

El análisis de correlación intenta estimar la relación que presenta un par de variables y la correlación se calcula a partir de coeficientes, los cuales miden la intensidad de la relación lineal entre las dos variables. Además, el signo del mismo (-, +) es informativo. Existen tres metodologías: Correlación de Pearson, Spearman y Kendall (Reimann et al., 2011).

Si el valor es próximo a -1 , existe una relación lineal negativa fuerte. Si es próximo a cero, se dirá que no hay correlación lineal, y si es próximo a 1 , se tiene una relación lineal positiva fuerte (Gutiérrez & De La Vara, 2008).

2.11.4.1. Tipos de correlación

La correlación lineal se clasifica en simple cuando existe una variable independiente (x) y una variable dependiente (y), por otro lado, la correlación lineal múltiple abarca más de dos variables, una variable dependiente (y) y varias independientes (x_1, x_2, x_k) (Quevedo Urías & García, 2011).

Correlación directa: En la correlación directa existe un incremento a la par por parte de las variables, es una correlación positiva (Quevedo Urías & García, 2011).

Correlación cruzada: En la correlación cruzada se busca relaciones entre variables por causalidad, la causalidad se da cuando x es causada por otra variable y se analiza si los valores presentes de x se pueden predecir mejor con los valores pasados de y, con lo cual se determina el grado de significación relativa entre dos series temporales (Ariza Garzón & Cadena Lozano, 2014).

2.11.4.2. Coeficiente de correlación

2.11.4.2.1. Coeficiente de Pearson

Es un método que permite representar una correlación lineal entre variables aleatorias, sus valores oscilan entre +1 y -1, siendo +1 una correlación positiva fuerte y -1 una correlación negativa fuerte (Liu, 2021). El coeficiente de correlación de Pearson viene definido mediante la covarianza de dos variables dividida para el producto de sus desviaciones estándar (Hartmann et al., 2012) . La fórmula es la siguiente:

Ecuación 2

Coeficiente de correlación de Pearson

$$\rho_{xy} = \frac{Cov_{xy}}{\sigma_x \sigma_y}$$

Nota. Adaptado de “*Predictive Modeling of Drug Sensitivity*”, por N. Pal, 2017.

Donde:

ρ_{xy} = coeficiente de correlación de Pearson

Cov_{xy} = covarianza de las 2 variables

σ_x = desviación estándar de la variable “x”

Este método es recomendable emplearlo cuando los datos presentan una relación lineal, los valores son independientes entre sí y el conjunto de datos siguen una distribución normal (Liu, 2021).

Tabla 2

Interpretación del coeficiente de correlación de Pearson

Coeficiente de correlación de Pearson	Interpretación
0 - 0,10	Correlación nula
0,10 - 0,30	Correlación débil
0,30 - 0,50	Correlación moderada
0,50 - 1	Correlación fuerte

Nota. Adaptado de *Wind Forecasting in Railway Engineering*, por Liu, 2021, Elsevier; 1er edition.

2.11.4.2.2. Coeficiente de Spearman

El coeficiente de correlación de Spearman, también se lo conoce como “coeficiente de rango”, es un método que determina la medida de asociación entre dos variables, al igual que el coeficiente de Pearson sus valores se encuentran entre -1 y +1, donde -1 representa que los rangos entre las variables son distintos y +1 indica que los rangos entre las variables tienen similitud (Al-jabery et al., 2020).

Ecuación 3

Coeficiente de Spearman

$$r_s = 1 - \frac{6\sum d^2}{n(n^2 - 1)}$$

Nota. Adaptado de “*El coeficiente de correlación de los rangos de Spearman*” por Martínez Ortega et al., 2009, *Revista habanera ciencias médicas*. 8(2).

Donde:

r_s = coeficiente de correlación de Spearman

d = diferencia de rangos entre X e Y

n = número de datos

Este método es menos sensible a valores atípicos, puede medir la fuerza de una relación monótona (Al-jabery et al., 2020) y se puede emplear en diferentes distribuciones o cantidades (Liu, 2021).

Tabla 3

Interpretación del coeficiente de correlación de Spearman

Coeficiente de Correlación de Spearman	Interpretación
-0.91 a -1.00	Correlación negativa perfecta
-0.76 a -0.90	Correlación negativa muy fuerte
-0.51 a -0.75	Correlación negativa considerable
-0.11 a -0.50	Correlación negativa media
-0.01 a -0.10	Correlación negativa débil
0.00	No existe correlación
0.01 a 0.10	Correlación positiva débil
0.11 a 0.50	Correlación positiva media
0.51 a 0.75	Correlación positiva considerable
0.76 a 0.90	Correlación positiva muy fuerte
0.91 a 1.00	Correlación positiva perfecta

Nota. Adaptado de *Wind Forecasting in Railway Engineering*, por Liu, 2021, Elsevier; 1er edition.

2.11.4.2.3. Coeficiente de Kendall

También conocido como “Tau de Kendall”, es un método de medida del grado de correlación de dos variables de grado ordinal. Asume que la correlación no depende de los valores numéricos, pero sí de los rangos de los valores de los datos y, al igual que los coeficientes de Pearson y Spearman presenta valores de -1 y +1 (Puka, 2011). Este método es la alternativa no paramétrica del método de Pearson, asume que los datos deben presentar una relación monótona y las variables se tienen que medir en una escala ordinal o continua. (Magiya, 2019).

Tabla 4

Coeficiente de correlación de rango de Kendall

$$Tau = \frac{C - D}{\frac{n(n - 1)}{2}}$$

Nota. Adaptado de *International Encyclopedia of Statistical Science*, por Puka, 2011, Lovric, M. (eds)

Donde:

Tau= coeficiente de correlación de rango de Kendall

C= número de pares que son concordantes

D= número de pares que son discordantes

n= número de observaciones

Capítulo III

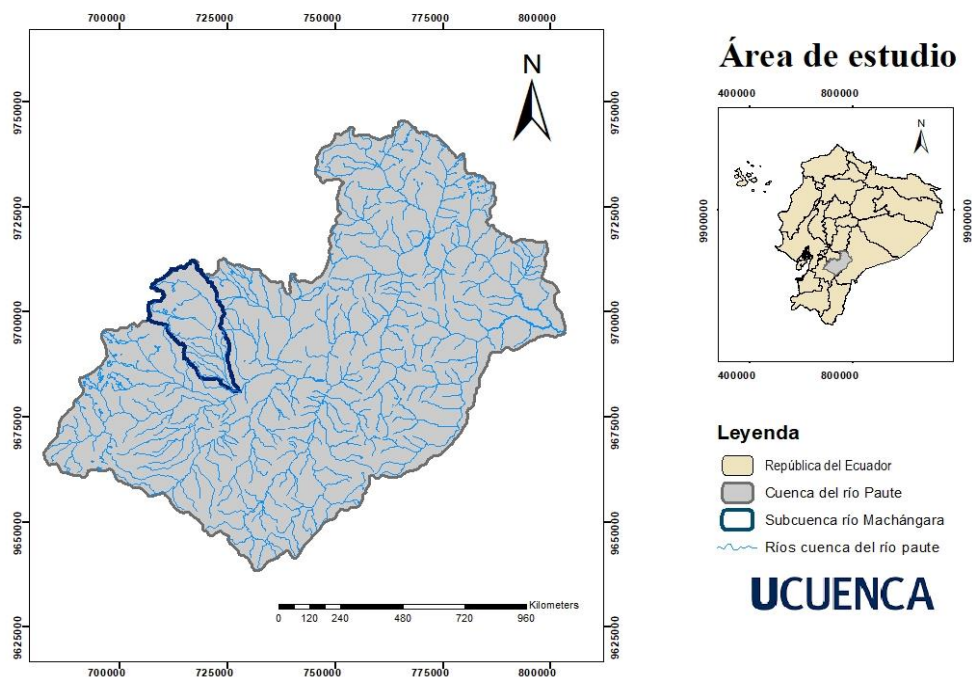
3. Metodología

3.1. Área de estudio

El área de estudio comprende la subcuenca del río Machángara, la cual es tributaria a la cuenca del río Paute y se encuentra al Noroeste de la ciudad de Cuenca, provincia del Azuay, es la convergencia de las microcuencas Chulco, Chacayacu y Machángara (González, 2021) ver *Figura 2*. El cauce nace en la laguna Machángara cocha en el Parque Nacional Cajas y desemboca en el río Tomebamba de la ciudad de Cuenca para formar el río Cuenca (Villavicencio Riera & Chávez Ochoa, 2011). La subcuenca se encuentra regulada en la cuenca alta por los embalses Chanlud con 17 hm³ y El Labrado con 6 hm³, permitiendo la generación de energía hidroeléctrica en las centrales Saucay - Saymirin y la provisión de agua en la Planta de agua potable de Tixán (Díaz et al., 2015). El presente estudio se enfoca específicamente en los parámetros de calidad de agua de tres estaciones ubicadas en el río Machángara, las cuales corresponden a una zona de conservación, periurbana y urbana, dentro del periodo comprendido del 2006 al 2013.

Figura 2

Ubicación de la zona de estudio (Subcuenca del río Machángara)



Nota. Ubicación de la subcuenca del río Machángara en la Cuenca del río Paute.

3.2. Descripción del Área de estudio

La subcuenca del río Machángara se origina a una altitud de 4 400 m.s.n.m. y desemboca en el río Tomebamba a los 2 400 m.s.n.m., con una extensión total de 325,45 km². Abarca las parroquias Checa, Chiquintad, Sinincay, Sayausí, Octavio Cordero Palacios, Ricaurte, Sidcay, Jerusalén, Nazón, Turupamba, Cojitambo, Deleg, Javier Loyola y Solano (Alquina Herrera & Mena Iza, 2019). Es un ecosistema estratégico, siendo fuente de abastecimiento para el agua potable, riego, actividades industriales y generación de energía (Elecaastro, 2019).

La subcuenca debido a su ubicación cuenta con temperaturas medias anuales de 9 °C en las zonas altas y de 19 °C en zonas bajas (Jerves-Cobo et al., 2018). La cuenca alta es zona de páramo, con un clima frío y húmedo. La cuenca media y baja corresponden al bosque seco montano y clima tropical de alta montaña (Saquisilí Guartamber, 2019). Además, la ciudad de Cuenca se encuentra en una zona de valle interandino y presenta un clima templado-frío (Galarza, 2016).

La subcuenca del Machángara presenta una distribución bimodal anual, es decir existen dos periodos lluviosos. El primero desde las últimas semanas de febrero hasta inicios de julio y el segundo desde mediados de septiembre hasta la primera semana de noviembre (Jerves-Cobo et al., 2018) De tal manera que factores como: suelos (Andosoles) con alta retención hídrica y lluvias distribuidas durante todo el año permiten que estos ecosistemas sean grandes reservorios de agua (Celleri et al., 2007).

3.3. Base de datos

3.3.1. Recopilación de información

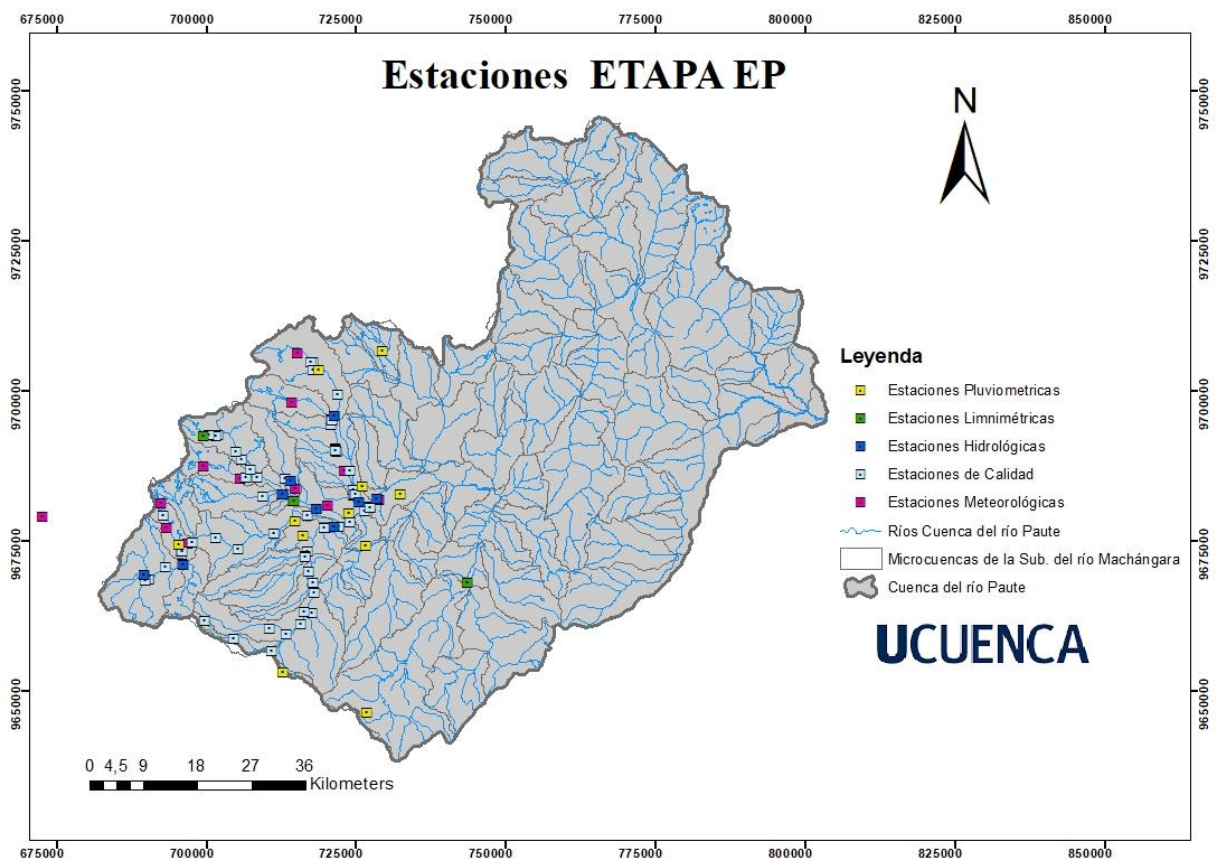
La Subgerencia de Gestión Ambiental de ETAPA EP, tiene una Red Hidrometeorológica con aproximadamente 70 estaciones en las subcuencas *Figura 3*. La base de datos fue proporcionada por la Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (ETAPA EP), la cual brindó información de mediciones de parámetros físico-químicos de 1985 al 2022 de todas las campañas de monitoreos realizadas por los técnicos de la empresa, además de información hidrológica de 2003 hasta 2013 de la estación limnimétrica ubicada en Chulco y datos de precipitación de las estaciones meteorológicas ubicadas en Chanlud y Saucay desde 2002 hasta 2015 y para Ucubamba desde octubre de 1998 hasta marzo del 2020.

Los parámetros evidenciados en la información recopilada son:

- Nivel de agua (cm)
- Precipitación (mm)
- Oxígeno Disuelto (mg/l)
- % de oxígeno de saturación
- Conductividad ($\mu\text{s}/\text{cm}$)
- Color aparente (UC)
- pH
- Fosfatos ($\mu\text{g}/\text{L}$)
- Nitritos + Nitratos ($\mu\text{g}/\text{L}$)
- Sólidos Totales (mg/L)
- Turbidez (NTU)
- Coliformes Totales (NMP/100ml)
- Coliformes Fecales (NMP/100ml)
- DBO_5 (mg/L)
- Manganeseo ($\mu\text{g}/\text{L}$)
- Hierro ($\mu\text{g}/\text{L}$)
- Aluminio ($\mu\text{g}/\text{L}$)

Figura 3

Ubicación de las estaciones de ETAPA EP



3.4. Selección de las estaciones de monitoreo

En el presente estudio se tomarán los datos de caudal, precipitación y calidad del agua en tres puntos representativos de la Subcuenca del río Machángara, los cuales se detallan a continuación.

Tabla 5

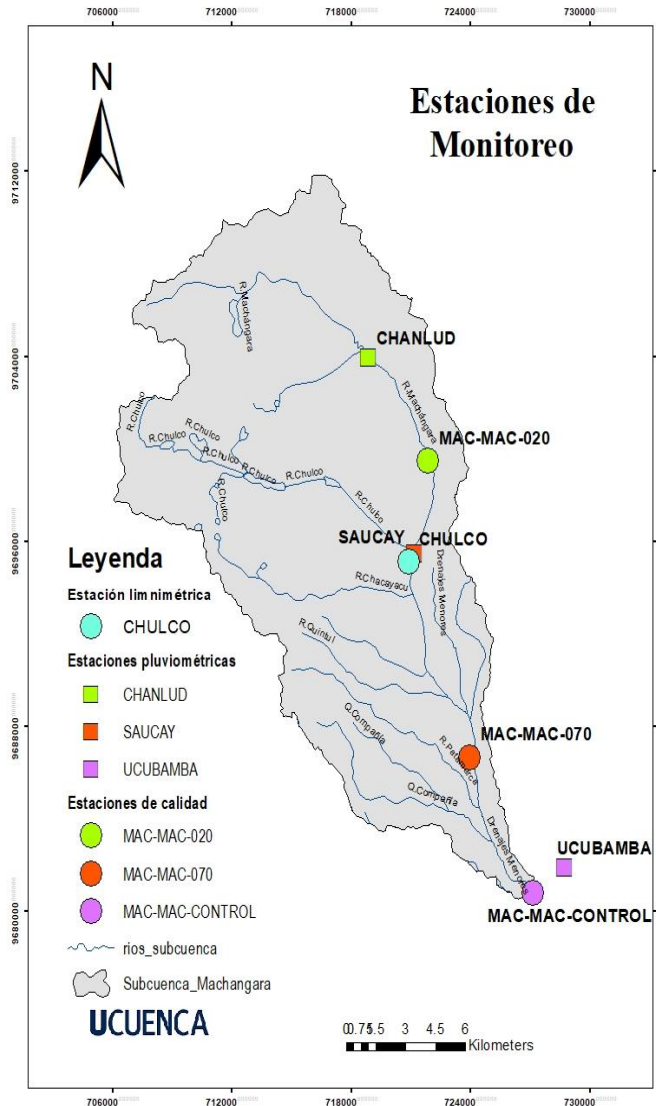
Estaciones de monitoreo del estudio

Código estación	Tipo	X	Y	Ubicación	Periodo de datos	Zona de representación
MAC-MAC-020	Calidad	721892	9699447	Machángara A.J. Soroche	2005 a 2022	
CHANLUD	Pluviom.	718864	9703952	Chanlud bajo	2002 a 2015	Conservación
MAC-MAC-070	Calidad	723951	9686693	A.J. Ochoa León (en puente)	2005 a 2021	
SAUCAY	Pluviom.	721141	9695466	Después de la estación hidroeléctrica de Saymirin	2002 a 2015	Periurbana
MAC-MAC-CONTROL	Calidad	727145	9680815	A.J. Tomebamba	1985 a 2022	Urbana
UCUBAMBA	Pluviom.	728722	9681876	PTAR Ucubamba	1998 a 2002	
DJ CHULCO	Limnim.	720890	9695100	PTAP SAUCAY	2002 a 2013	Toda la subcuenca

Nota. Pluviom. (Pluviométrica), Limnim. (Limnimétrica). Adaptado de ETAPA EP

La ubicación de las estaciones de monitoreo de calidad y pluviométricas en la subcuenca del río Machángara se presentan en la *Figura 4*, la simbología se encuentra representada de la siguiente manera: el color verde representa la zona de conservación, el naranja la zona periurbana y el morado la zona urbana.

Figura 4
Estaciones de monitoreo utilizadas



Nota. Estaciones de calidad, pluviométricas y limnimétrica utilizadas en el estudio. Fuente: Adaptado de ETAPA EP.

3.5. Selección de los parámetros de calidad del agua

En base a la literatura revisada, se seleccionaron los parámetros de calidad del agua que tienen mayor importancia en los estudios de contaminación de los ríos. Algunos son parámetros operativos en procesos de potabilización, indicadores de procesos de contaminación, factores en la autopurificación, causan eutrofización o son parámetros de

riesgo de la calidad del agua (Romero, 2009; American Water Works Association & Letterman, 2002).

Tabla 6

Parámetros de calidad del agua

Parámetro	Justificación
turbiedad	Importante en los procesos de potabilización.
ST	Aspectos estéticos.
pH	Brinda una idea preliminar de las características fisicoquímicas del agua y es importante en los procesos de potabilización.
nitritos-nitratos	Permite conocer episodios de contaminación orgánica.
fosfatos	Nutriente que causa contaminación en ríos, lagos y embalses. Formación de biomasa, 1 g de fósforo produce más de 100 g de biomasa.
DBO₅	Relación entre la concentración de materia orgánica y oxígeno a los 5 días.
OD	Determina las condiciones aeróbicas o anaeróbicas y contaminación. Factor en procesos de autodepuración.
CT	Permite conocer si hay contaminación de residuos humanos y animales fundamentalmente. Riesgo de organismos patógenos.

Nota. OD: Oxígeno disuelto, ST: Sólidos totales, CT: Coliformes totales. Adaptado de *Calidad del agua (p. 107 – 173)* por J. Romero, 2009, Escuela Colombiana de ingeniería & *Water Quality: Science, Assessments and Policy* por Summers, 2020, BoD – Books on Demand.

Al no contar con la totalidad de mediciones periódicas de los parámetros de calidad del agua, se establecieron las siguientes consideraciones para escoger los datos que serían útiles para el estudio. Sin embargo, además de los parámetros seleccionados se puede usar la diferencia de temperatura, coliformes fecales para calcular el índice WQI (Jerves-Cobo et al., 2018).

- Frecuencia de muestreo, que se hayan realizado al menos 4 mediciones por año, en los meses secos y húmedos.
- Los resultados de las campañas de monitoreo no presenten vacíos. No se tomarán en cuenta los parámetros que presentaban demasiados valores faltantes dentro del periodo de estudio.
- Las mediciones se encuentren dentro del periodo de análisis y se tengan datos del nivel del agua.

3.6. Depuración de datos crudos

Cuando se realiza un análisis de datos es importante considerar la generalidad que presentan los valores a ser evaluados, debido a que estos valores pueden causar una distorsión en los resultados de la investigación. La presencia de valores faltantes y atípicos son una de las causas que originan resultados erróneos o un sesgo de información, por esta razón completarlos o eliminarlos es la solución más simple en la mayoría de estudios. Usualmente, los valores atípicos son consecuencia de mediciones mal realizadas, fallas en el equipo, acontecimiento anormal que generó un cambio considerable en alguna medición o causas desconocidas (Segura & Torres, 2014).

Las variables de análisis en el presente estudio fueron depuradas en el software R-studio, para los valores de precipitación se realizaron agregaciones horarias, mensuales y anuales en el periodo de 2006 a 2013 en las tres estaciones meteorológicas (Ucubamba, Saucay y Chanlud). Este procedimiento se realiza sumando la precipitación obtenida en un determinado intervalo de tiempo (horas, meses y años), esto se realizó debido a que los datos proporcionados por ETAPA-EP con respecto a la precipitación se presentan en intervalos de 5 minutos.

De igual manera, a los datos de nivel del agua se realizaron promedios mensuales, además se evaluó la presencia de valores atípicos, sin embargo, no se evidenciaron por lo cual no se eliminó datos para esta variable. Además, los datos de nivel de agua no presentaron datos faltantes, por lo tanto, se consideró el intervalo de tiempo 2002 al 2013, a pesar de ser mayor al periodo de estudio esto permite mejorar la precisión y representatividad de los datos.

Los datos de concentraciones de los parámetros fisicoquímicos (oxígeno disuelto, pH, turbiedad, coliformes totales, DBO₅, fosfatos, nitritos-nitratos, sólidos totales), en algunos años no presentaban las 4 mediciones, por lo cual, se eliminaron ciertos años del análisis dependiendo de la estación de muestreo (estaciones con distintas bases de datos), sólo se consideró aquellos valores que tenían mediciones trimestrales, y no presentarán valores atípicos o repetidos consecutivamente. Es importante mencionar que la toma y el procesamiento de las muestras lo realiza ETAPA EP de manera trimestral en zonas de importancia como captaciones y puntos urbanos ya establecidos, mediante mediciones de campo para los parámetros físicos y análisis de laboratorio para los parámetros químicos y biológicos.

Establecer la consistencia entre dos estaciones es indispensable para conocer la homogeneidad en sus datos y detectar inconsistencias en los valores registrados, para la

curva doble acumulativa se utilizó la precipitación acumulada (mm) de cada estación (Chanlud, Labrado y Saucay) y esta se comparó con cada una de las estaciones para establecer si existía un cambio en la pendiente o se mantenía igual, lo cual indica la existencia de homogeneidad o no en los datos (Sáenz, 2004).

El tipo de distribución que presenta una variable se establece mediante pruebas de normalidad, en varias investigaciones se denota su importancia debido a que este análisis permite ser el punto de partida de muchos procedimientos estadísticos. Además, influye de manera directa sobre los resultados o inferencias que se realicen y en muchos de los casos es un paso previo al tratamiento de datos (Pedrosa et al., 2014).

La comprobación de la normalidad permite emplear los estadísticos adecuados, por lo cual, para la serie de tiempo del nivel del agua, se realizó el test de Lilliefors en el software R-studio con la librería *nortest* y para cada una de las concentraciones de los parámetros de calidad del agua se utilizó el test Shapiro-Wilk, la elección del test se realizó en base a las características de los datos (Helsel & Hirsch, 2002).

El test de Lilliefors se utiliza cuando la muestra es mayor a 50 datos y se asume que la media y la varianza son desconocidas (Romero Saldaña, 2016). En este caso, se tiene datos diarios del nivel del agua desde el 2002 al 2013, con un total de 4 383 datos, por lo tanto, el test es adecuado para determinar si los datos siguen un comportamiento normal o no.

Por otro lado, el test de Shapiro-Wilk se utiliza para analizar muestras menores a 50 datos, y se tienen 4 mediciones por año de cada parámetro (Parada, 2019; Helsel & Hirsch, 2002). La prueba de normalidad consiste en aceptar o rechazar la hipótesis nula, $H_0 = \text{Los datos siguen una distribución normal}$ y la normalidad se acepta cuando el valor p obtenido en el test, es mayor al valor de significancia establecido ($\alpha = 0,05$).

3.6.1. Análisis de correlación

Evaluar la tendencia de dos variables es crucial para poder establecer correlaciones y en algunos casos reducir el número de variables en un análisis estadístico. Sin embargo, es importante considerar que una correlación no implica causalidad, por lo cual, se debería realizar una amplia investigación para corroborar si una variable puede alterar a otra (Roy-García et al., 2019). Mediante el coeficiente de correlación de Spearman se determinó la relación estadística existente entre el nivel de agua y las concentraciones de los parámetros de calidad de agua. El coeficiente mide la intensidad de relación entre dos variables, y presenta resultados entre -1 y +1, donde valores correspondientes a +1 y -1 establecen una

correlación positiva fuerte y negativa fuerte respectivamente, y valores de 0 establecen que no existe una correlación.

Este análisis se realizó con datos de nivel del agua del día que fue tomada la muestra y un día anterior a la misma, con el fin de establecer si existe un efecto en las concentraciones de los parámetros, es decir si el nivel del agua un día antes o el mismo día tiene correlación con la concentración (correlación cruzada o directa). Se aplicó el coeficiente de correlación Spearman, debido a que las medidas no paramétricas son adecuadas cuando existe un conjunto de datos pequeño, con valores atípicos y no existe el suficiente respaldo para la suposición de la normalidad, esto es común en datos de recursos hídricos (Helsel & Hirsch, 2002).

3.7. Análisis de la precipitación y nivel de agua

El comportamiento de la precipitación en una determinada zona es importante para poder establecer tendencias a largo plazo o conocer el impacto del Cambio Climático en los patrones de lluvia. Lo cual a su vez permite una gestión adecuada de los recursos hídricos porque permite distinguir y comprender los cambios a corto y largo plazo, evaluando los riesgos a eventos extremos (Valderrama Chávez et al., 2021).

La variabilidad interanual en el régimen de caudales de los ríos de cuencas hidrográficas, está influenciada por la precipitación, temperatura y evaporación (Chiew, 2006). La precipitación, es la principal fuente de alimentación de los sistemas de agua dulce, por lo cual resulta importante analizar esta variable (Kundzewicz et al., 2008).

El análisis de la precipitación en esta investigación se realizó de forma gráfica mediante diagramas de barras, para lo cual se utilizó la información mensual y anual para representar de manera intra e interanual las condiciones de lluvia que presentan cada una de las estaciones de monitoreo. Esto con el fin de poder evaluar el comportamiento de esta variable a lo largo de un mes o un año, para evidenciar meses que presentan elevada o escasa precipitación y aquellos años donde la media anual supera o está por debajo a la media histórica.

Por otra parte, para analizar el comportamiento del nivel de agua en la zona de estudio se emplearon herramientas que permiten de manera gráfica evaluar la variación en el comportamiento histórico del nivel de agua (máximos y mínimos), así como su comportamiento más repetitivo. Esto se realizó mediante hidrogramas, los cuales permiten representar la variación del nivel del agua con respecto al tiempo.

3.8. Determinación de la estacionalidad hidrológica y meteorológica

El análisis de la variabilidad climática en los últimos años ha sido considerado un tema de interés a nivel mundial. Permite conocer los efectos causados por los principales impulsores climáticos en los recursos de una determinada región. En los sistemas hidrológicos una de las principales variables es la precipitación, la cual tiene una gran influencia sobre los cuerpos de agua (Gaspari et al., 2007). La respuesta hidrológica de la cuenca depende de variables climáticas como la temperatura y precipitación, factores ambientales como uso de suelo, cobertura vegetal y factores antrópicos como los embalses (Duarte et al., 2006).

La subcuenca del río Machángara se encuentra regulada por dos embalses, ubicados en El labrado y Chanlud, los cuales son sistemas que permiten la gestión de los recursos hídricos, generan cambios en el régimen fluvial, atenuación de crecidas y estiajes, además de cambios en la calidad del agua (López-Moreno & García-Ruiz, 2003).

La estacionalidad, es la variación de las condiciones atmosféricas que se asocia a cambios climáticos durante ciertos periodos y se puede considerar de dos formas: húmeda o seca. Dependiendo de la variable a emplearse, la clasificación se puede presentar como meteorológica o hidrológica, la primera hace referencia a la precipitación y la segunda al volumen de los recursos hídricos (Valiente, 2001).

Para establecer la estacionalidad se tomó como referencia la precipitación y el nivel de agua, siendo este último el que mayor influencia tiene en la presente investigación porque la subcuenca del río Machángara se encuentra regulada por embalses. Para evaluar la premisa anterior se realizó un gráfico de doble eje entre la precipitación y el nivel de agua con el fin de evaluar la influencia que presenta las lluvias sobre el régimen de agua.

Se determinó inicialmente la estacionalidad meteorológica a través de la precipitación media anual de cada periodo de estudio. Esto para establecer un umbral y clasificar la estacionalidad en base a precipitaciones mensuales. Las precipitaciones por debajo del umbral se consideraron como “estación seca” y sobre el umbral como “estación húmeda”. Para establecer el año como húmedo o seco se tomó como referencia la media histórica anual de precipitación para compararlos con la media anual de cada año de estudio. Esto con el fin de poder establecer una clasificación, además, cabe destacar que este procedimiento se realizó para todas las estaciones meteorológicas. Por último, para dar mayor robustez al análisis se utilizó el Índice Estandarizado de Precipitación (SPI), el cual clasifica en seco o húmedo en función de la precipitación obtenida.

Por otra parte, se determinó la estacionalidad hidrológica mediante los datos de nivel de agua, con la curva de duración de caudal, los eventos más consecutivos y la media para establecer el umbral.

3.9. Determinación de los comportamientos histeréticos (Nivel del agua/ Concentración) en las zonas de conservación, periurbana y urbana

El comportamiento histerético es fundamental para examinar si un determinado parámetro vuelve a sus condiciones normales o sufre deformaciones en el proceso. Esto permite considerar si una variable sigue un comportamiento cíclico en el agua o no presenta ningún comportamiento repetitivo. Por tal motivo, analizar qué puede suceder al aumentar o disminuir el nivel del agua y de qué manera volverá a su condición inicial permitirá identificar el estado de conservación del área de aporte.

Para definir los comportamientos histeréticos se utilizaron los resultados de las concentraciones de oxígeno disuelto, pH, turbiedad, coliformes totales, DBO₅, fosfatos, nitritos-nitratos, sólidos totales y se filtró con las mediciones de nivel de agua para obtener el nivel de agua correspondiente a la fecha en la cual se realizó las mediciones de los parámetros antes mencionados. Una vez realizada la filtración, se creó una función en el software R-studio que permitió generar un gráfico para ubicar los puntos de medición, con su respectiva estacionalidad y la dirección que seguiría la gráfica. Es importante mencionar que los puntos siguen un orden cronológico, es decir, la secuencia del gráfico corresponde a la fecha en la que se tomó la muestra. Además, la estacionalidad de cada punto se consideró mediante el nivel de agua mensual.

Posteriormente, se realizó un hidrograma con el momento y la concentración de las muestras en relación con el nivel del agua. Para lo cual, en un hidrograma se ubicaron las concentraciones de cada parámetro. Esto se lleva a cabo para ver la influencia de los niveles del agua (bajos o altos) con los parámetros de calidad del agua. Además, para la interpretación de los gráficos histeréticos este estudio se basó en el análisis de histéresis global (Lawler et al., 2006; Malutta et al., 2020).

3.10. Determinación de la influencia de años húmedos y secos en el comportamiento histerético

Para determinar la influencia de años húmedos y secos en el comportamiento histerético nivel del agua/concentración, inicialmente se determina y clasifica aquellos años considerados como secos o húmedos, esta clasificación se la realiza en el apartado 3.8. Posteriormente se

evalúa la dirección o la forma que generan las líneas para establecer similitudes y diferencias entre años de diferentes estacionalidades. Este procedimiento se realiza para cada parámetro con el fin de evaluar si la estacionalidad influye en el comportamiento de la variable que será analizada, cabe destacar que para la interpretación y determinación de factores influyentes en un determinado comportamiento se realizó con (Duncan et al., 2017; Liu et al., 2022).

3.11. Determinación de la influencia del cambio del uso del suelo y la cobertura vegetal en el comportamiento histerético de los parámetros de calidad del agua.

Para la determinación de la influencia del cambio de uso de suelo, se utilizó la información digital de cobertura y uso de suelo de la subcuenca del río Machángara. El shape de cobertura vegetal y uso de suelo, se obtuvo de la ortofotografía del año 2010 del Proyecto SIGTierras del Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca – MAGAP, Universidad del Azuay, Instituto de Estudios de Régimen Seccional del Ecuador (IERSE) y Gobierno provincial del Azuay.

El shape contiene tres niveles de información, la cual se presenta en la *Tabla 7*. En el “Nivel 1” se establece el uso de suelo, en el “Nivel 2” la cobertura vegetal y en el “Nivel 3” se encuentra a detalle el tipo de cobertura. Para poder evidenciar si influye cada zona en el comportamiento histerético de los parámetros de calidad del agua, se procedió a segmentar la subcuenca en zonas de influencia para cada una de las estaciones: MAC-MAC-020 (zona de conservación), MAC-MAC-070 (zona periurbana) y MAC-MAC-CONTROL (zona urbana).

Tabla 7

Interpretación del uso de suelo y cobertura vegetal

Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3
Vegetación Arbustiva	Páramo	Pajonal
Vegetación Arbustiva	Vegetación herbácea	Vegetación herbácea
Bosque	Plantación forestal	Plantación forestal de pino
Bosque	Bosque nativo	Bosque nativo
Tierra agropecuaria	Pastizales	Pasto con manejo
Tierra agropecuaria	Pastizales	Pasto degradado
Tierra agropecuaria	Cultivos	Suelo cultivado
Tierra agropecuaria	Cultivos	Suelo arado
Erial	Afloramiento rocoso	Afloramiento rocoso
Erial	Áreas sin cobertura	Suelos descubiertos
Zonas antrópicas	Vías	Vías

Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3
Zonas antrópicas	Infraestructuras	Estructuras diversas
Agua	Cursos de agua	Río
Agua	Cuerpos de agua	Lagos o laguna
Agua	Cuerpos de agua	Embalse

Nota. Información contenida en el shape “Uso y cobertura vegetal”. Fuente: (Universidad del Azuay, IERSE, Gobierno Provincial del Azuay, Departamento de Planificación. - Proyecto SIGTierras - MAGAP, 2017)

Para la segmentación de la zona de influencia de la estación MAC-MAC-020, se tomó como criterio que la zona debía encontrarse en una zona de conservación, por lo cual, se abarcó toda el área de recarga hídrica de la subcuenca del río Machángara. Establecida en el proyecto Adaptación a los impactos del Cambio Climático en recursos hídricos en los Andes (AICCA), a esta zona corresponden 24 245,4 ha de toda la subcuenca y tiene como finalidad la conservación y restauración de los ecosistemas que se encuentran en la zona (AICCA & MAE, 2021).

Por otro lado, la zona de influencia de la estación MAC-MAC-CONTROL, corresponde al área de la ciudad de Cuenca (parque industrial y zonas aledañas) que se encuentran dentro de los límites de la cuenca del Machángara y finalmente la zona de influencia de la estación MAC-MAC-070 es el área alrededor de la zona urbana y que se encuentra en expansión.

Una vez obtenida las delimitaciones, en el software Arcmap se procede a realizar mapas de uso de suelo y cobertura vegetal para las tres zonas. Se estiman los porcentajes del nivel 1 y 2, y se representan en diagramas de barra. Esto permite conocer los 3 usos de suelos y coberturas vegetales que tienen mayor predominancia en las zonas de conservación, periurbana y urbana. Y para evaluar la influencia del cambio de uso de suelo en el comportamiento histerético, se identificaron los comportamientos más repetitivos en cada una de las zonas de estudio desde el 2006 al 2013. Para justificar el comportamiento histerético de cada parámetro de calidad del agua se revisará literatura (Lassaletta et al., 2009; Blaes et al., 2017).

Capítulo IV

4. Resultados y Discusión

4.1. Resultados

4.1.1. Depuración de datos crudos

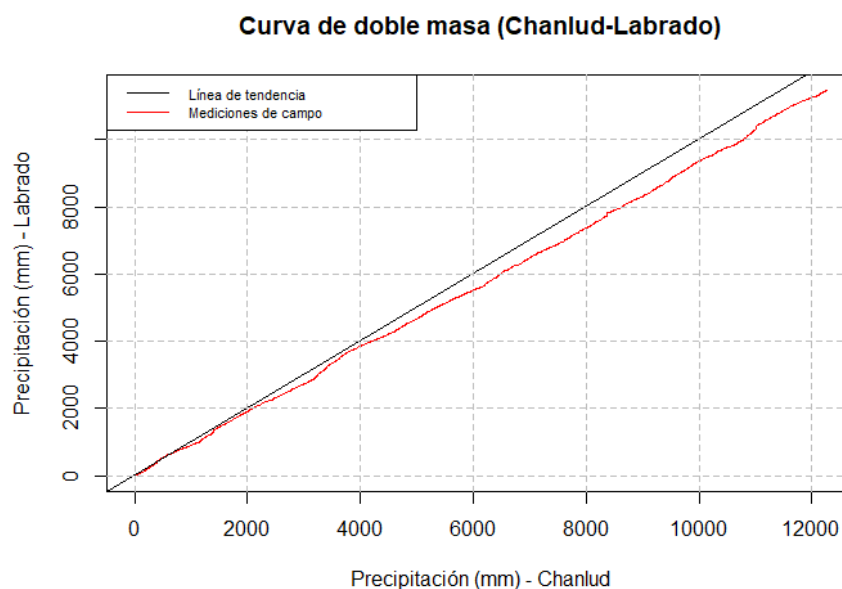
La base de datos proporcionada por ETAPA EP se depuró y analizó estadísticamente en el software R-studio para las variables: nivel del agua, precipitación y parámetros de calidad del agua (oxígeno disuelto, pH, turbiedad, coliformes totales, DBO₅, fosfatos, nitritos-nitratos, sólidos totales).

En el periodo de estudio comprendido entre el 2006 al 2013 para el nivel del agua, se presentó un total de 4 383 datos con un total de vacíos del 0 %. Por otra parte, se tenían datos de precipitación cada 5 minutos de la estación Chanlud, El Labrado, Saucay y Ucubamba con un total de 556 000, 536 283, 556 097 y 2 534 952 datos respectivamente. Sin embargo, al realizar las agregaciones para obtener los datos diarios dentro del periodo de estudio, se obtuvo un total de 2 648 datos para Chanlud, 2 593 para El Labrado, 2 678 para Saucay y 2 922 para Ucubamba.

Para la determinación de la homogeneidad de los datos se realizó curvas de doble masa para cada estación, las cuales se presentan a continuación:

Figura 5

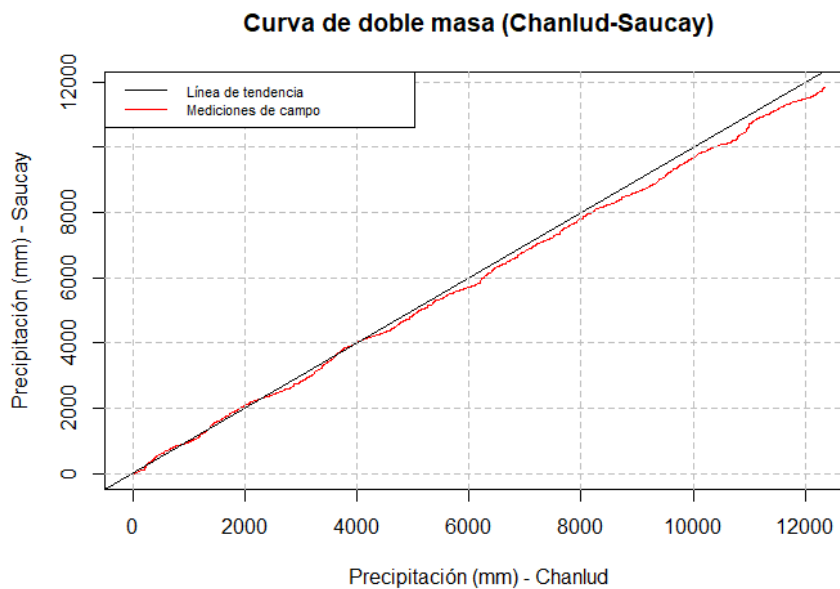
Curva de doble masa Chanlud-El Labrado



En la *Figura 5* se analizó la consistencia de la precipitación en la estación Chanlud y Labrado, donde se evidencia que existe una buena consistencia para las 2 estaciones. La línea de tendencia se asemeja a la de 45° durante el periodo de estudio (2006-2013). Sin embargo, se observa que las precipitaciones acumuladas a partir de los 6 000 mm presentan una diferencia de homogeneidad en los datos.

Figura 6

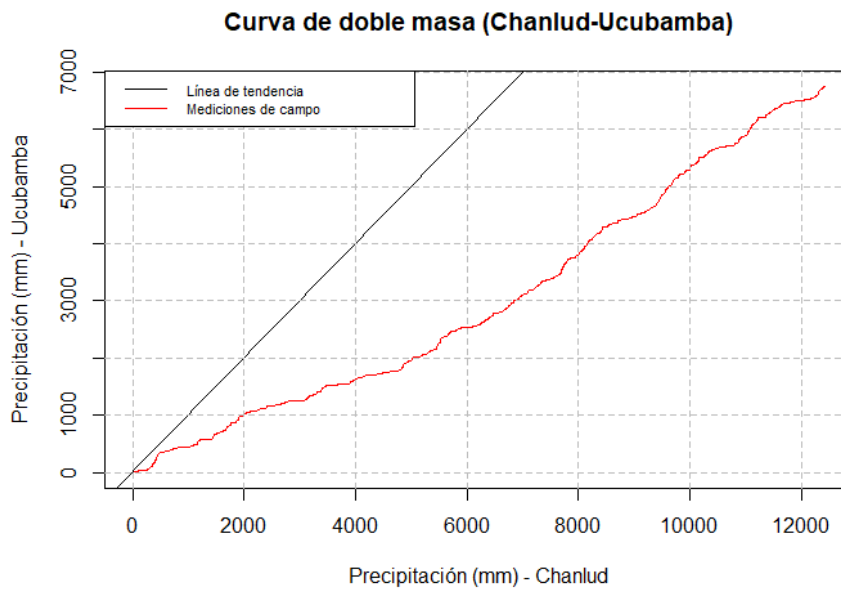
Curva de doble masa Chanlud-Saucay



En la *Figura 6* se analizó la consistencia de la precipitación en la estación Chanlud y Labrado donde se evidencia que esta estación también tiene una buena consistencia con El labrado, esto debido a que se asemeja de manera considerable a la línea de tendencia de 45° y la distancia entre las 2 líneas no es elevada en el intervalo de análisis.

Figura 7

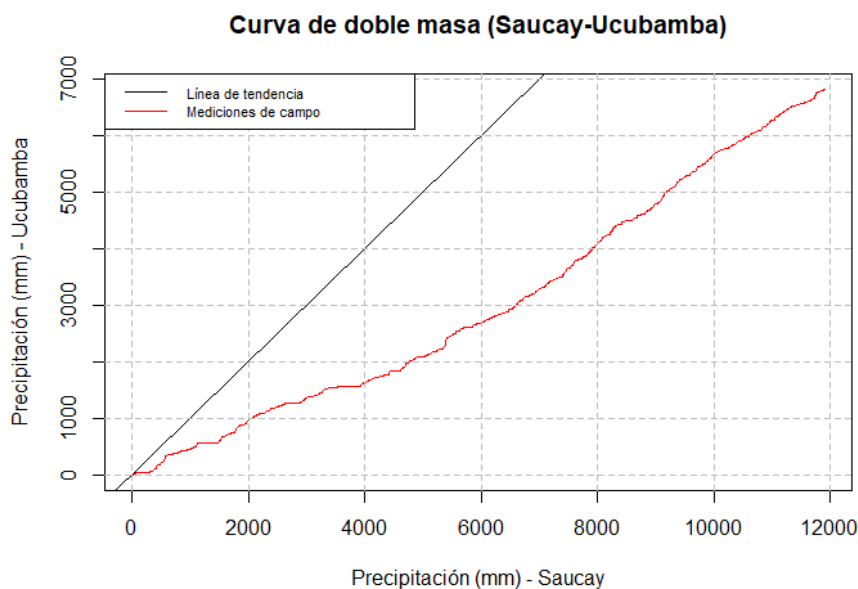
Curva de doble masa Chanlud-Ucubamba



Por el contrario, en la *Figura 7* se evidencia que la estación Chanlud no tiene una buena consistencia con la estación Ucubamba, la línea de tendencia se aleja considerablemente a los 45 °. Además, se observa que existen mayores volúmenes de precipitación en Chanlud. Por lo tanto, no se podría rellenar vacíos de la estación Ucubamba con esta estación.

Figura 8

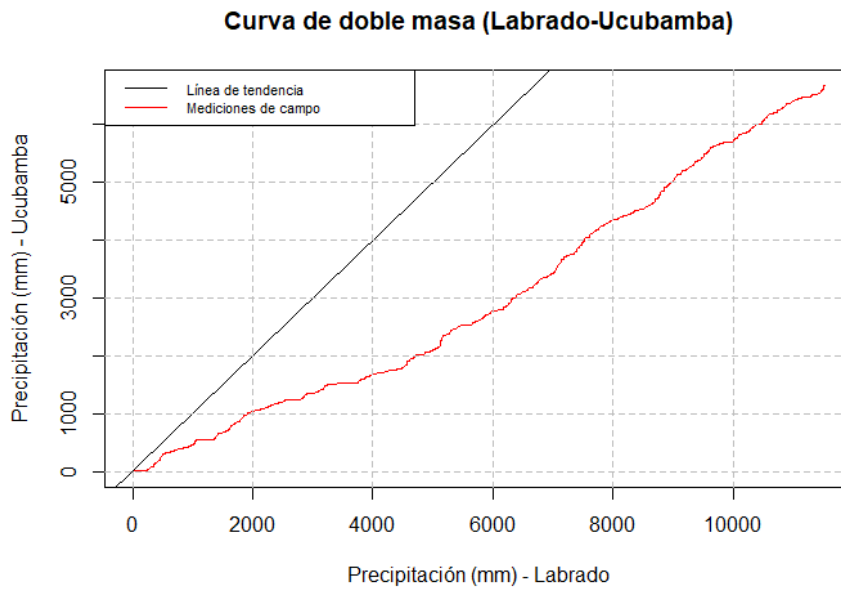
Curva de doble masa Saucay-Ucubamba



De igual manera, en la *Figura 8* se evidencia que la estación Saucay tampoco tiene una buena consistencia para la estación Ucubamba debido al distanciamiento que presentan las 2 líneas de análisis, la estación Saucay presenta mayores volúmenes de precipitación.

