



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
ÁREA DE ESTUDIO DE POSTGRADO
FACULTAD DE INGENIERIA
MAESTRIA EN INGENIERIA AMBIENTAL



FORMULACIÓN DE RELACIONES MATEMÁTICAS ENTRE EL CLORO RESIDUAL, PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DEL AGUA DE CONSUMO PÚBLICO EN EL MUNICIPIO VALENCIA, ESTADO CARABOBO

Autor:

Ing. Ely Diaz

Tutora:

Ing. MSc. PhD. Adriana Márquez

Bárbula, Marzo de 2017



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
ÁREA DE ESTUDIO DE POSTGRADO
FACULTAD DE INGENIERIA
MAESTRIA EN INGENIERIA AMBIENTAL



FORMULACIÓN DE RELACIONES MATEMÁTICAS ENTRE EL CLORO RESIDUAL, PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DEL AGUA DE CONSUMO PÚBLICO EN EL MUNICIPIO VALENCIA, ESTADO CARABOBO

Autor:

Ing. Ely Diaz

Trabajo presentado ante el Área de Estudios de Postgrado de la Universidad de Carabobo para optar al título de Magíster en Ingeniería Ambiental

Bárbula, Marzo de 2017



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
 ÁREA DE ESTUDIO DE POSTGRADO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 MAESTRIA EN INGENIERIA AMBIENTAL



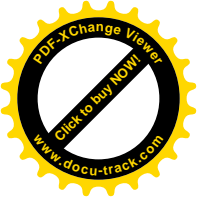
Veredicto:

Nosotros miembros del jurado designado para la evaluación del Trabajo de Grado titulado “FORMULACIÓN DE RELACIONES MATEMÁTICAS ENTRE EL CLORO RESIDUAL, PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DEL AGUA DE CONSUMO PÚBLICO EN EL MUNICIPIO VALENCIA, ESTADO CARABOBO”, presentado por: Ing. Diaz F., Ely L., para optar al Título de de Magíster en Ingeniería Ambiental, estimamos que el mismo reúne los requisitos para ser considerado como:

_____ a los _____ días del mes _____ de _____

Nombre	Apellido	C.I.	Firma
<hr/>			
<hr/>			
<hr/>			
<hr/>			

Bárbula, Marzo de 2017



DEDICATORIA

Se lo dedico a Jesucristo, mi Señor, por darme la capacidad de llegar hasta aquí, por su comprensión y amor, por enseñarme y recordarme a cada instante lo afortunado que soy al tener familia y amigos que valorar.

Dedico un espacio a mi país Venezuela, ¡cuánto te quiero de verdad! Por encima de lo que sufres hoy día: la pérdida de valores, la partida de tus hijos, el desangrado de tus recursos; creo fielmente, que todo tú ser se recuperará y serás digna, serás enorme, serás magnífica, serás la cuna de una naciente generación que vivirá, amará y cuidará tú suelo, tú cultura y tú gentilicio por centenas de años.

Por supuesto, mi mayor dedicatoria es hacia mis padres y hermano, que son mi sostén e inspiración para alcanzar cada meta trazada y con quienes comparto los momentos más hermosos de la vida.



AGRADECIMIENTOS

Ante todo agradezco a Dios omnipresente que en su infinita voluntad me dio fuerzas para continuar y culminar el proyecto ante adversidades y dificultades enfrentadas no solo en su realización, sino con los difíciles momentos sociales que atraviesa el país.

A mis padres y mi hermano por su incondicional apoyo, su inmenso amor y valiosa compañía en el transitar de la vida. Tuvieron que soportar mis madrugadas, y falta de atención al tener parte de mis pensamientos clavados en este ansiado propósito.

A la profesora Adriana Márquez por su maravillosa forma de ser y su indudable aporte metodológico y técnico en la investigación. Su contribución es simplemente admirable; más allá de guiar este trabajo, motiva e impulsa a derribar obstáculos y conseguir el máximo provecho de las acumuladas horas de esfuerzo y dedicación.

A Hidrolab Toro Consultores C.A. por brindarme su apoyo financiero, técnico y fraternal. Participes desde la concepción del tema hasta el impulso extra que necesité para proponerlo como tesis de maestría y llevarlo a cabo. Empezando por nombrar a la Gerencia, Miguel Mura padre e hijo, Olgy Figueira; y los incondicionales aportes de compañeros de trabajo, Erika Carmona, Omaira Castillo, Nilsa Montero, Adriana Soto, Abraham Barrios y compañía... Con la mayor sinceridad del mundo, agradecidos con todos y cada uno de ellos, algunos que sin saberlo pusieron su granito de arena en este proyecto, muchísimas gracias por estar allí.