Figura 9

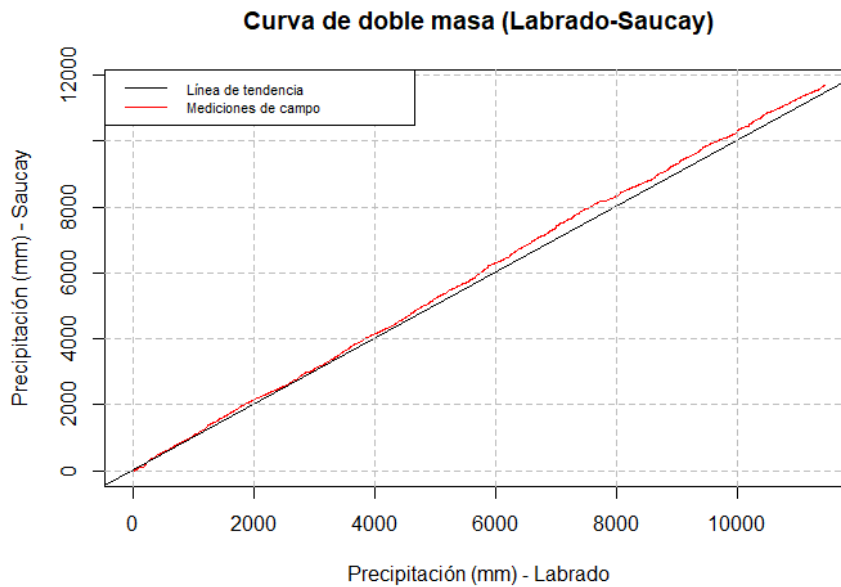
Curva de doble masa Labrado-Ucubamba



En la *Figura 9* se evidencia que la estación El Labrado tampoco tiene buena consistencia para la estación Ucubamba, la línea de tendencia se aleja considerablemente a los 45 °, por lo tanto, la estación Ucubamba no puede ser reemplazada por ninguna de las tres estaciones.

Figura 10

Curva de doble masa Labrado-Saucay



En la *Figura 10* se puede apreciar que los datos de precipitación en la estación El Labrado y Saucay son bastantes consistentes y homogéneos, por lo cual se podría utilizar cualquiera de las dos estaciones, es importante acotar que a partir de este punto para el análisis se empleará una estación pluviométrica para cada estación de calidad y debido a que Saucay es la que se encuentra más cercana a la estación MAC-MAC-070 no se utilizarán los datos de la estación El Labrado.

De manera general, la *Tabla 8* resume algunas medidas de tendencia central y describe los datos de las variables empleadas en la investigación. Además, en la *Figura 11* se presentan los gráficos de distribución para el oxígeno y el nivel del agua, el resto de gráficos se encuentran en el *Anexo A*.

Tabla 8

Estadística descriptiva

Estación	Parámetro	Unid.	Datos	% de vacíos	Media	Mediana	Mín.	Máx.	Desviac. estándar
CHULCO	Nivel del agua	cm	4383	0 %	100,18	100	72	184	11,15
	OD	mg/l	24	15 %	7,30	7,25	6,1	8,2	0,44

Estación	Parámetro	Unid.	Datos	% de vacíos	Media	Mediana	Mín.	Máx.	Desviac. estándar
MAC-020 (Zona de conservación)	pH	-	24	15 %	7,65	7,64	7,14	8,4	0,34
	Turbiedad	NTU	24	15 %	1,26	1,02	0,51	3,64	0,82
	CT	NMP /100 ml	24	15 %	66,27	46	7,8	240	59,97
	DBO ₅	mg/l	24	15 %	0,41	0,4	0,1	0,9	0,18
	Fosfatos	ug/l	24	15 %	0,02	0,01	2,85e-3	0,03	0,01
MAC-070 (Zona periurbana)	Nitratos	ug/l	24	15 %	17,14	11,79	0,7	66,42	16,88
	ST	mg/l	24	28 %	80,48	82	52	101	13,11
	OD	mg/l	32	12,5 %	7,71	7,6	6,6	9,3	0,62
	pH	-	32	0 %	7,65	7,66	6,44	8,52	0,43
	Turbiedad	NTU	32	0 %	14,39	7,12	1,99	79,5	17,04
MAC-070 (Zona periurbana)	CT	NMP /100 ml	32	6,25%	150593	42000	1700	1,6e6	396114,6
	DBO ₅	mg/l	32	0 %	0,96	0,9	0,13	2	0,36
	Fosfatos	ug/l	32	0 %	0,19	0,09	0,01	2,084	0,36
	Nitratos	ug/l	32	0 %	57,04	50,73	28,84	183,39	30,84
	ST	mg/l	32	0 %	107,91	100	55	280	43,38
MAC-070 (Zona periurbana)	OD	mg/l	32	0 %	7,18	7,15	5	8,3	0,74
	pH	-	32	0 %	7,65	7,70	6,15	8,28	0,42
	Turbiedad	NTU	32	0 %	50,50	36,25	12,90	373	64,48

Estación	Parámetro	Unid.	Datos	% de vacíos	Media	Mediana	Mín.	Máx.	Desviac. estándar
	Coliformes Totales	NMP/100 ml	32	0 %	1231250	495000	2,1e5	9e6	1754891
MAC-	DBO5	mg/l	32	3,13 %	20,16	19	4	70	13,29
MAC-	Fosfatos	ug/l	32	0 %	0,75	0,54	3 e-3	4,84	0,82
CONTRO L	Nitratos	ug/l	32	0 %	133,28	120	40	340	66,10
	ST	mg/l	32	0 %	190,5	165	84	385	71,27
(Zona urbana)									
CHANLUD	Precipitación mensual	mm	96	0%	129.3	127	27.5	320,5	53,31
EL LABRADO	Precipitación mensual	mm	95	1.04 %	121.3	115	11	289.5	50,98
SAUCAY	Precipitación mensual	mm	96	0 %	123.93	112,75	34	270	56.38
UCUBAMB A	Precipitación mensual	mm	96	0%	71.36	59.75	5	242	52,47

Nota. Oxígeno disuelto (OD), Sólidos totales (ST), Coliformes totales (CT), Mínimos (Mín.), Máximos (Máx.)

En la *Tabla 8*, se observa que ninguna de las variables del estudio presenta un porcentaje de vacíos superior al 28 %, por lo tanto, los datos empleados contienen una amplia cantidad de información que permite interpretar y corroborar varias premisas. Sin embargo, debido a que las 3 estaciones de estudio (MAC-MAC-020, MAC-MAC-070, MAC-MAC-CONTROL) evidencian diferente cantidad de datos, solo se consideró aquellos años en los cuales se presentaron mediciones en periodos iguales.

Por otra parte, se evaluó la media y mediana de cada una de las variables del estudio, en el caso del OD se presenta una media que varía de 7,179 mg/L a 7,705 mg/L y es en la zona periurbana donde se presenta el valor más alto. Este comportamiento es similar al de la mediana de las 3 estaciones. Además, al analizar los mín. y máx. se evidencia que el rango de los datos aumenta en la zona periurbana y urbana, lo cual implica que los datos se alejan más de la media y, por ende, se presentan valores altos en la desviación estándar.

En lo que respecta al pH, la media en las 3 zonas se encuentra alrededor de 7,65 (neutro), lo mismo sucede con su mediana. Sin embargo, solo en la zona de conservación el rango de valores mín. y máx. no es amplio por lo cual los valores no se alejan de su media, lo que implica una desviación estándar baja a comparación de las otras zonas de estudio.

Analizando los parámetros de turbiedad, se determinó que la menor media se presenta en la zona de conservación con un valor de 1,26 NTU, lo que implica que tiene 11 veces menos que la zona periurbana (14,39 NTU) y 40 veces menos que la zona urbana (50,50 NTU). Además, la mediana en la zona periurbana y urbana difiere considerablemente de su media, lo que implica la presencia de valores extremos. En la zona periurbana y urbana las variaciones entre los valores máx. y mín. es elevada debido al amplio rango de valores, lo cual genera un aumento en la desviación estándar.

Por otra parte, en los resultados de CT se evidencia que la media varía considerablemente en cada una de las zonas de estudio, la zona de conservación presenta los valores más bajos con respecto a la media, mediana, mínimos, máximos y desviación estándar. Además, todas las zonas presentan valores extremos debido a la gran diferencia que existe entre la media y mediana. En cambio, los valores más elevados se presentan en la zona periurbana donde el rango de valores entre el mínimo y máximo es considerablemente alto, lo que causa un valor de desviación estándar elevada.

La DBO_5 presenta cambios relativamente bajos con respecto a la zona de conservación y periurbana, debido a que la diferencia entre la media de las 2 zonas es de aproximadamente 0,54 mg/L. Caso contrario sucede con los datos de la zona urbana donde la media es 49 veces más que la zona de conservación y 21 veces más que la zona periurbana, este comportamiento sigue la mediana en todas las zonas. Además, los rangos entre la zona de conservación y periurbana presentan valores mín. y máx. relativamente bajos con respecto a la zona urbana, lo que genera que presenten una desviación estándar baja.

Los nitratos también evidenciaron cambios considerables en cada estación, debido a que presentaban cambios 2 a 3 veces más en su concentración con respecto a la media y

mediana. De igual manera, su rango de intervalos aumentó dependiendo la zona. La zona de conservación presenta el menor rango y la zona urbana el mayor rango, lo cual evidencia que su desviación estándar se duplica a medida que se cambia la zona de estudio (conservación a urbana).

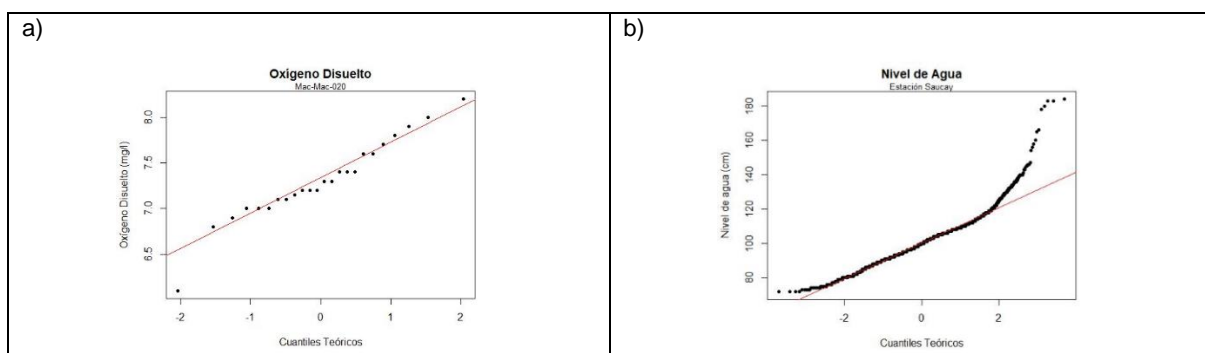
De igual manera, para los fosfatos a medida que cambia la zona entre conservación, periurbana y urbana los valores incrementan con respecto a su media, mediana y sus rangos, lo que causa que la desviación estándar aumente, además la mediana se asemeja mucho a la media solo en la zona conservación.

Los sólidos totales presentan más vacíos en el periodo de análisis, además de incrementos en sus resultados a medida que cambian las zonas, siendo la zona conservación la que menos valores presenta. La zona urbana presenta valores extremos, debido a la gran diferencia que presenta entre la media y mediana, además aumenta el rango de valores y desviación estándar.

Por otra parte, los valores de precipitación presentan menos del 2% de vacíos en todas las estaciones, y la media es similar en Saucay, Chanlud y El Labrado. La que mayor media presenta es Chanlud y la menor en Ucubamba, la mediana por su parte se encuentra entre los 112 y 127 mm en todas las estaciones a excepción de Ucubamba, donde la media se encuentra alrededor de los 59 mm. Esto implica que la media de precipitación en Ucubamba se reduce aproximadamente 2 veces a comparación de las otras estaciones. En Saucay, El Labrado y Ucubamba la media difiere considerablemente de su mediana, lo que indica la presencia de valores extremos. La amplitud de los rangos es similar, razón por la cual se presentan valores cercanos a 55 mm con respecto a la desviación estándar.

Figura 11

Q-Q plot



Nota. a) Q-Q plot del oxígeno disuelto, b) Q-Q plot del nivel de agua

En la *Figura 11* se presenta la distribución de los datos mediante gráficos cuantil - cuantil para observar que tan cerca se encuentran los datos de la distribución normal. Como se observa en la *figura 11 a* los datos tienden a seguir una tendencia a la normalidad y en la *figura 11 b* los datos se alejan de la línea diagonal y por ende, se asume que probablemente no presentan una distribución normal. Para poder comprobar esto a continuación se realizan test de normalidad.

Para la comprobación de la normalidad se realizan las pruebas de Shapiro-Wilk y Lilliefors. En la *Tabla 9* se presenta el *valor p* obtenido, el primero fue aplicado a los parámetros de calidad del agua por presentar menos de 50 datos y el test de Lilliefors a los datos del nivel del agua y precipitación por ser un conjunto de datos extenso, siguiendo la premisa $H_0 = \text{Los datos siguen una distribución normal}$.

Tabla 9

Test de Normalidad

PARÁMETROS	TEST Shapiro-Wilk y Lilliefors		
	Estaciones (<i>valor p</i>)		
	MAC- MAC-020 (Z. conservación)	MAC-MAC-070 (Z. periurbana)	MAC-MAC-CONTROL (Z. urbana)
turbiedad	1,3e-04	9e-07	1,5e-09
ST	0,40	4,1e-05	2,1e-03
pH	0,38	0,26	6,1e-03
nitratos-nitritos	9,8e-04	5,4e-06	0,01
fosfatos	0,07	1,6e-10	5,7e-09
DBO ₅	0,08	0,01	6,1e-05
OD	0,43	0,17	0,13
CT	3,1e-03	2,3e-10	7,1e-09
Nivel del agua	< 2,2e-16		
Pr. Saucay	< 2,2e-16		
Pr. Labrado	< 2,2e-16		
Pr. Chanlud	< 2,2e-16		
Pr. Ucubamba	< 2,2e-16		

Nota. Oxígeno disuelto (OD), Sólidos totales (ST), Coliformes totales (CT).

Como se observa, los datos de un parámetro de calidad pueden seguir una distribución normal o una distribución asimétrica, lo cual varía en cada una de las zonas. Sin embargo, es importante acotar que en este caso los datos de los parámetros de calidad del agua son un conjunto de datos pequeños y, por lo tanto, es difícil rechazar la hipótesis nula debido a que existe poca evidencia.

El *valor p* de la turbiedad, nitritos - nitratos y coliformes totales es menor a 0,05 % en las tres zonas, por lo cual se rechaza la hipótesis nula. Como ya se mencionó anteriormente en la *Tabla 8* estos parámetros presentan un amplio rango de valores y una desviación estándar alta y con el test de shapiro se evidencia su asimetría.

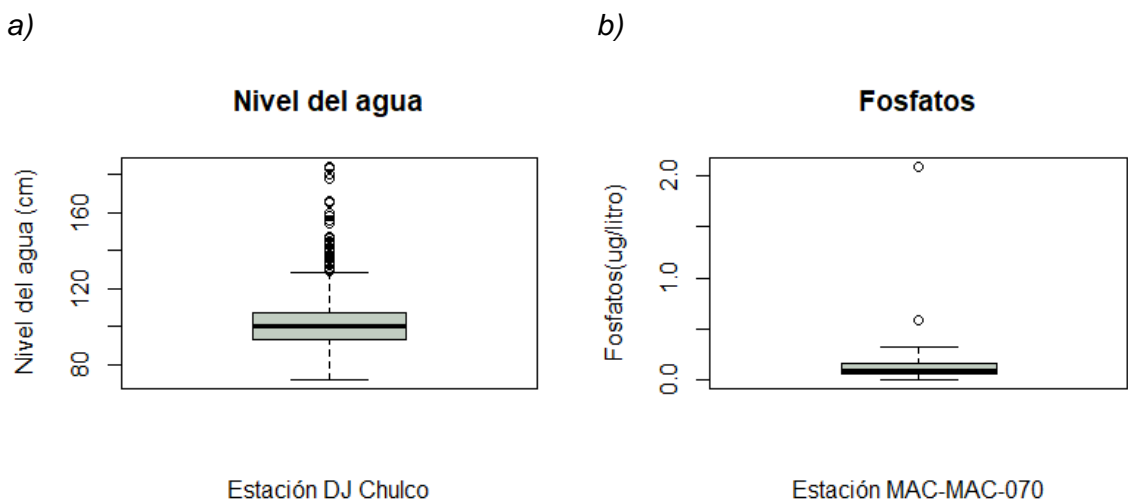
Los datos de los ST y fosfatos, a partir de la zona periurbana no siguen una distribución normal, mientras que para el pH y la DBO₅ esto sucede a partir de la zona urbana, de manera general el *valor p* en estas dos zonas fue muy bajo. Por el contrario, el OD fue el único parámetro que presentó *valores p* mayores a 0,05 en las tres zonas, sin embargo, por ser una muestra pequeña el que no se rechace la hipótesis nula, no prueba que los datos sigan una distribución normal (Helsel & Hirsch, 2002).

Con respecto a la variable nivel del agua y para cada una de las estaciones de precipitación se obtuvo un *valor p* menor a 2,2e-16, lo cual nos indica que no se acepta la hipótesis nula y los datos no siguen una distribución normal.

Complementando con la información aportada por los test aplicados se realiza diagramas de caja para observar la tendencia de los datos. En el diagrama de caja del nivel del agua y fosfatos en la *Figura 12* y en el resto de gráficos presentados en el *Anexo B* no se evidencia una simetría en los datos y se observan valores atípicos. Para los parámetros coliformes totales y turbiedad la forma del diagrama de caja es bastante estrecha y no hay la misma dimensión de los bigotes inferior y superior, por lo cual no se evidencia la curva de campana propia de una distribución normal (*Anexo B*).

Figura 12

Diagrama de caja del nivel del agua y fosfatos



Nota. a) Diagrama de caja a los datos del nivel del agua (cm), b) Diagrama de caja a los datos de Fosfatos (ug/l).

4.1.1.1. Análisis de correlación

El coeficiente de correlación de Spearman se aplicó a todas las variables del estudio debido a que los datos no siguen una distribución normal. En la *Tabla 10* se presentan los valores obtenidos, sin embargo, la mayoría tiene una correlación menor a 0,5, lo que significa que existe una correlación débil o insignificante entre el nivel y los parámetros de calidad del agua. Por este motivo, se analizó la correlación directa e indirecta al incluir los valores del nivel del agua del día de la toma de muestra y de un día antes, y se analiza entre estos rezagos donde existe una mayor correlación.

Tabla 10

Coefficiente de correlación (Método de Spearman)

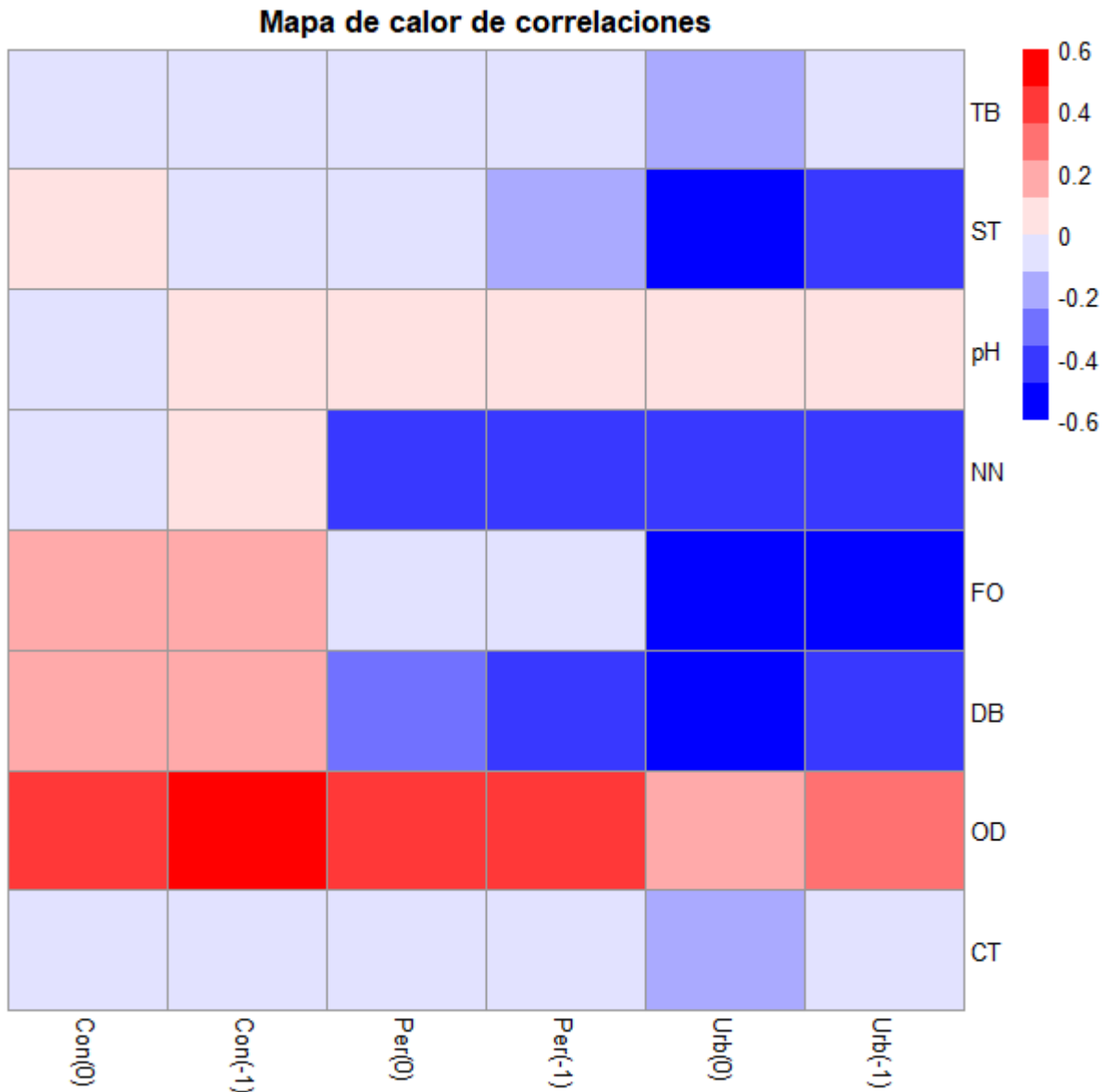
Parámetros	MAC-MAC-020 (Z. conservación)		MAC-MAC-070 (Z. periurbana)		MAC-MAC-CONTROL (Z.urbana)	
	0	-1	0	-1	0	-1
Turbiedad	-0,09	0,00	-0,04	-0,01	-0,14	-0,10
ST	0,06	-0,03	-0,11	-0,15	-0,49	-0,42
pH	-0,01	0,08	0,09	0,04	0,10	0,10
Nitratos-nitritos	-0,05	0,06	-0,44	-0,43	-0,38	-0,44
Fosfatos	0,21	0,19	-0,06	-0,11	-0,64	-0,62
DBO5	0,15	0,16	-0,30	-0,38	-0,59	-0,47
OD	0,44	0,49	0,45	0,39	0,22	0,32
CT	-0,09	0,00	-0,04	-0,01	-0,14	-0,10

Nota. Los valores de 0 significan que no existe correlación; 1 o -1 fuerte correlación positiva o negativa respectivamente. Además, se resaltaron las mayores correlaciones. OD: Oxígeno disuelto, ST: Sólidos totales, CT: Coliformes totales.

En la *Tabla 10*, se observa que para la turbiedad en las tres estaciones de monitoreo a pesar de tener una débil correlación negativa para el día 0 (correlación directa), este tipo de correlación es la que tiene el coeficiente más alto, lo mismo sucede para los sólidos totales, coliformes totales y fosfatos. Por otro lado, se obtuvo coeficientes altos (>0,5) cuando se realizó la correlación cruzada para el oxígeno disuelto en la zona de conservación y fosfatos en la zona urbana, en cambio los parámetros que presentaron coeficientes altos en la correlación directa fueron fosfatos y DBO₅ en la zona urbana. Esta información es representada en la *Figura 13*.

Figura 13

Correlación de parámetros



Nota. Los valores de 0 (rosado) significan que no existe correlación; 1 (rojo) o -1 (azul) fuerte correlación positiva o negativa respectivamente. OD: Oxígeno disuelto, ST: Sólidos totales, CT: Coliformes totales, TB: Turbiedad, DB: DBO5, FO: Fosfatos y NN: Nitritos y Nitratos, Con: Zona de conservación, Per: Zona periurbana, Urb: Zona urbana, (0): sin rezago, (-1): 1 día de retraso.

Si se analiza el coeficiente de correlación más alto, este se obtuvo para los fosfatos donde la correlación directa fue de -0,64, lo que indica una correlación negativa moderada entre el nivel del agua y estos parámetros, sin embargo, como se utilizó el coeficiente de Spearman no se analiza su fuerza en función lineal, si no en términos de ordenamiento. Además, debido

a que las variaciones entre los rezagos no son elevadas se considera datos del día de la medición.

4.1.2. Análisis de la precipitación y el nivel del agua

En esta sección se presenta de manera gráfica todo el conjunto de datos de precipitación y nivel del agua, para analizar su comportamiento durante el periodo de estudio.

4.1.2.1. Precipitación histórica anual

Figura 14

Precipitación anual



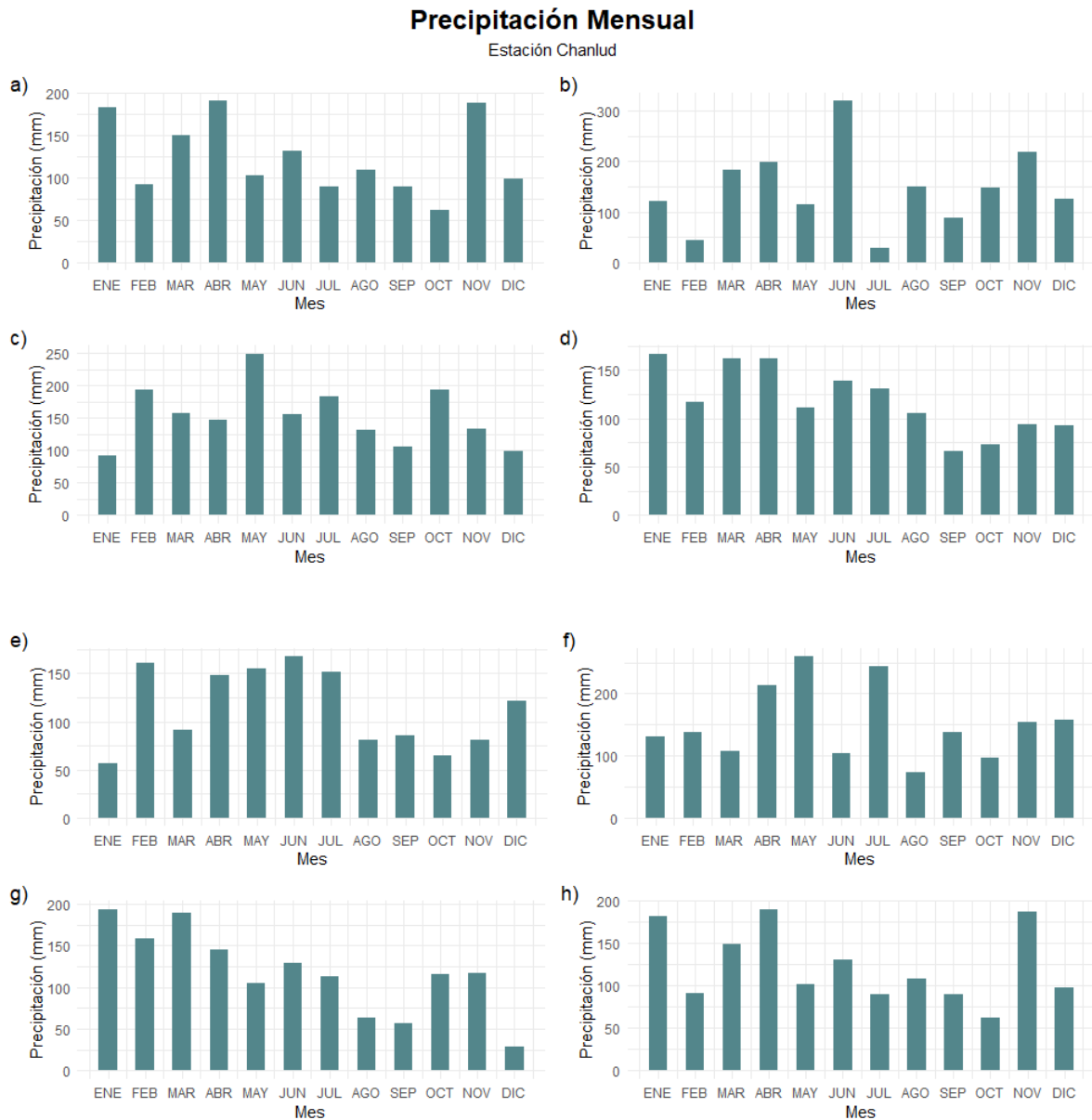
En la *Figura 14* se presentan los resultados de las precipitaciones histórica anual, se observa que los años donde hubo mayor precipitación para la estación Chanlud y Saucay fue en 2008 y 2011, y para Ucubamba en 2011 y 2012. Por otra parte, los años donde existe menor precipitación fue en 2010 y 2013 para la estación Chanlud y Saucay, y 2006 y 2007 para la estación Ucubamba. Por ende, los años con mayor y menor precipitación coinciden solo en la estación Saucay y Chanlud, esto ya fue evidenciado en las ilustraciones de curvas de doble masa, donde los datos de la estación Ucubamba se diferenciaban.

4.1.2.2. Precipitación mensual

La precipitación mensual para las estaciones Chanlud, Saucay y Ucubamba se presentan a continuación mediante diagramas de barras.

Figura 15

Precipitación mensual Chanlud

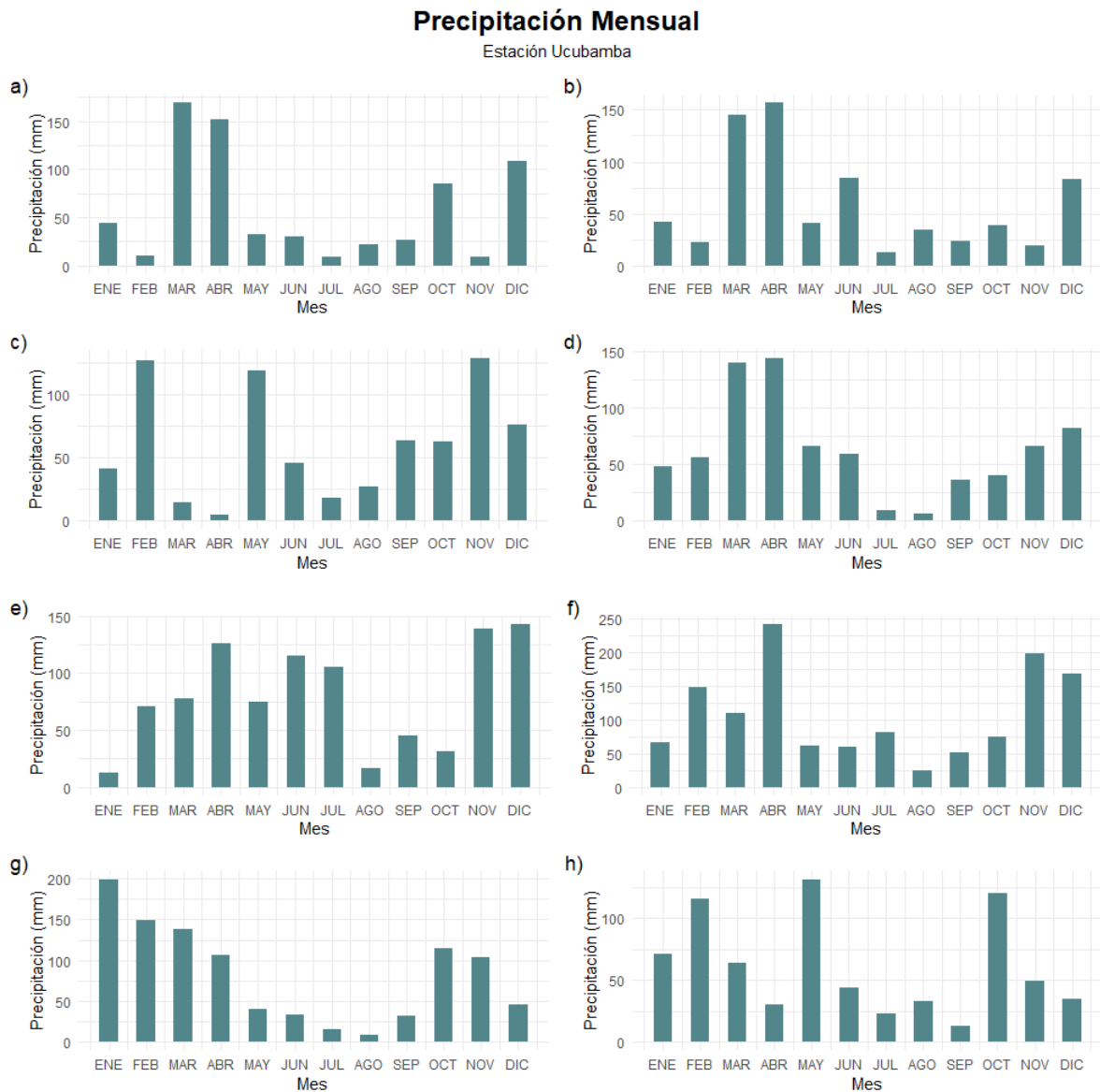


Nota: a) 2006, b) 2007, c) 2008, d) 2009, e) 2010, f) 2011, g) 2012, h) 2013

En la Figura 15 se determinó que los meses en los que menos precipitación se evidencio en la estación Chanlud fue septiembre, octubre y diciembre (Sep, Oct y Dic), contrario a esto en abril y mayo (Abr, May) se registró menos precipitación.

Figura 16

Precipitación mensual Ucubamba

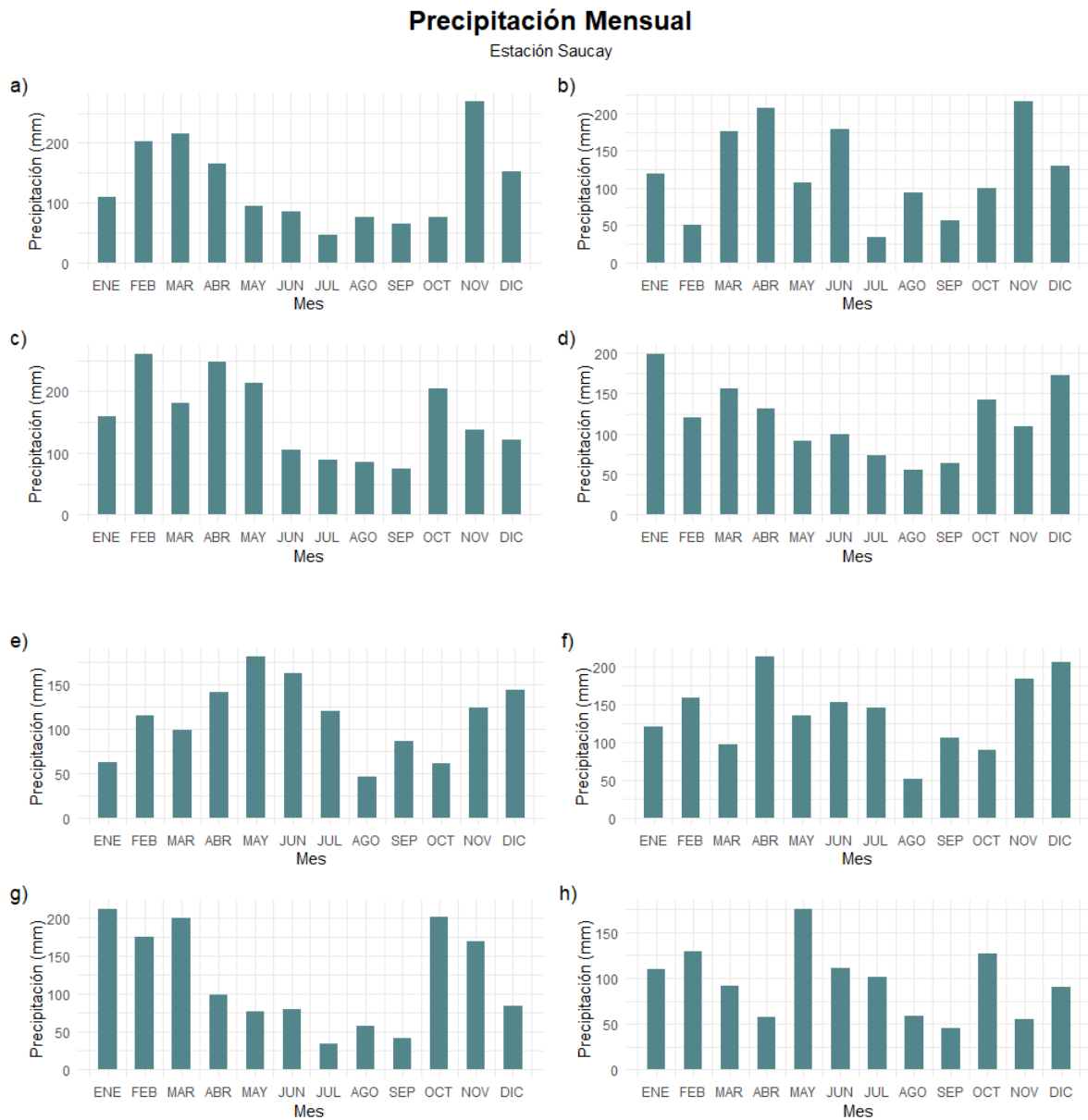


Nota: a) 2006, b) 2007, c) 2008, d) 2009, e) 2010, f) 2011, g) 2012, h) 2013

En la *Figura 16*, se observa que los meses en los que menos precipitación se evidencio para la estación Ucubamba fueron julio y agosto (Jul, Ago) y los de mayor precipitación abril y diciembre (Abr y Dic).

Figura 17

Precipitación mensual Saucay



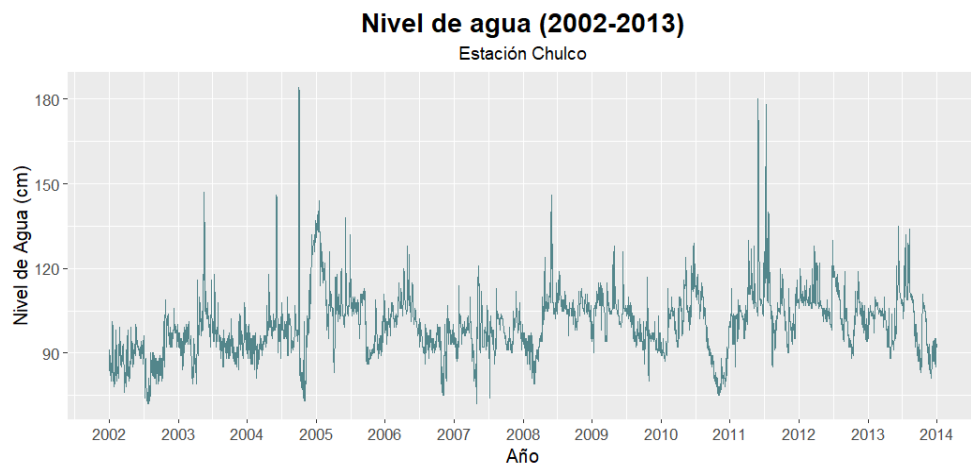
Nota: a) 2006, b) 2007, c) 2008, d) 2009, e) 2010, f) 2011, g) 2012, h) 2013

En la *Figura 17* se observa que los meses en los que menos precipitación se evidenció para la estación Saucay fue: julio, agosto y septiembre (Jul, Ago y Sep) y los de mayor precipitación febrero y marzo (Feb y Mar).

4.1.3. Hidrograma del nivel del agua para la estación DJ-Chulco

Figura 18

Hidrograma del nivel del agua estación DJ-Chulco

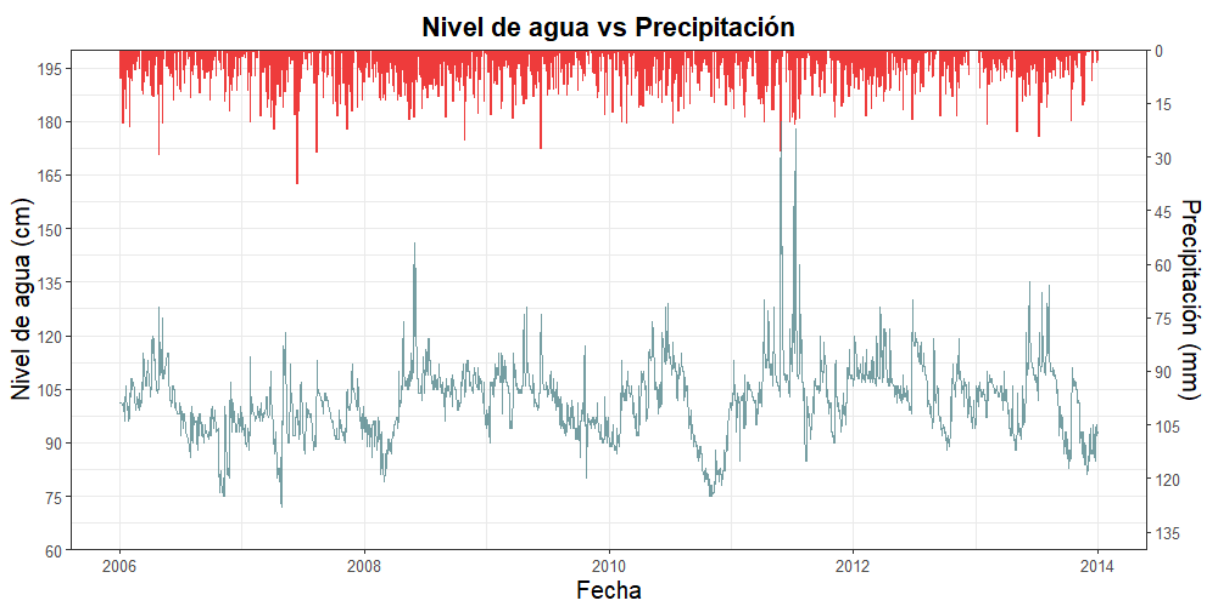


En la *Figura 18* se presenta la variación temporal del nivel del agua desde el 2002 al 2014, en donde se evidencia que existen picos considerables de nivel de agua en 2004 y 2011, alcanzando valores entre 150 y 180 cm, además los años donde existen bajos niveles de agua son 2002, 2004, 2006, 2007 y 2011 con niveles inferiores a los 70 cm.

4.1.4. Gráficos de series de tiempo con doble eje vertical

Figura 19

Precipitación (Estación Chanlud) vs Nivel del agua (DJ Chulco)



En la *Figura 19* se presenta una serie de tiempo con dos ejes verticales. En el eje izquierdo se encuentran los valores del nivel del agua y en el derecho la precipitación. Se observa que

existen patrones con picos altos y bajos en estas variables, cuando ocurre un incremento en la precipitación no existe en gran parte del análisis un aumento en el nivel del agua considerable. Y del mismo modo, cuando los niveles de precipitación son bajos no existe un descenso en el nivel del agua marcado, como el que se observa en el 2008 y un poco más acentuado en el 2010 - 2011.

4.1.5. Determinación de la estacionalidad en el periodo de estudio

4.1.5.1. Estacionalidad meteorológica

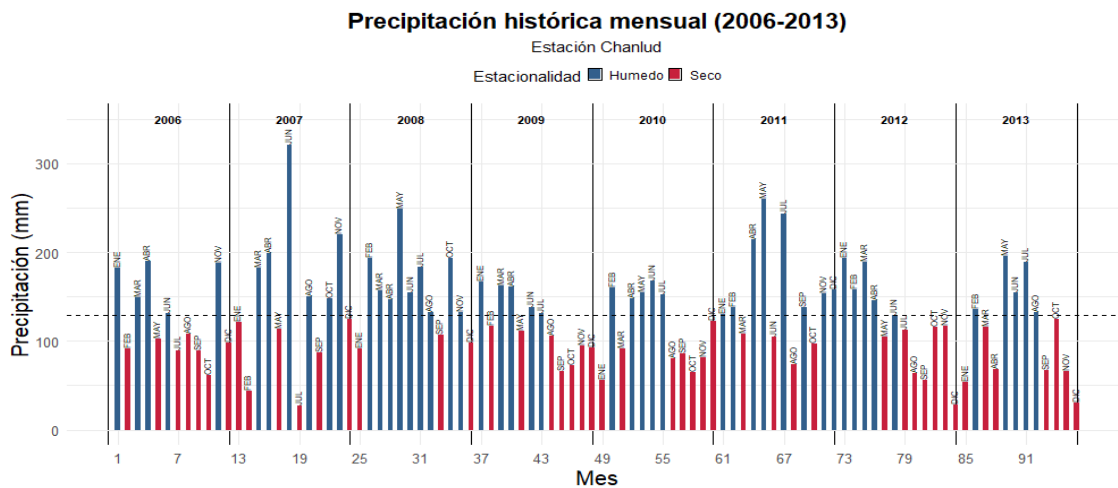
En esta sección se presenta de manera gráfica la clasificación de estacionalidad en cada una de las zonas de estudio, basadas en la precipitación.

4.1.5.2. Precipitación histórica mensual

La clasificación de estacionalidad en todo el periodo de estudio se presenta mediante los siguientes gráficos:

Figura 20

Precipitación histórica mensual para la estación Chanlud

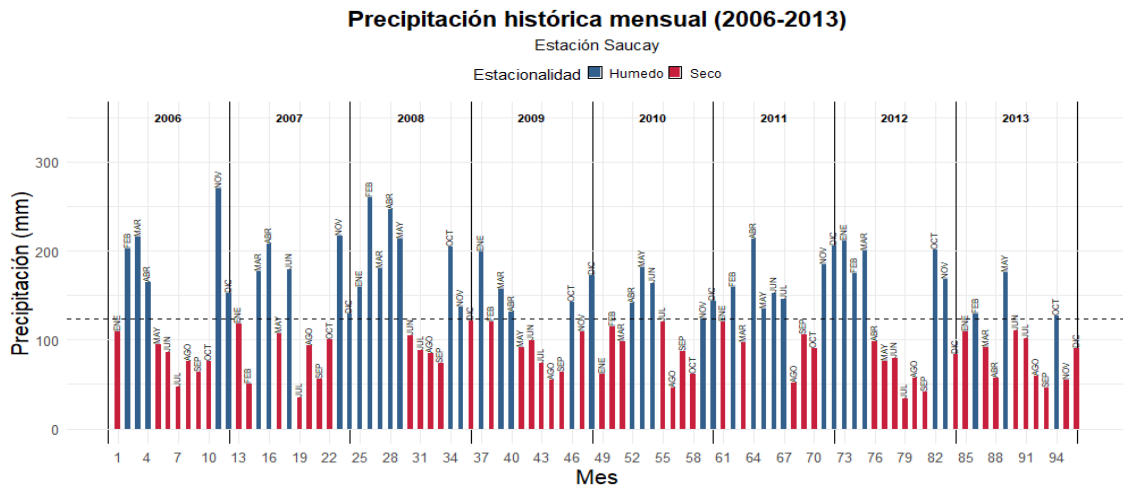


En la *Figura 20* se presentan las precipitaciones mensuales obtenidas durante todo el periodo de análisis (2006-2014) para la estación Chanlud, se empleó la media histórica de 129,3 mm para clasificar la estacionalidad entre húmedo y seco. Los resultados muestran que los meses más secos son (Sep, Oct y Dic), y los de mayor estacionalidad húmeda son (Abr y Jun). Además, se evidencia que el mes de junio de 2007 fue el más húmedo a lo largo del análisis y posterior a este mes lluvioso se presentó el mes más seco. Cada 2 a 4 meses

aproximadamente cambia la estacionalidad. Otro punto importante de acotar es que en esta estación se presentó la mayor media histórica.

Figura 21

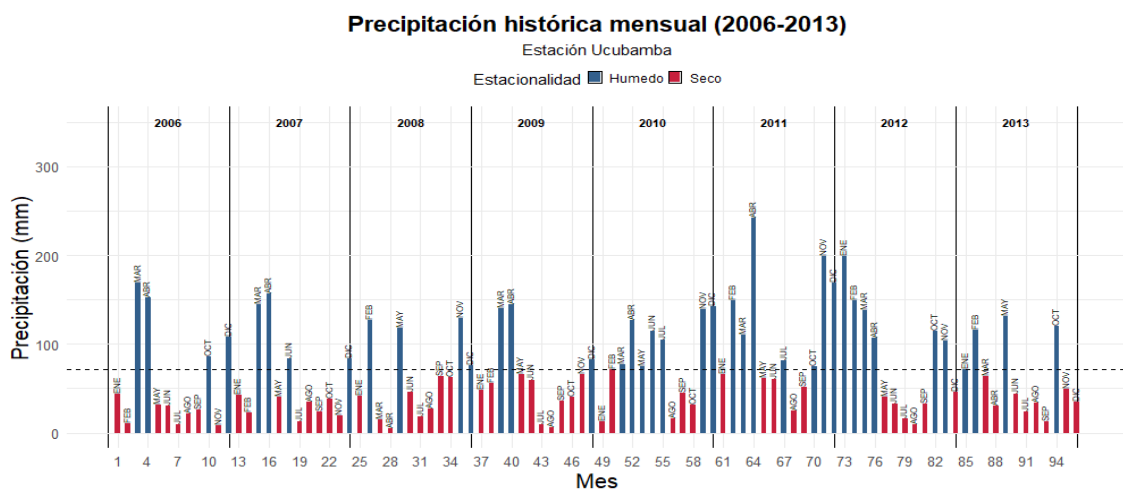
Precipitación histórica mensual para la estación Saucay



En la *Figura 21*, los resultados muestran que en función de la media histórica para la estación Saucay que es 123,9 mm, los meses más húmedos son (Feb y Mar) y los más secos son (Jul, Ago y Sep). Además, el mes más húmedo se presentó en noviembre de 2006 y el más seco en julio de 2007, se observa un cambio de estacionalidad más homogéneo que el de la estación Chanlud cada 3 a 5 meses, aunque existen excepciones como el año 2007 y 2013.

Figura 22

Precipitación histórica mensual para la estación Ucubamba



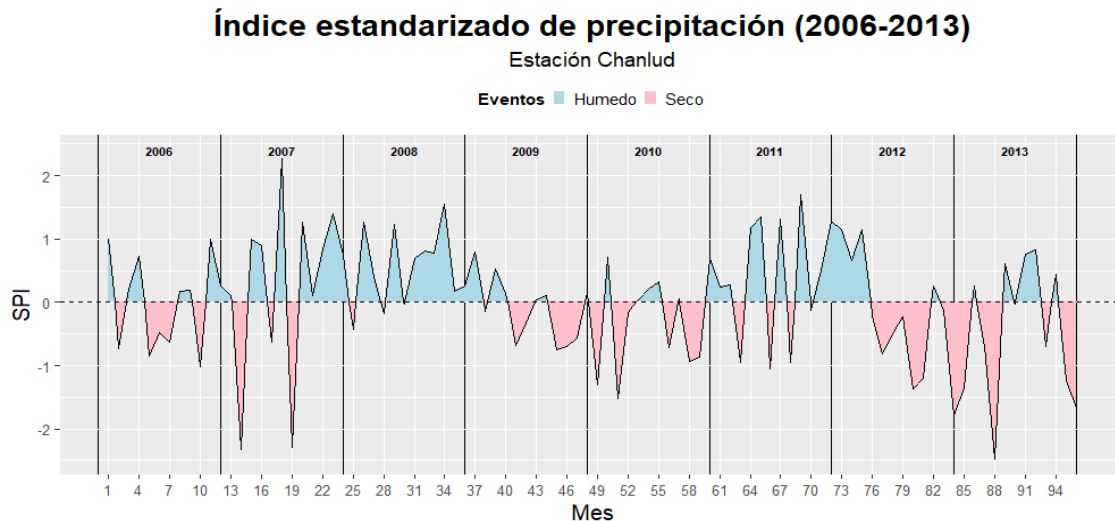
La variación estacional para la estación Ucubamba se presenta en la *Figura 22*, tomando en cuenta la media histórica de esta estación que fue de 71,4 mm, se tiene que los meses más

húmedos son (Mar, Abr y Dic); y los más secos: (Jul y Ago), como se puede observar en esta estación se registra la menor media histórica y un cambio de estacionalidad poco homogéneo cada 2 a 5 meses.

4.1.5.3. Índice estandarizado de precipitación

Figura 23

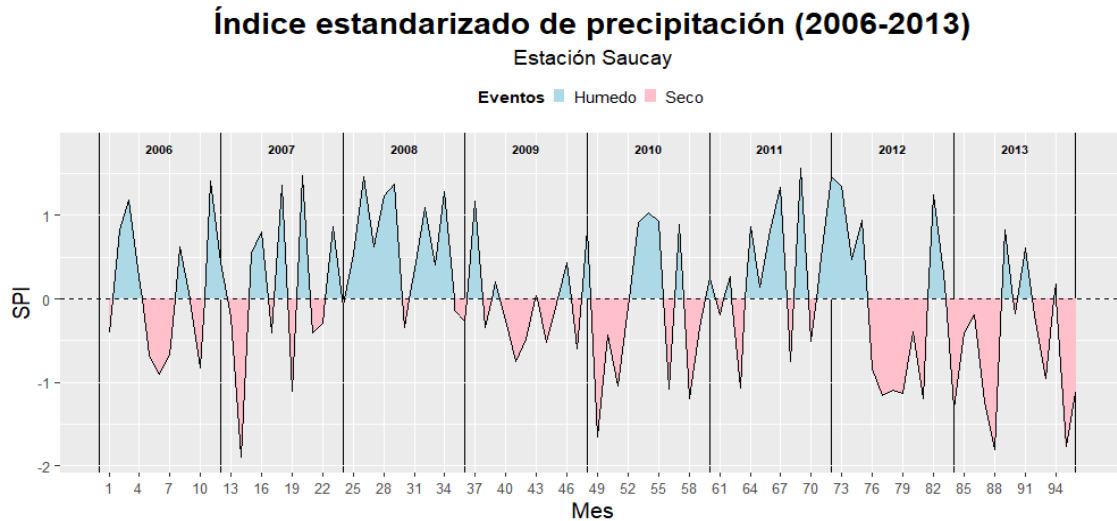
Índice estandarizado de precipitación para la estación Chanlud



En la *Figura 23* se presentan los resultados obtenidos mediante el Índice estandarizado de precipitación, en donde se evidencia que el 2008 es el año más húmedo y el 2010 el año más seco. Los demás años presentan oscilaciones entre húmedo y seco de manera anual, este gráfico presenta un comportamiento similar a la *Figura 20*, con lo cual se comprueba que existe un comportamiento similar al emplear la media histórica para la clasificación de estacionalidad.

Figura 24

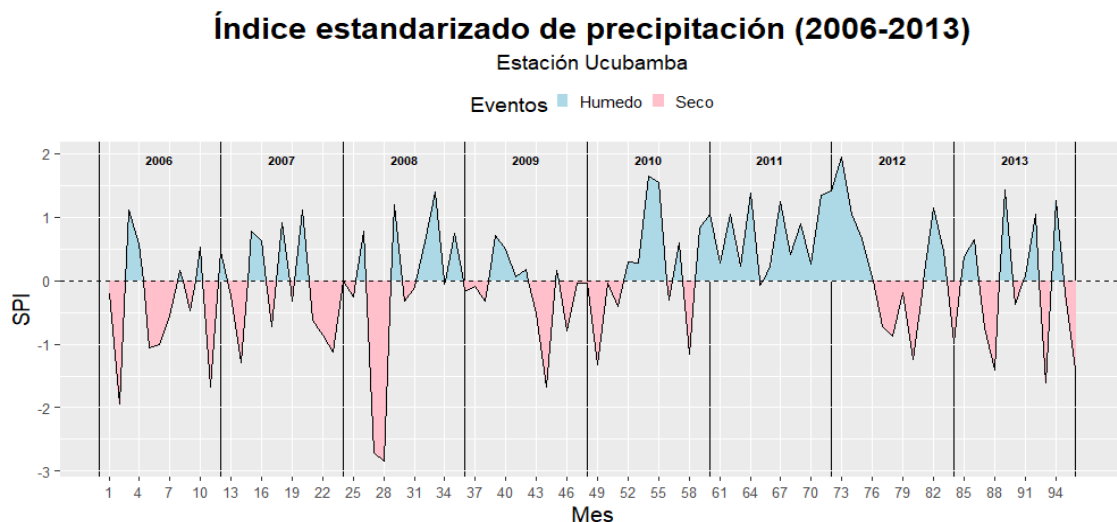
Índice estandarizado de precipitación para la estación Saucay



En la *Figura 24* se presenta el Índice estandarizado de precipitación para Saucay, que al igual que en la estación anterior da como resultado que el año más húmedo ocurre en el 2008, mientras que el año más seco en este caso es el 2013, además se puede observar que el año húmedo se encuentra mejor definido que el seco, para este último se tuvo que tomar en cuenta la menor oscilación de eventos húmedos y que exista una continuidad de eventos secos.

Figura 25

Índice estandarizado de precipitación para la estación Ucubamba



En la *Figura 25* se presenta el Índice estandarizado de precipitación para la estación Ucubamba, que es la estación que difiere de las otras 2 estaciones. Con el índice se obtuvo

que el año más húmedo ocurre en el 2011 donde además no se observa ninguna oscilación de eventos secos y, por otro lado, el año más seco fue el 2006 debido a que se presentan eventos de sequía seguidos y pequeñas oscilaciones de eventos húmedos.

4.1.6. Estacionalidad hidrológica

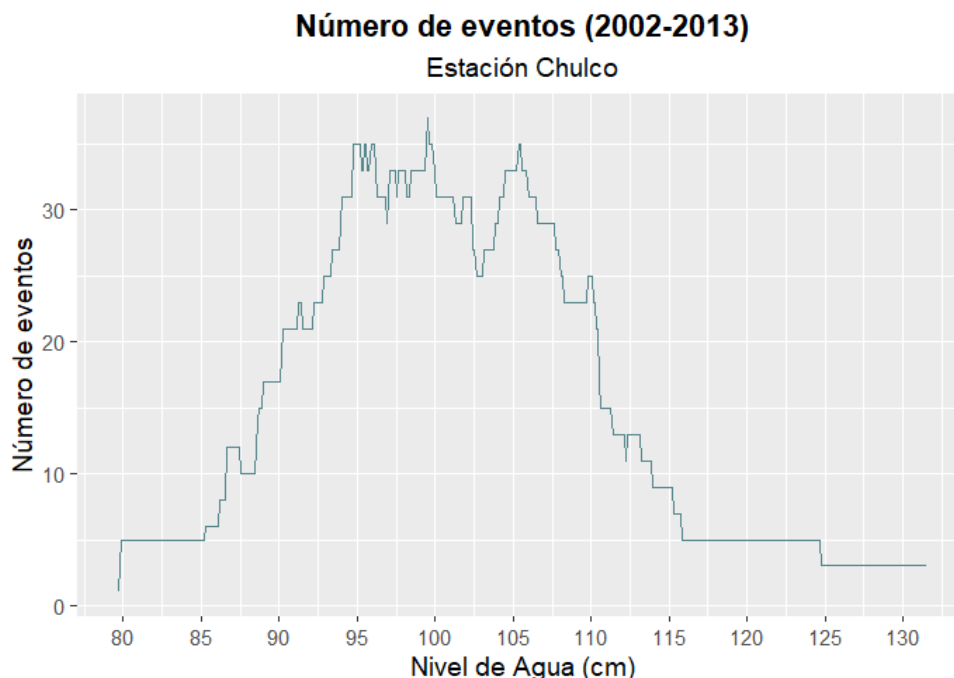
En esta sección se presenta de manera gráfica la clasificación de estacionalidad en cada una de las zonas de estudio, basadas en el nivel del agua.

4.1.6.1. Curva de duración de caudal

La curva de duración de caudal es una herramienta ampliamente utilizada en hidrología para describir el porcentaje de tiempo que un caudal será excedido o igualado (Marín Villegas, 2011). Para establecer el umbral de nivel de agua correspondiente a periodos secos y húmedos se determinó los niveles de agua con mayor frecuencia en el estudio, la media, y un nivel de agua que tenga la misma probabilidad de ser excedido o no. A continuación, se muestran los resultados de las herramientas para establecer el nivel de agua:

Figura 26

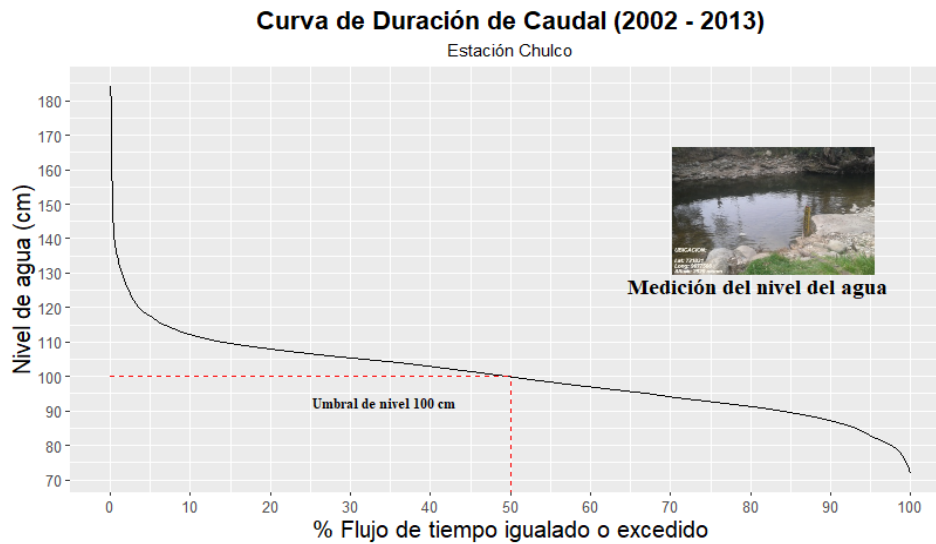
Número de eventos para la estación Chulco



Se observa en la *Figura 26* que el mayor número de eventos oscila entre 95 y 100 cm, sin embargo, se alcanzan 40 eventos en valores cercanos a 100 cm, por lo cual para realizar la curva de duración de caudal se tomará 100 cm como el nivel del agua en el que ocurre la mayor cantidad de eventos, además este valor corresponde a la media.

Figura 27

Curva de duración de caudal



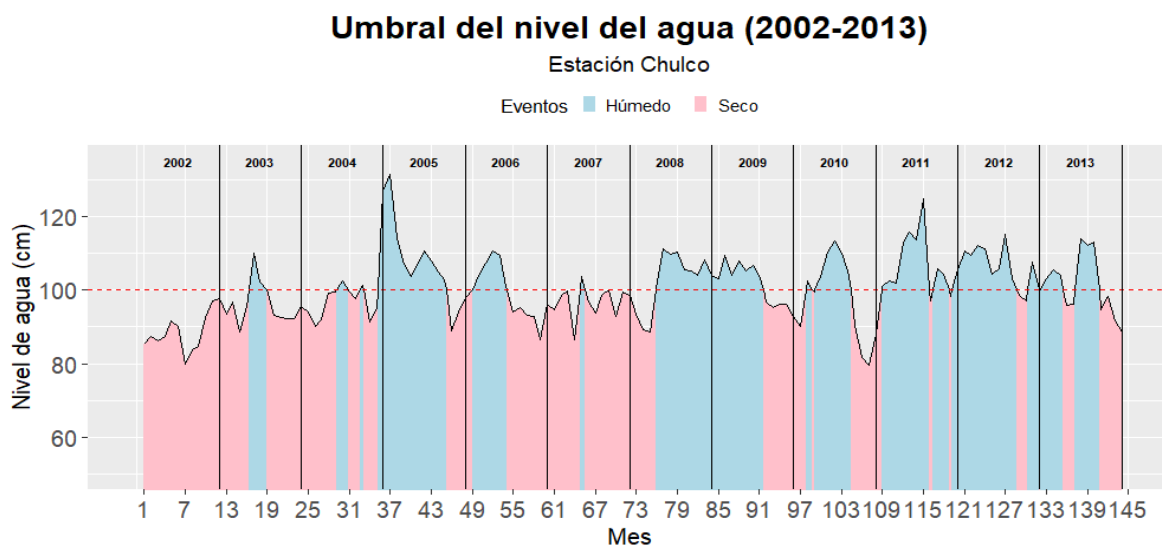
Nota. El umbral de nivel de 100 cm permite alcanzar un 50% de flujo igualado o excedido.

En la Curva de duración de caudal (*Figura 27*) se observa que cuando se utiliza 100 cm como umbral, la probabilidad de excedencia es del 50 %. Este nivel de umbral se definió tomando en consideración los eventos más repetitivos y la media de los caudales (100 cm), para establecer el valor correspondiente.

4.1.6.2. Umbral del nivel del agua

Figura 28

Umbral del nivel del agua



Nota. El umbral corresponde a la media del nivel del agua.

El umbral del nivel del agua permitió identificar que meses y años se consideran como secos o húmedos, en este caso para el periodo de estudio se consideran como años húmedos el 2011 y 2012; por otro lado, como año seco se tiene el 2007. Cabe destacar que la relación del nivel de agua con respecto a la lluvia no es directa debido a la existencia de embalses.

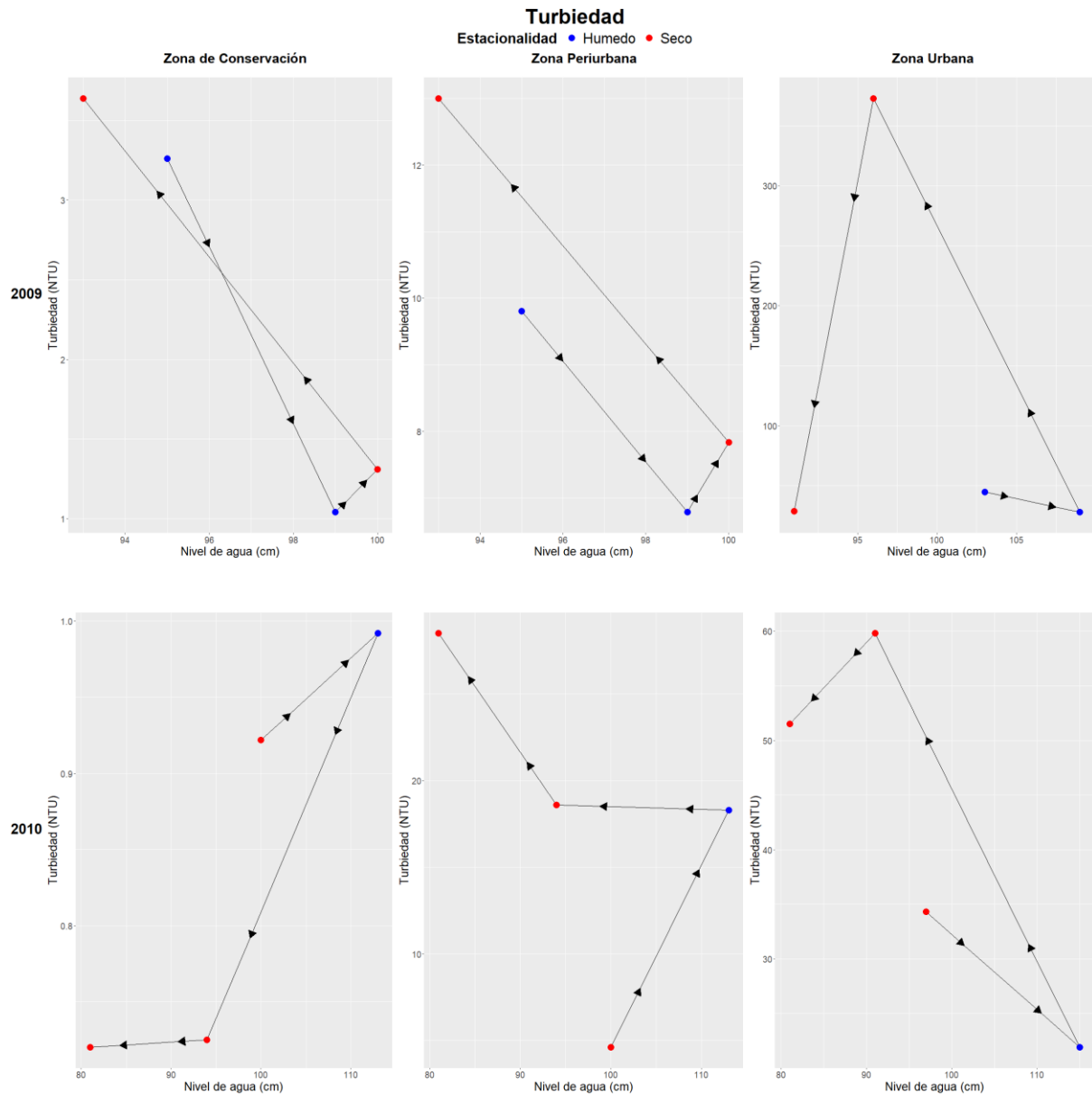
4.1.7. Determinación de los comportamientos histeréticos (Nivel del agua/ Concentración) en las zonas de conservación, periurbana y urbana

En las siguientes ilustraciones se presenta el comportamiento histerético de cada parámetro de calidad del agua, comparado en las tres zonas de estudio en los años 2009 (húmeda-húmeda-seca-seca) y 2010 (seca-húmeda-seca-seca). Debido a que estos años presentaron una estacionalidad coincidente para las tres zonas de estudio, además todos los parámetros fueron medidos el mismo mes, por lo tanto, presenta la misma estacionalidad.

4.1.7.1. Turbiedad

Figura 29

Comportamiento Histerético de la turbiedad



Nota. El punto rojo corresponde a estacionalidad seca y el azul a estacionalidad húmeda. Las flechas indican la dirección del comportamiento.

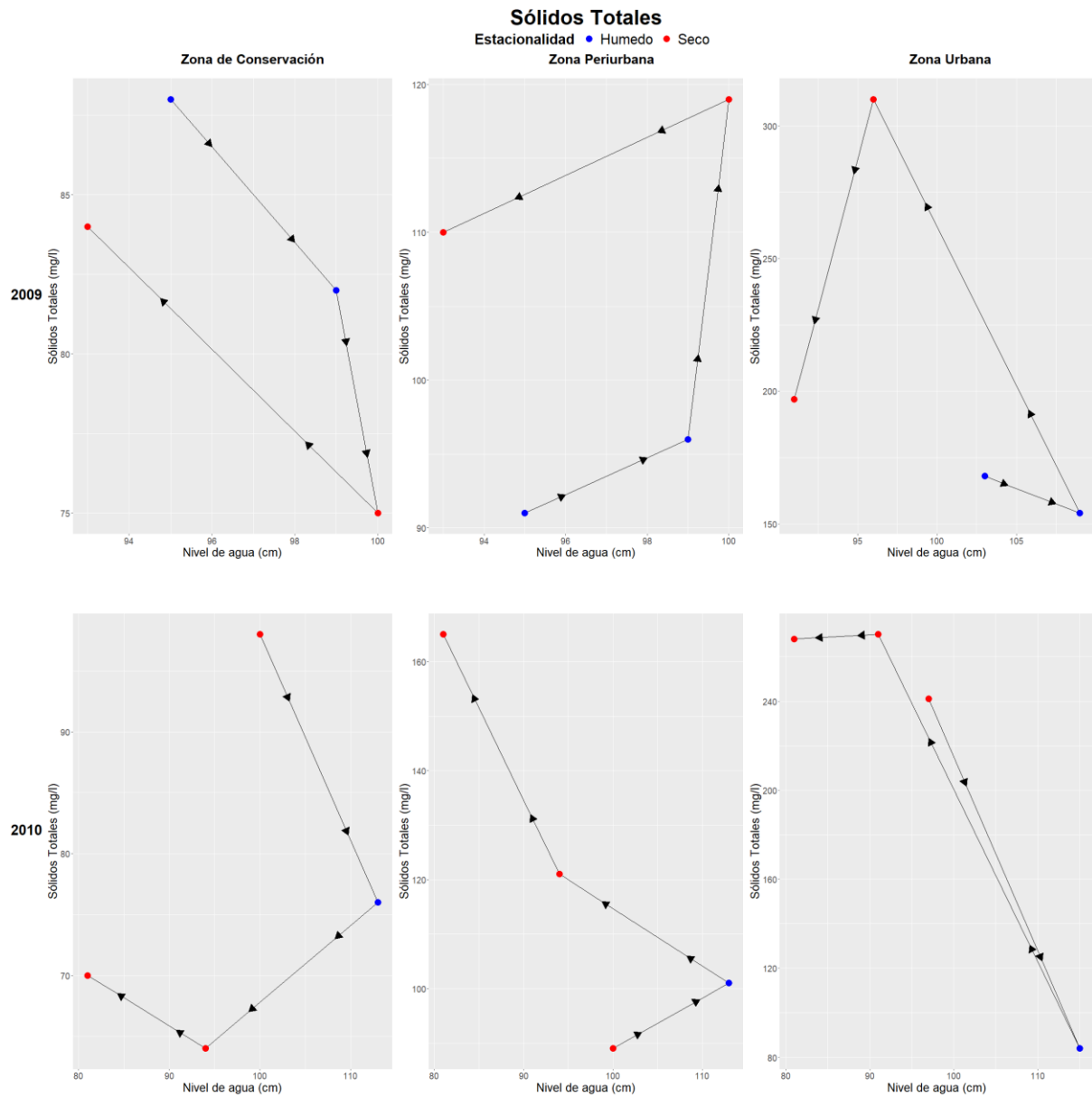
En la Figura 29 se presentan los gráficos histeréticos obtenidos para el parámetro Turbiedad, en los cuales se evidencian comportamientos histeréticos para las tres zonas. En la zona de conservación se presenta un comportamiento histerético en forma de ocho en sentido antihorario. Mientras en la zona periurbana y urbana igualmente un comportamiento histerético antihorario, pero sin punto de cruce. Por otra parte, en el 2010 la zona de

conservación presentó un comportamiento horario y la urbana un comportamiento antihorario y solo la zona periurbana no presentó comportamiento histerético.

4.1.7.2. Sólidos Totales

Figura 30

Comportamiento histerético de los sólidos totales



Nota. El punto rojo corresponde a estacionalidad seca y el azul a estacionalidad húmeda. Las flechas indican la dirección del comportamiento.

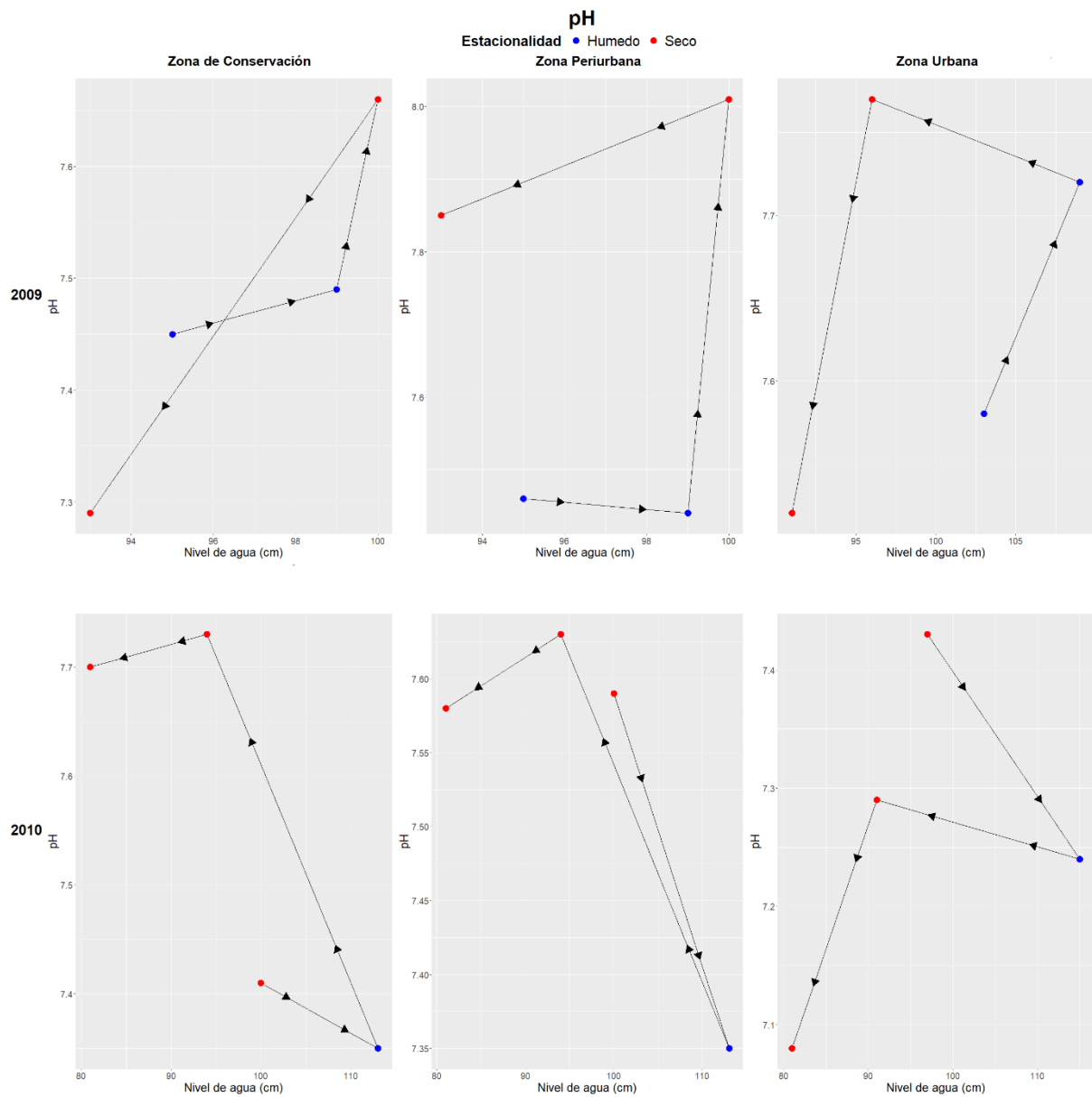
En la Figura 30 se presentan los gráficos histeréticos obtenidos para el parámetro de sólidos totales, en el año 2009 en la zona de conservación se presenta un comportamiento histerético

horario, en cambio en la zona periurbana y urbana el comportamiento es antihorario. En el 2010, solo existe comportamiento histerético horario en la zona conservación.

4.1.7.3. pH

Figura 31

Comportamientos histeréticos del pH



Nota. El punto rojo corresponde a estacionalidad seca y el azul a estacionalidad húmeda. Las flechas indican la dirección del comportamiento.

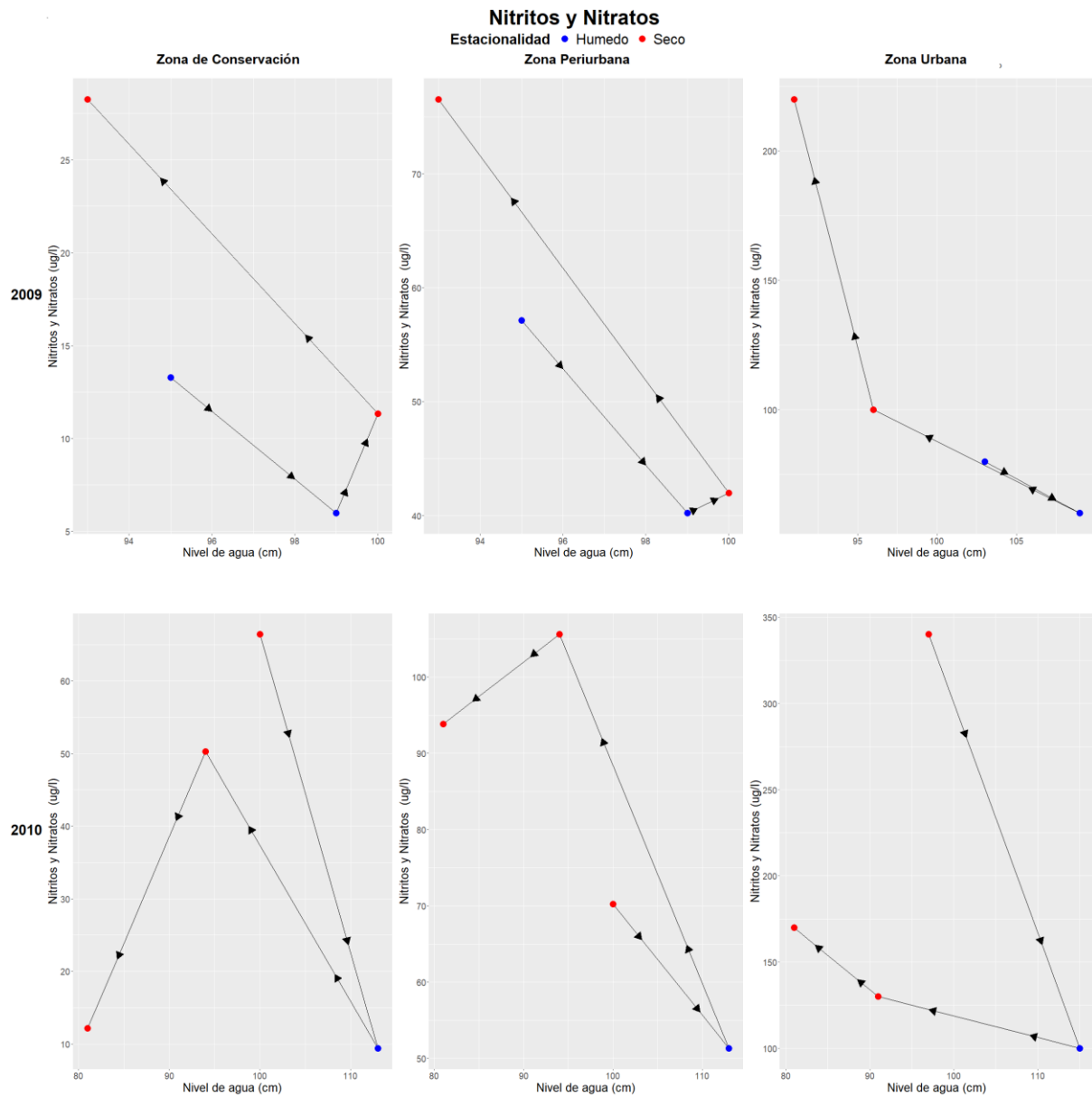
En la Figura 31 se observa que en 2009 existen comportamientos histeréticos del pH en las tres zonas. En la zona de conservación el comportamiento es en forma de ocho en sentido

antihorario, en la zona periurbana y urbana es antihorario. En el 2010, solo existe un comportamiento histerético horario en la zona de conservación.

4.1.7.4. Nitritos-Nitratos

Figura 32

Comportamientos histeréticos de los Nitritos-Nitratos



Nota. El punto rojo corresponde a estacionalidad seca y el azul a estacionalidad húmeda. Las flechas indican la dirección del comportamiento.

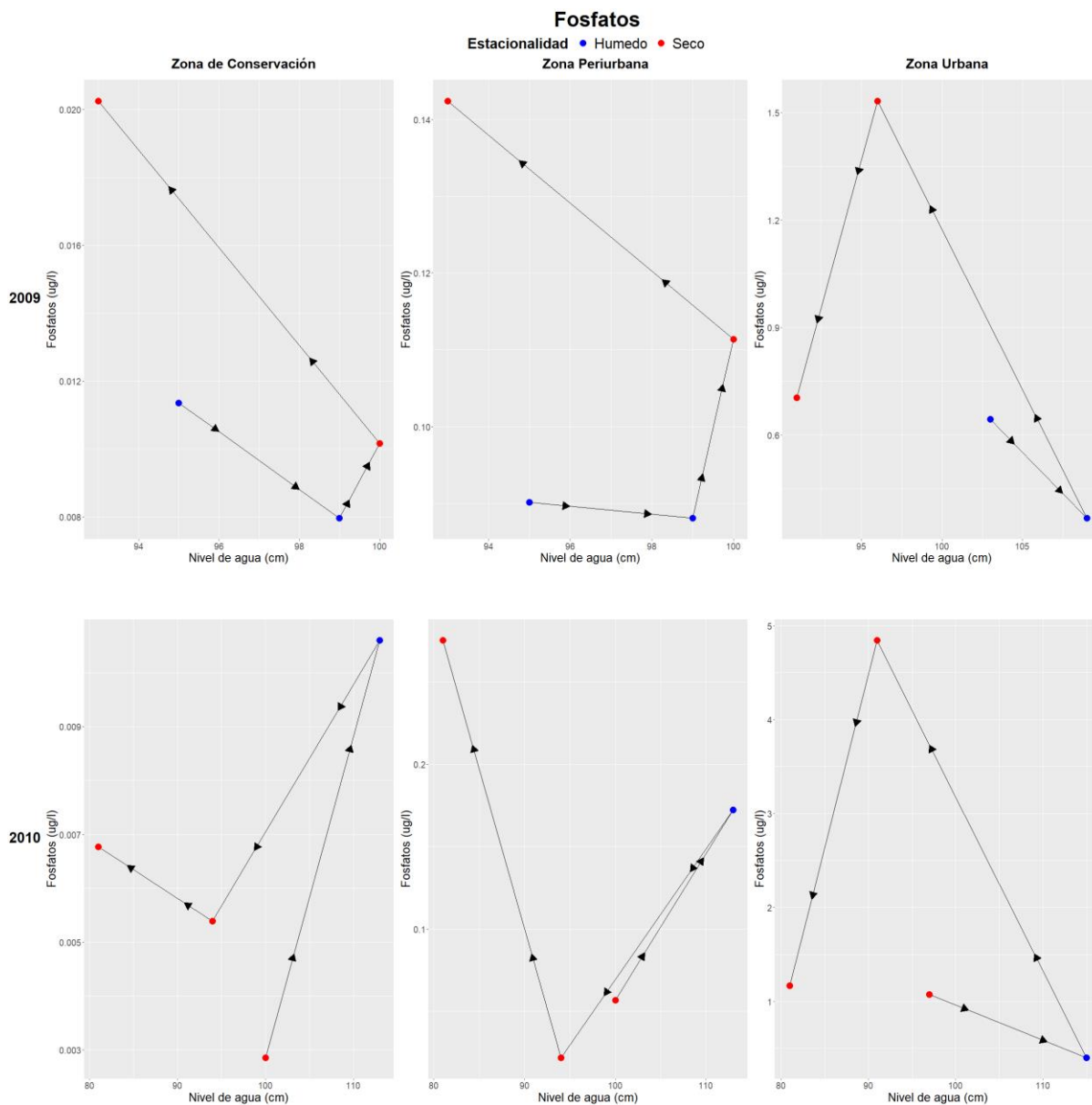
En la Figura 32 se presentan los gráficos histeréticos obtenidos para el parámetro de nitratos-nitritos, en el 2009 para la zona de conservación y periurbana se presenta un comportamiento antihorario, en cambio en la zona urbana no existe un comportamiento histerético. En el 2010

la zona periurbana presenta un comportamiento antihorario, mientras que en la zona urbana el comportamiento es horario y en la zona de conservación no existe un comportamiento histerético.

4.1.7.5. Fosfatos

Figura 33

Comportamientos histeréticos de los Fosfatos



Nota. El punto rojo corresponde a estacionalidad seca y el azul a estacionalidad húmeda. Las flechas indican la dirección del comportamiento.

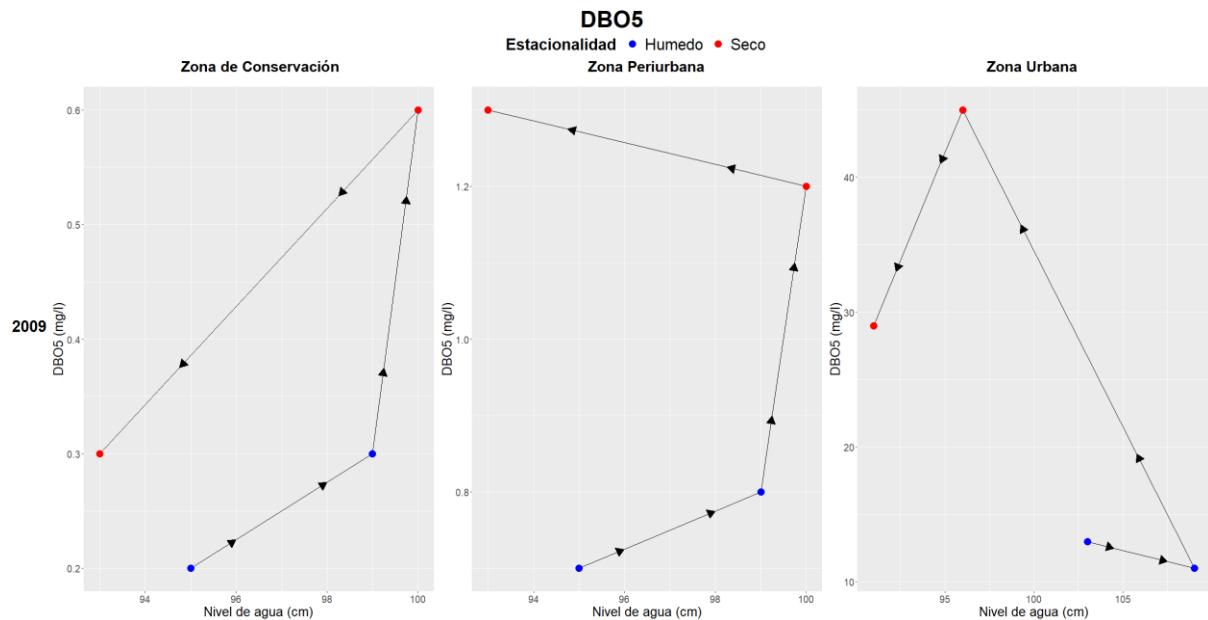
En la Figura 33 se presentan los gráficos histeréticos obtenidos para fosfatos. En el 2009, se evidenció un comportamiento antihorario en las tres zonas, por otro lado, en el 2010 solo se

evidenció un comportamiento histerético antihorario en la zona urbana y en las otras zonas no existió un comportamiento histerético.

4.1.7.6. DBO₅

Figura 34

Comportamientos histeréticos de la DBO₅



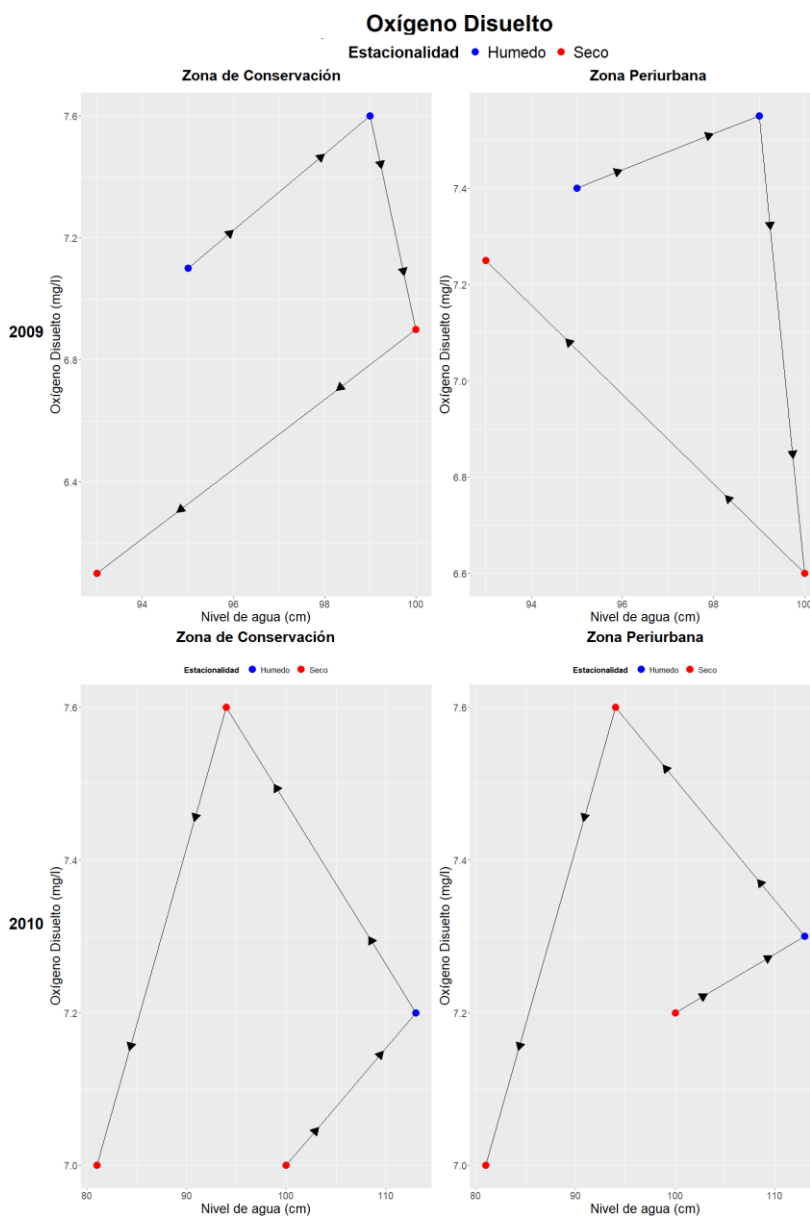
Nota. El punto rojo corresponde a estacionalidad seca y el azul a estacionalidad húmeda. Las flechas indican la dirección del comportamiento.

En la Figura 34, para la DBO₅ en el año 2009 las tres zonas evidencian un comportamiento antihorario, para esta variable no se consideró el año 2010 debido a la falta de datos.

4.1.7.7. Oxígeno disuelto

Figura 35

Comportamientos histeréticos del Oxígeno disuelto



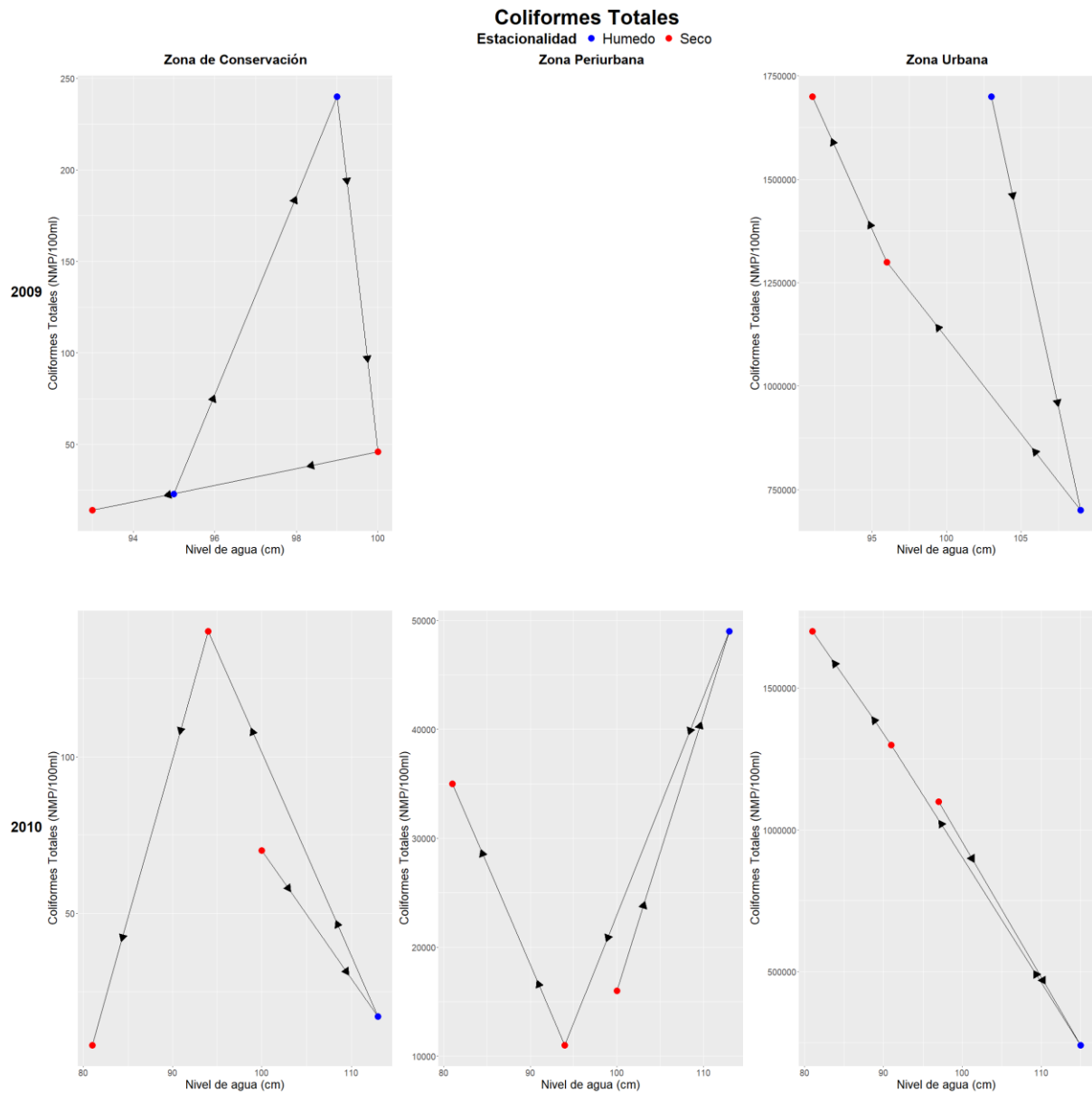
Nota. El punto rojo corresponde a estacionalidad seca y el azul a estacionalidad húmeda. Las flechas indican la dirección del comportamiento.