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
ÁREA DE ESTUDIO DE POSTGRADO
FACULTAD DE INGENIERIA
MAESTRIA EN INGENIERIA AMBIENTAL



FORMULACIÓN DE RELACIONES MATEMÁTICAS ENTRE EL CLORO RESIDUAL, PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DEL AGUA DE CONSUMO PÚBLICO EN EL MUNICIPIO VALENCIA, ESTADO CARABOBO

Autor Ing. Ely Diaz
Tutora Ing. MSc. PhD. Adriana Márquez
Fecha Marzo 2017

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo formular relaciones matemáticas entre el cloro residual y los parámetros físico-químicos y microbiológicos del agua de consumo público en el municipio Valencia, estado Carabobo con el propósito de determinar la influencia de estos parámetros sobre el comportamiento del cloro residual en la red de distribución de agua potable. Para recolectar la información se empleó la revisión documental, una data histórica correspondiente al período 2009 - 2016 y la obtención de datos de campo con la colaboración de Hidrolab Toro Consultores C.A. Los puntos de muestreo se geo-rreferenciaron utilizando el software ArcGis 10.0 y se representaron valores promedio de las variables: cloruros, sulfatos, nitritos, nitratos, sólidos disueltos totales, pH, color, turbiedad, dureza total, aluminio, hierro, manganeso, coliformes totales, organismos heterótrofos aerobios y cloro residual. Posteriormente se utilizó una herramienta computacional estadística para determinar correlaciones de los diferentes parámetros con el cloro residual y su significación estadística. Se realizó un análisis multivariable con regresión múltiple y regresión logística. Se encontró asociación estadísticamente significativa del cloro residual con el aluminio, hierro, manganeso, color, pH, organismos heterótrofos aerobios y coliformes totales. El aluminio total explica mejor la variabilidad del cloro residual con un coeficiente de correlación de 0.8565 mientras que la regresión múltiple permite obtener un modelo que relaciona el cloro con la turbiedad, el pH, y el manganeso con un coeficiente de determinación ajustado de 81.16%

Descriptores: redes de distribución, arcgis, cloro residual, correlación, análisis multivariable.



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
ÁREA DE ESTUDIO DE POSTGRADO
FACULTAD DE INGENIERIA
MAESTRIA EN INGENIERIA AMBIENTAL



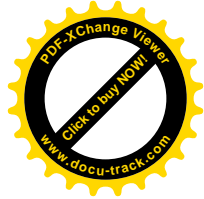
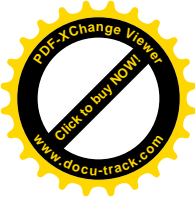
FORMULATION OF MATHEMATICAL RELATIONS BETWEEN THE CHLORINE RESIDUAL, PARAMETERS PHYSICOCHEMICAL AND MICROBIOLOGICAL OF THE WATER OF CONSUMPTION PUBLIC IN THE MUNICIPALITY VALENCIA STATE CARABOBO

Autor Ing. Ely Díaz
Tutora Ing. MSc. PhD. Adriana Marquez
Fecha Marzo 2017

ABSTRACT

The present research has as objective formulate mathematical relations between the chlorine residual and them parameters physic-chemical and microbiological of the water of consumption public in the municipality Valencia, State Carabobo with the purpose of determine the influence of these parameters on the behavior of the chlorine residual in the drinking-water distributions systems. To collect the information is employment document review, a historical data for the period 2009-2016 and obtaining field data with the collaboration of Hidrolab Toro Consultores C.A. Sampling points are geo-rreferenciaron using ArcGis 10.0 software and average values of the variables were represented: chlorides, sulphates, nitrites, nitrates, total dissolved solids, pH, color, turbidity, total hardness, aluminium, iron, manganese, total coliforms, aerobic heterotrophic organisms and chlorine residual. Subsequently is used a tool computational statistics to determine correlations of the different parameters with the chlorine residual and its significance statistics. A multivariate analysis with multiple regression and logistic regression was performed. Association statistically significant of the chlorine residual with the aluminum, iron, manganese, color, pH, organisms heterotrophic aerobic and coliforms total was be found. The aluminum total explains better the variability of the chlorine residual with a coefficient of correlation of 0.8565 while the multiple regression allows to get a model that relates the chlorine with turbidity, pH, and manganese with an adjusted determination coefficient of 81.16%.