En la Figura 35 se presentan los gráficos obtenidos para el OD. En el 2009 en la zona de conservación y periurbana se evidencia un comportamiento histerético horario, sin embargo, para la zona urbana no se tienen datos en 2009 y en 2010. Por último, en el 2010, en la zona de conservación y periurbana se tiene un comportamiento antihorario.

4.1.7.8. Coliformes totales

Figura 36

Comportamientos histeréticos de los coliformes totales

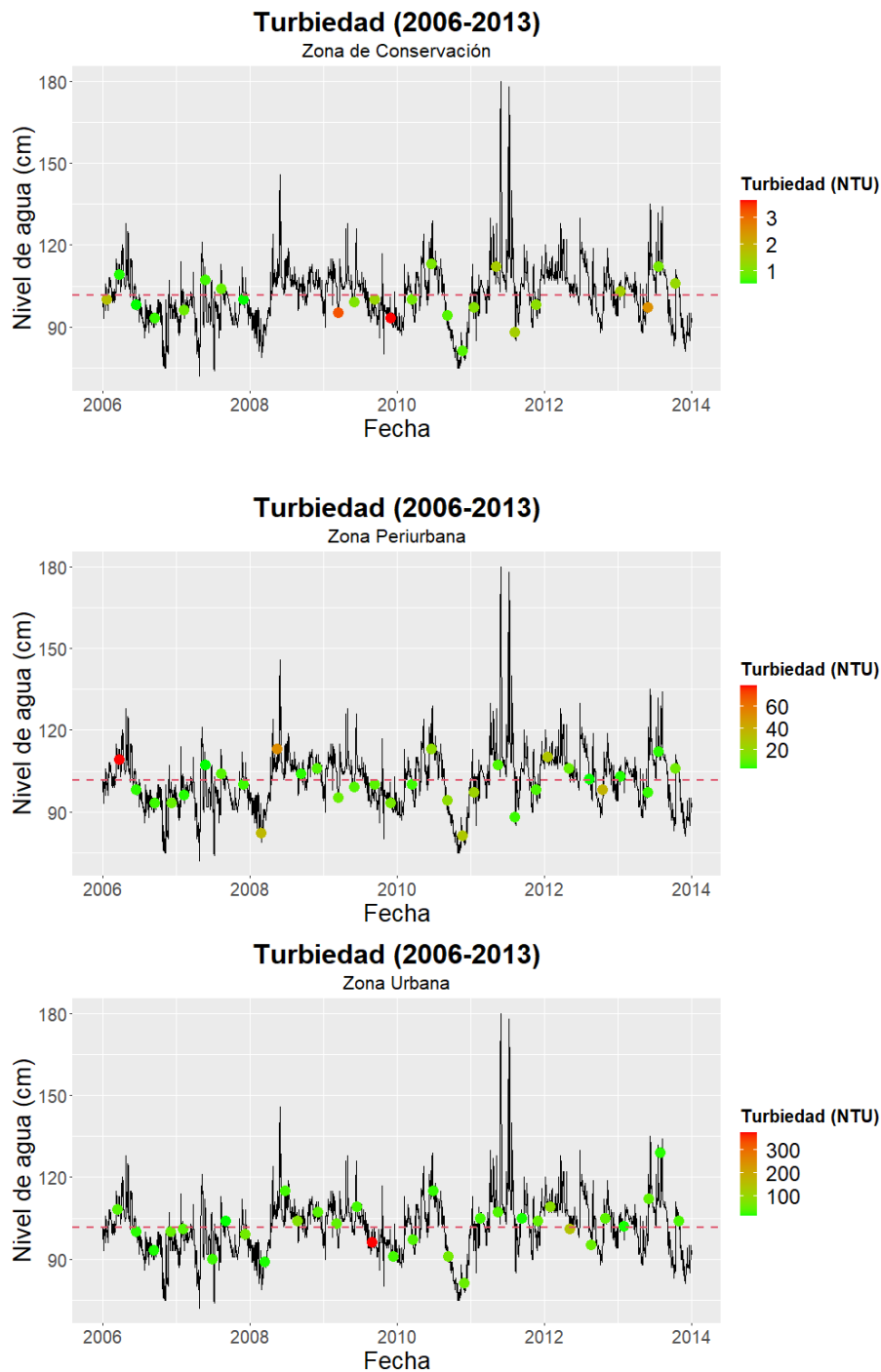


Nota. El punto rojo corresponde a estacionalidad seca y el azul a estacionalidad húmeda. Las flechas indican la dirección del comportamiento.

Los gráficos de histéresis para coliformes totales se presentan en la *Figura 36*, en el 2009 en la zona de conservación se forma un bucle histerético en sentido horario, en la zona urbana de igual manera se presenta un comportamiento histerético en sentido horario y en la zona periurbana no se tienen los datos. Por último, en el 2010 en la zona de conservación existe un comportamiento histerético antihorario y en las otras zonas no se presenta ningún comportamiento histerético.

Figura 37

Hidrograma con los valores de turbiedad

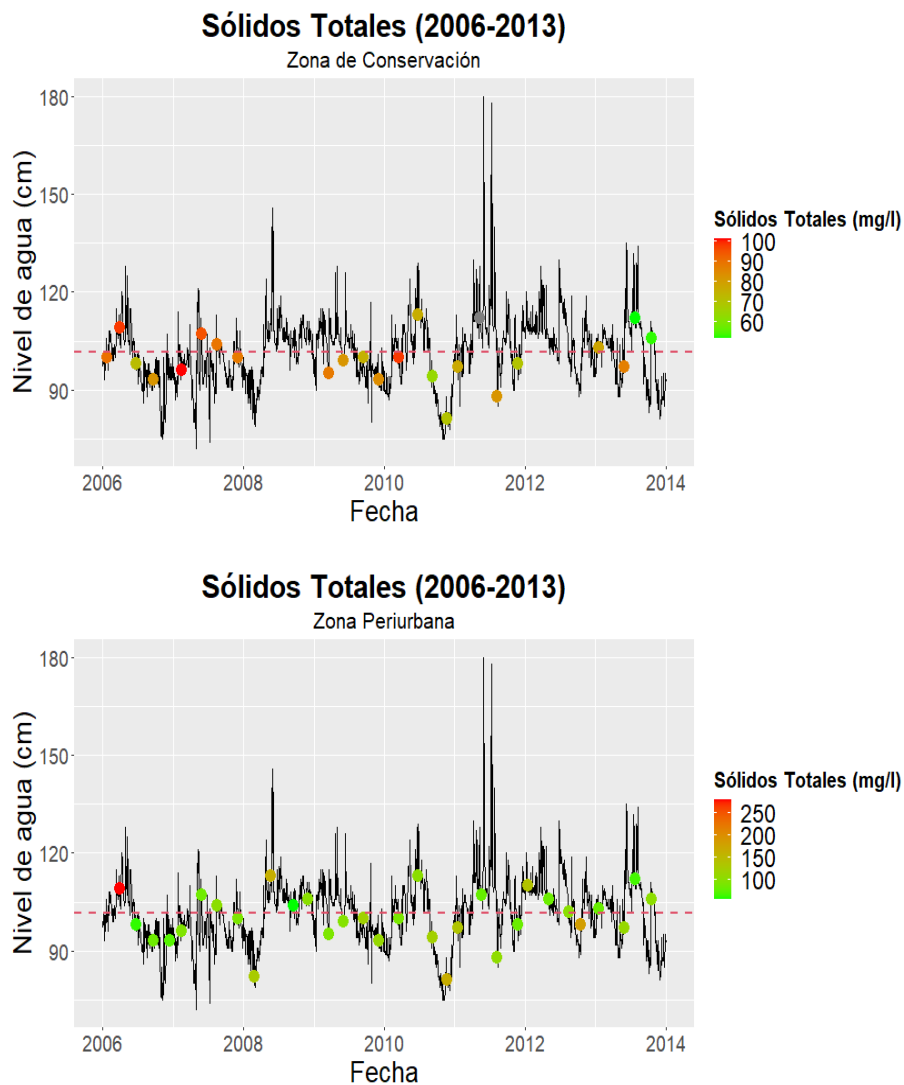


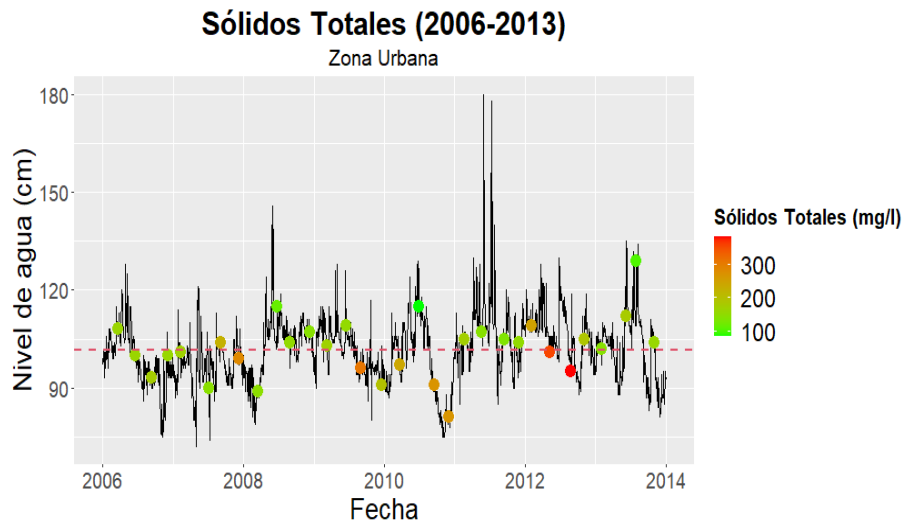
Nota. La línea interpuntada corresponde al nivel de agua promedio en el periodo de estudio. En la *Figura 37* se presentan los valores de la turbiedad en los diferentes niveles del agua, para realizar la comparación se evaluó la media del nivel del agua en el periodo de estudio (101,18 cm). Esto permitió establecer niveles altos y bajos a partir de la media. En la zona de conservación y urbana, cuando se presentan bajos niveles de agua se obtienen niveles altos

de turbiedad, en cambio en los niveles que se encuentran altos o cercanos a la media se observa niveles de turbiedad bajos. La zona periurbana presenta un comportamiento distinto, debido a que para todos los niveles de agua se presentaron niveles altos de turbiedad, sin embargo, los valores más elevados de todo el tiempo de análisis se observaron cuando existen niveles de agua altos. Cabe destacar, que los niveles de turbiedad aumentan considerablemente de la zona de conservación a la urbana.

Figura 38

Hidrograma con las concentraciones de sólidos

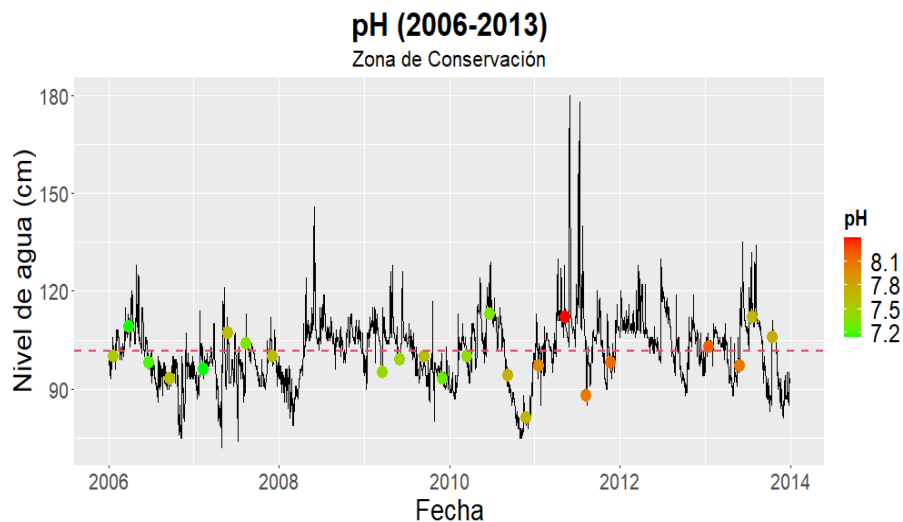


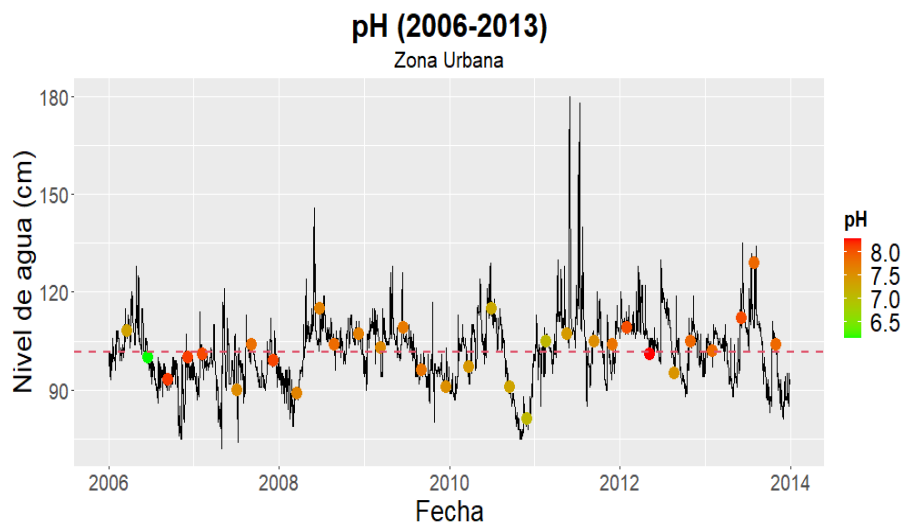
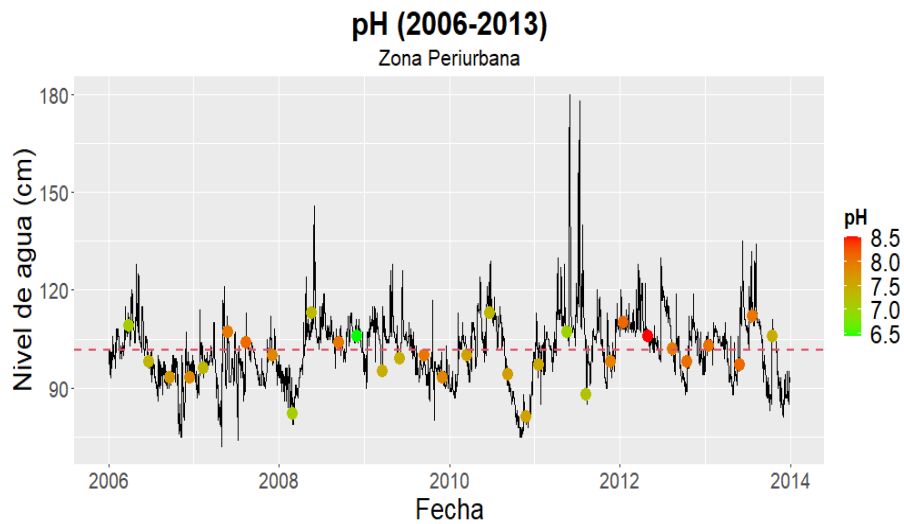


Nota. La línea interpuntada corresponde al nivel de agua promedio en el periodo de estudio. Como se observa en la *Figura 38*, en la zona de conservación todos los niveles de agua presentan una concentración alta de sólidos totales. Contrario a la zona de conservación, en la zona periurbana se tiene concentraciones altas y medias en niveles de agua elevados, y cuando existen niveles de agua bajos los sólidos no se concentran. Por último, en la zona urbana en niveles de agua bajos aumentan las concentraciones de sólidos.

Figura 39

Hidrograma con los valores de pH

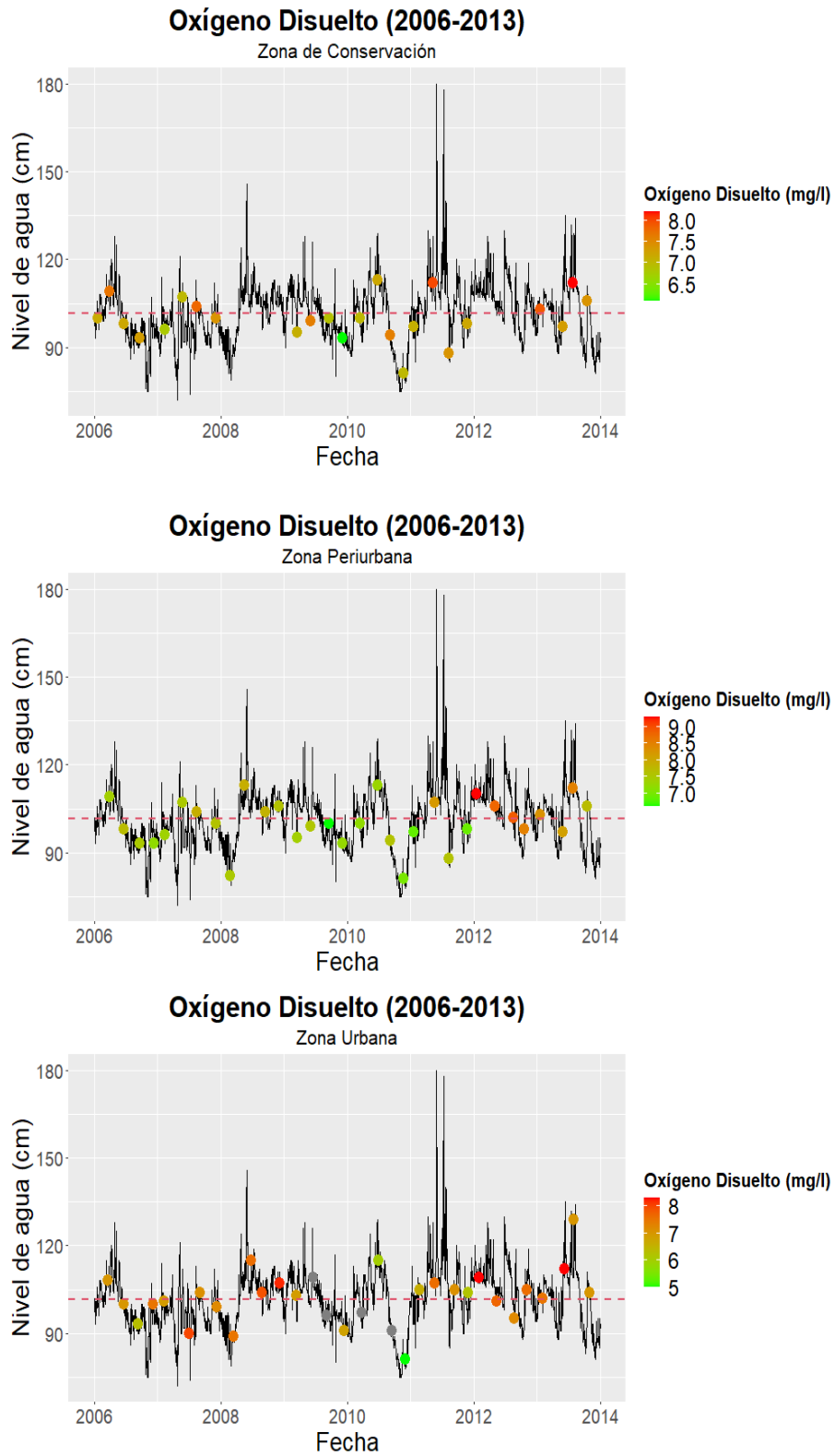




Nota. La línea interpuntada corresponde al nivel de agua promedio en el periodo de estudio. En la *Figura 39* se presentan los valores obtenidos del pH en los diferentes niveles del agua. En este caso el comportamiento del pH es similar en las 3 zonas, en donde se puede presentar concentraciones altas o bajas en cualquier nivel de agua, sin embargo, las concentraciones más elevadas en cada caso lo presentan en niveles de agua altos para la zona de conservación y periurbana, y en niveles de agua bajos para la zona urbana.

Figura 40

Hidrograma con las concentraciones de oxígeno disuelto

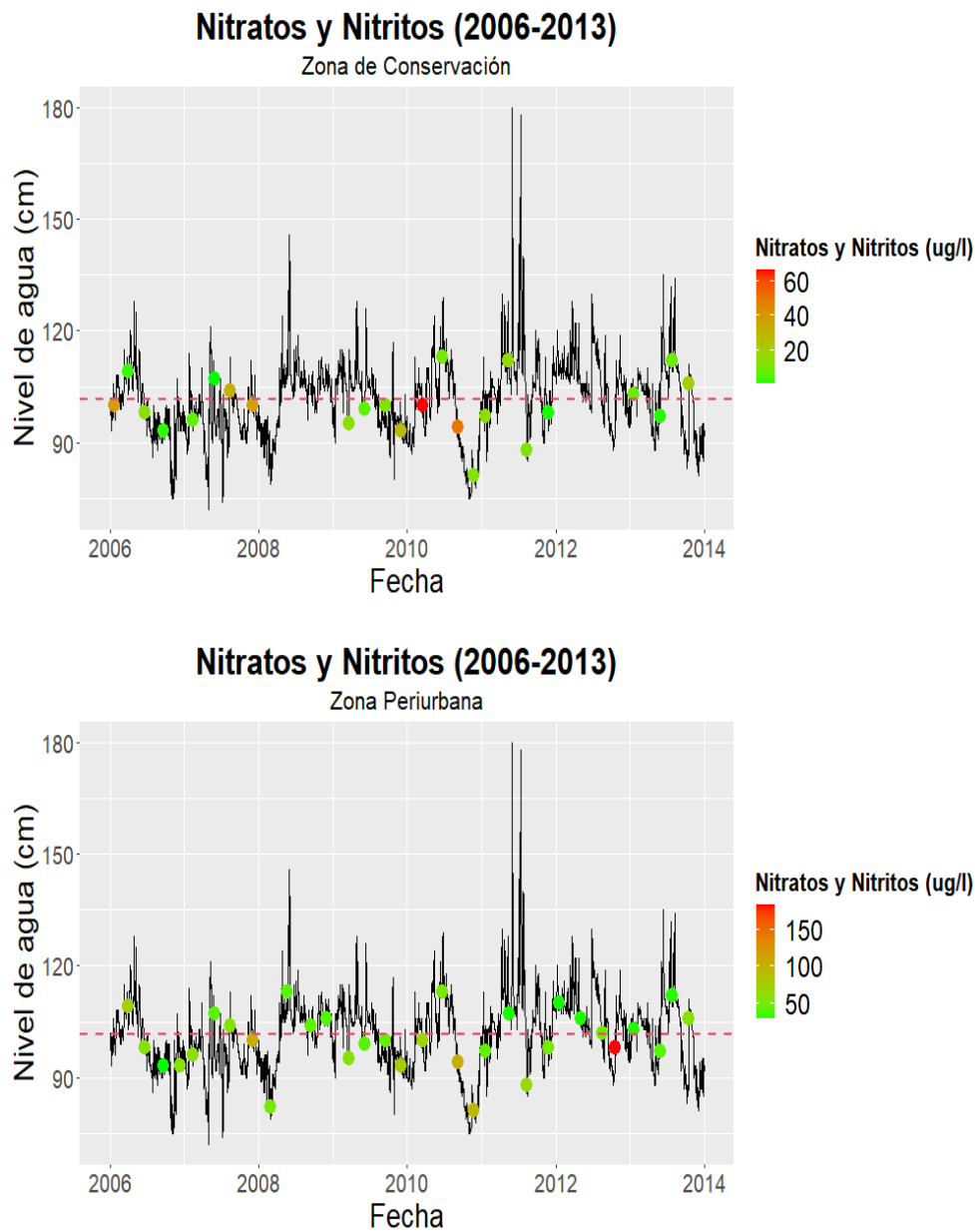


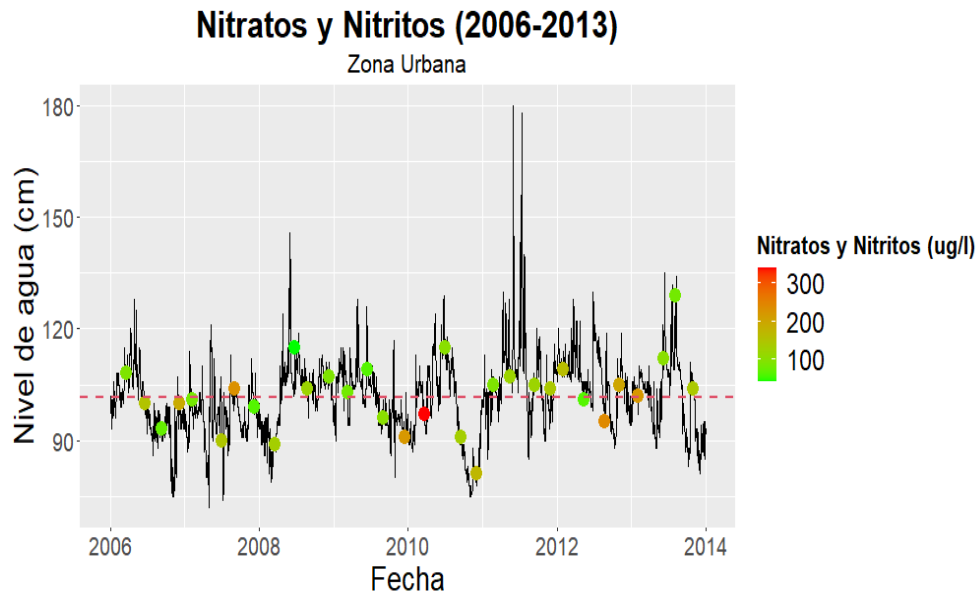
Nota. La línea interpuntada corresponde al nivel de agua promedio en el periodo de estudio

En la *Figura 40* se presentan las concentraciones obtenidas del OD en los diferentes niveles del agua. En la zona de conservación y periurbana se observan concentraciones elevadas de oxígeno disuelto en niveles de agua altos, es decir, a medida que aumenta el nivel de agua se incrementa la concentración de oxígeno disuelto. La zona urbana presenta altas concentraciones de oxígeno disuelto en los distintos niveles de agua, es decir, no existe un comportamiento específico.

Figura 41

Hidrograma con las concentraciones de Nitritos y nitratos



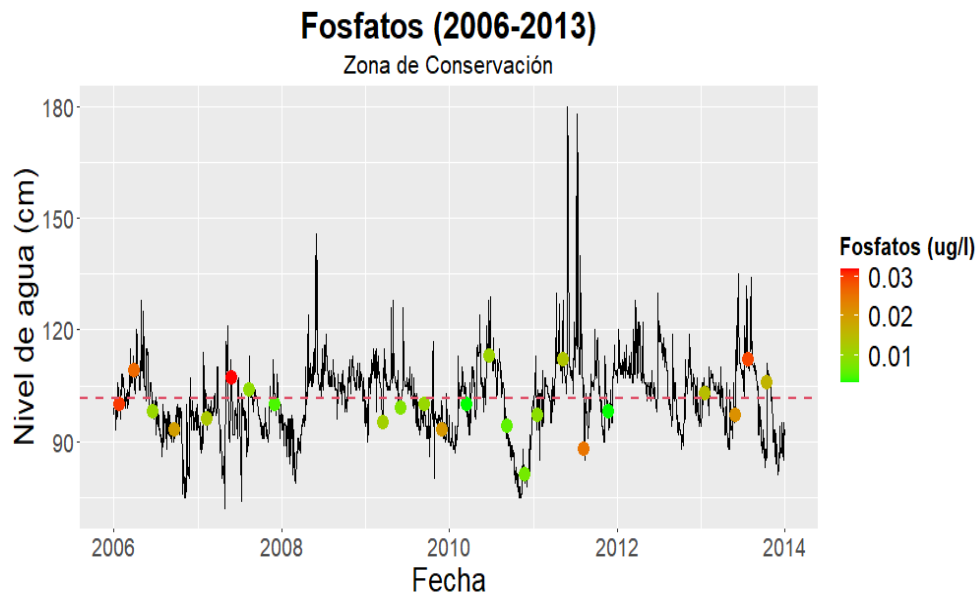


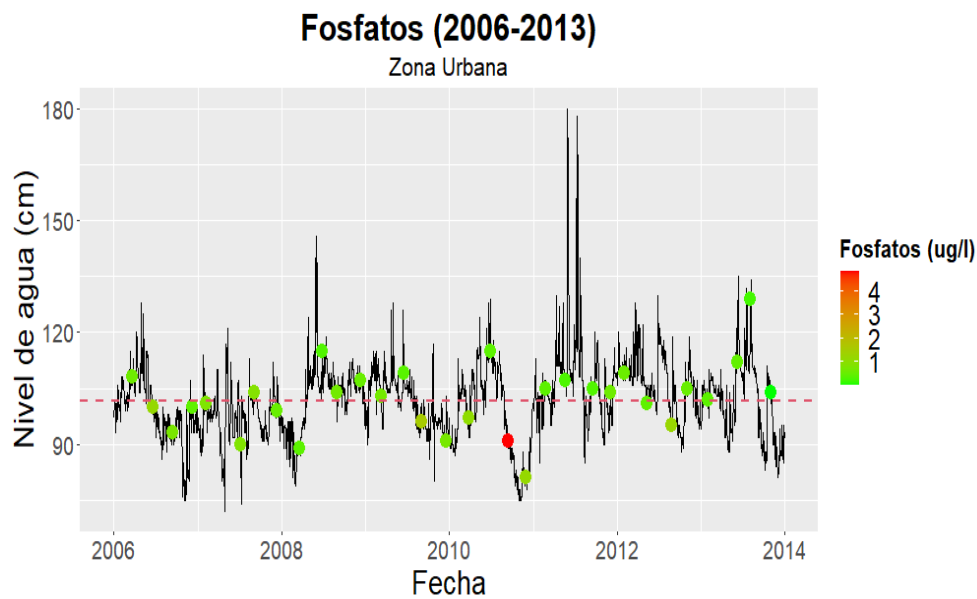
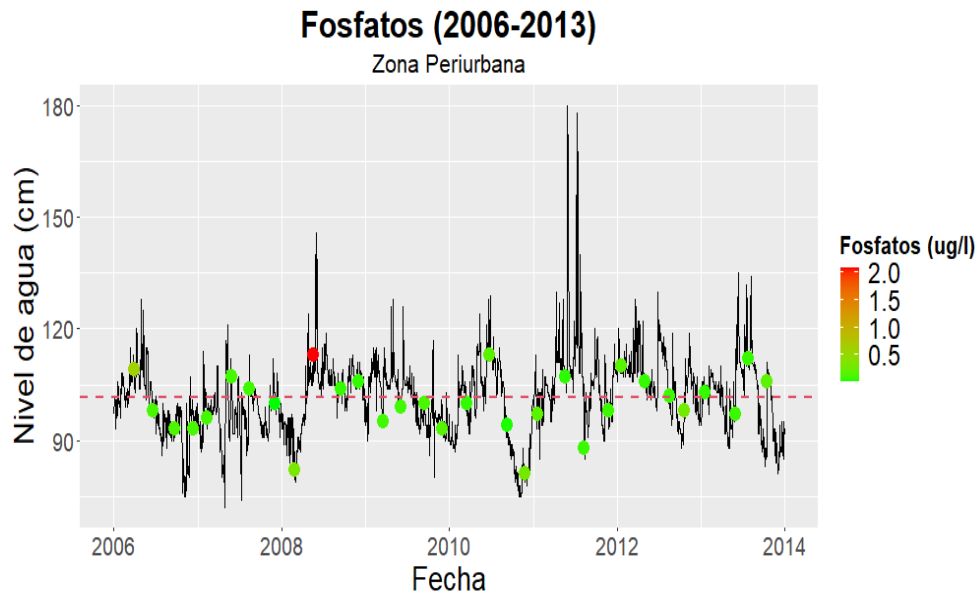
Nota. La línea interpuntada corresponde al nivel de agua promedio en el periodo de estudio

En la *Figura 41* se presentan las concentraciones obtenidas de Nitratos y Nitritos en los diferentes niveles del agua. En este caso, las 3 zonas presentan un comportamiento similar, donde las concentraciones son inversamente proporcional al nivel de agua, es decir, a niveles de agua bajos se presentan concentraciones elevadas.

Figura 42

Hidrograma con las concentraciones de Fosfatos

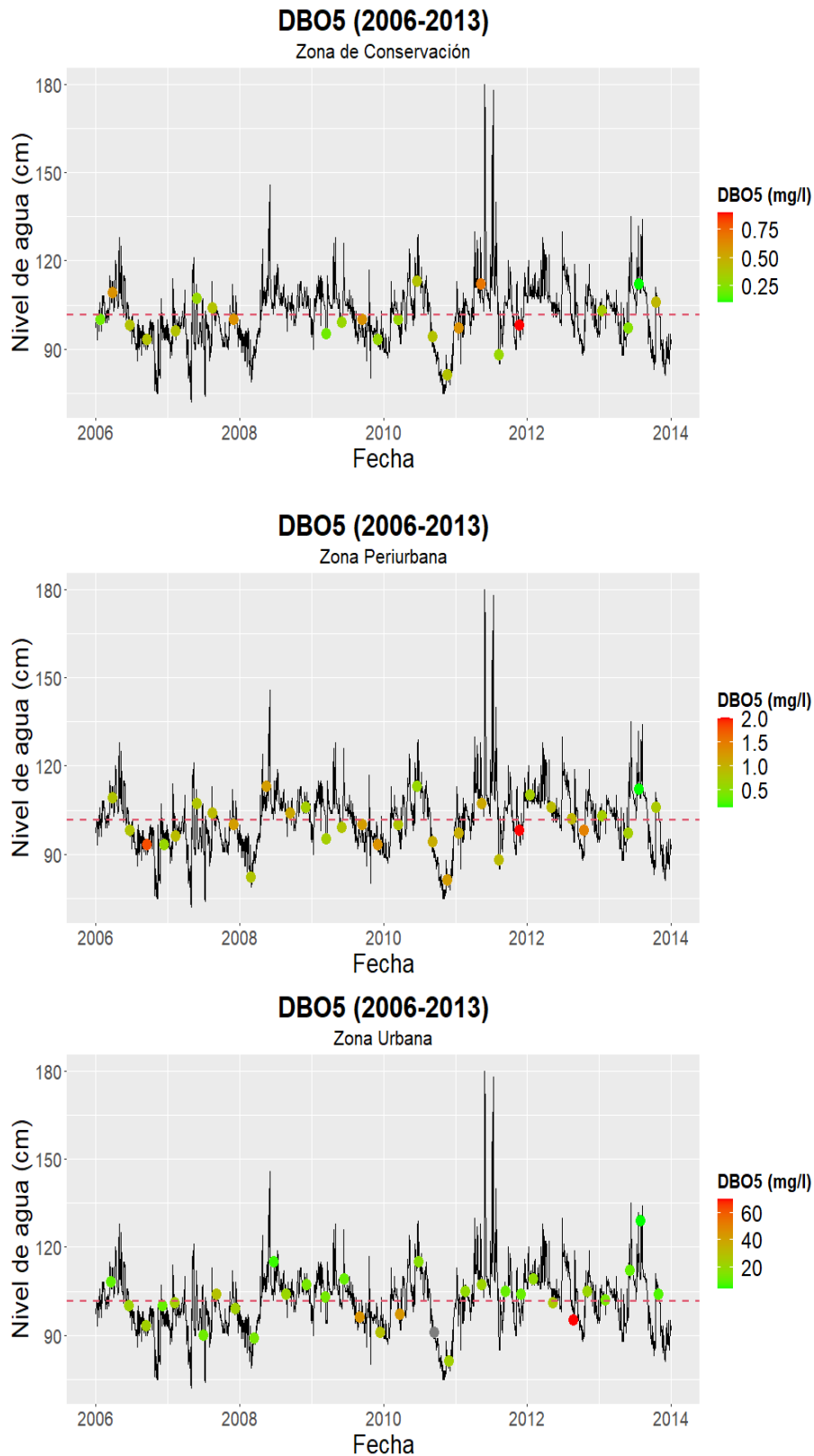




Nota. La línea interpuntada corresponde al nivel de agua promedio en el periodo de estudio. Como se observa en la *Figura 42*, en la zona de conservación en niveles de agua bajos se presentan concentraciones bajas y altas, sin embargo, los valores más altos se encuentran sobre el nivel de la media. En la zona periurbana la mayoría de concentraciones son bajas y el único valor alto se encuentra sobre la media del nivel del agua, contrario a esto en la zona urbana el único valor alto se encuentra bajo la media del nivel del agua.

Figura 43

Hidrograma con los valores de DBO₅

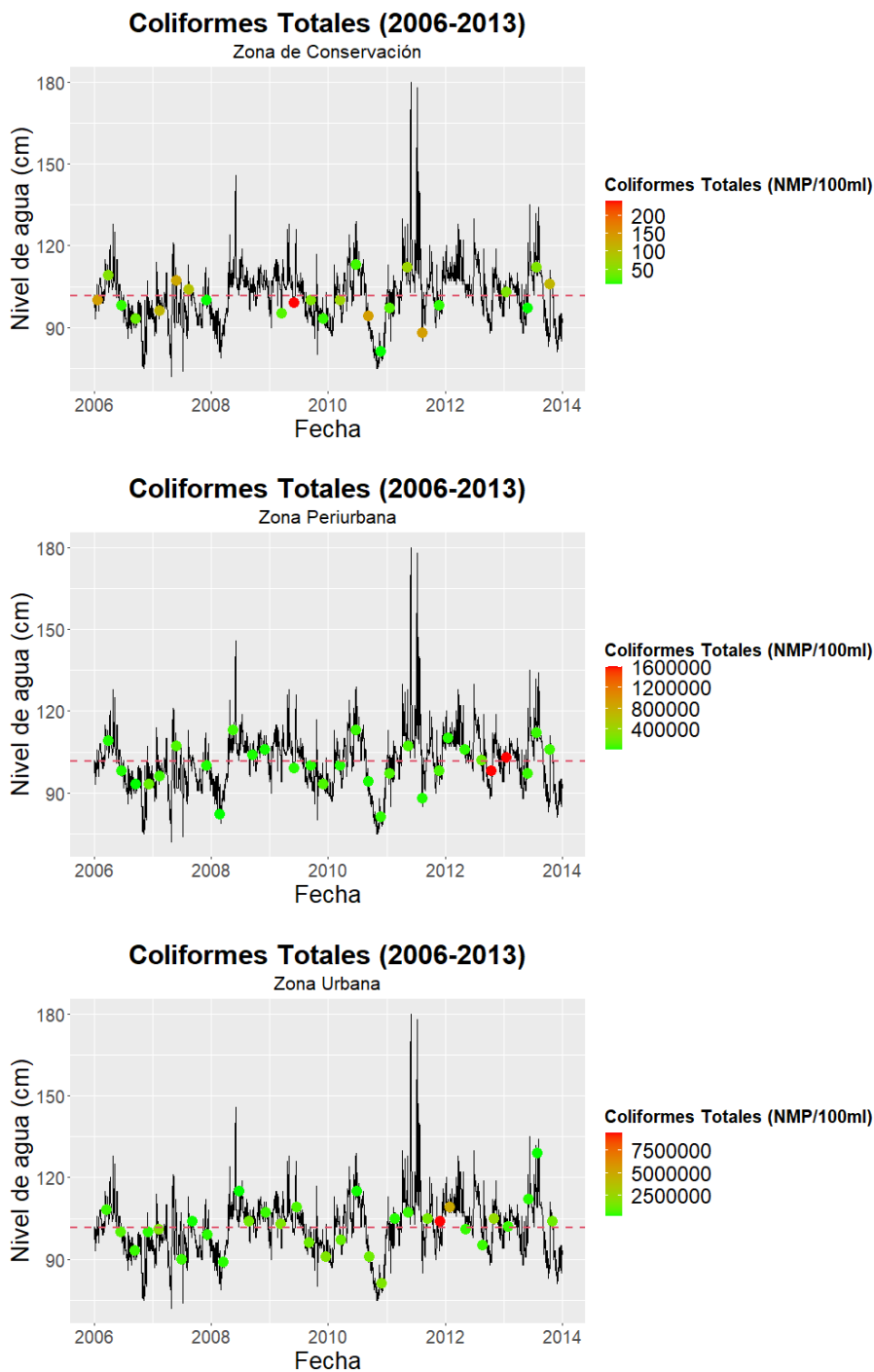


Nota. La línea interpuntada corresponde al nivel de agua promedio en el periodo de estudio

En las tres zonas cuando se presentan niveles de agua bajos, se obtienen concentraciones de DBO₅ altas, sin embargo, es importante mencionar que en la zona urbana se presenta una mayor tendencia a concentraciones bajas dentro su rango (Figura 43).

Figura 44

Hidrograma con las concentraciones de Coliformes totales



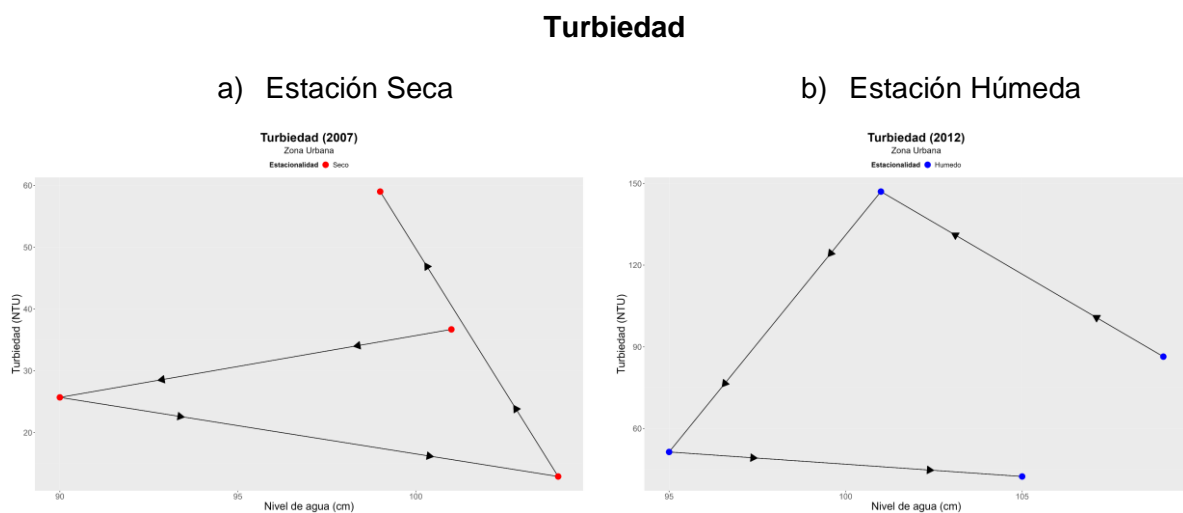
Nota. La línea interpuntada corresponde al nivel de agua promedio en el periodo de estudio

En la *Figura 44*, se presentan las concentraciones obtenidas de CT en los diferentes niveles de agua. Se observa que en la zona de conservación las concentraciones más elevadas de coliformes se presentan a niveles de agua bajos. En la zona periurbana y urbana existe una mayor tendencia a concentraciones bajas, sin embargo, las concentraciones más altas se encuentran en valores cercanos a la media.

4.1.8. Determinación de la influencia de años húmedos y secos en el comportamiento histerético

En las siguientes ilustraciones que se presentan a continuación, se realiza una comparación del comportamiento histerético que se presenta en un año con una estación seca (2007) y otro con estación húmeda (2012), esta comparación se realiza para cada parámetro de calidad del agua en la zona urbana, debido a que para esta zona se tenían los datos completos en los 2 años a comparar.

Figura 45
Comparación de la estacionalidad para la Turbiedad



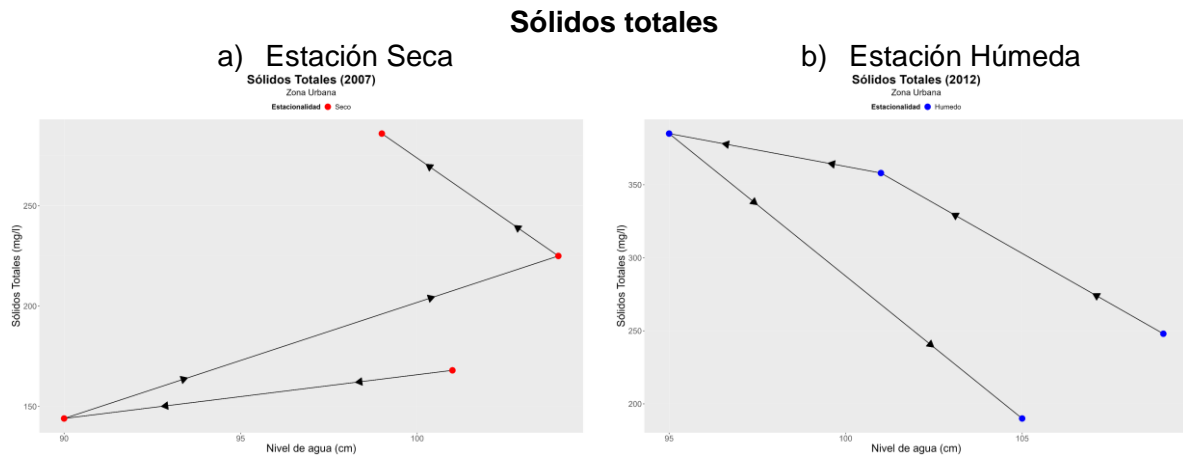
Nota. a) Estación Seca, b) Estación Húmeda

En la *Figura 45* se compara el comportamiento histerético para la turbiedad en años con una estacionalidad seca y una estacionalidad húmeda. En la estacionalidad seca se observa un bucle con comportamiento histerético antihorario, en donde la turbidez disminuye a medida que baja el nivel del agua, pero además sigue disminuyendo cuando aumenta el nivel, hasta que finalmente la concentración llega a su punto más bajo e incrementa hasta superar su valor inicial. Por el contrario, en la estación húmeda no se observa un bucle, pero el

comportamiento histerético es el mismo y se visualiza más amplio que el anterior debido a que alcanza mayores niveles de turbiedad

Figura 46

Comparación de la estacionalidad para la Sólidos Totales

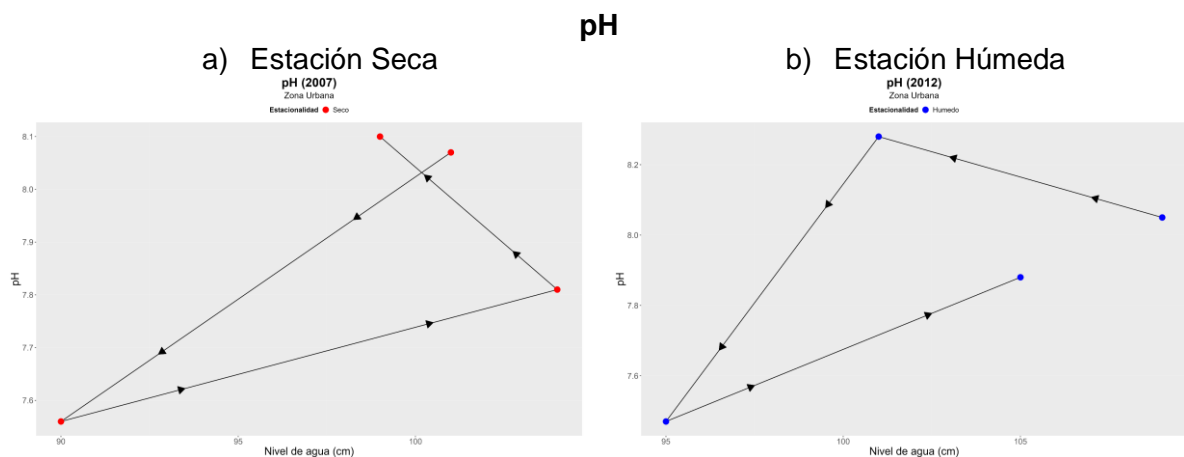


Nota. a) Estación Seca, b) Estación Húmeda

En la *Figura 46* se compara el comportamiento histerético para los sólidos totales. En la estación seca no se evidencia un comportamiento histerético, mientras que en la estación húmeda si existe un comportamiento histerético en sentido antihorario, en donde la concentración aumenta a medida que disminuye el nivel del agua hasta alcanzar su concentración máxima, para luego reducir su concentración cuando aumenta el nivel del agua.

Figura 47

Comparación de la estacionalidad para la pH

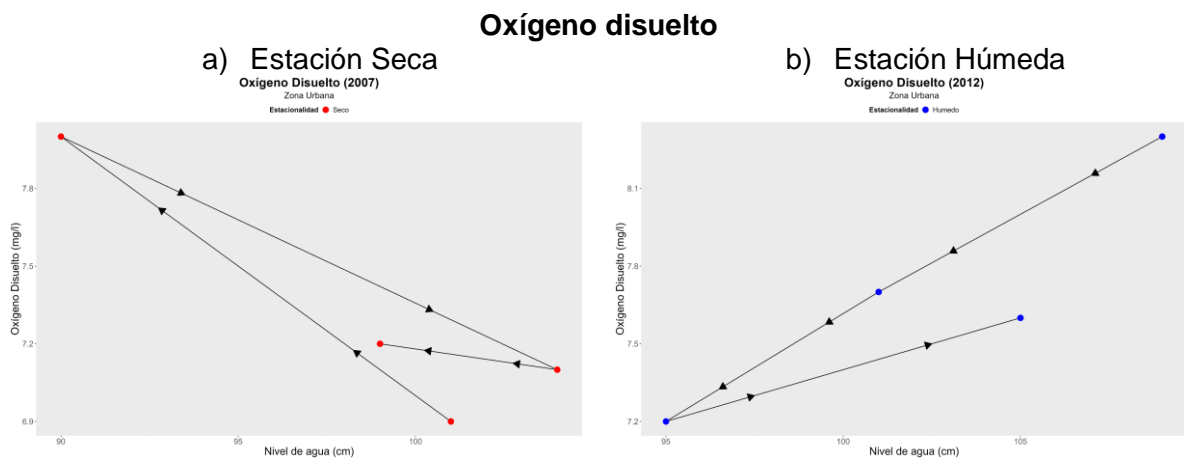


Nota. a) Estación Seca, b) Estación Húmeda

En la *Figura 47* se compara el comportamiento histerético para el pH. En la estacionalidad seca se observa un bucle histerético en sentido antihorario, primero decrece hasta su concentración más baja y luego incrementa hasta alcanzar mayor concentración que la inicial, por el contrario, en la estacionalidad húmeda la figura no llega a ser un bucle, pero de igual manera el comportamiento histerético es antihorario solo que contrario al anterior primero sube hasta llegar a la máxima concentración y luego baja hasta la mínima sin llegar a igualar el valor inicial.

Figura 48

Comparación de la estacionalidad para el Oxígeno disuelto

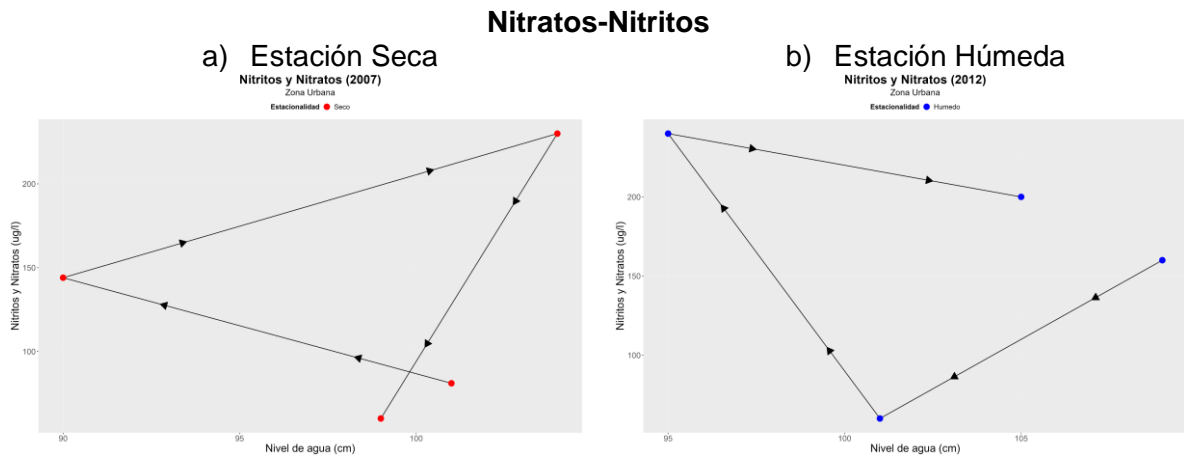


Nota. a) Estación Seca, b) Estación Húmeda

En la *Figura 48*, se compara el comportamiento histerético para el oxígeno disuelto de los años 2007 y 2012. En la estacionalidad seca se observa un bucle histerético en sentido horario, en donde la concentración aumenta a medida que disminuye el nivel del agua y luego empieza a disminuir cuando el nivel aumenta. En cambio, en la estacionalidad húmeda se presenta un comportamiento histerético en sentido antihorario, en este caso la concentración decrece cuando disminuye el nivel del agua hasta alcanzar su punto más bajo, para luego aumentar conjuntamente con el nivel del agua.

Figura 49

Comparación de la estacionalidad para Nitritos-Nitratos

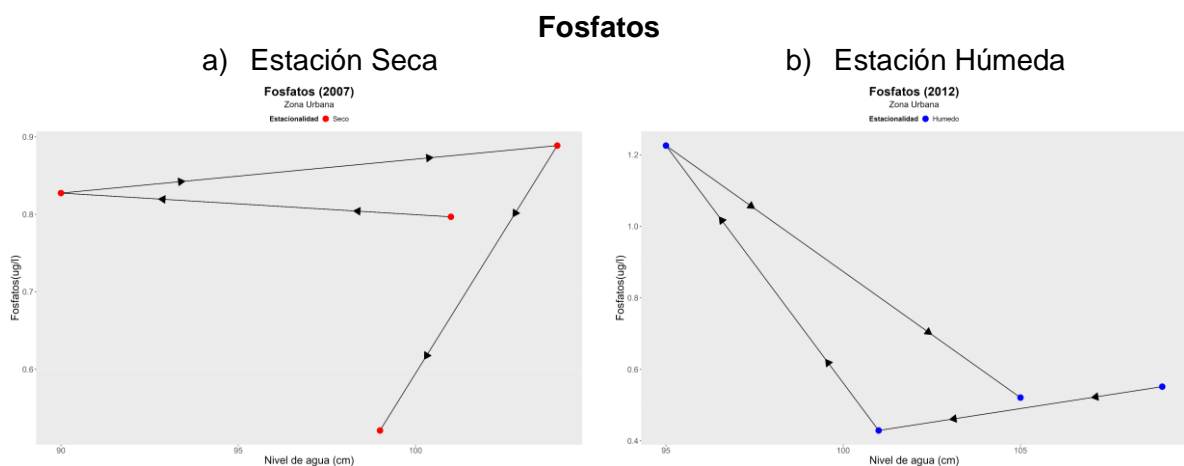


Nota. a) Estación Seca, b) Estación Húmeda

En la *Figura 49* se compara el comportamiento histerético para los nitritos y nitratos. En la estacionalidad seca se evidencia un bucle con comportamiento histerético horario, en donde la concentración incrementa como aumenta el nivel del agua y viceversa. De igual manera, en la estacionalidad húmeda sigue el mismo comportamiento horario, sin embargo, no se forma un bucle, en este caso la concentración disminuye conjuntamente con el nivel del agua hasta que alcanza el punto más bajo, luego incrementa hasta que llega a su punto más alto y finalmente decrece a medida que aumenta el nivel del agua.

Figura 50

Comparación de la estacionalidad para Fosfatos

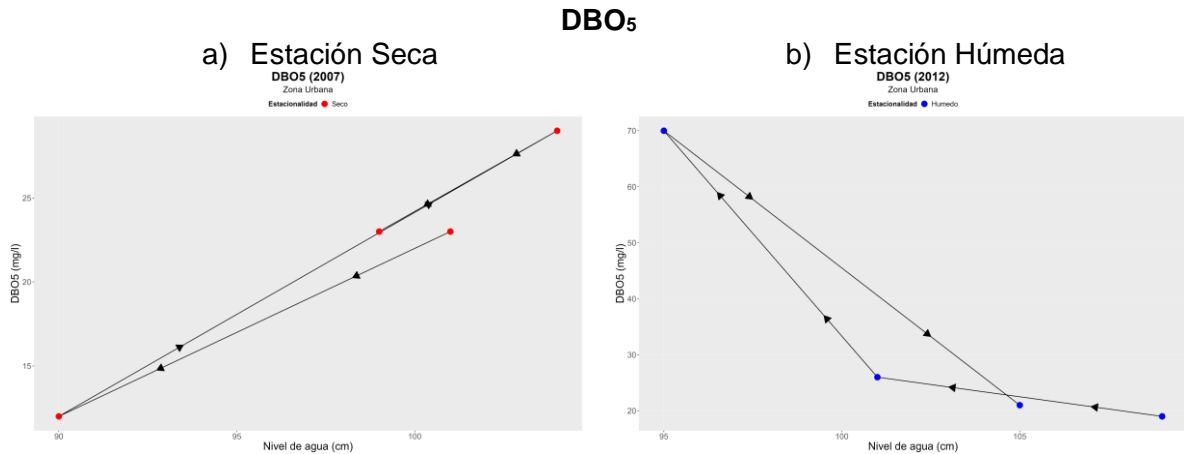


Nota. a) Estación Seca, b) Estación Húmeda

En la *Figura 50* se compara el comportamiento histerético para fosfatos, en la estacionalidad seca y húmeda, donde se evidencia que ambos años ocurre un comportamiento histerético horario, en donde la concentración aumenta y disminuye conjuntamente con el nivel del agua.

Figura 51

Comparación de la estacionalidad para la DBO₅

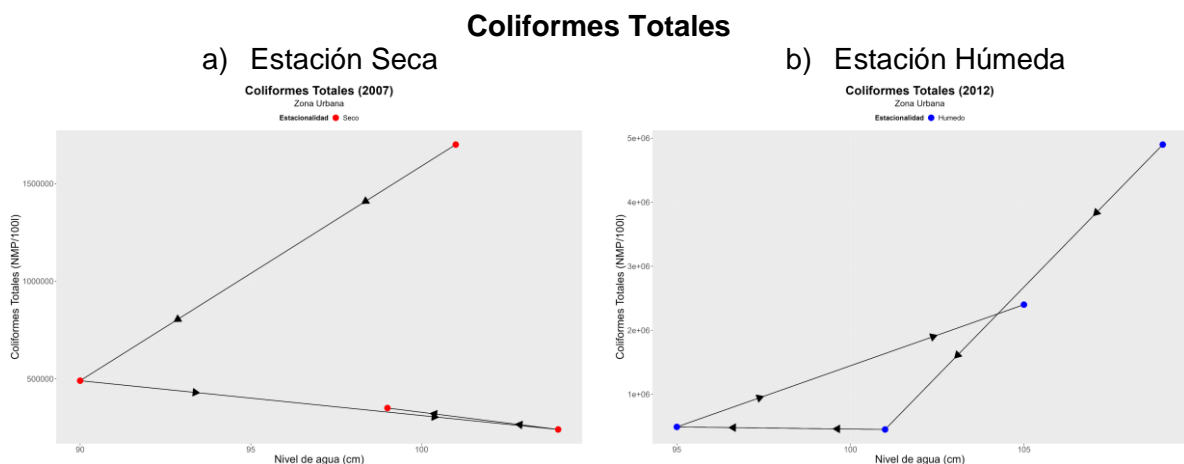


Nota. a) Estación Seca, b) Estación Húmeda

En la *Figura 51* se observa que en la estacionalidad seca no hay un comportamiento histerético, mientras que en la estacionalidad húmeda, se forma un bucle con comportamiento histerético horario, en donde la concentración disminuye conjuntamente con el nivel del agua hasta que alcanza una cierta concentración, para luego incrementar hasta su punto más alto y finalmente decrecer a medida que aumenta el nivel del agua.

Figura 52

Comparación de la estacionalidad para Coliformes totales



Nota. a) Estación Seca, b) Estación Húmeda

En la *Figura 52* se compara el comportamiento histerético para los CT. En la estacionalidad seca se evidencia un comportamiento histerético antihorario, en donde la concentración incrementa cuando aumenta el nivel del agua y viceversa; mientras que en la estacionalidad húmeda, se observa un comportamiento histerético horario en forma de ocho, en donde la concentración disminuye y aumenta conjuntamente con el nivel del agua, además existe un punto donde la concentración será la misma para un determinado nivel del agua.

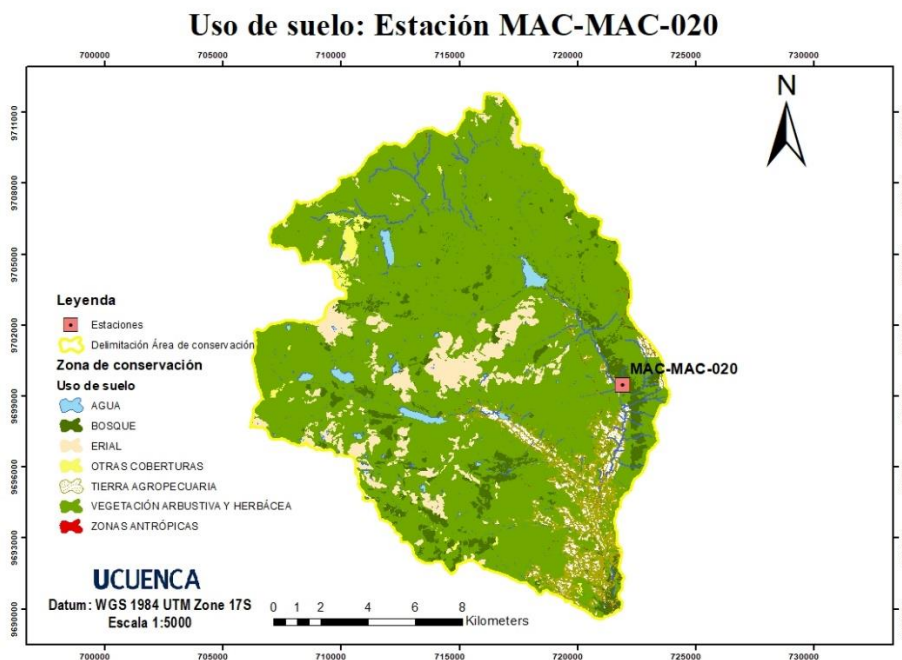
4.1.9. Determinación de la influencia que presenta el cambio del uso del suelo en el comportamiento histerético de los parámetros de calidad del agua

El uso de suelo y cobertura vegetal que se tiene en la subcuenca del río Machángara depende de las actividades que se desarrollan y de factores como: precipitación y temperatura (Padrón & Vázquez, 2019). Por lo cual, existe un cambio de uso de suelo y cobertura vegetal a medida que disminuye la altitud.

4.1.9.1. Zona de conservación - Estación MAC-MAC-020

Figura 53

Mapa de uso de suelo (Zona de conservación)



Nota. La delimitación de la zona de conservación corresponde al área de recarga hídrica de la subcuenca del río Machángara.

En la *Figura 53* se presenta el uso de suelo en la zona de conservación correspondiente a la estación MAC-MAC-020, la cuál es un área de recarga hídrica donde predomina la vegetación arbustiva y herbácea.

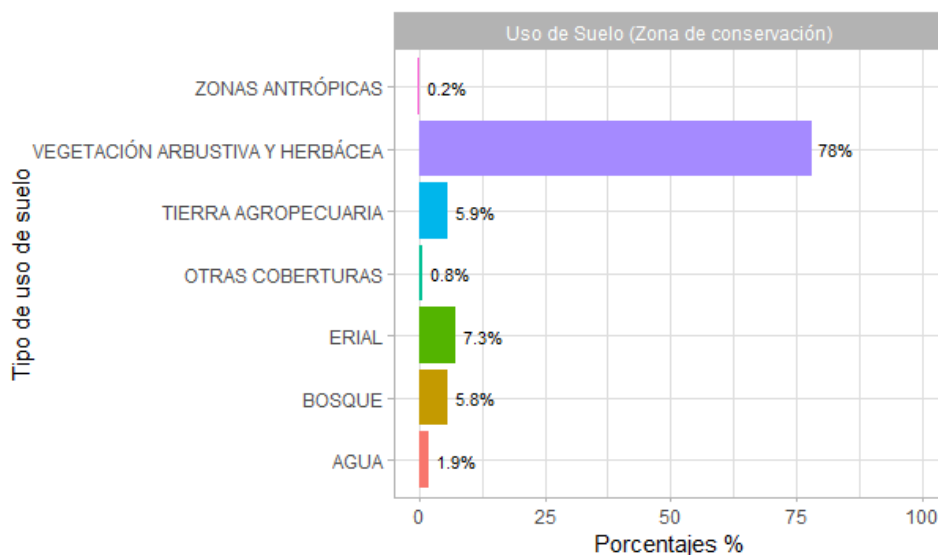
Tabla 11

Uso de suelo (Zona de conservación)

Uso de suelo	Área (ha)	%
Vegetación arbusto. y herbácea	18841,65	78,02
Erial	1768,10	7,32
Tierra agropecuaria	1424,84	5,90
Bosque	1407,86	5,83
Agua	464,66	1,92
Otras coberturas	198,83	0,82
Zonas antrópicas	42,93	0,18

Figura 54

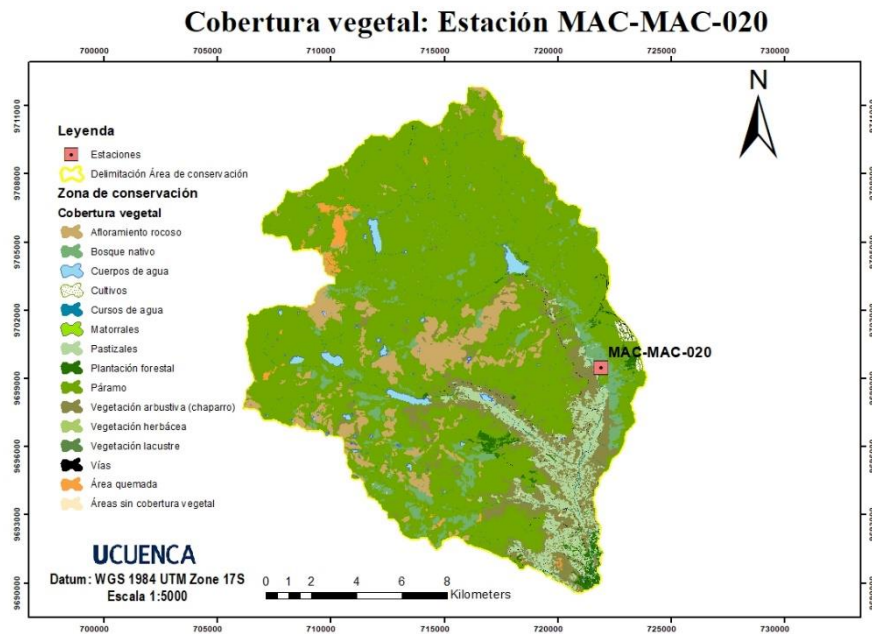
Porcentaje de los tipos de uso de suelo (Zona de conservación)



Como se observa en la *Figura 54* y *Tabla 11* la vegetación arbustiva y herbácea ocupa un 78,02 % de la extensión, esta vegetación es la que se observa comúnmente en zonas de páramo. Por otra parte, el terreno usado para fines agrícolas ocupa menos del 6 % y las zonas antrópicas apenas un 0,18 %, si a esto se le suma las coberturas que no se encuentran definidas, se tiene que el 6,91 % de esta zona ha sido modificado por la intervención del ser humano y el 93,09 % se mantiene en estado natural. Cercano a la estación MAC-MAC-020 el uso es destinado para tierra agropecuaria y vegetación arbustiva.

Figura 55

Mapa de cobertura vegetal (Zona de conservación)



En la *Figura 55* se presenta la cobertura vegetal de la zona de conservación, aquí se observa que el páramo es lo que predomina, seguido en menor proporción por la vegetación arbustiva y los afloramientos rocosos.

Tabla 12

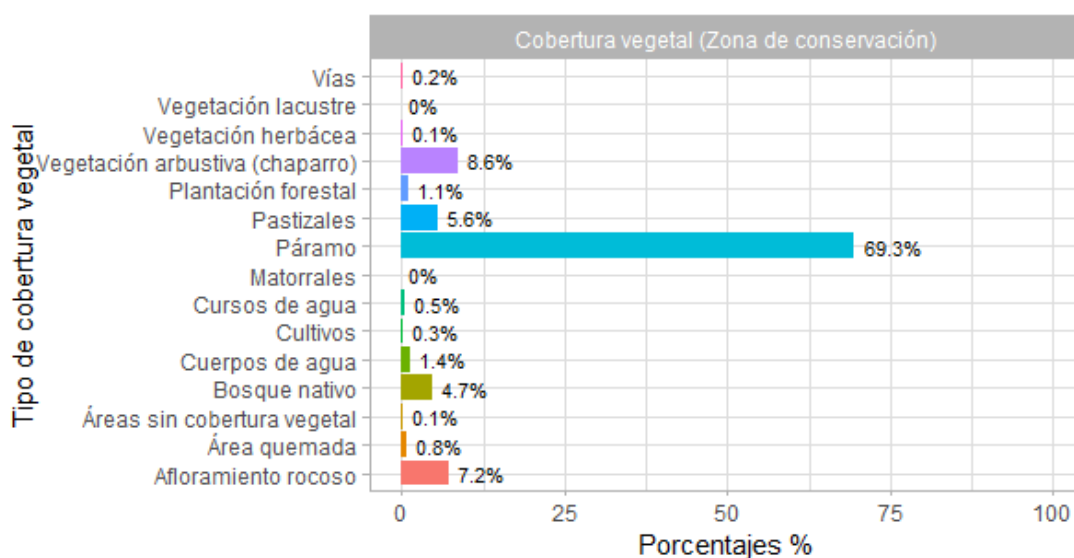
Tipos de cobertura vegetal (Zona de conservación)

Cobertura vegetal	Área (ha)	Porcentaje
Páramo	16731,08	69,28
Vegetación arbustiva (chaparro)	2078,14	8,61
Afloramiento rocoso	1746,33	7,23
Pastizales	1354,69	5,61
Bosque nativo	1145,54	4,74
Cuerpos de agua	341,29	1,41
Plantación forestal	262,32	1,09
Área quemada	198,83	0,82
Cursos de agua	121,04	0,50
Cultivos	70,15	0,29
Vías	42,93	0,18

Cobertura vegetal	Área (ha)	Porcentaje
Vegetación herbácea	30,43	0,13
Áreas sin cobertura vegetal	21,77	0,09
Vegetación lacustre	2,33	0,01
Matorrales	2,00	0,01

Figura 56

Porcentaje de los tipos de uso de suelo (Zona de conservación)



En la *Figura 56* y en la *Tabla 12*, se observa que el páramo abarca un 69,28 % de toda la zona, seguido de la vegetación arbustiva (chaparro) que ocupa un 8,6 % y el resto de vegetación arbustiva y herbácea presentan porcentajes pequeños. Por lo cual estos dos tipos de coberturas serían las más representativas de toda la zona de conservación. Sin embargo, cuando se observa la ubicación del punto del muestreo (MAC-MAC-020) esta se encontraba rodeada de pastizales, por lo cual estas tres coberturas se tomaron en cuenta para analizar el comportamiento histerético.

Para evaluar la influencia de la cobertura vegetal en el comportamiento histerético se determinó los comportamientos más repetitivos para cada parámetro, los cuales se presentan a continuación:

Tabla 13
Comportamientos histeréticos (Zona conservación):

Parámetro	Comportamiento			Forma		
	Antihorario	Horario	Sin sentido	ocho	bucle	sin datos
OD	4	1	1	0	0	0
pH	3	2	1	2	0	0
Turbiedad	3	3	0	2	0	0
CT	3	3	0	0	2	0
DBO5	5	1	0	0	0	0
Fosfatos	2	3	1	0	0	0
Nitratos	3	1	2	0	0	0
ST	0	4	1	0	0	1
Total	23	18	6	4	0	1

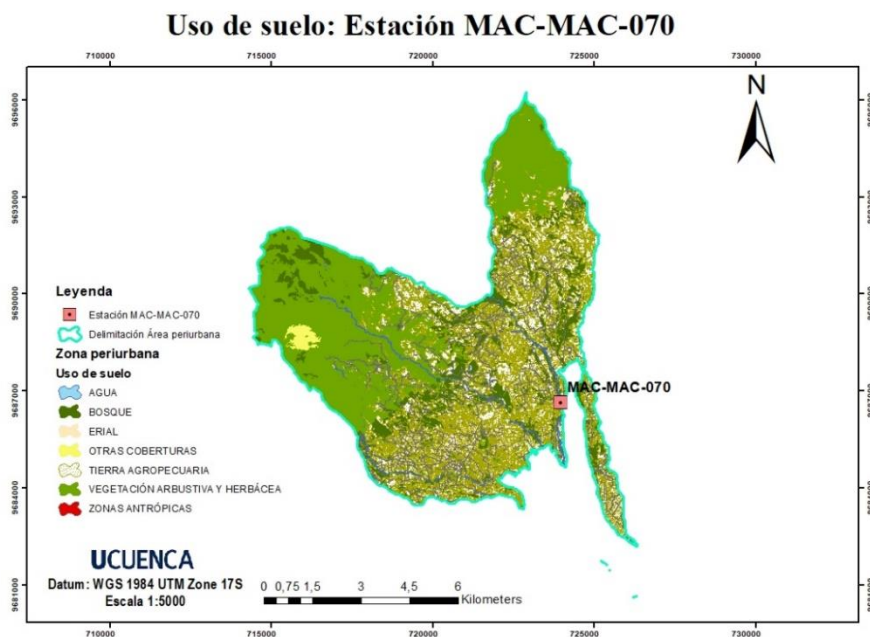
Nota. Oxígeno disuelto (OD), Coliformes totales (CT), Sólidos totales (ST).

Como se observa en la *Tabla 13*, en la zona de conservación predomina el comportamiento antihorario, además se obtuvieron 4 figuras en forma de ocho para pH (*Figura 31*) y turbiedad (*Figura 29*), además los coliformes totales presentaron 2 figuras en forma de bucle (*Figura 36*).

4.1.9.2. Zona Periurbana - Estación MAC-MAC-070

Figura 57

Mapa de uso de suelo (Zona periurbana)



En la *Figura 57* se presenta el uso de suelo en la zona periurbana, correspondiente a la estación MAC-MAC-070, su extensión se delimitó a la zona ocupada alrededor del cantón Cuenca, por lo cual las actividades que se desarrollan son propias de zonas periféricas como el uso de suelo para fines agropecuarios.

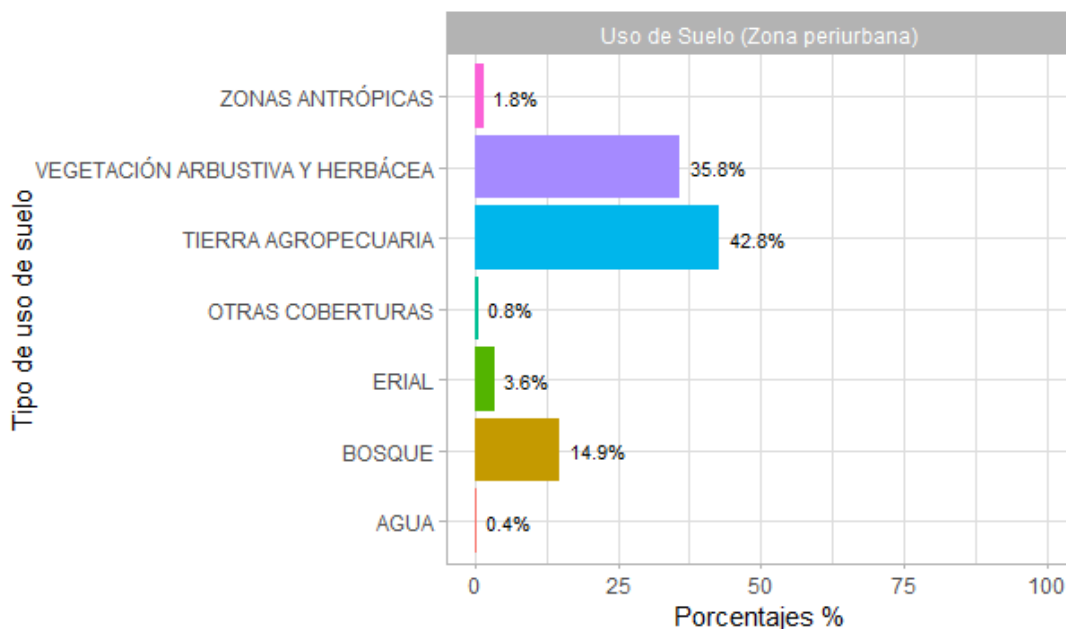
Tabla 14

Tipos de uso de suelo (Zona periurbana)

Uso de suelo	Área (ha)	%
Tierra agropecuaria	3074,83	42,76
Vegetación arbustiva y herbácea	2571,84	35,76
Bosque	1072,79	14,92
Erial	256,14	3,56
Zonas antrópicas	130,047	1,81
Otras coberturas	56,28	0,78
Agua	29,63	0,41

Figura 58

Porcentaje de los tipos de uso de suelo (Zona periurbana)

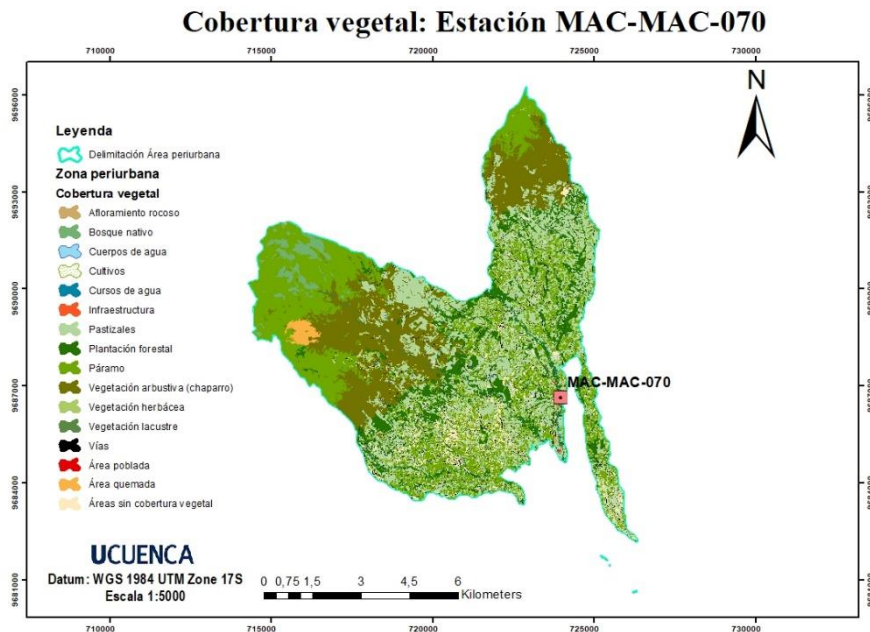


Como se observa en la *Figura 58* y en la *Tabla 14*, en la zona periurbana la vegetación arbustiva y herbácea es de 35,76 %, es decir 2 veces menos que en la zona de conservación. El mayor uso de suelo que se da en esta zona es empleado como tierra agropecuaria con un 42,8 % que comparado con la zona de conservación es 7 veces más. Si el uso como tierra agropecuaria se suma a las zonas antrópicas y otras coberturas, se obtiene que el 45,35 % se encuentra intervenido por el ser humano y el 54,65 % de esta zona no se encuentra

modificado. Por lo tanto, al compararlo con la zona conservación ya se evidencia un cambio de uso de suelo, aun así, estas modificaciones no superan el 50 %.

Figura 59

Mapa de cobertura vegetal (Zona periurbana)



Nota. La delimitación del área periurbana corresponde a los alrededores de la ciudad de Cuenca.

En la *Figura 59* se presenta la cobertura vegetal de la zona periurbana, aquí se observa que los pastizales predominan en la zona, seguido en menor proporción por la vegetación arbustiva y de páramo. A continuación, en la *Tabla 15* se detallan las hectáreas y el porcentaje para cada uso de suelo de esta zona.

Tabla 15

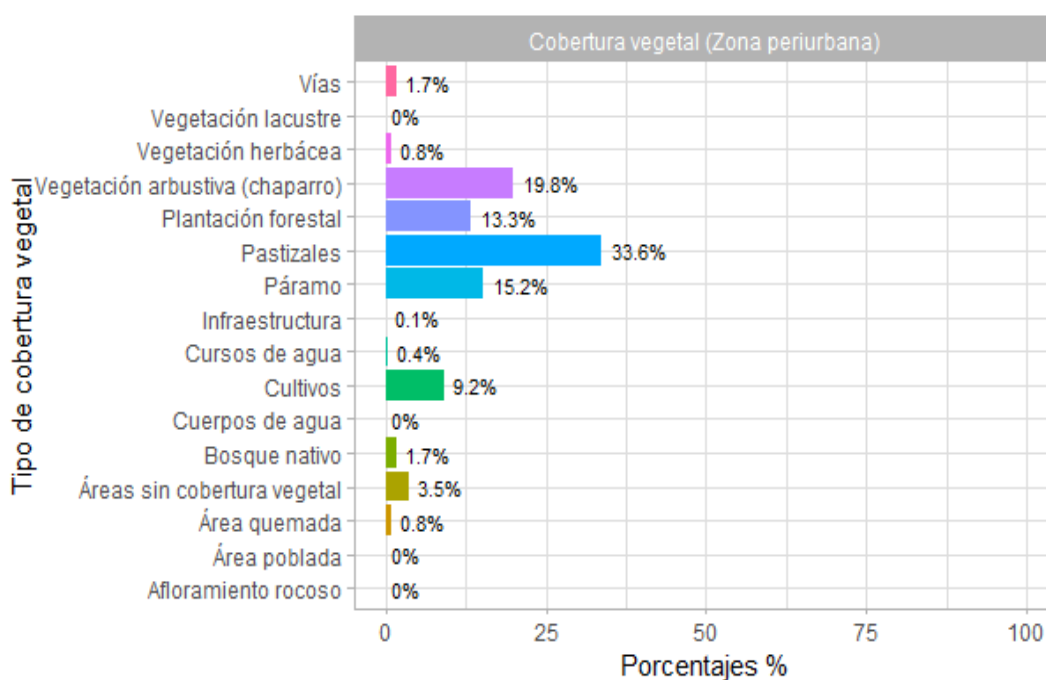
Tipos de cobertura vegetal (Zona periurbana)

Cobertura vegetal	Área (ha)	%
Pastizales	2414,43	33,57
Vegetación arbustiva (chaparro)	1421,69	19,77
Páramo	1093,38	15,20
Plantación forestal	953,09	13,25
Cultivos	660,40	9,18
Áreas sin cobertura vegetal	255,06	3,55
Vías	121,85	1,69

Cobertura vegetal	Área (ha)	%
Bosque nativo	119,70	1,66
Vegetación herbácea	56,77	0,79
Área quemada	56,28	0,78
Cursos de agua	26,10	0,36
Infraestructura	6,64	0,09
Cuerpos de agua	2,83	0,04
Área poblada	1,54	0,02
Afloramiento rocoso	1,08	0,01
Vegetación lacustre	0,69	0,01

Figura 60

Porcentajes de cobertura vegetal (Zona periurbana)



En la *Figura 60* y en la *Tabla 15*, se observa que los pastizales abarcan un 33.6 % de toda la zona, seguido de la vegetación arbustiva (chaparro) que ocupa un 19,8 % y el páramo un 15,2 %. Cuando se observa la ubicación de la estación MAC-MAC-070, cercano a la estación se encuentran pastizales, plantaciones forestales y tierras de cultivo.

Al revisar el comportamiento histerético más repetitivo de cada uno de los parámetros cuando existe el uso de suelo para tierra agropecuaria destinada a pastizales y tierras de cultivo; además de bosques destinados a plantaciones forestales se obtienen los siguientes comportamientos histeréticos detallados en la tabla a continuación:

Tabla 16*Comportamientos histeréticos (Zona periurbana)*

Parámetro	Comportamiento			Forma		
	Antihor	Horario	Sin sentido	Parámetro	bucle	sin datos
OD	5	1	2	1	1	0
pH	3	2	3	1	0	0
Turbiedad	2	1	5	0	0	0
CT	0	1	5	0	0	2
DBO5	4	1	3	1	0	0
Fosfatos	1	2	5	0	0	0
Nitratos	3	0	5	0	0	0
ST	2	1	5	0	1	0
Total	20	9	33	3	2	2

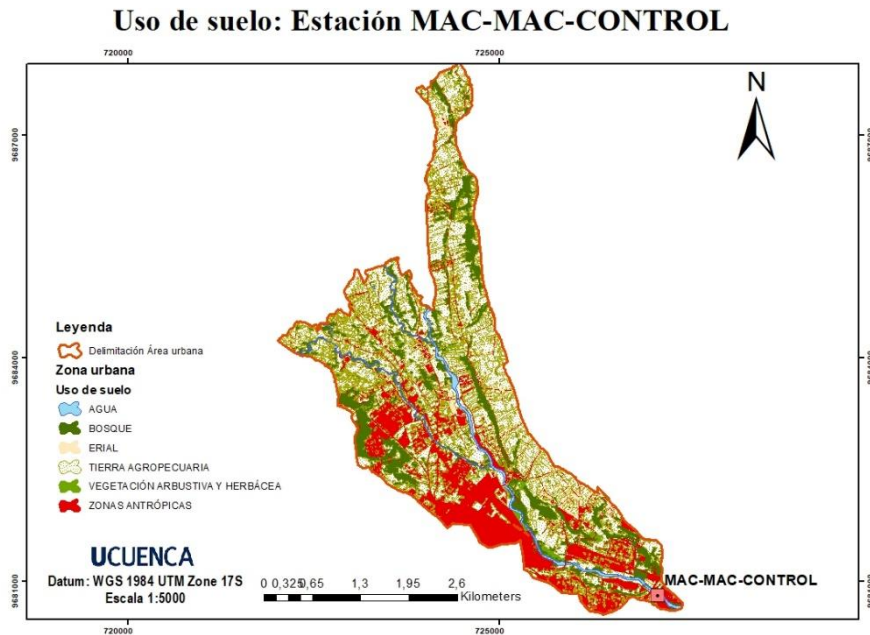
Nota. Oxígeno disuelto (OD), Coliformes totales (CT), Sólidos totales (ST), Antihorario (Antihor).

Como se observa en la *Tabla 16*, en la zona periurbana: la turbiedad, coliformes, fosfatos, nitratos y sólidos totales en la mayoría de los años no presenta comportamientos histeréticos, sin embargo, el comportamiento que más se evidencia para el resto de parámetros es antihorario, otro punto observado es que se presentan más figuras en forma de ocho que de bucle.

4.1.9.3. Zona Urbana- Estación MAC-MAC-CONTROL

Figura 61

Mapa de uso de suelo (Zona urbana)



Nota. El área delimitada corresponde a la ciudad de Cuenca.

El área de influencia de la zona urbana para la estación MAC-MAC-CONTROL, se representó mediante un mapa de uso de suelo, tal como se observa en la *Figura 61*, en esta zona ya se evidencia un cambio mayor de uso de suelo, existe un aumento de las zonas antrópicas, tierras agropecuarias y disminuye considerablemente la vegetación arbustiva y los bosques, de tal manera que en el mapa se observa que predomina la tierra agropecuaria y las zonas antrópicas.

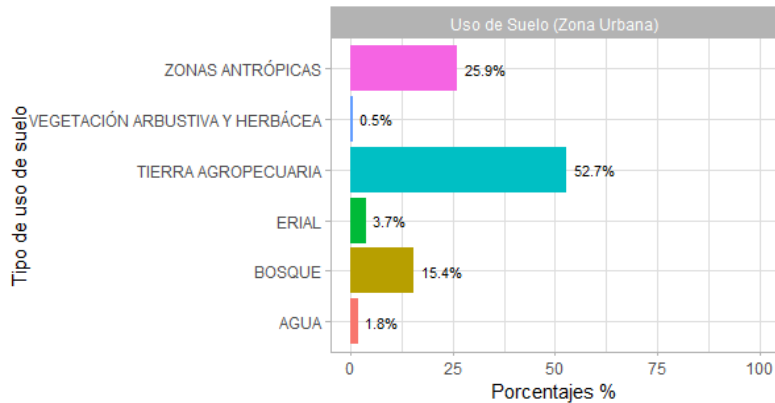
Tabla 17

Tipos de uso de suelo (Zona Urbana)

Uso de suelo	Área (ha)	%
Tierra agropecuaria	612,21	52,70
Zonas antrópicas	297,74	25,63
Bosque	179,10	15,42
Erial	43,34	3,73
Agua	20,63	1,78
Vegetación arbustiva y herbácea	8,58	0,74

Figura 62

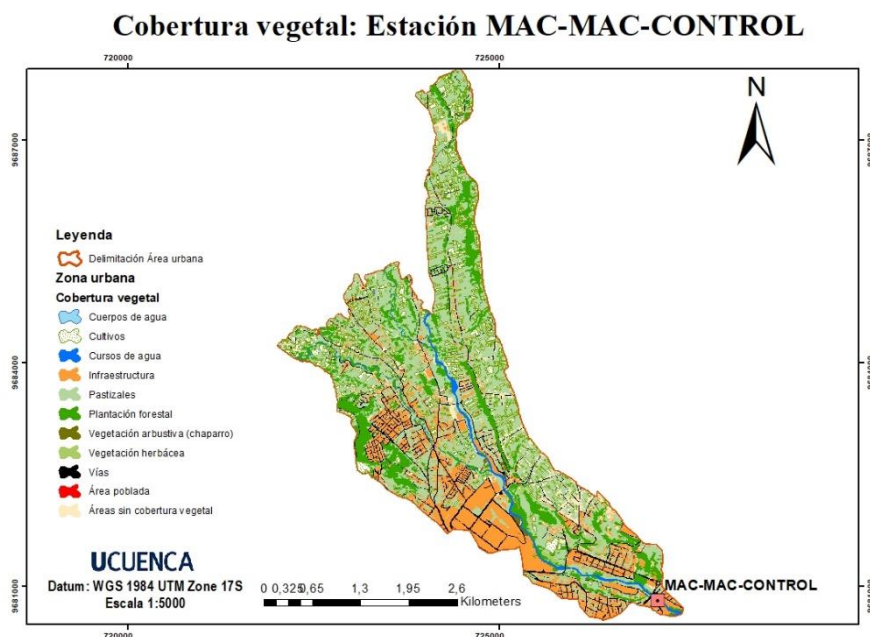
Porcentaje de los tipos de uso de suelo (Zona Urbana)



Como se observa en la *Figura 62* y en la *Tabla 17*, al igual que en la zona periurbana la tierra agropecuaria presenta un incremento en este caso de 52,7 %, es decir 9 veces más que en la zona de conservación. Sin embargo, las zonas antrópicas son las que tienen un mayor incremento, este uso es 14 veces más que en la zona periurbana y 142 veces más que las hectáreas que se disponen para esta actividad en la zona conservación, contrario a esto la mayor disminución de uso de suelo es para la vegetación arbustiva y herbácea. De tal manera, que la zona urbana de la subcuenca ha sido modificada en un 78,33 % con respecto a su estado natural.

Figura 63

Mapa de la cobertura vegetal (Zona Urbana)



En la *Figura 63*, se presenta la cobertura vegetal de la zona urbana, aquí se observa que los pastizales predominan la zona, seguido de infraestructuras y plantaciones forestales. A continuación, se detallan las hectáreas y el porcentaje para cada uso de suelo de esta zona.

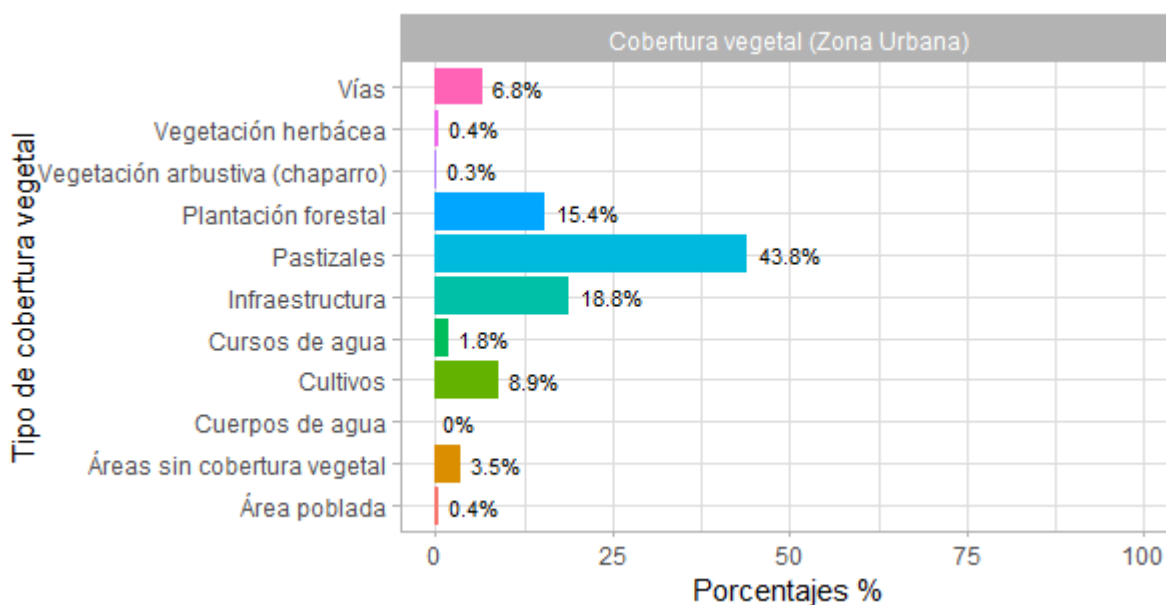
Tabla 18

Tipos de cobertura vegetal (Zona Urbana)

Cobertura	Área (ha)	%
Pastizales	509,00	43,82
Infraestructura	218,24	18,79
Plantación forestal	179,10	15,42
Cultivos	103,21	8,89
Vías	79,10	6,81
Áreas sin cobertura vegetal	40,34	3,47
Cursos de agua	20,57	1,77
Vegetación herbácea	4,75	0,41
Vegetación arb. (chaparro)	3,01	0,26
Área poblada	4,23	0,36
Cuerpos de agua	0,06	0,01

Figura 64

Porcentajes de cobertura vegetal (Zona urbana)



En la *Figura 64* y en la *Tabla 18*, se observa que los pastizales abarcan un 43,8 % de toda la zona, seguido de infraestructuras que ocupan un 18,8 % y plantaciones forestales 15,4 %. Cuando se observa la ubicación de la estación MAC-MAC-CONTROL, está se encuentra

rodeada por infraestructuras, plantaciones forestales y pastizales, por lo cual estas tres coberturas son las que se tomarán en cuenta para analizar su influencia en el comportamiento histerético.

Al revisar el comportamiento histerético más repetitivo de cada uno de los parámetros cuando existe el uso de suelo para tierra agropecuaria destinada a pastizales; además de zonas antrópicas donde se encuentran infraestructuras y bosques con plantaciones forestales, se obtienen los siguientes comportamientos histeréticos detallados:

Tabla 19

Comportamientos histeréticos (Zona Urbana)

Parámetro	Comportamiento			Forma		
	Antihorario	Horario	Sin sentido	ocho	bucle	sin datos
OD	3	1	2	0	0	2
pH	4	2	2	0	2	0
Turbiedad	5	3	0	0	1	0
CT	5	1	2	1	0	0
DBO5	4	2	1	0	1	1
Fosfatos	4	4	0	0	1	0
Nitratos	4	1	3	1	1	0
ST	4	1	3	0	1	0
Total	33	15	13	2	7	3

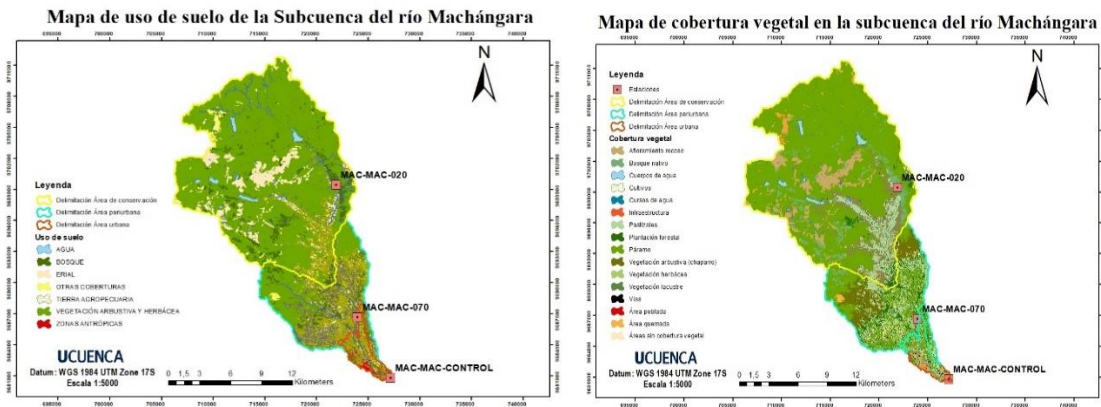
Nota. Oxígeno disuelto (OD), Coliformes totales (CT), Sólidos totales (ST)

Como se observa, en la zona urbana el comportamiento histerético antihorario es el que más se presenta, sin embargo, a diferencia de la zona de conservación en esta zona existe una mayor tendencia hacia este comportamiento. Además existen más figuras en forma de bucle que de ocho. Es importante destacar se contaba como forma de bucle solamente si cerraba la figura.

4.1.9.4. Mapa para la Subcuenca del río Machángara

Figura 65

Mapas de uso de suelo y cobertura vegetal de la subcuenca del río Machángara



En la *Figura 65* se presenta el mapa de uso de suelo para la subcuenca del río Machángara. Donde se visualiza las distintas actividades que se desarrollan en la subcuenca, en este caso al ser una cuenca regulada y conservada se observa que predomina la vegetación arbustiva y herbácea. Pero a partir de la zona periurbana y urbana, se empieza a desarrollar en mayor medida actividades agrícolas y antrópicas. La *Figura 66* detalla las actividades que se desarrollan en cada uso de suelo, a continuación, se presenta en la *Tabla 20* el porcentaje para los diferentes usos de suelo que se llevan a cabo en la Subcuenca del río Machángara.

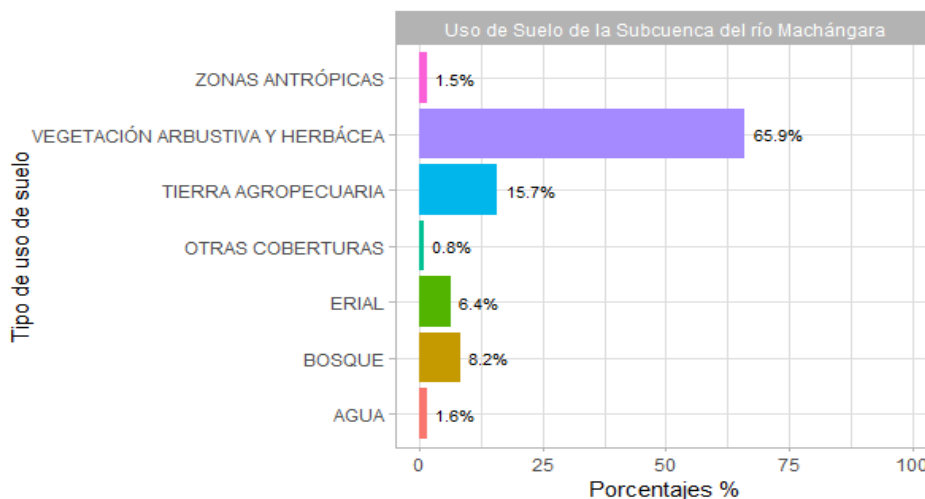
Tabla 20

Uso de suelo en la subcuenca del río Machángara

Uso	Área (ha)	%
Vegetación arbustiva y herbácea	21419,08	65,90
Erial	2067,58	6,36
Tierra agropecuaria	5111,88	15,73
Bosque	2659,75	8,18
Agua	514,92	1,58
Otras coberturas	255,11	0,78
Zonas antrópicas	473,72	1,46

Figura 66

Porcentajes de los tipos de uso de suelo en la subcuenca del río Machángara



Como se observa en la *Figura 66* y en la *Tabla 20* de los porcentajes del uso de suelo, en la subcuenca del río Machángara lo que predomina es la vegetación arbustiva y herbácea con un 65,9 %, el 15,7 % es destinado como tierra agropecuaria, el 8,2 % es bosque, el 6,4 % es tierra que no se cultiva ni se labra, se tiene 1,6 % de recursos hídricos y apenas el 1,5 % con zonas antrópicas. De manera general se puede decir que el 82,02 % de la subcuenca no se encuentra modificado, sin embargo, al realizar la comparación entre zonas si existe un cambio de uso de suelo a medida que disminuye la altitud y se acerca a la ciudad de Cuenca.

Tabla 21

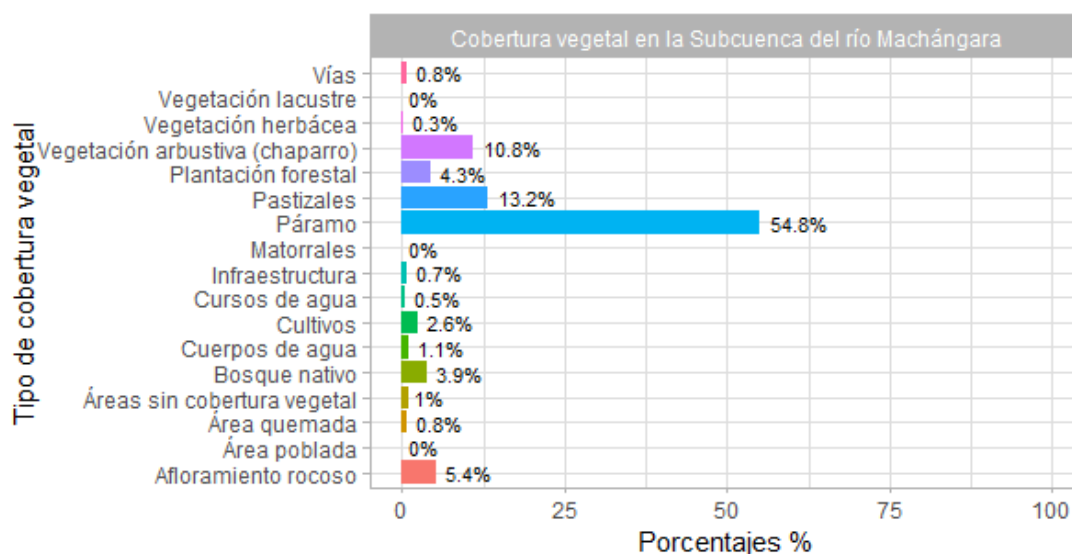
Porcentaje de la cobertura vegetal en la subcuenca del río Machángara

Cobertura	Área (ha)	%
Páramo	17824,46	54,84
Vegetación arbustiva (chaparro)	3502,84	10,78
Afloramiento rocoso	1747,41	5,38
Pastizales	4278,12	13,16
Bosque nativo	1265,24	3,89
Cuerpos de agua	344,19	1,06
Plantación forestal	1394,51	4,29
Área quemada	255,11	0,78
Cursos de agua	167,72	0,52
Cultivos	833,76	2,57
Vías	243,89	0,75
Vegetación herbácea	91,95	0,28
Áreas sin cobertura vegetal	317,17	0,98
Vegetación lacustre	3,02	0,01
Matorrales	2,00	0,01

Cobertura	Área (ha)	%
Infraestructura	224,88	0,69
Área poblada	5,78	0,02

Figura 67

Porcentaje de la cobertura vegetal en la subcuenca del río Machángara



Como se observa en la *Figura 67* y en la *Tabla 21* en la subcuenca del río Machángara el 54,8% vegetación de páramo, le siguen los pastizales con un 13,2 % y 10,8 % con vegetación arbustiva. Como ya se mencionó anteriormente la mayor parte de la subcuenca no se encuentra intervenida, por lo que apenas el 17,98 % incluye plantaciones forestales, cultivos, infraestructuras, vías entre otros.

4.2. Discusión de resultados

Establecer una relación entre dos pares de variables permitió comprender el comportamiento, dirección y sentido que presentan (Reimann et al., 2011). Para determinar la correlación fue indispensable considerar los supuestos para cada coeficiente. Esto permitió evitar errores en los cálculos, por lo cual, identificar la normalidad y linealidad fue indispensable para establecer el coeficiente adecuado (Restrepo & González, 2007).

El análisis de normalidad a las variables de estudio dio como resultado que el nivel del agua no presentaba una simetría (ausencia de normalidad) (*Tabla 9*). Lo cual es de esperarse para datos hidrológicos (Helsel & Hirsch, 2002). Esta característica se da principalmente porque el ecosistema es dinámico (Villagra, 2010). Por lo tanto, si algunas variables presentan un resultado mayor al de significancia no se cumple con el criterio que tanto los valores de “X”

como de “Y” deben ser normales, lo que generó la necesidad de utilizar un coeficiente no paramétrico como el coeficiente de Spearman (Restrepo & González, 2007).

La correlación obtenida al relacionar el nivel de agua con los parámetros en el punto (4.1.1.1) fue menor a 0,62. Siendo los parámetros más relacionados la DBO₅, Fosfatos y Oxígeno Disuelto, similar a Calvo-Brenes & Mora Molina (2009). A pesar que en la zona de conservación no se encontró una buena correlación con los nitratos, este parámetro puede presentar coeficientes altos en zonas de conservación. Sin embargo, al igual que en nuestros resultados en zonas donde existe un impacto antropogénico se presenta una correlación negativa débil para nitratos (-0,40 a -0,43) y fosfatos (-0,51) en una cadena montañosa al sur de Polonia (Bojarczuk et al., 2018). Este valor puede aumentar o disminuir en función de las descargas de aguas residuales, procesos de escorrentía e infiltración.

El análisis de precipitación mensual permitió determinar un umbral y establecer una estacionalidad en todas las zonas. Los meses que presentaron estacionalidad seca fueron Sep, Oct y Dic para la estación Chanlud. En la estación Saucay fueron Jul, Ago y Sep ;y Jul y Ago para la estación Ucubamba. Por otra parte, los meses que presentaron una estacionalidad húmeda fueron Abr y May para la estación Chanlud; Feb y Mar para la estación Saucay y Abr y Dic para la estación Ucubamba, resultados que son similares a los de Celleri et al. (2007) y Campozano et al. (2016).

En el artículo de Celleri et al. (2007) realizado en la cuenca del río Paute, se menciona que en elevaciones altas (páramos) la estacionalidad es menos marcada. Esto a causa de que en estas zonas la lluvia se encuentra bien distribuida a lo largo de todo el año. Además influyen las masas de aire provenientes del Pacífico y del Amazonas. De igual manera el artículo de Mora & Williams (2012) realizado en la cuenca del río Paute, indicaron que la Oscilación del Sur (ENOS), cuando se relaciona con la precipitación que ocurre en la subcuenca del río Machángara presenta variaciones durante el año. Existe una correlación negativa leve con las perturbaciones causadas por el ENOS en Dic, Ene y Feb y en Jun, Jul y Ago, esta correlación inversa aumenta en Sep, Oct y Nov, además que en estos meses también influyen las lluvias del Amazonas. Una correlación negativa implica que cuando aumenta la temperatura del mar existe una disminución en las precipitaciones. Contrario a esto existe una correlación positiva del ENOS y lluvias del Amazonas en Mar, Abr y May, es decir provocan mayores precipitaciones. Por otro lado, la temperatura superficial del Atlántico influye en el segundo semestre del año, presenta correlaciones positivas en Sep, Oct y Nov; y negativas en Jun, Jul y Ago.

Los niveles del agua en la subcuenca del Machángara, en las 3 zonas de estudio no presentaron cambios drásticos, debido a la presencia de los embalses de Chanlud y El Labrado, los cuales atenúan los periodos de sequía. La precipitación es uno de los principales desencadenantes del flujo de los ríos, por lo cual existe una relación directa con el caudal. Es decir, cuando disminuye la precipitación también disminuyen los flujos de agua (Abghari et al., 2013). Sin embargo, los embalses dividen los ríos naturales en dos tramos (antes y después), antes del embalse el río mantiene sus características, por lo cual el régimen del caudal se ve influenciado por la escorrentía anual, precipitación y nivel del agua del embalse (Wang et al., 2013). Después del embalse las características del río se modifican debido a que se regulan los niveles de flujo en estaciones secas y húmedas. (Dolgonosov & Korchagin, 2005; Yang et al., 2017).

En el presente estudio el valor de la media histórica del nivel del agua se utilizó como umbral, debido a que en este valor se presenta el mayor número de eventos, y el 50% de probabilidad que el nivel de agua se iguale o exceda. El flujo medio anual asegura que al menos del 10 al 25 % del caudal se libere río abajo, además se obtienen buenos resultados al utilizar la media si se emplea un mínimo de 5 años (Suwal et al., 2020). Smakhtin (2001) en su documento "*Hidrología de bajo caudal*", menciona que $Q_{50\%}$ es un valor arbitrario y el principal interés es conocer qué sucede con la sección de flujo bajo. Estadísticamente, cuando existen dos clases (estación húmeda o seca) siempre se tendrá una probabilidad del 50%. Además, los rangos del 70 al 99 % de excedencia son utilizados como flujos bajos de diseño y permiten proteger el entorno acuático (Walpole et al., 2012). Sin embargo, estas consideraciones se emplean en cuencas que no se encuentran reguladas por embalses, por lo cual, estos porcentajes pueden cambiar (Figura 27).

En cuanto al análisis de histéresis se obtuvieron como resultados comportamientos histeréticos antihorarios, horarios y sin sentido definido. El comportamiento histerético horario indica una relación inversa entre el nivel del agua y la concentración. Es decir, cuando existe un aumento del nivel del agua la concentración disminuye, debido a un retraso en el aporte de solutos (Lawler et al., 2006; Aguilera & Melack, 2018). Por el contrario, el sentido antihorario demuestra una relación directa entre las dos variables, un aumento del nivel del agua provoca un aumento en la concentración (Bieroza & Heathwaite, 2015). Además, en la rama ascendente existen mayores concentraciones (picos) en comparación con la descendente (mínimos), esto se debe al lavado rápido y agotamiento de solutos (Evans & Davies, 1998; Bieroza & Heathwaite, 2015; Aguilera & Melack, 2018). Otro punto que se evidencia, es la diferencia en la magnitud de los gráficos, existe una menor amplitud en la zona de conservación, en comparación con las zonas periurbanas y urbanas. Esto implica

que los valores de concentración para caudal (C/Q) se alejan considerablemente de la concentración encontrada en el flujo base (Evans & Davies, 1998), es decir C/Q iniciales y por ende hay una menor capacidad de recuperación del sistema.

La turbiedad en las tres zonas estuvo caracterizada por comportamientos histeréticos antihorarios, al igual que la zona periurbana y urbana para sólidos totales (*Figura 29*). Lawler et al. (2006), en un sistema fluvial urbano de Reino Unido, evidenciaron resultados similares y lo asociaron con el agotamiento de los sólidos suspendidos y a una respuesta lenta de la turbidez. Contrario a nuestros resultados Chen & Chang (2019) en su estudio de 3 cuencas urbanizadas en Oregon-Estados Unidos, mencionan que la zona urbana se caracteriza por presentar de manera general un comportamiento horario debido a la heterogeneidad del paisaje. Sin embargo, también menciona que la presencia de cobertura forestal causa que el comportamiento histerético tienda a ser antihorario debido a que se agotan las fuentes de sedimentos y el aporte de agua. Si bien nuestra zona de estudio presenta en la zona de conservación abundante vegetación de páramo existe un tramo cerca al punto de monitoreo con suelo descubierto (deslizamiento de Soroche) que puede generar cambios en el comportamiento histerético, debido al aporte de sedimentos. Además, Malutta et al. (2020) considera que los comportamientos histeréticos son influenciados por la distribución del tamaño de las partículas y, cuando se genera un aporte de sedimentos el comportamiento histerético tiende a ser un bucle horario. Lo cual se evidencia con los gráficos histeréticos para sólidos totales (*Figura 30*).

En la *Figura 45* y *Figura 46*, se observa que para años húmedos en los parámetros turbiedad y sólidos totales, la curva histerética presenta un fuerte aumento en la concentración y posterior a esto existe una disminución por el nivel del agua, al igual que el obtenido por Abdelkader & Remini (2003) en Argelia. Además, el aumento de la concentración en el régimen de agua se debe al aporte de material en suspensión, causado por lluvias en zonas de escorrentía y dilución de los sedimentos, que hacen que disminuya la concentración y finalmente se depositen en las riberas o fondo del río.

La zona de conservación mantiene un pH neutro, debido a la ausencia de medios que puedan alterar este parámetro, mientras que la zona periurbana tiende a un pH alcalino causado por el uso de fertilizantes (alcalinas o ácidos) en los cultivos, los cuales llegan a los cuerpos de agua por infiltración o escorrentía. Por último, la zona urbana presenta una gran variabilidad en el pH debido a las descargas de aguas servidas. El comportamiento predominante del pH en todas las zonas es antihorario (*Figura 39*). Similar a nuestros resultados, Carroll et al. (2007) en una cuenca conservada en Georgia y Rose (2003) en una cuenca urbanizada y

otra de control igualmente en Georgia, mencionan que los comportamientos de esta variable deben ser horarios, debido a que muchos estudios enuncian una relación directa entre el nivel de agua y pH. Sin embargo, el pH se encuentra relacionado con la concurrencia de precipitación (Alnahit et al., 2020), las características propias de la cuenca como propiedades del suelo y con su cobertura. En el caso del área de conservación de la cuenca del Machángara, las zonas de páramo tienen presencia de andosoles. Los cuales tienen en su composición ácidos húmicos y fúlvicos, que disminuyen el pH del agua cuando se producen procesos de lavado o disolución debido al aumento del caudal (Quichimbo et al., 2012).

El Oxígeno disuelto en la zona de conservación tiene un comportamiento histerético en sentido horario (*Figura 35*). Khani & Rajaei (2017) y Jerves-Cobo et al. (2020), mencionan que cuando disminuye la temperatura del agua aumenta el OD, este comportamiento se da en estaciones húmedas, lo que genera un bucle horario. Es importante mencionar, que es una zona con páramos, vegetación arbustiva y pastizales ver (*Figura 53*) e (*Figura 55*). Por lo cual, el OD varía en función de la materia orgánica y la actividad biológica del sistema (Romero, 2009; Khani & Rajaei, 2017). En la zona urbana ocurre la particularidad que en años secos se tienen mayores concentraciones que las iniciales y ocurre un comportamiento horario (*Figura 48*). Sin embargo, a medida que aumenta el nivel del agua, disminuye el OD, esto puede ser causado por que el nivel del agua está ligado a la temperatura. Por último, en un año húmedo a pesar de existir un comportamiento histerético antihorario, a medida que incrementa el nivel del agua aumenta el oxígeno disuelto. El aumento del oxígeno disuelto es causado por la aireación generada por la turbulencia del río, además es importante mencionar que a medida que aumenta el OD también aumentan los nitritos debido a la mineralización del Nitrógeno (aumento de bacterias nitrificantes) (Zornoza et al., 2012; Liu et al., 2022).

El comportamiento de nitritos y nitratos estuvo caracterizado por comportamientos antihorarios en la zona de conservación y periurbana (*Figura 32*), similar a Liu et al. (2022) que realizó una investigación en una cuenca agrícola de Ohio - Estados Unidos. Estos comportamientos se presentan en gran medida en zonas agrícolas, debido al uso de fertilizantes (Lassaletta et al., 2009; Blaen et al., 2017). Por otra parte, la zona urbana se caracterizó por un comportamiento horario similar al obtenido por Duncan et al. (2017), esto sucede principalmente por el aporte de aguas residuales (Zhang et al., 2020). Además, se obtuvo que la estacionalidad influye en la amplitud del comportamiento histerético de nitritos y nitratos debido al incremento en la concentración evidenciado en la estación húmeda (*Figura 49*), similar al obtenido por Duncan et al. (2017) en un arroyo urbano de Baltimore- Estados Unidos. Donde además se menciona que en periodos húmedos las concentraciones aumentan debido al incremento de los niveles freáticos, lo que genera mayor escorrentía.

Además, Liu et al. (2022) menciona que los comportamientos histeréticos son más marcados en estaciones secas debido al efecto de lavado.

La DBO₅ presentó en las 3 zonas un comportamiento antihorario (*Figura 34*), al igual que lo obtenido por Schob (2014) y Windhorst et al. (2015) en cuencas montañosas del sur del Ecuador. Este último menciona que en zonas con alta retención de agua el aporte de DBO es continuo y en zonas de bosque y pasto es constante sólo en estaciones húmedas. Por otra parte, Calderón & Ramírez (2018) mencionaron que la DBO aumenta, debido a la acumulación generada en períodos secos y el comportamiento antihorario surge producto de fuentes con materia orgánica alejadas del flujo de agua. La DBO₅ incrementa por la presencia de materia orgánica, se observa un aumento en las concentraciones de nitritos y nitratos (*Figura 32*) y fosfatos (*Figura 33*) en la zona de conservación. Estas altas concentraciones se relacionan con la disminución del OD (*Figura 32*). Debido a que los microorganismos necesitan del O₂ para degradar estos compuestos orgánicos, evidenciándose la relación inversa con la DBO₅.

Los fosfatos en las 3 zonas presentaron un comportamiento antihorario (*Figura 33*). Se observa que a medida que aumenta el nivel del agua, las concentraciones de fosfatos disminuyen. La turbulencia ocasiona una reducción de los fosfatos (Li et al., 2019). Además, en la zona urbana y conservada a niveles bajos de agua se presenta el rango de concentración más alto, similar al obtenido por Bowes et al. (2015) en un río rural de Inglaterra. Donde se mencionaron que la disminución en la concentración de los fosfatos es generada por la dilución.

Los coliformes totales presentaron comportamientos horarios en la zona de conservación y urbana en el 2009 y para el 2010 solo un comportamiento histerético antihorario en la zona de conservación (*Figura 36*). El comportamiento antihorario se encuentra relacionado con un retraso en los picos de caudal (Pronk et al., 2009; Tobin et al., 2021). La zona urbana a pesar de tener un comportamiento horario, no tiene la misma recuperación como en la zona de conservación. Este parámetro aumenta en el entorno urbano acuático, además está correlacionado con la precipitación y el caudal (Li et al., 2023). Se observa que, en niveles de agua bajos la concentración de coliformes se aumenta (*Figura 44*). Por otro lado, cuando aumenta el nivel del agua ya sea por la escorrentía pluvial o el desborde del sistema de alcantarillado (zona urbana), no se presentan picos en la concentración debido a la dilución (Li et al., 2023; Jalliffier-Verne et al., 2017; Hofstra, 2011). Jerves-Cobo et al. (2018) mencionaron que los coliformes en la subcuenca del Machángara aumentan en épocas de sequía, por el aporte de heces de animales, procesos de escorrentía y descarga de aguas

residuales. Además, ríos con bajas velocidades permiten acumular más coliformes debido a una mayor presencia de macrófitas y sedimentos.

Los resultados presentan pequeñas variaciones entre sí, debido a la estacionalidad, uso de suelo o cobertura vegetal, además hay que considerar que la calidad del río es variable, como lo menciona Jerves-Cobo et al. (2020). Esto depende de la frecuencia de descarga y las sustancias arrastradas por escurrimiento de lluvia y riego. Además, es importante mantener una resolución amplia de datos para generar gráficos con mayor robustez.

Capítulo V

5. Conclusión y Recomendación

5.1. Conclusión

En el presente trabajo de titulación se realizó el análisis de comportamientos histeréticos de variables físico-químicas en relación a los niveles del agua de la subcuenca del río Machángara, esto para tres estaciones de monitoreo (zona de conservación, periurbana y urbana). Los resultados evidencian que en la zona de conservación se presentan más comportamientos antihorarios causados principalmente por la cobertura vegetal de la zona y por el deslizamiento de Soroche. Por el contrario, en la zona periurbana la mayoría de los parámetros no presentan comportamientos histeréticos definidos, debido al gran aporte de contaminantes (zona agrícola) producto de escorrentía y riego. Por último, en la zona urbana el comportamiento tiende a ser antihorario, debido al aporte de aguas servidas. Además, la estacionalidad influyó en todos los parámetros, sin embargo, existen parámetros que son influenciados por otros factores como la temperatura. En periodos húmedos se evidencian comportamientos histeréticos con mayor amplitud (mayores concentraciones) debido al mayor aporte de contaminantes que se producen por el arrastre que realiza la precipitación al caer en el suelo. Contrario a esto, en los periodos secos existe una menor concentración.

5.2. Recomendación

En base al estudio realizado se recomienda:

- Ampliar la frecuencia de muestreo y análisis de calidad del agua en todas las zonas, especialmente en la zona periurbana, para evidenciar de manera más exacta el comportamiento histerético y reducir la incertidumbre.
- Identificar fuentes puntuales y difusas en la subcuenca que causan contaminación y los efectos que provocan en la calidad del agua, debido a que en este estudio no se determinó esa información y se evaluó las posibles causas en base a la literatura revisada.
- Analizar el tiempo en el que el nivel del agua cambia el comportamiento histerético entre zonas, además se debe tomar en cuenta que al ser una cuenca regulada el nivel del agua no refleja condiciones naturales.
- En próximas investigaciones se recomienda realizar una comparación entre dos cuencas, una regulada por embalses y otra sin regulación, con la finalidad de determinar si los embalses influyen en el comportamiento.
- Introducir más variables en el estudio (temperatura), para establecer más factores que inciden en el comportamiento.

6. Referencias Bibliográficas

- Abdelkader, B., & Remini, B. (2003). Variabilité temporelle de la concentration en sédiments et phénomène d'hystérésis dans le bassin de l'Oued Wahrane (Algérie). *Hydrological Sciences Journal-journal Des Sciences Hydrologiques - HYDROLOG SCI J*, 48, 243-255. <https://doi.org/10.1623/hysj.48.2.243.44698>
- Abghari, H., Tabari, H., & Hosseinzadeh Talaei, P. (2013). River flow trends in the west of Iran during the past 40 years: Impact of precipitation variability. *Global and Planetary Change*, 101, 52-60. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2012.12.003>
- Ablan, M., Rigoberto, A., Vargas, M. P., & Acevedo, M. (2008). Propuesta metodológica para el control de calidad de datos de precipitación. *Agronomía Tropical*, 58(1), 57-60.
- Acosta, R., Hampel, H., González, H., Mosquera, P., Sotomayor, G., & Galarza, X. (2014). Protocolo de evaluación de la calidad biológica de los ríos de la región austral del Ecuador. ETAPA EP, Senagua—DHS. Universidad de Cuenca. Programa PROMETEO de la Senescyt.
- Aguilera, R., & Melack, J. M. (2018). Concentration-Discharge Responses to Storm Events in Coastal California Watersheds. *Water Resources Research*, 54(1), 407-424. <https://doi.org/10.1002/2017WR021578>
- Aguirre Núñez, M. (2011). La cuenca hidrográfica en la gestión integrada de los recursos hídricos. *Revista Virtual REDESMA*, 9.
- AICCA, & MAE. (2021). Términos de Referencia: "Elaboración del Plan de Gestión Integral del área de recarga hídrica de la subcuenca del río Machángara 2021-2030". <https://condesan.org/tag/plan-de-gestion/>
- Al-jabery, K. K., Obafemi-Ajayi, T., Olbricht, G. R., & Wunsch II, D. C. (2020). Evaluation of cluster validation metrics. *Computational Learning Approaches to Data Analytics in Biomedical Applications*, 189–208.
- Alnahit, A. O., Mishra, Ashok. K., & Khan, A. A. (2020). Quantifying climate, streamflow, and watershed control on water quality across Southeastern US watersheds. *Science of The Total Environment*, 739, 139945. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139945>
- Alquinga Herrera, Y. P., & Mena Iza, J. R. (2019). Vulnerabilidad y riesgo climático territorial en el área de la subcuenca del Río Machángara de la provincia del Azuay [BachelorThesis, Quito: UCE]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/18166>
- Amado Alvarez, J., Rubiños Panta, E., Gavi Reyes, F., Alarcón Cabañero, J. J., Hernández Acosta, E., Ramírez Ayala, C., Mejía Saenz, E., Pedrero Salcedo, F., Nicolas, E., & Salazar Sosa, E. (2006). Índice de calidad del agua en la cuenca del río Amajac, Hidalgo, México: Diagnóstico y Predicción. *Phyton (Buenos Aires)*, 75, 71-83.
- American Water Works Association, & Letterman, R. D. (2002). Calidad y tratamiento del agua: Manual de suministros de agua comunitaria (Quinta edición). McGraw-Hill Interamericana de España. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=55>

- Anchundia Troya, W. S. (2019). "Elementos químicos que afectan la calidad del agua para uso agrícola". [Bachelor Thesis, Babahoyo: UTB, 2019]. <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/6009>
- Argüello, L. (2020). El rol de la gobernanza en la gestión integrada de cuencas y vínculos urbano-rurales para la provisión de agua. Caso: Comité de Conservación de la Cuenca del Machángara, período 2015-2019. <http://repositorio.flacsoandes.edu.ec/handle/10469/16565>
- Ariza Garzón, M. J., & Cadena Lozano, J. B. (2014). Identificación de relaciones entre variables de política económica en Colombia a través de funciones de correlación cruzada. Cuadernos de Administración (Universidad del Valle), 30(51), 36-48.
- Arteaga, A. I. A. (2005). De periferia a ciudad consolidada Estrategias para la transformación de zonas urbanas marginales. Revista Bitácora Urbano Territorial, 9(1), 98-111. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-814482-4.00007-3>
- Aubert, A. H., Gascuel-Oudou, C., & Merot, P. (2013). Annual hysteresis of water quality: A method to analyse the effect of intra- and inter-annual climatic conditions. Journal of Hydrology, 478, 29-39. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.11.027>
- Auquilla, R. C., Astorga, Y., & Jiménez Otárola, F. (2006). Influencia del uso del suelo en la calidad del agua en la subcuenca del río Jabonal, Costa Rica. Recursos Naturales y Ambiente. Número 48 (2006 Agosto), páginas 81-92.
- Bautista C., J., & Ruiz V., J. (2011). Calidad del agua para el cultivo de tilapia en tanques de geomembrana. <http://fuente.uan.edu.mx/publicaciones/03-08/2.pdf>. <http://dspace.uan.mx:8080/xmlui/handle/123456789/568>
- BCN. (2016). Calidad del agua. <https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/23747/2/Calidad%20del%20Agua%20Final.pdf>
- Bedient, P., Huber, W., & Baxter, V. (2013). Hydrology and Floodplain Analysis (5th ed). Pearson Education Limited. <http://www.pdfdrive.com/hydrology-and-floodplain-analysis-5th-ed-e187585329.html>
- Bedoya, V. H., & López, J. M. (2015). Modelo para el Control de Inundaciones durante el Fenómeno De «La Niña» Utilizando un Embalse Hidroeléctrico. Información tecnológica, 26(2), 89-100. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642015000200011>
- Bieroza, M. Z., & Heathwaite, A. L. (2015). Seasonal variation in phosphorus concentration–discharge hysteresis inferred from high-frequency in situ monitoring. Journal of Hydrology, 524, 333-347. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.02.036>
- Blaen, P. J., Khamis, K., Lloyd, C., Comer-Warner, S., Ciocca, F., Thomas, R. M., MacKenzie, A. R., & Krause, S. (2017). High-frequency monitoring of catchment nutrient exports reveals highly variable storm event responses and dynamic source zone activation. Journal of Geophysical Research: Biogeosciences, 122(9), 2265-2281 <https://doi.org/10.1002/2017JG003904>

- Bojarczuk, A., Jelonkiewicz, Ł., & Lenart-Boroń, A. (2018). The effect of anthropogenic and natural factors on the prevalence of physicochemical parameters of water and bacterial water quality indicators along the river Białka, southern Poland. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(10), 10102-10114. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1212-2>
- Bowes, M. J., Jarvie, H. P., Halliday, S. J., Skeffington, R. A., Wade, A. J., Loewenthal, M., Gozzard, E., Newman, J. R., & Palmer-Felgate, E. J. (2015). Characterising phosphorus and nitrate inputs to a rural river using high-frequency concentration–flow relationships. *Science of The Total Environment*, 511, 608-620. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.12.086>
- Bradford, R. B., & Marsh, T. J. (2015). Defining a network of benchmark catchments for the UK. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Water and Maritime Engineering*. <https://doi.org/10.1680/wame.2003.156.2.109>
- Brooks, K., Ffolliott, P., & Magner, J. (2013). Watersheds, Hydrologic Processes, and Pathways. En *Hydrology and the Management of Watersheds* (4th ed, pp. 3-5). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781118459751.part1>
- Burgan, H. I., & Aksoy, H. (2022). Daily flow duration curve model for ungauged intermittent subbasins of gauged rivers. *Journal of Hydrology*, 604, 127249. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.127249>
- Cabrera, G., Zanazzi, J. F., Zanazzi, J. L., & Boaglio, L. (2017). Comparación de potencias en pruebas estadísticas de normalidad, con datos escasos. *Revista Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 4(2), 47-52.
- Calderón Vargas, R. B., & Ramírez Alava, J. E. (2018). Efecto de la industria agropecuaria sobre la histéresis durante eventos de caudal en la relación concentración-caudal de DBO, DQO, nitratos y turbidez en la cuenca de páramo andino del río Quinuas [BachelorThesis]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/29298>
- Campitelli, E. (2017, diciembre 21). Cómo calcular el Índice de Precipitación Estandarizado en R. Código R. <https://eliocamp.github.io/codigo-r/2017/12/calcular-ipe-r/>
- Cantera, J. R., Escobar, Y. C., & Heredia, L. M. C. (2009). Caudal ambiental: Conceptos, experiencias y desafíos. Programa Editorial Universidad del Valle.
- Carroll, K. P., Rose, S., & Peters, N. E. (2007). Concentration/Discharge Hysteresis Analysis of Storm Events at the Panola Mountain Research Watershed, Georgia, USA. <http://hdl.handle.net/1853/48267>
- Carpenter, S. R., Caraco, N. F., Correll, D. L., Howarth, R. W., Sharpley, A. N., & Smith, V. H. (1998). Nonpoint Pollution of Surface Waters with Phosphorus and Nitrogen. *Ecological Applications*, 8(3), 559-568. <https://doi.org/10.2307/2641247>
- Carrera, D., Guerrón, E., Cajas, L., González, T., Guamán, E., Velarde, P. A., & Guerron, R. (2020). Relación de temperatura, pH y CE en la variación de concentración de fosfatos en el Río Grande, Cantón Chone.

- Calvo-Brenes, G., & Mora Molina, J. (2009). Evaluación y clasificación preliminar de la calidad del agua de las Cuencas de los ríos Tárcoles y... ResearchGate; Instituto Tecnológico de Costa Rica.
https://www.researchgate.net/publication/242692433_Evaluacion_y_clasificacion_preliminar_de_la_calidad_del_agua_de_las_Cuencas_de_los_rios_Tarcoles_y_Reventazon_Parte_IV_Analisis_estadistico_de_variables_relacionadas_con_la_calidad_del_agua
- Campozano, L., Céleri, R., Trachte, K., Bendix, J., & Samaniego, E. (2016). Rainfall and Cloud Dynamics in the Andes: A Southern Ecuador Case Study. *Advances in Meteorology*, 2016, e3192765. <https://doi.org/10.1155/2016/3192765>
- Castro, M., Almeida, J., Ferrer, J., & Diaz, D. (2014). Indicadores de la calidad del agua: Evolución y tendencias a nivel global. *Ingeniería Solidaria*, 10(17), Article 17. <https://doi.org/10.16925/in.v9i17.811>
- Celleri, R., Willems, P., Buytaert, W., & Feyen, J. (2007). Space–time rainfall variability in the Paute basin, Ecuadorian Andes. *Hydrological Processes*, 21(24), 3316-3327. <https://doi.org/10.1002/hyp.6575>
- Chen, Y., Liu, H., An, J., Görsdorf, U., & Berger, F. H. (2015). A Field Experiment on the Small-Scale Variability of Rainfall Based on a Network of Micro Rain Radars and Rain Gauges. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 54(1), 243-255. <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-13-0210.1>
- Chen, J., & Chang, H. (2019). Dynamics of wet-season turbidity in relation to precipitation, discharge, and land cover in three urbanizing watersheds, Oregon. 35(7), 892–904. <https://doi.org/10.1002/rra.3487>
- Chiew, F. H. S. (2006). Estimation of rainfall elasticity of streamflow in Australia. *Hydrological Sciences Journal*, 51(4), 613-625. <https://doi.org/10.1623/hysj.51.4.613>
- Copernicus. (2023, abril 20). Sea surface temperature. Climate indicators. <https://climate.copernicus.eu/climate-indicators/sea-surface-temperature#:~:text=The%20sea%20surface%20is%20the,and%20climate%20and%20vice%20versa>.
- Cordero, I. (2013). Evaluación de la gestión integral de la cuenca del río Paute, estrategias y líneas de acción para superarlas [MasterThesis, Universidad de Cuenca]. <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/3358/1/TESIS%20.pdf>
- Díaz, L. F. (2015). Estimación de la contaminación generada por la actividad pecuaria en la cuenca del río Machángara en las provincias de Cañar y Azuay como complemento a la ejecución de su Plan de Manejo Ambiental [MasterThesis, Universidad del Azuay]. <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/4575>
- Díaz, C., Idrovo, D., & Aguilar, M. (Eds.). (2015). Consejo de cuenca del río Machángara. https://www.elecaustro.com.ec/jdownloads/HISTRICO%20CONSEJO%20DE%20LA%20CUENCA%20DEL%20MACHNGARA/historico_cuenca_del_ro_machngara_abril_2015.pdf

- Dijkstra, L., Hamilton, E., Lall, S., & Wahba, S. (2021, enero 25). ¿Cómo definir ciudades, pueblos y áreas rurales? <https://onuhabitat.org.mx/como-definir-ciudades-pueblos-y-areas-rurales>
- Dolgonosov, B., & Korchagin, K. A. (2005, January 3). Statistical assessment of relationships between water flow in a river and water turbidity in water intakes. ResearchGate; MAIKNauka/Interperiodica.https://www.researchgate.net/publication/226201651_Statistical_assessment_of_relationships_between_water_flow_in_a_river_and_water_turbidity_in_water_intakes
- Doménech, J. (2003). Cryptosporidium y Giardia, problemas emergentes en el agua de consumo humano. *Offarm*, 22(11), 112-116.
- Donis, L. (2015). Identificación de Zonas de Recarga Hídrica en la Microcuenca del Río Negro, Ciudad de Guatemala. Guatemala de la Asunción: Universidad Rafael Landívar
- Donoso C., M. E. (2002). La cuenca del río Paute: Diagnóstico y propuesta de manejo integral. Políticas de desarrollo agropecuario [MasterThesis, Universidad de Cuenca]. <https://repositorio.flacsoandes.edu.ec/bitstream/10469/985/22/TFLACSO-02-2002MECD.pdf>
- Duarte, C. M., Alonso, S., Benito, G., Dachs, J., Montes, C., Pardo Buendía, M., Ríos, A. F., Simó, R., & Valladares, F. (2006). Cambio Global. Impacto de la Actividad Humana sobre el Sistema Tierra. CSIC. Consejo superior de investigaciones científicas. <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/8520>
- Dudley, N. (2008). Directrices para la aplicación de las categorías de gestión de áreas protegidas. Gland, suiza: UICN. <https://cidoc.ambiente.gob.sv/documentos/directrices-para-la-aplicacion-de-las-categorias-de-gestion-de-areas-protegidas/>
- Durán, L. (2016). “Evaluación de la calidad de agua de ríos de Colombia usando parámetros fisicoquímicos y biológicos”. <http://repository.unilivre.edu.co/handle/10901/20335>
- Duncan, J. M., Welty, C., Kemper, J. T., Groffman, P. M., & Band, L. E. (2017). Dynamics of nitrate concentration-discharge patterns in an urban watershed. 53(8), 7349–7365. <https://doi.org/10.1002/2017wr020500>
- Elecaastro. (2019, septiembre 9). Comité de conservación de la Cuenca del río Machángara cumple 21 años. <https://www.elecaastro.gob.ec/comite-de-conservacion-de-la-cuenca-del-rio-machangara-cumple-21-anos/>
- Evans, C., & Davies, T. D. (1998). Causes of concentration/discharge hysteresis and its potential as a tool for analysis of episode hydrochemistry. *Water Resources Research*, 34(1), 129-137. <https://doi.org/10.1029/97WR01881>
- Fewtrell, L., & Bartram, J. (2001). *Water Quality: Guidelines, Standards & Health*. IWA Publishing.
- Galarza, D. P. (2016). Evaluación meteorológica de la cuenca del Río Machángara [BachelorThesis]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/26301>

- Gallego Arias, S., & Carvajal Serna, L. F. (2017). Regionalización de curvas de duración de caudales en el departamento de Antioquia-Colombia. *Revista EIA*, 27, 21-30.
- Gaspari, F. J., Senisterra, G. E., & Marlats, R. M. (2007). Relación precipitación - escorrentía y número de curva bajo diferentes condiciones de uso del suelo. *Cuenca modal del sistema serrano de La Ventana, Argentina. Revista de La Facultad de Ciencias Agrarias*, XXXIX(1), 21–28. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=382837653003>
- Gaviria, C. J., & Carvajal-Serna, L. F. (2020). Determinación de la variabilidad de la curva de duración de caudales por efectos no estacionarios en Colombia. *Ingeniería del Agua*, 24(4), Article 4. <https://doi.org/10.4995/ia.2020.13556>
- González, H. (2021). Informe de la integridad ecológica y calidad fisicoquímica de los ríos de Cuenca [Técnico]. ETAPA EP.
- Gutiérrez, H., & De La Vara, R. (2008). *Análisis y diseño de experimentos*. Editorial Mc Graw Hill.
- Gutiérrez de MacGregor, M. (2003). Desarrollo y distribución de la población urbana en México. *Investigaciones geográficas*, 50, 77-91.
- Hartmann, R., Carregal-Romero, S., Parak, W. J., & Rivera_Gil, P. (2012). Investigating Nanoparticle Internalization Patterns by Quantitative Correlation Analysis of Microscopy Imaging Data. *Nanobiotechnology - Inorganic Nanoparticles vs Organic Nanoparticles*, 181–196. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-415769-9.00007-8>
- Helsel, D. R., & Hirsch, R. M. (2002). *Statistical methods in water resources*. En *Statistical methods in water resources (USGS Numbered Series N. ° 04-A3; Techniques of Water-Resources Investigations, Vols. 04-A3)*. U.S. Geological Survey. <https://doi.org/10.3133/twri04A3>
- Hernández, A., Hechavarría, R., & Padrón, I. (2022). Cambio climático: Una amenaza para la salud humana. <https://ambimed.sld.cu/index.php/ambimed22/2022/paper/viewFile/118/66>
- Hofstra, N. (2011). Quantifying the impact of climate change on enteric waterborne pathogen concentrations in surface water. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 3(6), 471-479. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2011.10.006>
- Ibañez Asensio, S., Moreno Ramón, H., & Gisbert Blanquer, J. M. (2011). *Morfología de las cuencas hidrológicas*.
- IBM, C. E. (2021, agosto 4). ¿Qué es el análisis exploratorio de datos? <https://www.ibm.com/mx-es/cloud/learn/exploratory-data-analysis>
- Jerves-Cobo, R., Lock, K., Van Butsel, J., Pauta, G., Cisneros, F., Nopens, I., & Goethals, P. L. M. (2018). Biological impact assessment of sewage outfalls in the urbanized area of the Cuenca River basin (Ecuador) in two different seasons. *Limnologica*, 71, 8-28. <https://doi.org/10.1016/j.limno.2018.05.003>
- Jerves-Cobo, R., Córdova-Vela, G., Iñiguez-Vela, X., Díaz-Granda, C., Van Echelpoel, W., Cisneros, F., Nopens, I., & Goethals, P. L. M. (2018). Model-Based Analysis of the Potential

- of Macroinvertebrates as Indicators for Microbial Pathogens in Rivers. *Water*, 10(4), Article 4. <https://doi.org/10.3390/w10040375>
- Jerves-Cobo, R., Eurie, M., Lock, K., Van Butsel, J., Pauta, G., Cisneros, F., Nopens, I., & Goethals, P. (2020). Biological water quality in tropical rivers during dry and rainy seasons: A model-based analysis. *Ecological Indicators*, 108, 105769. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105769>
- Jalliffier-Verne, I., Leconte, R., Huaranga-Alvarez, U., Heniche, M., Madoux-Humery, A.-S., Autixier, L., Galarneau, M., Servais, P., Prévost, M., & Dorner, S. (2017). Modelling the impacts of global change on concentrations of *Escherichia coli* in an urban river. *Advances in Water Resources*, 108, 450-460. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2016.10.001>
- Jouravlev, A. (2009). Acuerdos internacionales para la gestión integrada de cuencas: oportunidades y limitaciones para su implementación. Concepción Chile.
- Khani, S., & Rajaei, T. (2017). Modeling of Dissolved Oxygen Concentration and Its Hysteresis Behavior in Rivers Using Wavelet Transform-Based Hybrid Models. *CLEAN – Soil, Air, Water*, 45(2). <https://doi.org/10.1002/clen.201500395>
- Krenkel, P. (2012). *Water Quality Management*. Elsevier.
- Kundzewicz, Z. W., Mata, L. J., Arnell, N. W., Doll, P., Jimenez, B., Miller, K., Oki, T., Sen, Z., & Shiklomanov, I. (2008). The implications of projected climate change for freshwater resources and their management. *Hydrological Sciences Journal*, 53(1), 3-10. <https://doi.org/10.1623/hysj.53.1.3>
- Lassaletta, L., García-Gómez, H., Gimeno, B. S., & Rovira, J. V. (2009). Agriculture-induced increase in nitrate concentrations in stream waters of a large Mediterranean catchment over 25years (1981–2005). *Science of The Total Environment*, 407(23), 6034-6043. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.08.002>
- Lawler, D. M., Petts, G. E., Foster, I. D. L., & Harper, S. (2006). Turbidity dynamics during spring storm events in an urban headwater river system: The Upper Tame, West Midlands, UK. *Science of The Total Environment*, 360(1), 109-126. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.08.032>
- Ledesma, C., Bonansea, M., Rodriguez, C. M., & Sánchez Delgado, A. R. (2013). Determinación de indicadores de eutrofización en el embalse Río Tercero, Córdoba (Argentina). *Revista Ciência Agronômica*, 44, 419-425. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902013000300002>
- Ley Orgánica de ordenamiento territorial, uso y gestión de suelo, (2016) (testimony of Asamblea Nacional).
- Li, R., Filippelli, G., & Wang, L. (2023). Precipitation and discharge changes drive increases in *Escherichia coli* concentrations in an urban stream. *Science of The Total Environment*, 886, 163892. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163892>

- Li, H., Yang, G., Ma, J., Wei, Y., Kang, L., He, Y., & He, Q. (2019). The role of turbulence in internal phosphorus release: Turbulence intensity matters. *Environmental Pollution*, 252, 84-93. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.05.068>
- Lish, T. (2017). What is Hysteresis? *Setra.com*. <https://www.setra.com/blog/what-is-hysteresis>
- Liu, M., He, Y., Cao, L., Zhi, Y., He, X., Li, T., Wei, Y., Yuan, X., Liu, B., He, Q., Li, H., & Miao, X. (2022). Fate of dissolved inorganic nitrogen in turbulent rivers: The critical role of dissolved oxygen levels. *Environmental Pollution*, 312, 120074. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120074>
- Liu, W., Tian, S., Youssef, M. A., Birgand, F. P., & Chescheir, G. M. (2022). Patterns of long-term variations of nitrate concentration – Stream discharge relationships for a drained agricultural watershed in Mid-western USA. *Journal of Hydrology*, 614, 128479. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128479>
- Liu, H. (2021). Description methods of spatial wind along railways. *Wind Forecasting in Railway Engineering*, 251–282. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-823706-9.00007-7>
- López-Moreno, J. I., & García-Ruiz, J.M. (2003). Influencia de los embalses sobre el régimen fluvial en los Pirineos Centrales. *Csic.es*. <https://doi.org/0211-6820>
- Magiya, J. (2019, June 17). Kendall Rank Correlation Explained. - Towards Data Science. Medium; Towards Data Science. <https://towardsdatascience.com/kendall-rank-correlation-explained-dee01d99c535>
- Masache, R. A. (2018). Priorización de zonas de recarga hídrica al sur occidente del Parque Nacional Cayambe – Coca para abastecimiento del Distrito Metropolitano de Quito [BachelorThesis, PUCE-Quito]. <http://repositorio.puce.edu.ec:80/handle/22000/15289>
- Malutta, S., Kobiyama, M., Chaffe, P. L. B., & Bonumá, N. B. (2020). Hysteresis analysis to quantify and qualify the sediment dynamics: State of the art. *Water Science and Technology: A Journal of the International Association on Water Pollution Research*, 81(12), 2471-2487. <https://doi.org/10.2166/wst.2020.279>
- Marín Villegas, C. A. (2011). Determinación de curvas de duración de caudal para cuencas intermitentes. *instname:Universidad de los Andes*. <https://repositorio.uniandes.edu.co/handle/1992/14657>
- Marsh, W. M. (2005). *Landscape planning: Environmental applications (Vol. 4)*. New York, NY: Wiley.
- Martínez Ortega, R. M., Tuya Pendás, L. C., Martínez Ortega, M., Pérez Abreu, A., & Cánovas, A. M. (2009). El Coeficiente de correlación de los rangos de Spearman caracterización. *Revista Habanera de Ciencias Médicas*, 8(2), 0-0.
- Matovelle, C., Andreo, B., Mudarra, M., Matovelle, C., Andreo, B., & Mudarra, M. (2021). Análisis de la influencia de la altitud en los eventos de máxima precipitación en una cuenca del Pacífico: Tendencias y variabilidad. *Información tecnológica*, 32(6), 3-12. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642021000600003>

- Mite, R. B., Ochoa, L. S., Osorio, B. G., Suatunce, P., Ocampo, E. D., & Arevalo, L. C. (2016). Calidad del agua destinada al consumo humano en un cantón de Ecuador / Quality of water intended for human consumption in a canton of Ecuador. *CIENCIA UNEMI*, 9(20), Article 20. <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol9iss20.2016pp109-117p>
- Mohd Razali, N., & Yap, B. (2011). Power Comparisons of Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors and Anderson-Darling Tests. *J. Stat. Model. Analytics*, 2.
- Montealegre B., J. E. (2009). Estudio de la variabilidad climática de la precipitación en Colombia asociada a procesos oceánicos y atmosféricos de meso y gran escala (No IDEAM 022 - 2009) [Informe final]. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM. <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21789/Estudio+de+la+variabilidad+climática+de+la.pdf/643c4c0e-83d7-414f-b2b4-6953f64078d3>
- Mora, D. E., & Willems, P. (2012). Decadal oscillations in rainfall and air temperature in the Paute River Basin—Southern Andes of Ecuador. *Theoretical and Applied Climatology*, 108(1), 267-282. <https://doi.org/10.1007/s00704-011-0527-4>
- Moraes, A. G. de L., Bocardo-Delgado, E., Bowling, L. C., Daneshvar, F., Pinto, J., Watkins, A. H., & Cherkauer, K. A. (2020). Assessment of Arequipa's Hydrometeorological Monitoring Infrastructure to Support Water Management Decisions. *Journal of Contemporary Water Research & Education*, 171(1), 27-48. <https://doi.org/10.1111/j.1936-704X.2020.3343.x>
- Nóia Júnior, R. de S., Fraisse, C. W., Karrei, M. A. Z., Cerbaro, V. A., & Perondi, D. (2020). Effects of the El Niño Southern Oscillation phenomenon and sowing dates on soybean yield and on the occurrence of extreme weather events in southern Brazil. *Agricultural and Forest Meteorology*, 290, 108038. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.108038>
- NOAA. (2023, abril 10). Inter-Tropical Convergence Zone. <https://www.noaa.gov/jetstream/tropical/convergence-zone>
- Olivares, B. O., Cortez, A., Lobo, D., Parra, R. M., Rey B., J. C., & Rodríguez, M. F. (2016). Estudio de la Sequía Meteorológica en Localidades de los Llanos de Venezuela Mediante el Índice de Precipitación Estandarizado. *Acta Nova*, 7(3), 266-283.
- Ordoñez, G. (2008). De la bacinilla a la alcantarilla. Cuenca : Universidad de Cuenca.
- Organización Mundial de la Salud. (2018). Guías para la calidad del agua de consumo humano: Cuarta edición que incorpora la primera adenda. Organización Mundial de la Salud. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/272403>
- Padrón Suárez, D. A., & Vázquez Sarmiento, O. M. (2019). Caracterización y zonificación de la microcuenca del río Machángara para estudios de procesos biogeoquímicos e isótopos estables de carbono, nitrógeno, hidrógeno y oxígeno [Bachelor Thesis, Universidad del Azuay]. <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/8764>
- Pal, R. (2017). Validation methodologies. *Predictive Modeling of Drug Sensitivity*, 83–107. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-805274-7.00004-x>

- Parada, L. (2019, junio 23). Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk. R-pubs. <https://rpubs.com/F3rnando/507482>
- Pauta, G., Velazco, M., Gutierrez, D., Vázquez, G., Rivera, S., Morales, O., & Abril, A. (2019). Evaluación de la calidad del agua de los ríos de la ciudad de Cuenca, Ecuador. *Maskana*, 10(2), 76-88.
- Pérez, G. R., & Restrepo, J. J. R. (2008). *Fundamentos de limnología neotropical*. Universidad de Antioquia.
- Pedrosa, I., Juarros-Basterretxea, J., Robles-Fernández, A., Basteiro, J., & García-Cueto, E. (2014). Pruebas de bondad de ajuste en distribuciones simétricas, ¿qué estadístico utilizar? *Universitas Psychologica*, 14(1). <https://doi.org/10.11144/javeriana.upsy14-1.pbad>
- Pliego, A. (2017, noviembre 3). ¿Cómo se mide la lluvia? [Noticias]. The Weather Channel. <https://weather.com/es-ES/espana/tiempo/news/como-se-mide-la-lluvia-14102017>
- Pronk, M., Goldscheider, N., Zopfi, J., & Zwahlen, F. (2009). Percolation and Particle Transport in the Unsaturated Zone of a Karst Aquifer. *Groundwater*, 47(3), 361-369. <https://doi.org/10.1111/j.1745-6584.2008.00509.x>
- Puka, L. (2011). Kendall 's Tau. *International Encyclopedia of Statistical Science*, 713–715. https://doi.org/10.1007/978-3-642-04898-2_324
- Quevedo Urías, H. A., & García, J. H. (2011). *Métodos Estadísticos para la Ingeniería Ambiental (Primera)*. Fabro Editores.
- Quichimbo, P., Tenorio, G., Borja, P., Cárdenas, I., Crespo, P., & Célleri, R. (2012). Efectos sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos por el cambio de la cobertura vegetal y uso del suelo: Páramo de Quimsacocha al sur del Ecuador. *Suelos Ecuatoriales*, 42, 138-156.
- Reimann, C., Filzmoser, P., Garrett, R., & Dutter, R. (2011). *Statistical data analysis explained: applied environmental statistics with R*. John Wiley & Sons.
- Restrepo, L., & González, J. (2007). From Pearson to Spearman. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 20, 183-192.
- Romero, J. (2009). *Calidad del agua (tercera)*. Escuela Colombiana de ingeniería.
- Romero Saldaña, M. (2016). Pruebas de bondad de ajuste a una distribución normal. *Revista Enfermería del Trabajo*, 6(3), 114.
- Rose, S. (2003). Comparative solute–discharge hysteresis analysis for an urbanized and a ‘control basin’ in the Georgia (USA) Piedmont. *Journal of Hydrology*, 284(1), 45-56. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2003.07.001>
- Roy-García, I., Rivas-Ruiz, R., Pérez-Rodríguez, M., & Palacios-Cruz, L. (2019). Correlación: No toda correlación implica causalidad. *Revista alergía México*, 66(3), 354-360.

- Sáenz, G. M. (2004). Hidrología en la ingeniería (Segunda edición). Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Saquisilí Guartamber, S. C. (2019). Desarrollo de un modelo estocástico para la predicción de sequías usando índices climáticos y datos de reanálisis para la subcuenca del río Machángara [MasterThesis, Universidad del Azuay]. <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/8895>
- Salton, F. G., Morais, H., & Lohmann, M. (2021). Períodos Secos no Estado do Paraná. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 36, 295-303. Vásquez, A., Mejía, A., Faustino, J., Terán, R.
- Schob, S. (2014). Concentration-Discharge Hysteresis Effects of BOD, COD, Nitrate and Turbidity during Storm Flow Events in the Paramo of Southern Ecuador [Bachelor-Thesis]. Universidad de Gießen.
- Segura, E. O., & Torres, V. (2014). Tratamiento de valores perdidos y atípicos en la aplicación del Modelo Estadístico de Medición de Impacto en un estudio de 90 fincas lecheras en la provincia de Pastaza, Ecuador. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 48(4), 333–336. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193033033004>
- Sierra, C. S., & Garcia, H. G. (2012). Determinación de Fosfatos en Aguas por Método Colorimétrico. Validación del Método. *Química Hoy*, 2(3), Article 3. <https://doi.org/10.29105/qh2.3-156>
- Silva, J., Ramírez, L., Alfieri, A., Rivas, G., & Sánchez, M. (2004). Determinación de microorganismos indicadores de calidad sanitaria. Coliformes totales, coliformes fecales y aerobios mesófilos en agua potable envasada y distribuida en San Diego, estado Carabobo, Venezuela. *Revista de la Sociedad Venezolana de Microbiología*, 24(1-2), 46-49.
- Smakhtin, V. U. (2001). Low flow hydrology: A review. *Journal of Hydrology*, 240(3), 147-186. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(00\)00340-1](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(00)00340-1)
- Spiro, T., & Stigliani, W. (2004). *Química Medioambiental* (Segunda edición). PEARSON EDUCACIÓN, S.A.
- Sriwongsitanon, N., Surakit, K., & Thianpopirug, S. (2011). Influence of atmospheric correction and number of sampling points on the accuracy of water clarity assessment using remote sensing application. *Journal of Hydrology*, 401(3), 203-220. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.02.023>
- Strobl, R. O., & Robillard, P. D. (2008). Network design for water quality monitoring of surface freshwaters: A review. *Journal of Environmental Management*, 87(4), 639-648. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.03.001>
- Summers, J. K. (2020). *Water Quality: Science, Assessments and Policy*. BoD – Books on Demand.

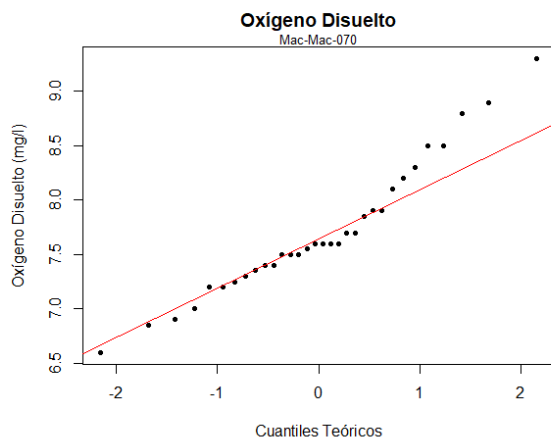
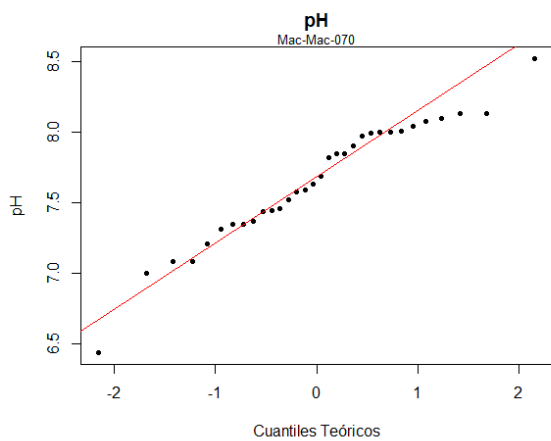
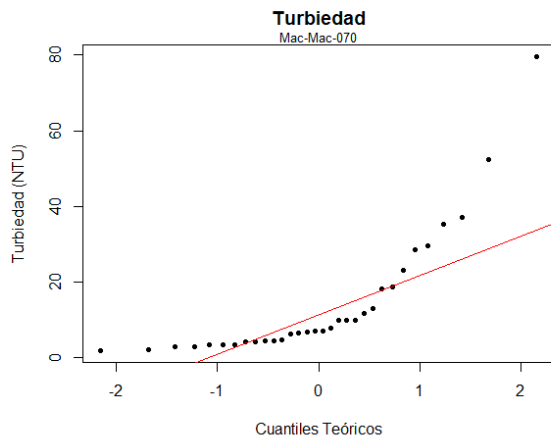
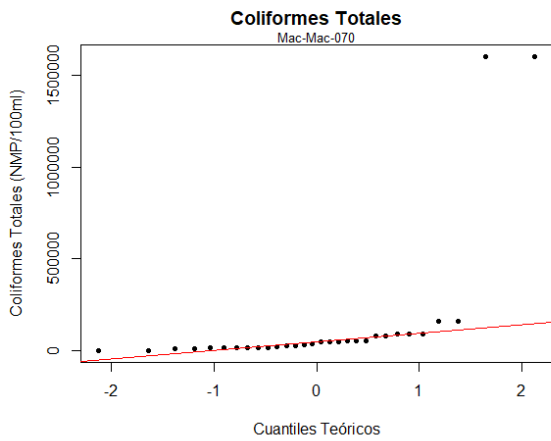
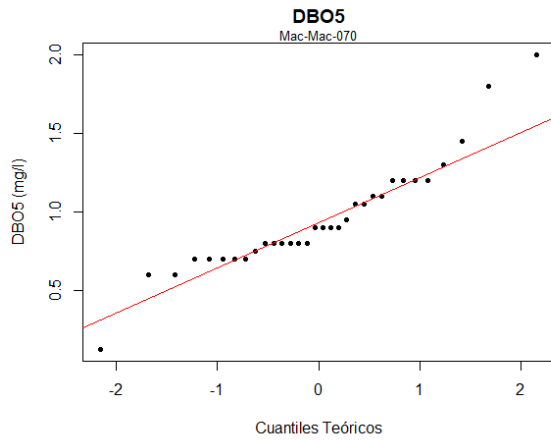
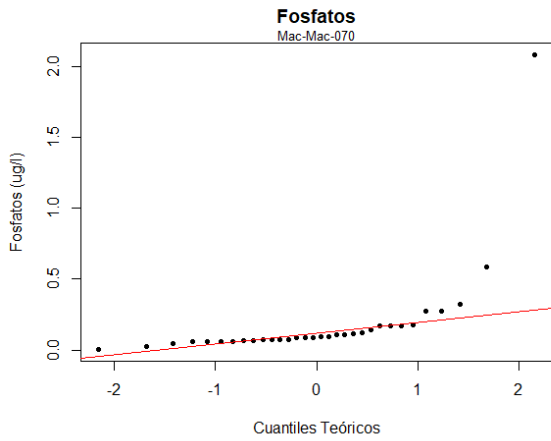
- Suwal, N., Kuriqi, A., Huang, X., Delgado, J., Młyński, D., & Walega, A. (2020). Environmental Flows Assessment in Nepal: The Case of Kaligandaki River. *Sustainability*, 12(21), Article 21. <https://doi.org/10.3390/su12218766>
- Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente [TULSMA]. (2015). Anexo 1 del Libro VI del TULSMA: Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua. Ministerio del Ambiente Ecuador. Recuperado de <https://maeorellana.files.wordpress.com/2015/11/anexo-1-agua.pdf>
- Tobin, B., Polk, J., Arpin, S., Shelley, A., & Taylor, C. (2021). A conceptual model of epikarst processes across sites, seasons, and storm events. *Journal of Hydrology*, 596, 125692. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125692>
- Tupunatron. (2020). Estación hidrometeorológica y calidad de agua automática en la cuenca del río Ucayali. Propuesta de implementación de estaciones hidrométricas. <https://tupunatron.com/estacion-hidrometrica-automatica-en-la-cuenca-del-rio-ucayali/>
- Valderrama Chávez, M. D., Vásquez Granda, V. D., & León Baque, E. L. (2021). Cambios en patrones de precipitación y temperatura en el Ecuador, región costa. Dilemas contemporáneos: educación, política y valores, 8(SPE2). <https://doi.org/10.46377/dilemas.v8i.2609>
- Valencia, D. M. (2011). Macroinvertebrados acuáticos epicontinentales y la calidad biológica del agua del río Jordán, Jamundí (Valle del Cauca). *instname:Universidad Autónoma de Occidente*. <http://red.uao.edu.co//handle/10614/1635>
- Valiente, Ó. M. (2001). Sequía: Definiciones, tipologías y métodos de cuantificación. *Investigaciones Geográficas*, 26, Article 26. <https://doi.org/10.14198/INGEO2001.26.06>
- Valiente, Ó. M. (2001). Sequía: Definiciones, tipologías y métodos de cuantificación. *Investigaciones Geográficas*, 26, Article 26. <https://doi.org/10.14198/INGEO2001.26.06>
- Villagra, P. (2010). PAISAJES CAMBIANTES: PERCEPCIÓN, DISTURBIOS NATURALES Y LA RECONSTRUCCIÓN DEL PAISAJE. *AUS [Arquitectura / Urbanismo / Sustentabilidad]*, 7, Article 7. <https://doi.org/10.4206/aus.2010.n7-04>
- Villavicencio Riera, V. E., & Chávez Ochoa, L. M. (2011). Estudio arqueológico de las cuencas media y baja del río Machángara [BachelorThesis]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/1957>
- Vuille, M., Bradley, R., & Keimig, F. (2000). Climate Variability in the Andes of Ecuador and Its Relation to Tropical Pacific and Atlantic Sea Surface Temperature Anomalies. *Journal of Climate*, 13. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2000\)013<2520:CVITAO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2000)013<2520:CVITAO>2.0.CO;2)
- Waliser, D. E., & Jiang, X. (2015). TROPICAL METEOROLOGY AND CLIMATE | Intertropical Convergence Zone. En G. R. North, J. Pyle, & F. Zhang (Eds.), *Encyclopedia of Atmospheric Sciences (Second Edition)* (pp. 121-131). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-382225-3.00417-5>
- Walpole, R., Myers, R., & Myers, S. (2012). Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias (Noveno). Pearson.

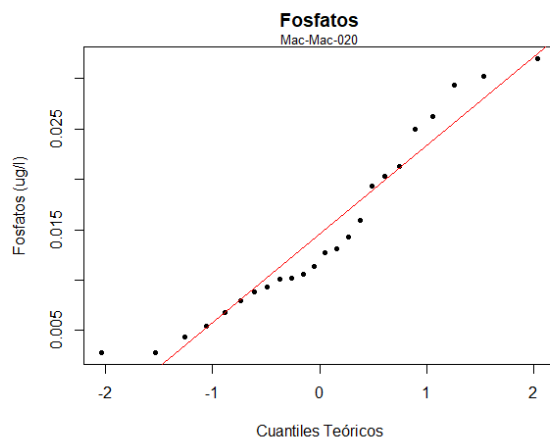
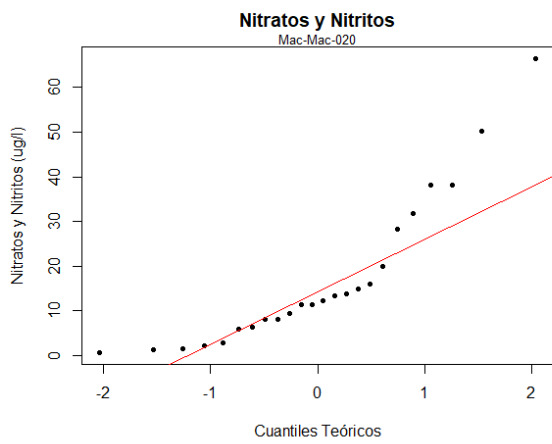
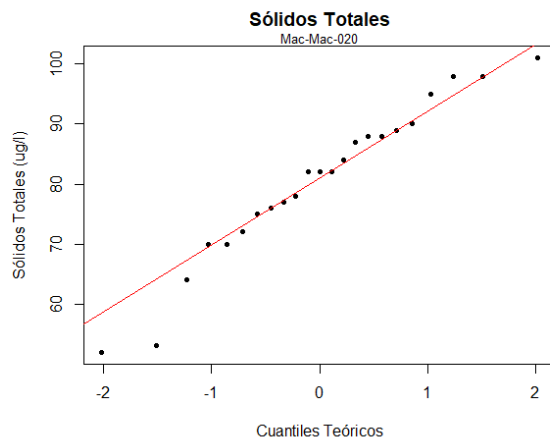
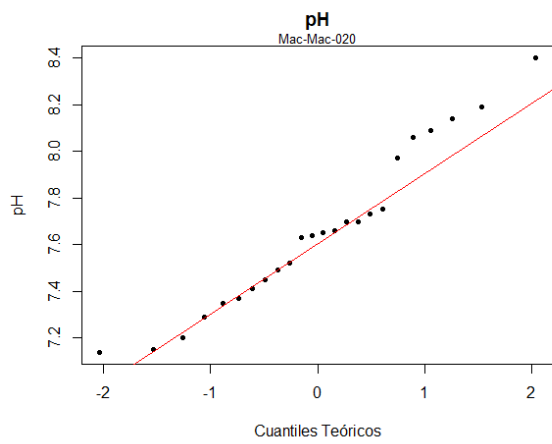
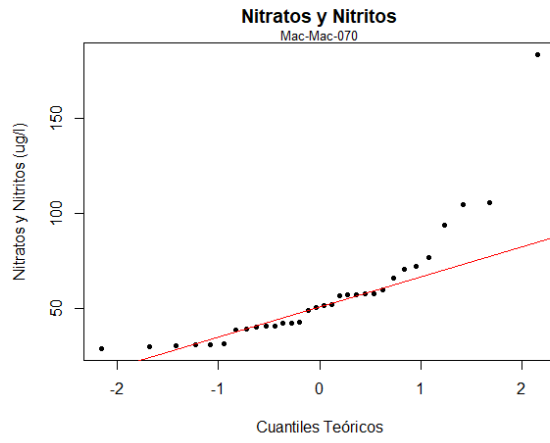
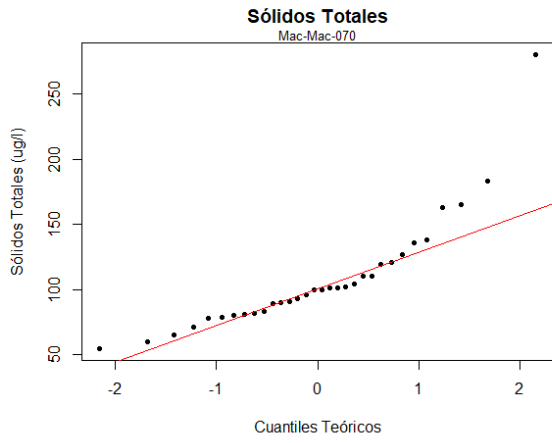
<https://www.pearsoneducacion.net/espa%C3%B1a/TiendaOnline/probabilidad-y-estad%C3%ADstica-para-ingenier%C3%ADa-y-ciencias-9ed->

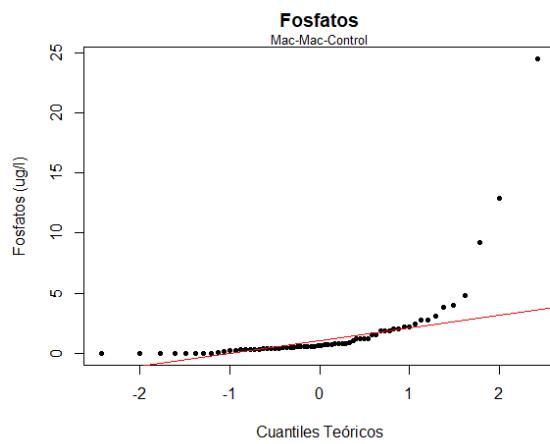
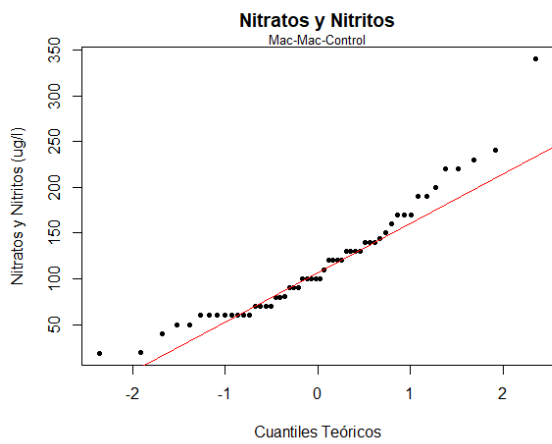
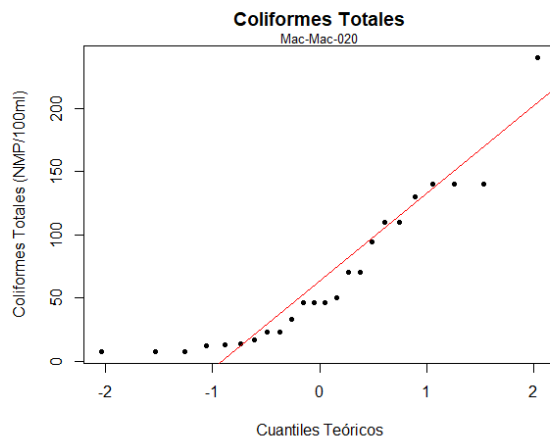
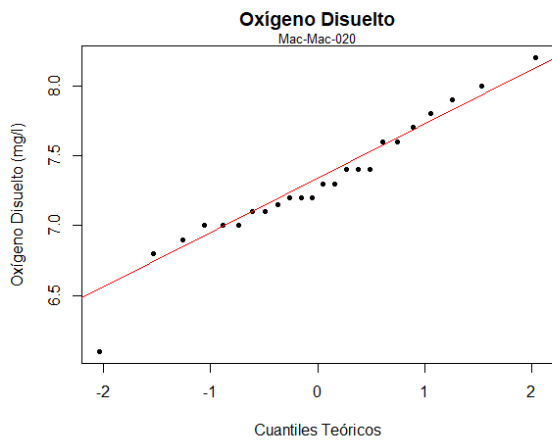
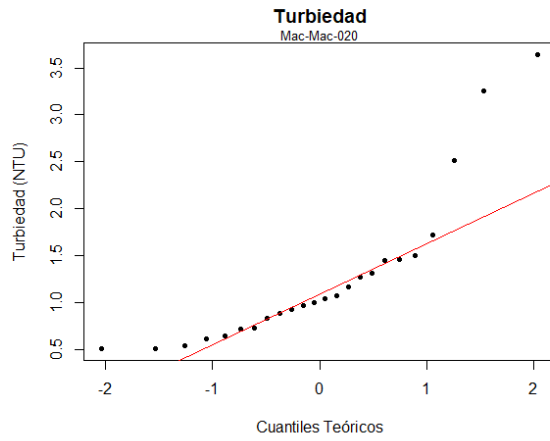
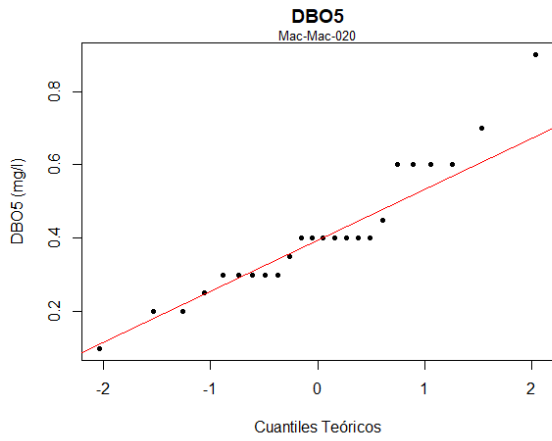
- Wang, J., Dong, Z., Liao, W., Li, C., Feng, S., Luo, H., & Peng, Q. (2013). An environmental flow assessment method based on the relationships between flow and ecological response: A case study of the Three Gorges Reservoir and its downstream reach. *Science China Technological Sciences*, 56(6), 1471-1484. <https://doi.org/10.1007/s11431-013-5193-6>
- Windhorst, D., Schob, S., Zang, C., Crespo, P., & Breuer, L. (2015). Inferring runoff generation processes through high resolution spatial and temporal UV-Vis absorbance measurements in a mountainous headwater catchment in Southern Ecuador. 5022.
- Yang, Y., Zhang, M., Zhu, L.-L., Liu, W., Han, J., & Yang, Y. (2017). Influence of Large Reservoir Operation on Water-Levels and Flows in Reaches below Dam: Case Study of the Three Gorges Reservoir. 7(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-017-15677-y>
- Zhang, M., Huang, G., Liu, C., Zhang, Y., Chen, Z., & Wang, J. (2020). Distributions and origins of nitrate, nitrite, and ammonium in various aquifers in an urbanized coastal area, south China. *Journal of Hydrology*, 582, 124528. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124528>
- Zhao, Jun, Liqing Lin, Kai Yang, Qiuxia Liu, y Guangren Qian. 2015. «Influences of Land Use on Water Quality in a Reticular River Network Area: A Case Study in Shanghai, China». *Landscape and Urban Planning* 137:20-29. doi: 10.1016/j.landurbplan.2014.12.010.
- Zornoza, A., Avendaño, L., Aguado García, D., Borrás, L., & Alonso-Molina, J. (2012, octubre 1). Análisis de las correlaciones entre la abundancia de bacterias nitrificantes, parámetros operacionales y físico-químicos relacionados con el proceso biológico de nitrificación en fangos activos.

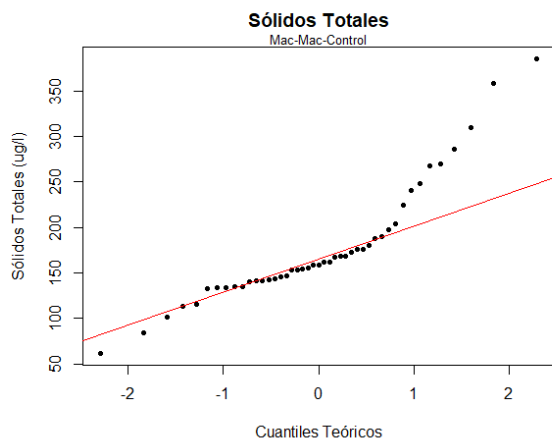
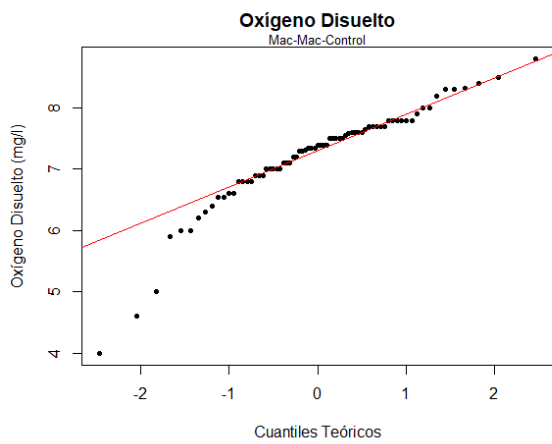
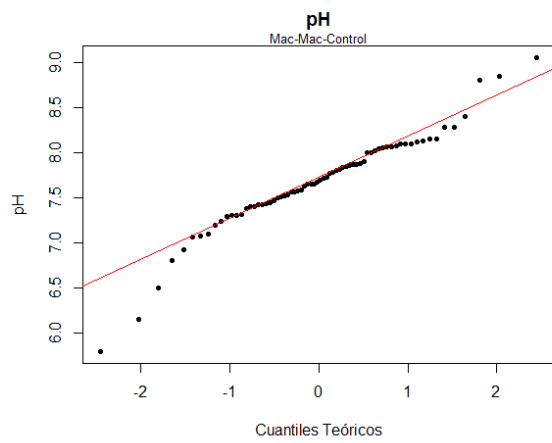
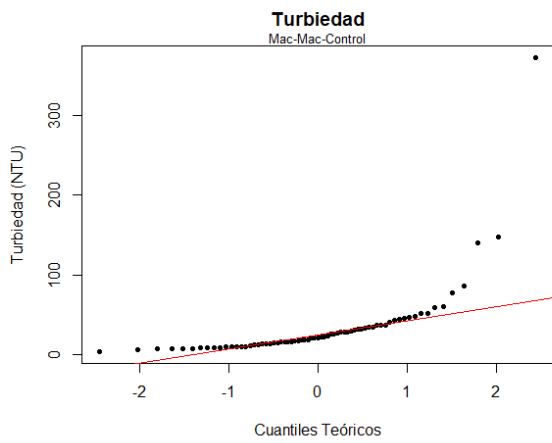
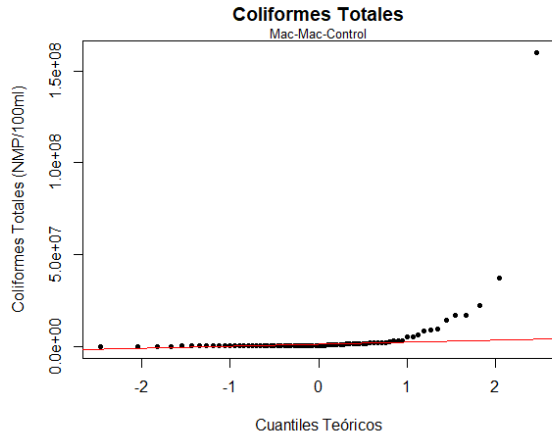
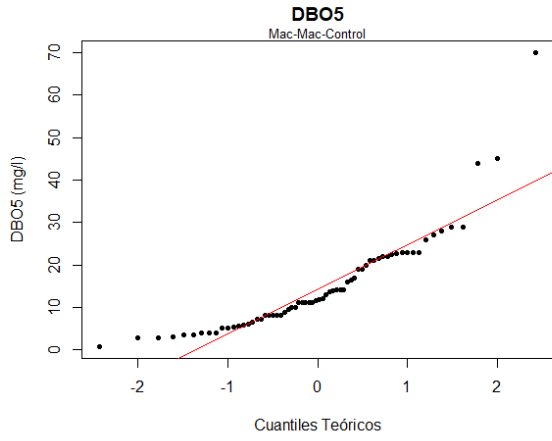
7. Anexos

Anexo A. Q-Q Plots

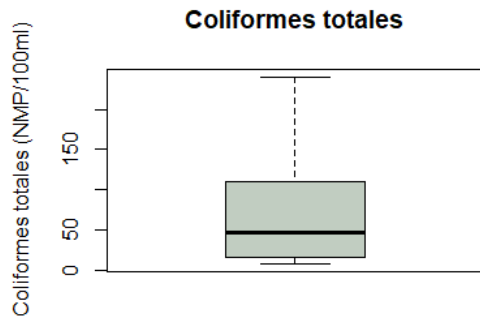




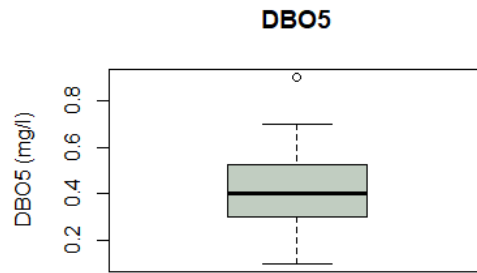




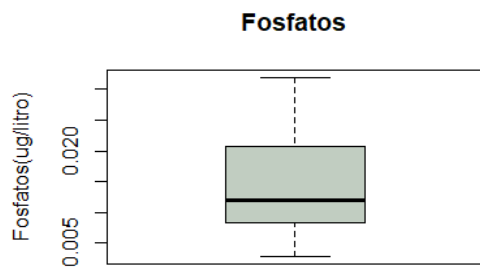
Anexo B. Diagramas de caja



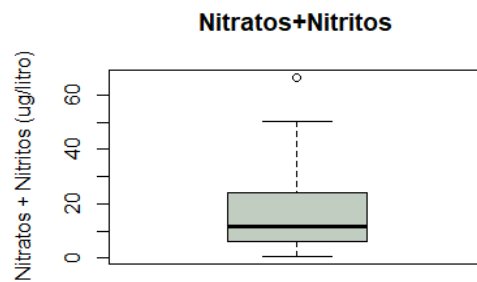
Estación MAC-MAC-020



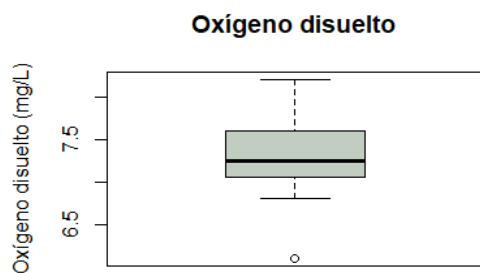
Estación MAC-MAC-020



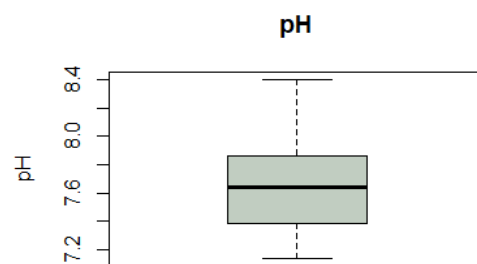
Estación MAC-MAC-020



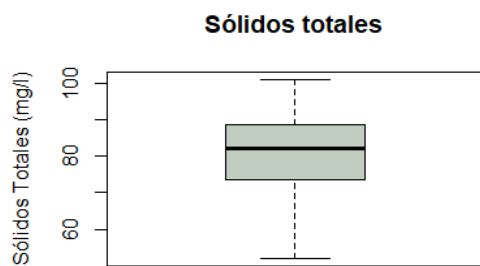
Estación MAC-MAC-020



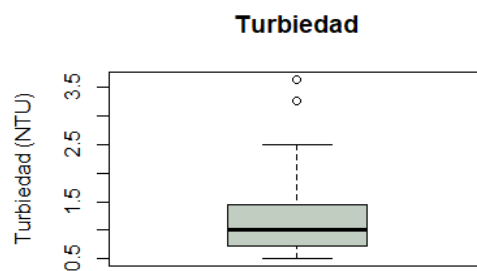
Estación MAC-MAC-020



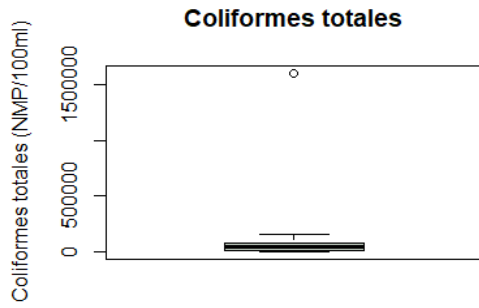
Estación MAC-MAC-020



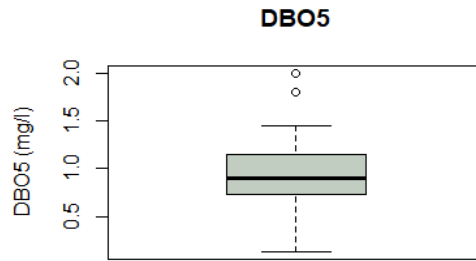
Estación MAC-MAC-020



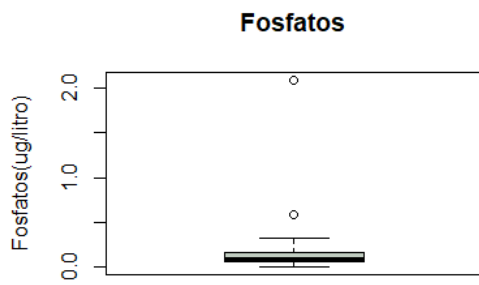
Estación MAC-MAC-020



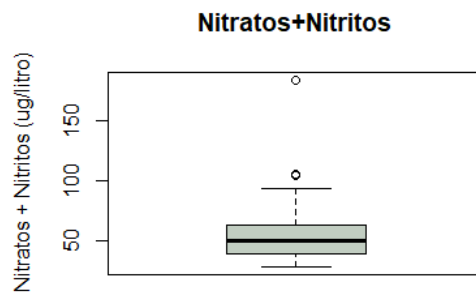
Estación MAC-MAC-070



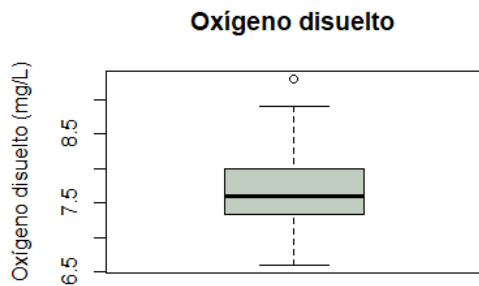
Estación MAC-MAC-070



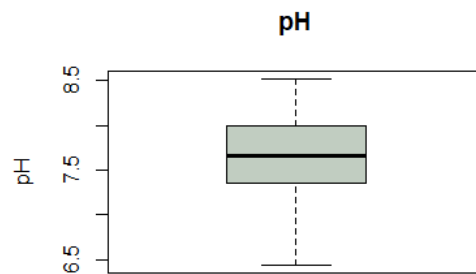
Estación MAC-MAC-070



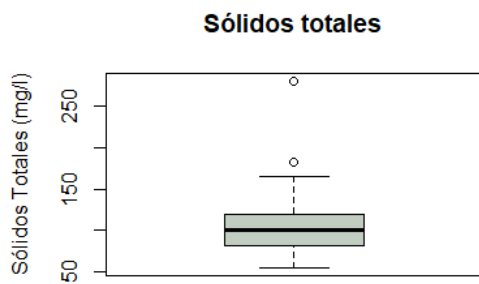
Estación MAC-MAC-070



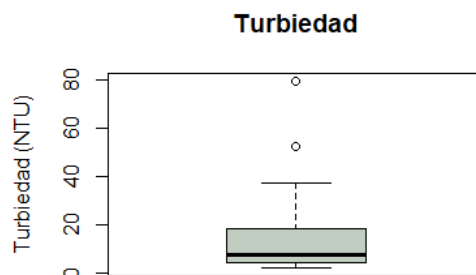
Estación MAC-MAC-070



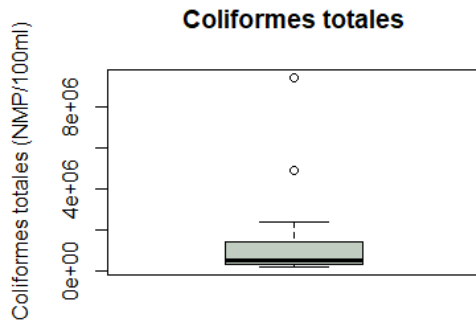
Estación MAC-MAC-070



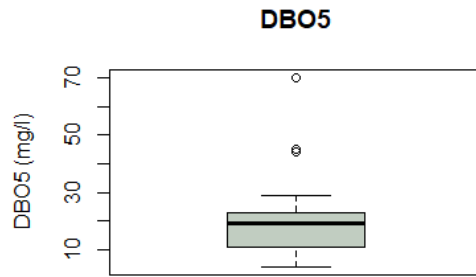
Estación MAC-MAC-070



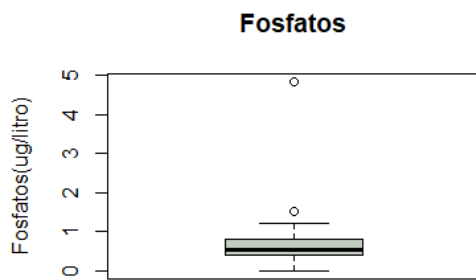
Estación MAC-MAC-070



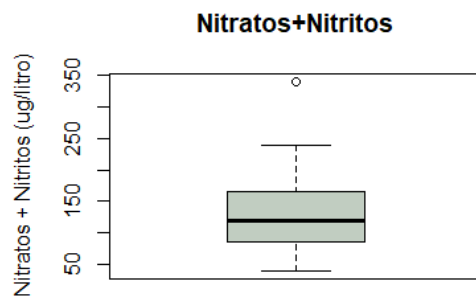
Estación MAC-MAC-CONTROL



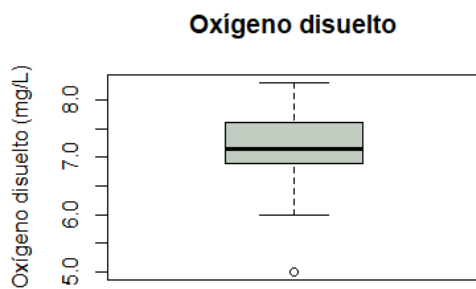
Estación MAC-MAC-CONTROL



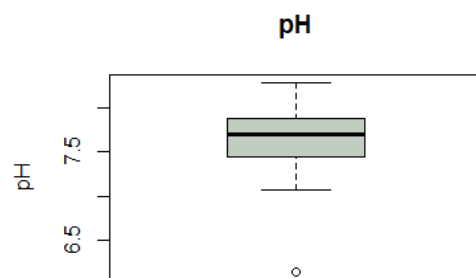
Estación MAC-MAC-CONTROL



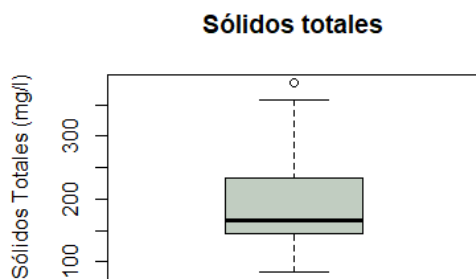
Estación MAC-MAC-CONTROL



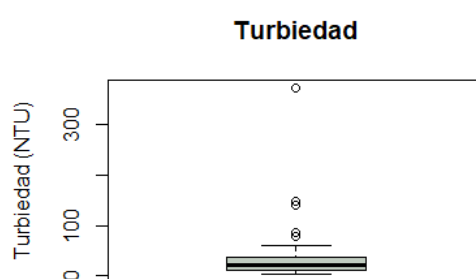
Estación MAC-MAC-CONTROL



Estación MAC-MAC-CONTROL

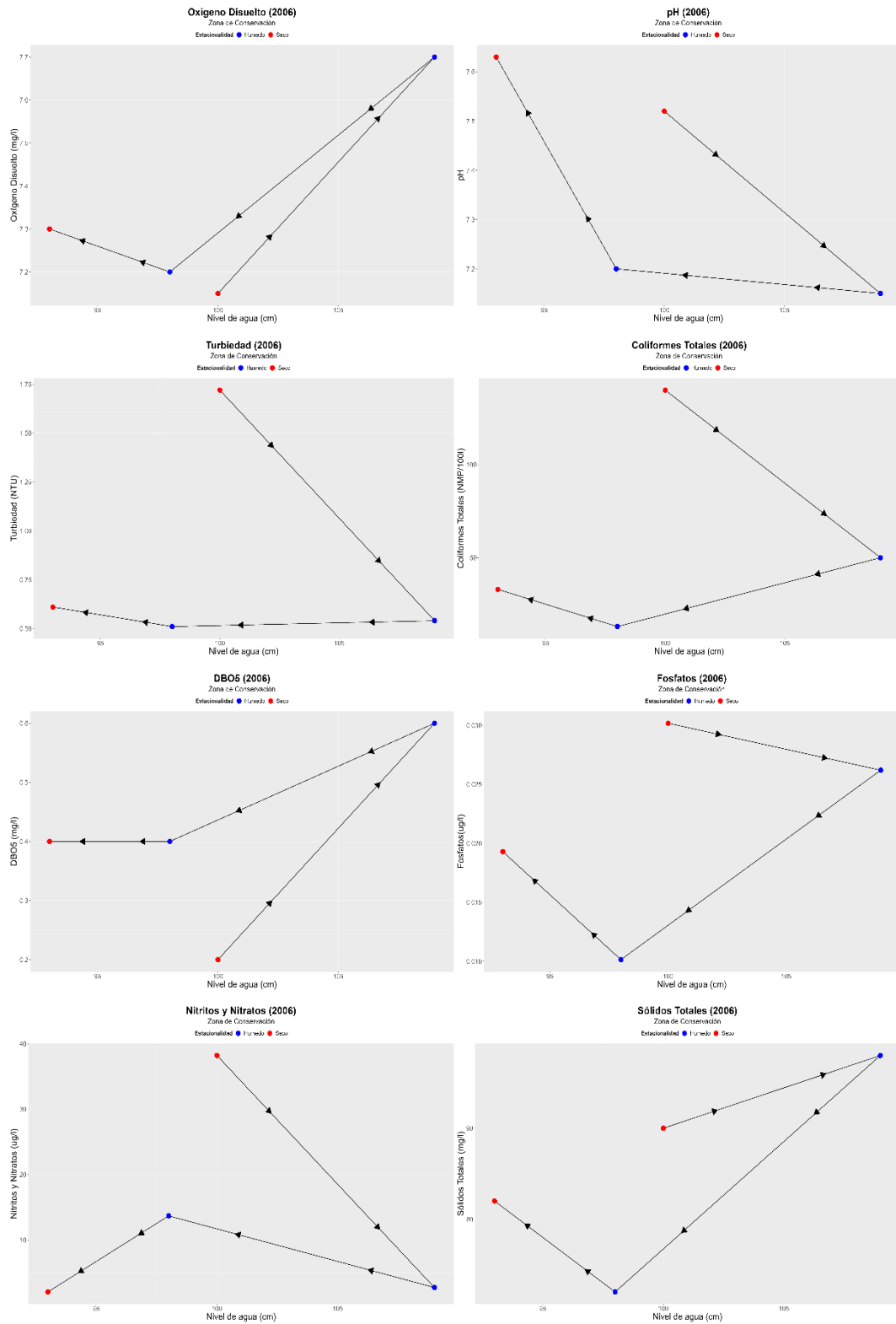


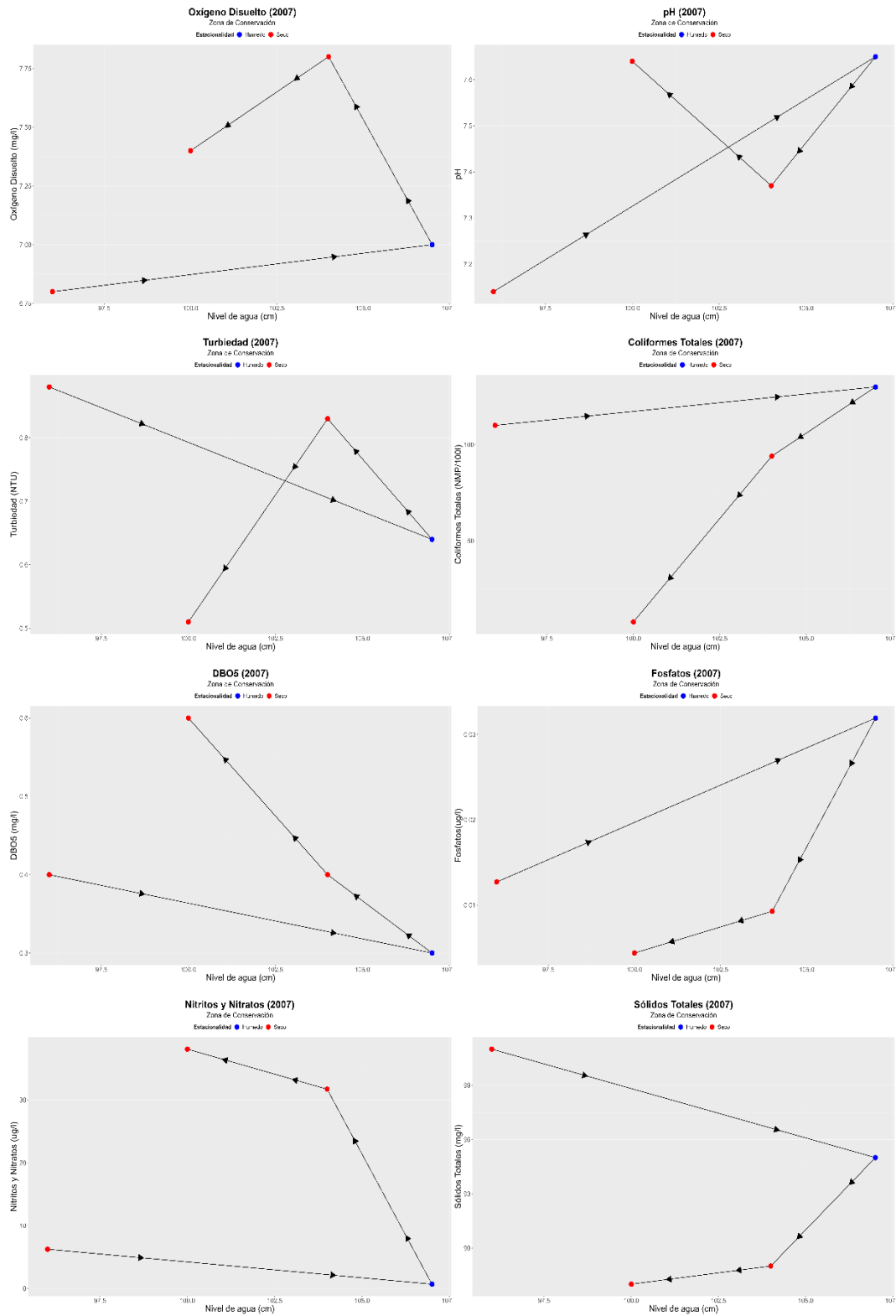
Estación MAC-MAC-CONTROL

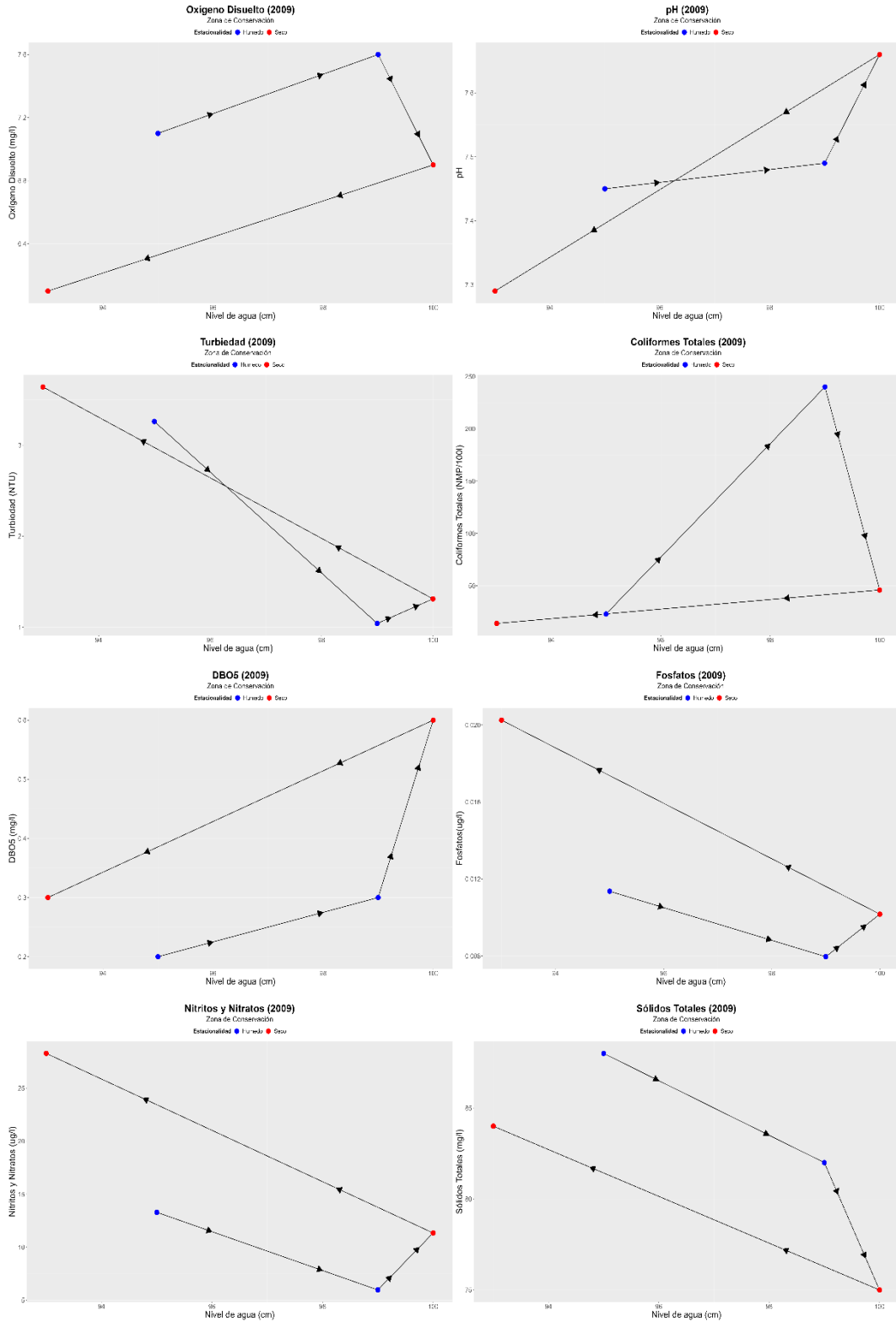


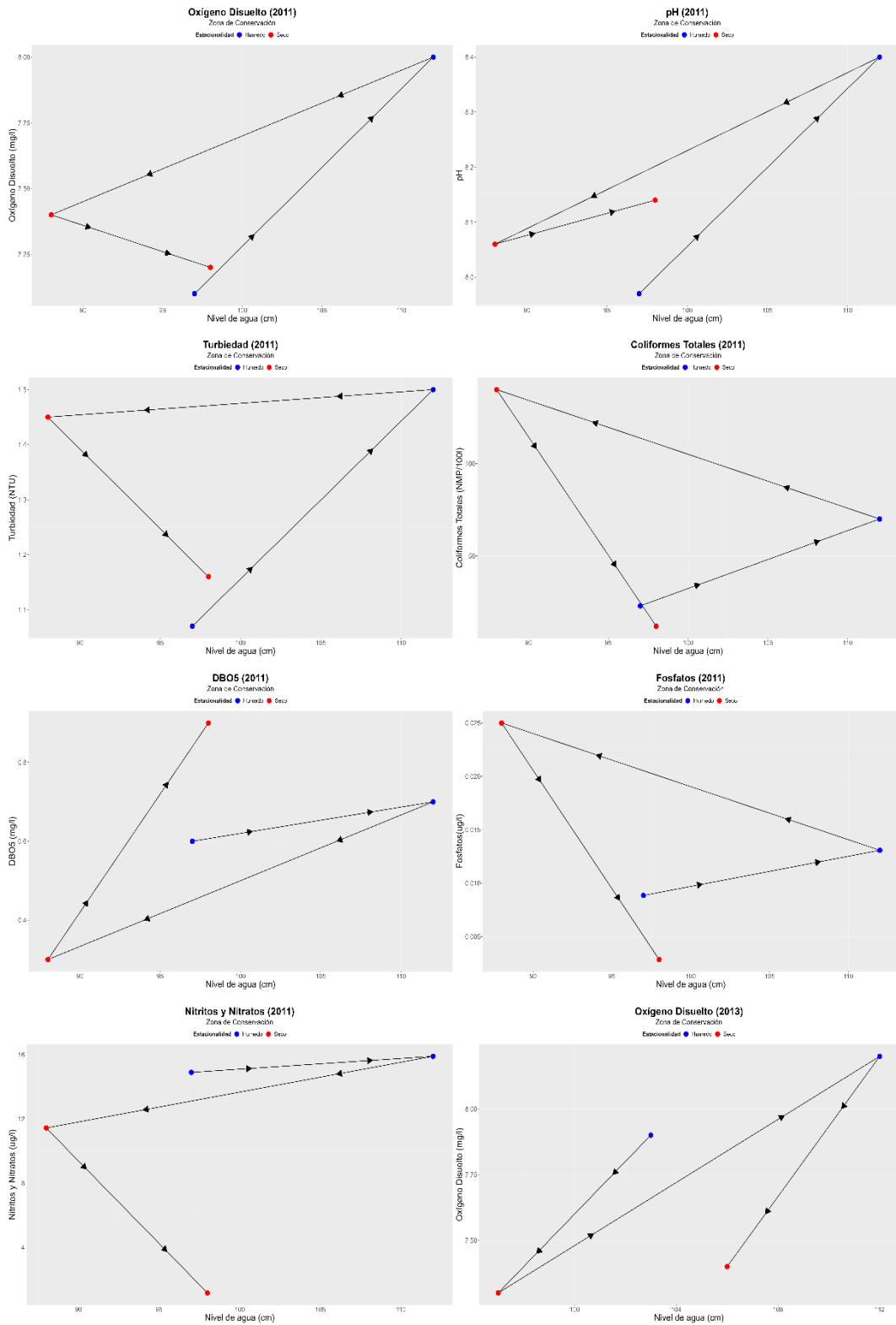
Estación MAC-MAC-CONTROL

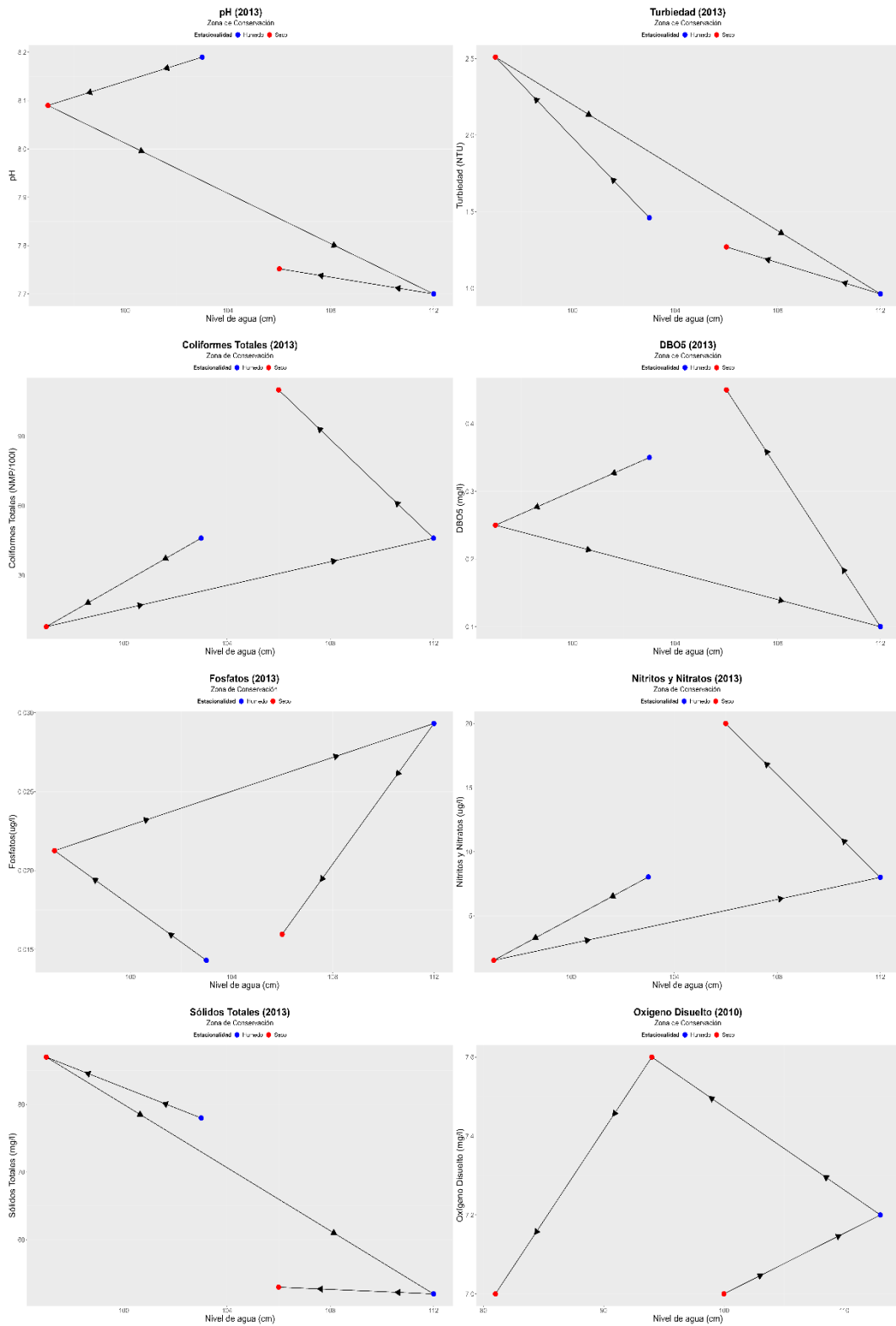
Anexo C. Gráficos Histeréticos (Zona de conservación)

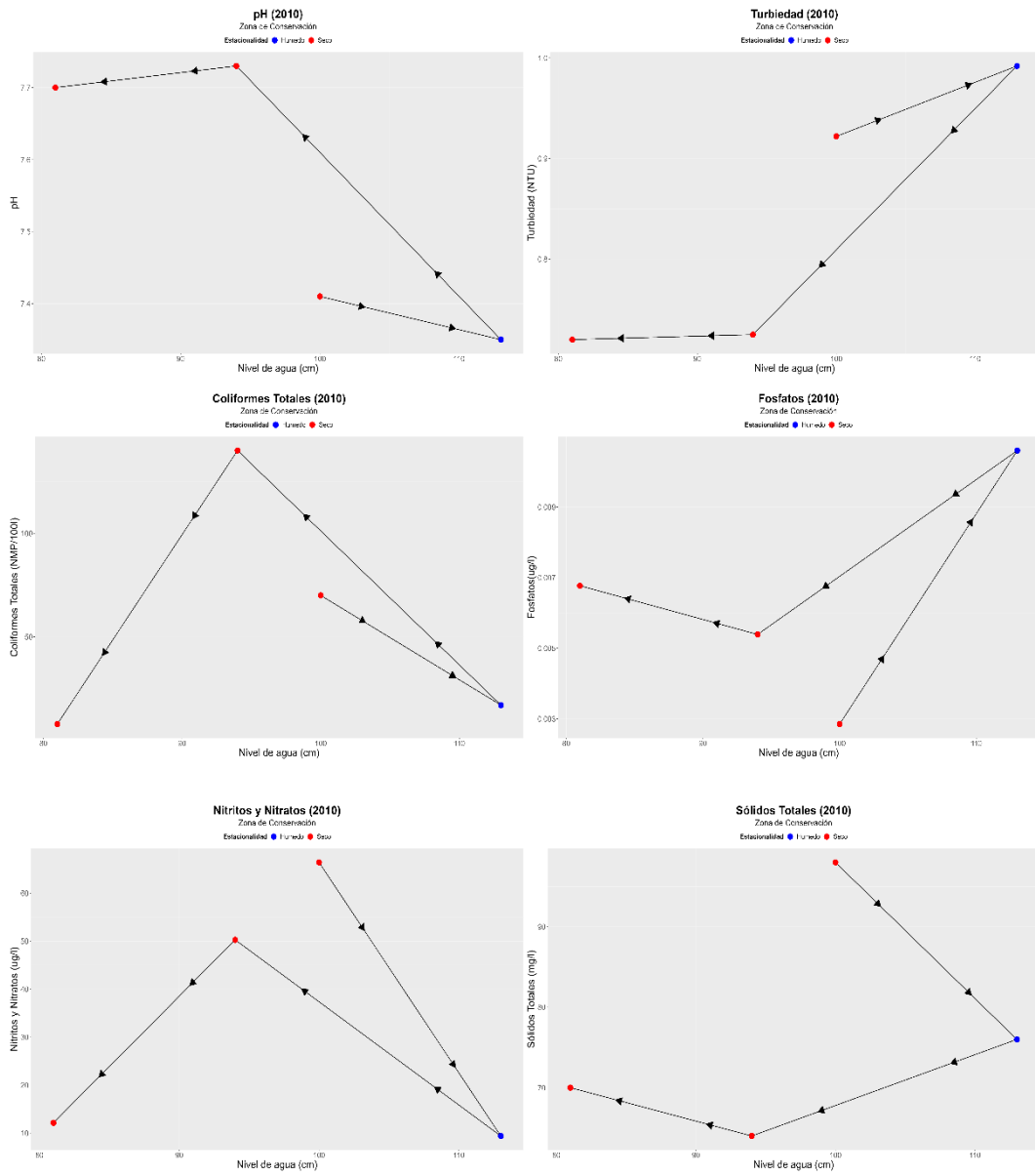




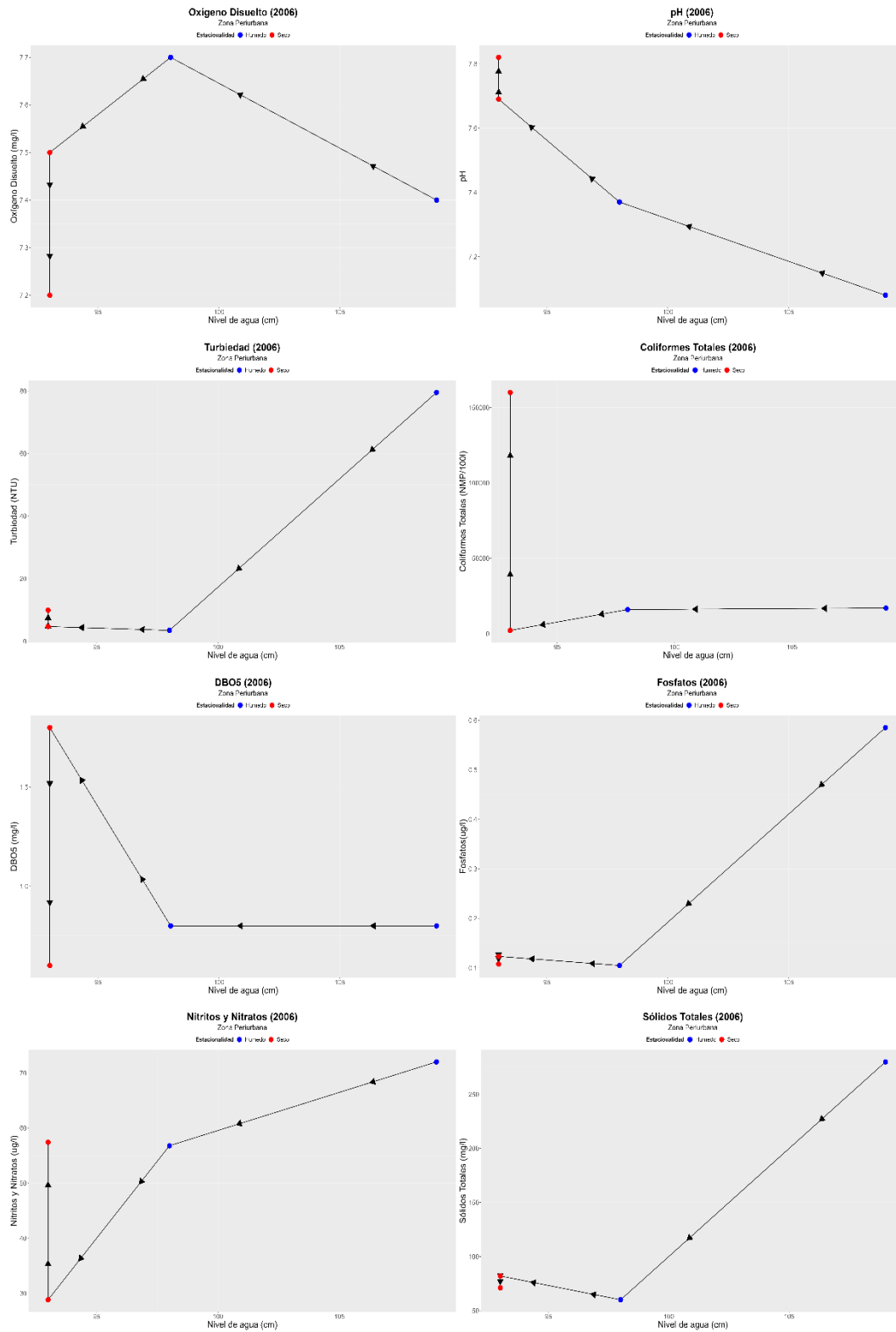


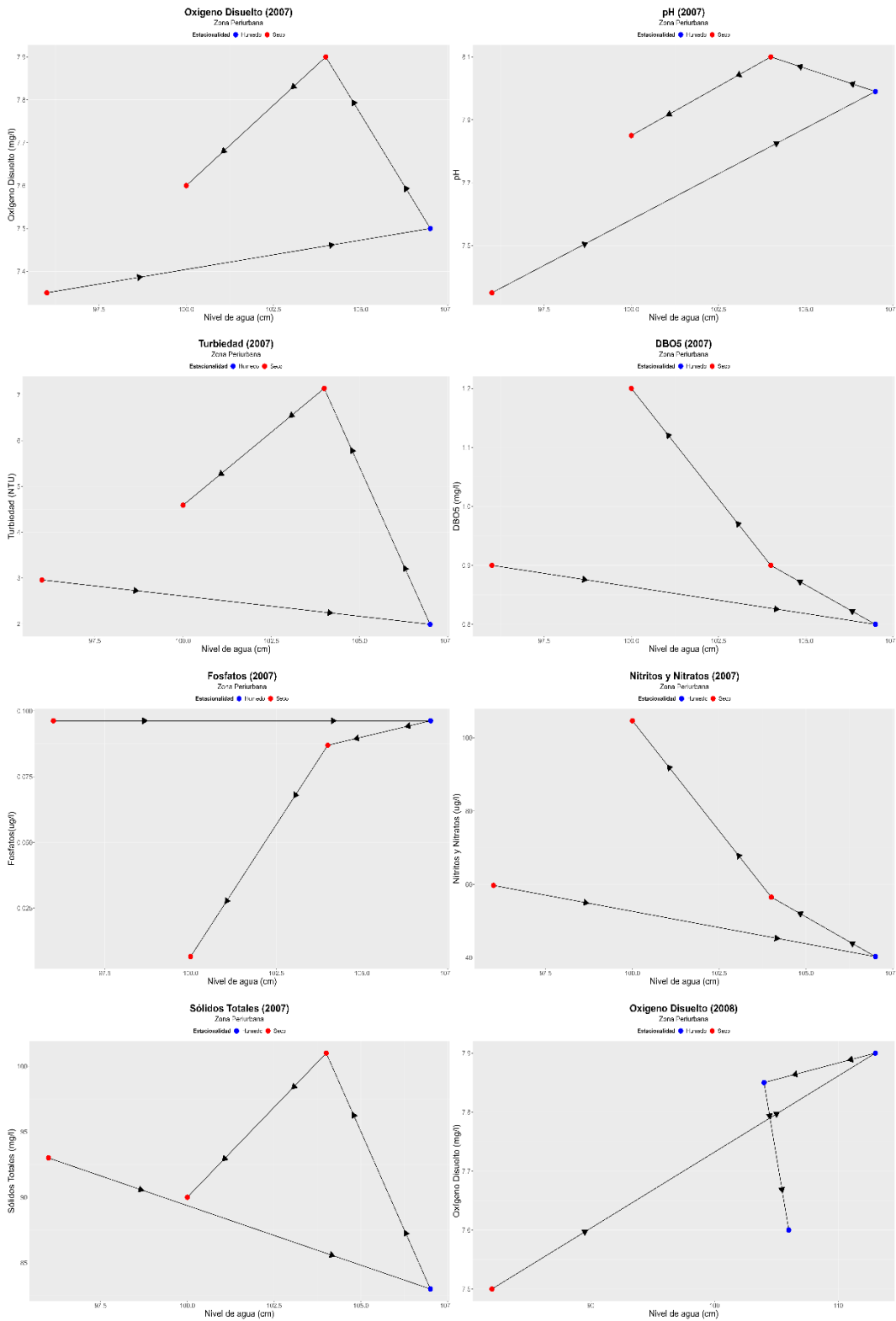


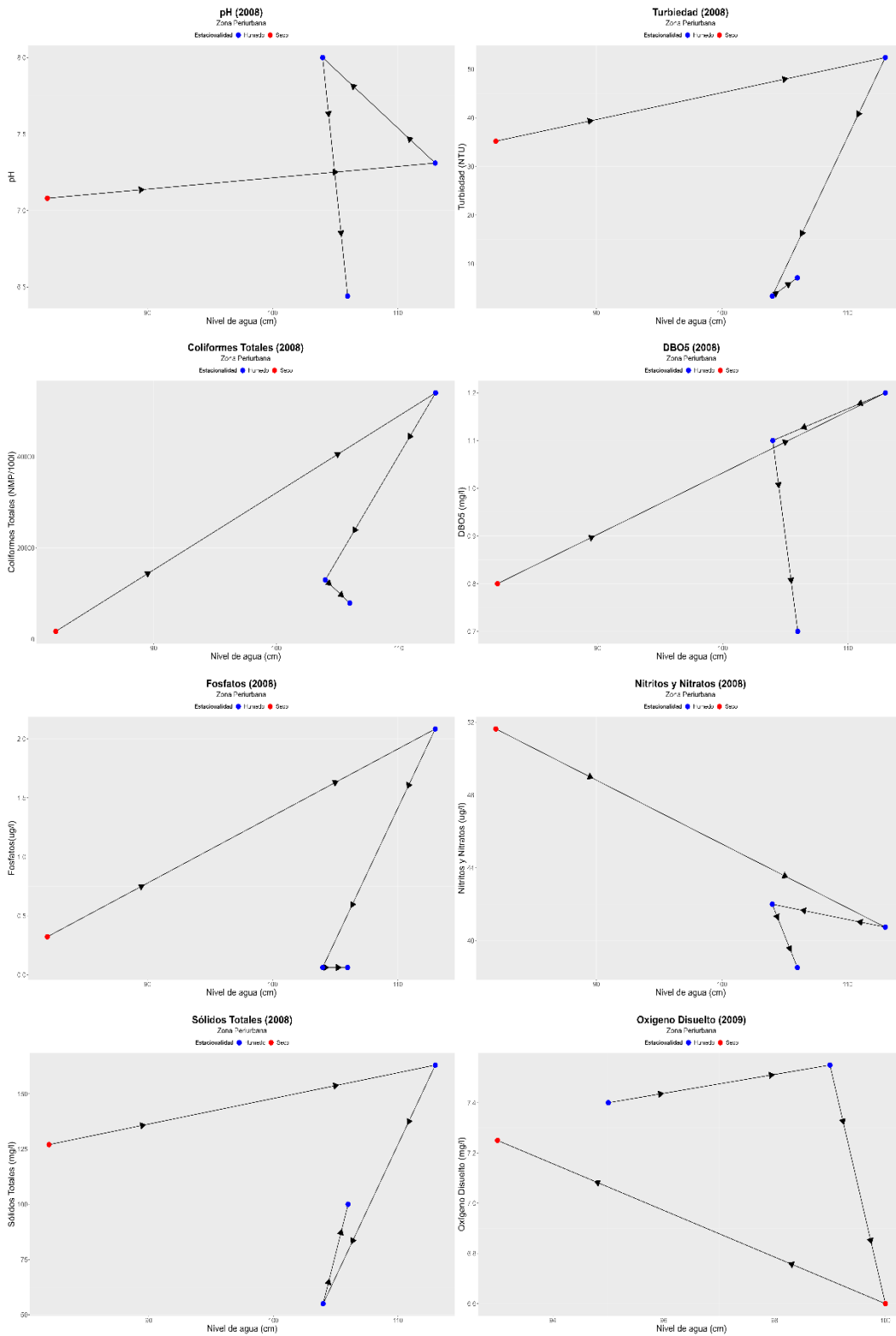


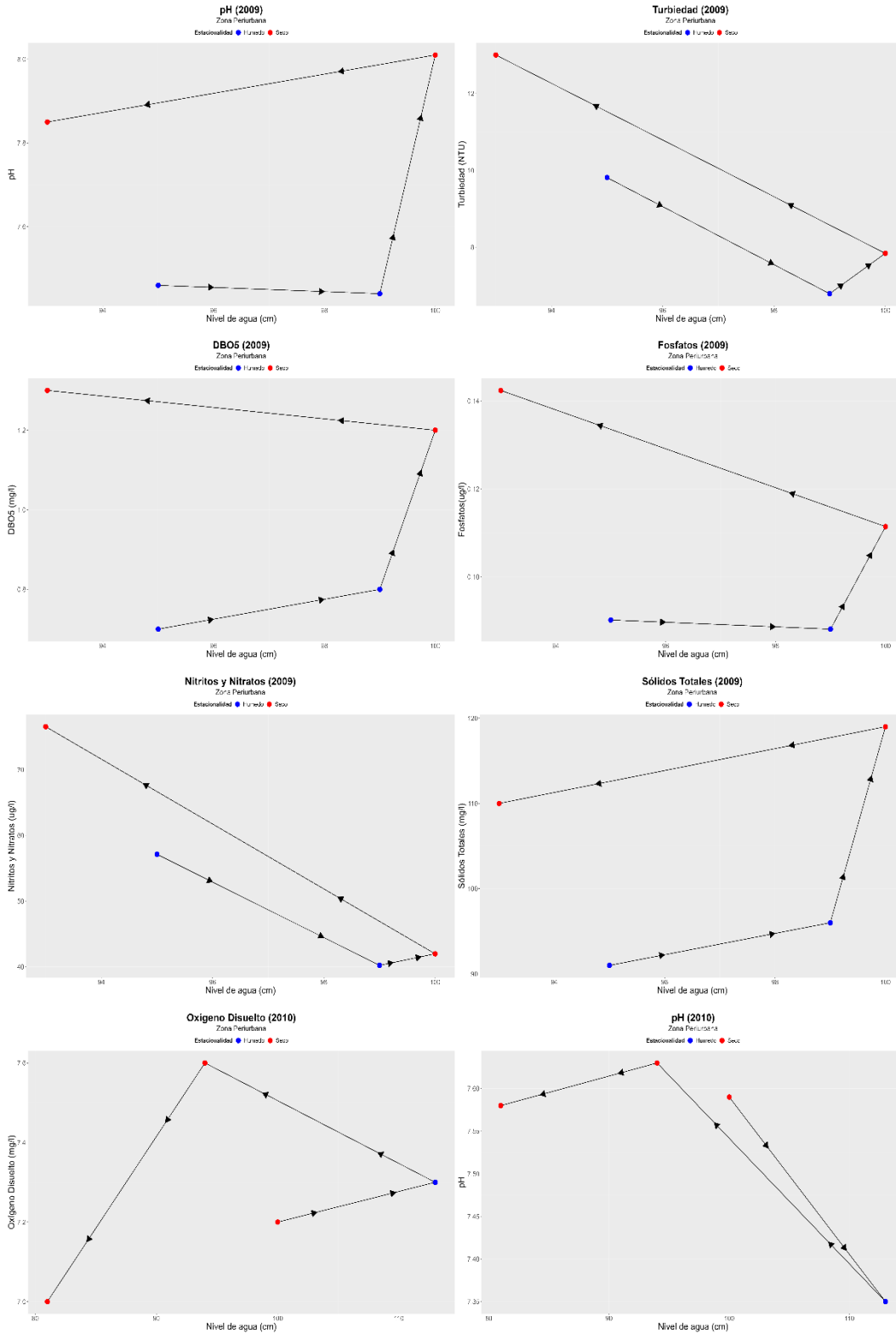


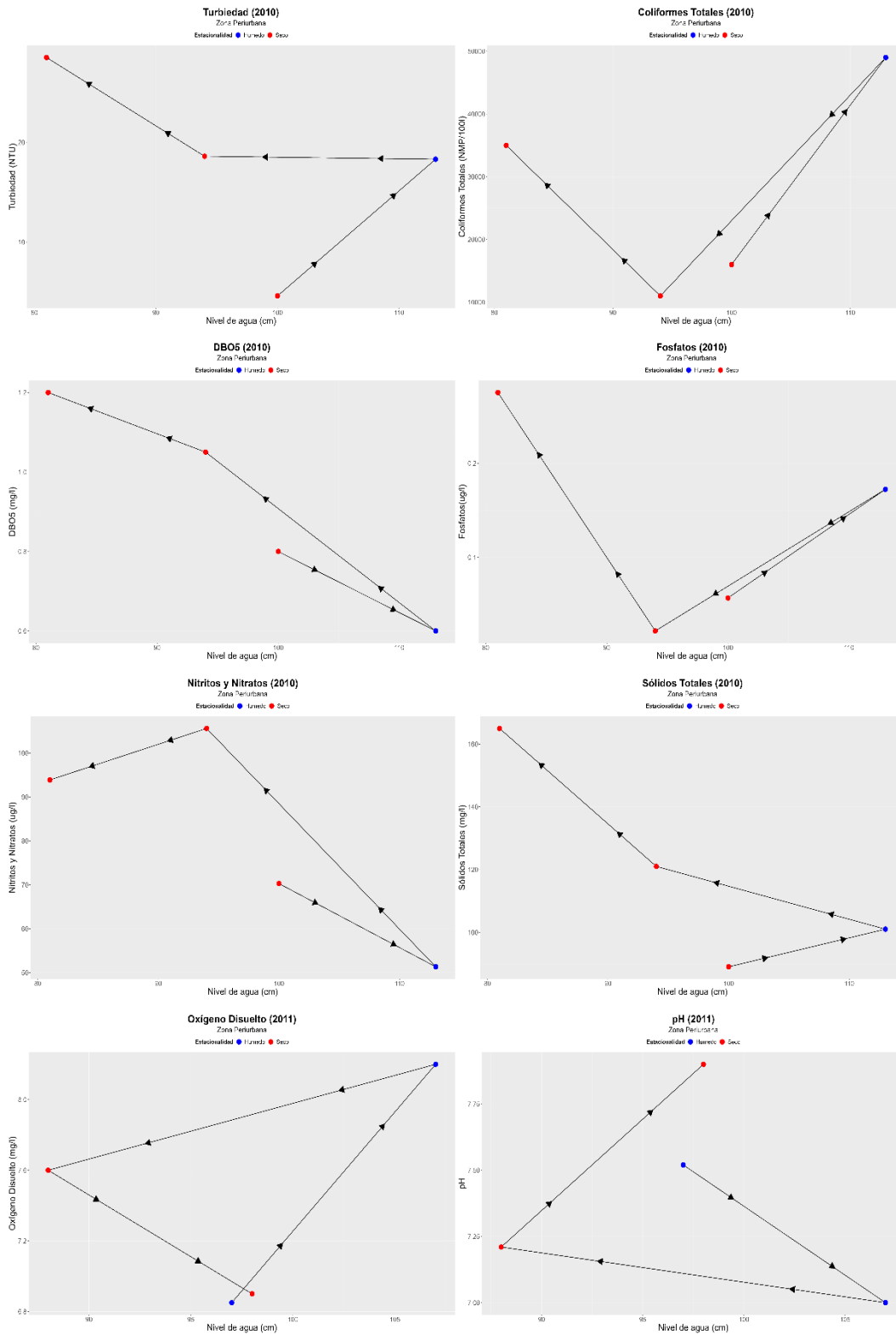
Anexo D. Gráficos Histeréticos (Zona periurbana)

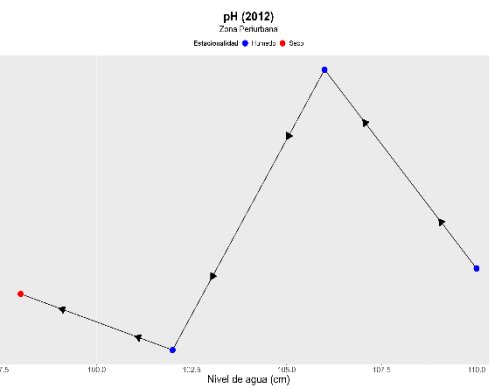
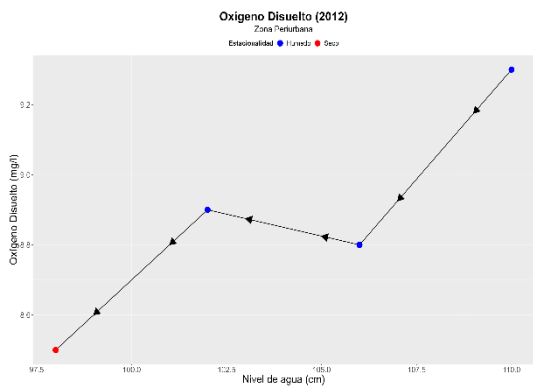
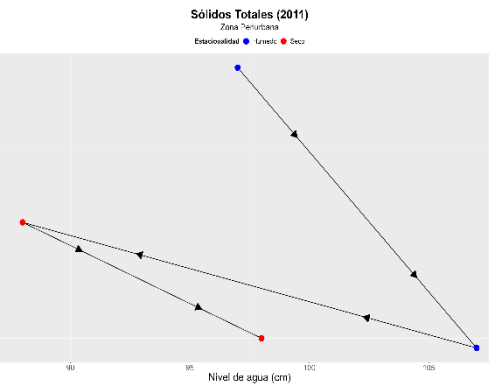
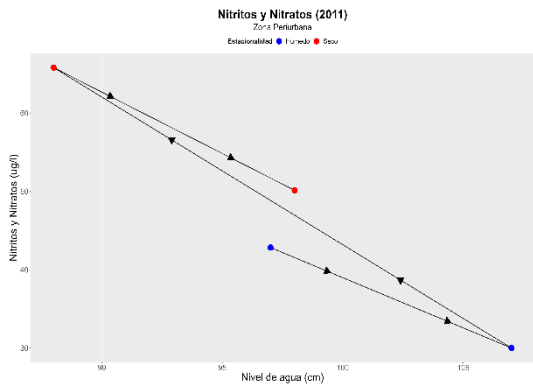
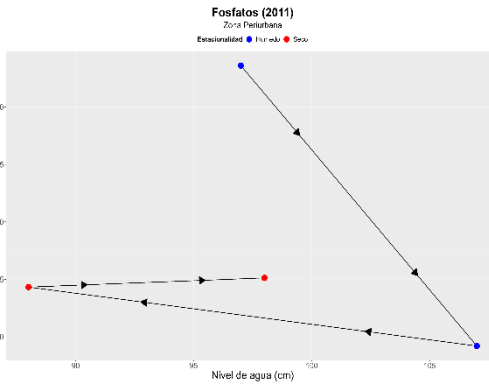
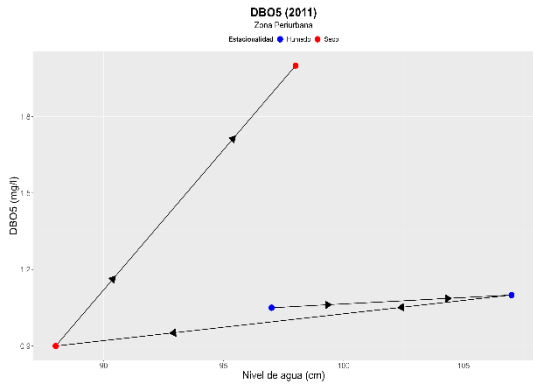
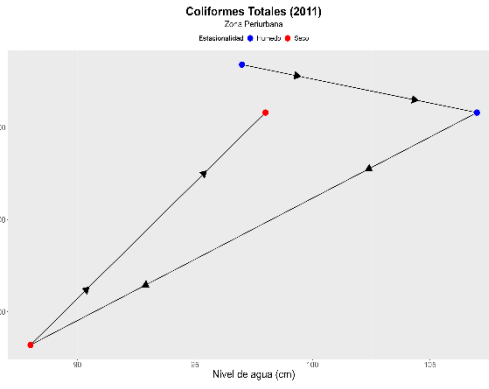
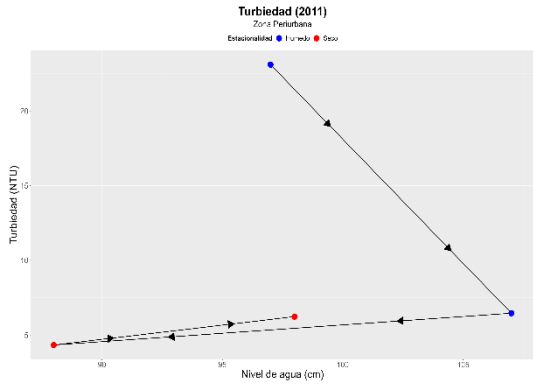


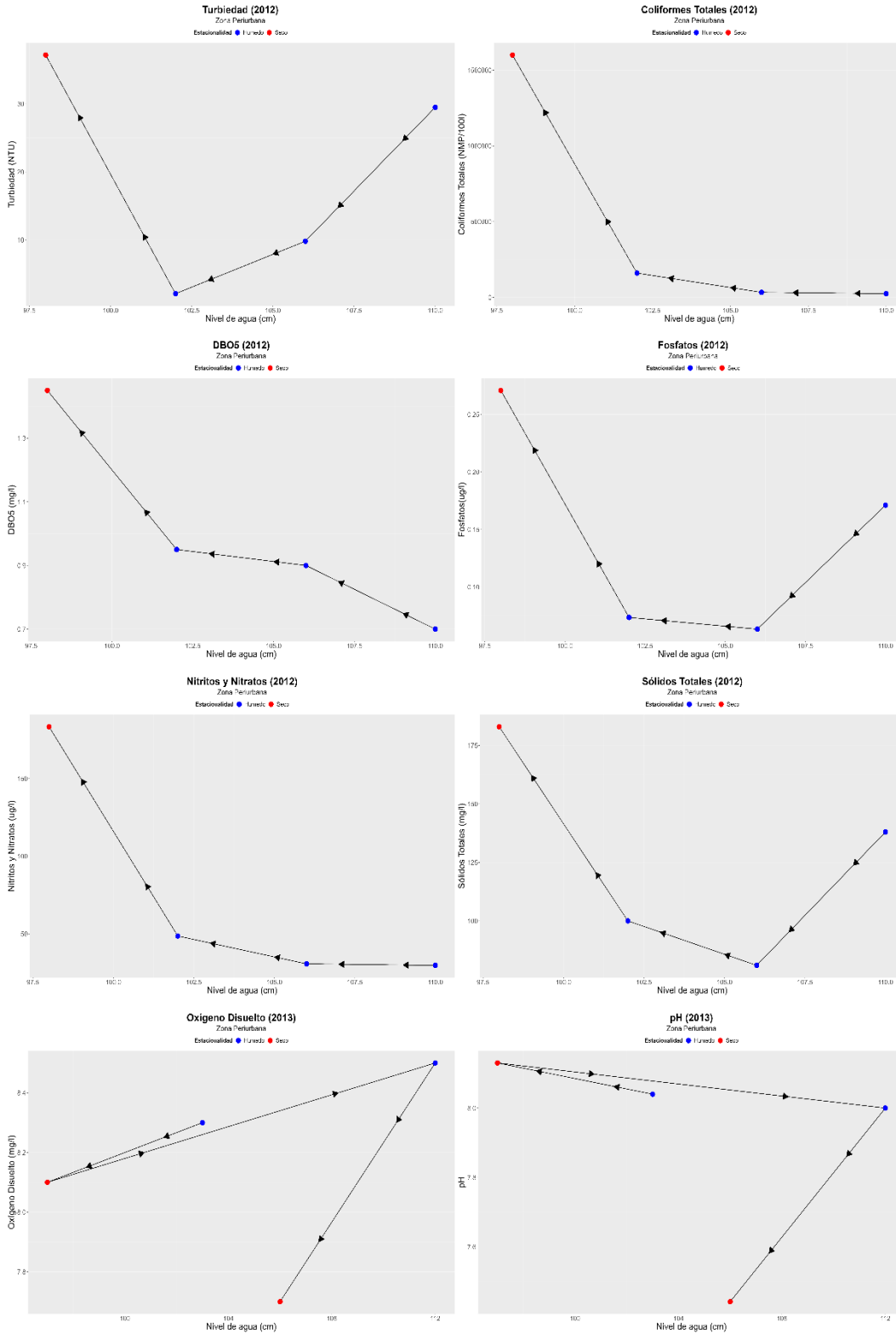


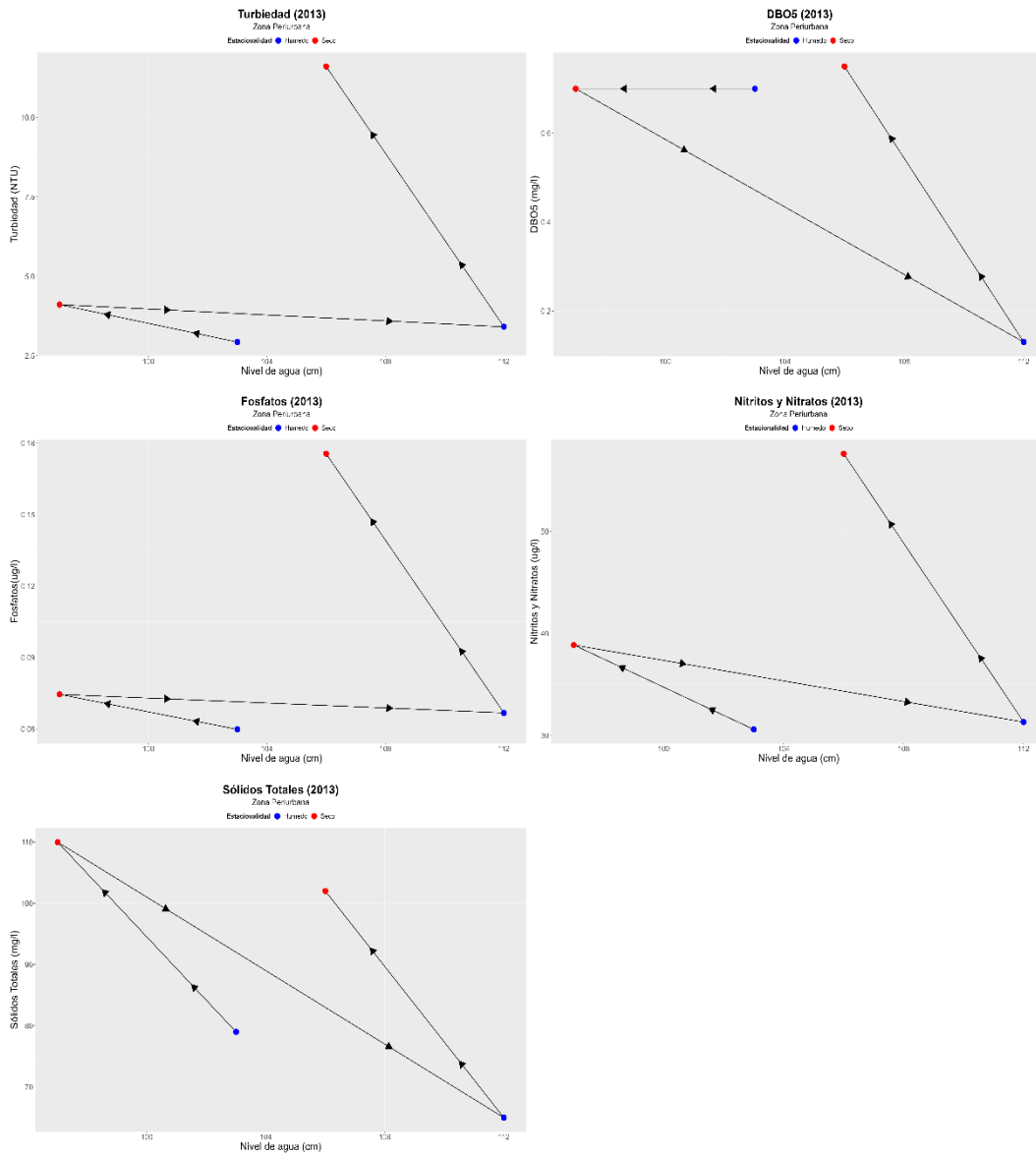












Anexo E. Gráficos Histeréticos (Zona Urbana)