Key words: distributions systems, arcgis, chlorine residual, correlation, analysis multivariate



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTOS	V
RESUMEN	VI
ABSTRACT	VII
ÍNDICE GENERAL	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	X
ÍNDICE DE FIGURAS	XIII
INTRODUCCIÓN	19
CAPÍTULO I	21
EL PROBLEMA	21
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	21
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	28
1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	28
1.4 JUSTIFICACIÓN	29
1.5 ALCANCE Y LIMITACIONES	30
CAPÍTULO II	32
MARCO REFERENCIAL TEÓRICO	32
2.1 ANTECEDENTES	32
2.2 BASES TEORICAS	37
2.2.1 <i>Sistemas de Abastecimiento Público</i>	37
2.2.2 <i>Utilización del Cloro como Agente de Desinfección</i>	40
2.2.3 <i>Muestreo de Aguas</i>	46
2.2.4 <i>Sistemas de Información Geográfica</i>	47
2.2.5 <i>Análisis y Modelos Estadísticos</i>	48
2.3 MARCO LEGAL	53
CAPÍTULO III	55
MARCO METODOLOGICO	55
3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN	55
3.2 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	55
3.3 ÁMBITO DEL ESTUDIO	56
3.3.1 <i>Ámbito Geográfico</i>	56
3.3.2 <i>Ámbito Temporal</i>	56
3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA	57
3.5 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	57
3.6 INSTRUMENTOS PARA EL ANÁLISIS DE LOS DATOS	58
3.7 FASES DE LA INVESTIGACIÓN	59
3.7.1 <i>Recopilación de los Datos</i>	59



3.7.2 <i>Procesamiento y Análisis de los Datos</i>	62
3.7.3 <i>Obtención de los Resultados</i>	63
CAPÍTULO IV.....	66
ANÁLISIS DE RESULTADOS	66
4.1 ELABORACIÓN DE MAPA DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE DEL MUNICIPIO VALENCIA, ESTADO CARABOBO.....	66
4.2 CARACTERIZACIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL DE LOS PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DEL AGUA DE CONSUMO PÚBLICO DEL MUNICIPIO VALENCIA.	70
4.3 ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS SOBRE LA CONCENTRACIÓN DE CLORO RESIDUAL EN EL AGUA DE CONSUMO PÚBLICO DE LA LOCALIDAD.....	111
4.3.1 <i>Análisis Bivariable</i>	111
4.3.2 <i>Análisis Multivariable</i>	145
CAPÍTULO V.....	152
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	152
5.1 CONCLUSIONES.....	152
5.2 RECOMENDACIONES	154
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	155
ANEXOS.....	159



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Modelos aplicados en el análisis de regresión del cloro residual como variable dependiente de parámetros físico-químicos y microbiológicos en el agua de consumo público del municipio Valencia.....	65
Tabla 2. Comparación de diferentes modelos de regresión entre los cloruros y el cloro residual en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016, con un nivel de confianza del 95%.	113
Tabla 3. Comparación de diferentes modelos de regresión entre los sulfatos y el cloro residual en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016, con un nivel de confianza del 95%.	115
Tabla 4. Comparación de diferentes modelos de regresión entre la dureza total y el cloro residual en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016, con un nivel de confianza del 95%.	117
Tabla 5. Comparación de diferentes modelos de regresión entre los sólidos disueltos totales y el cloro residual en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016, con un nivel de confianza del 95%.	119
Tabla 6. Comparación de diferentes modelos de regresión entre los nitritos y el cloro residual en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016, con un nivel de confianza del 95%.	120
Tabla 7. Comparación de diferentes modelos de regresión entre los nitratos y el cloro residual en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016, con un nivel de confianza del 95%.	122
Tabla 8. Comparación de diferentes modelos de regresión entre el pH y el cloro residual en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016, con un nivel de confianza del 95%.....	125
Tabla 9. Análisis de varianza del modelo de mejor ajuste entre el pH y el cloro residual en el agua de abastecimiento público del municipio	



Valencia durante el período 2009 – 2016, con n= 77 datos y nivel de confianza del 95%.	125
Tabla 10. Comparación de diferentes modelos de regresión entre el color y el cloro residual en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016, con un nivel de confianza del 95%.	127
Tabla 11. Análisis de varianza del modelo de mejor ajuste entre el color y el cloro residual en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016, con n= 38 datos y nivel de confianza del 95%.	128
Tabla 12. Comparación de diferentes modelos de regresión entre la turbiedad y el cloro residual en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016, con un nivel de confianza del 95%.	129
Tabla 13. Análisis de varianza del modelo de mejor ajuste entre la turbiedad y el cloro residual en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016, con n= 27 datos y nivel de confianza del 95%.	130
Tabla 14. Comparación de diferentes modelos de regresión entre organismos heterótrofos aerobios y el cloro residual en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016, a un nivel de confianza al 95%.	132
Tabla 15. Análisis de varianza del modelo de mejor ajuste entre organismos heterótrofos aerobios y el cloro residual en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016, con n= 149 datos y un nivel de confianza del 95%.	133
Tabla 16. Comparación de diferentes modelos de regresión entre los coliformes totales y el cloro residual en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016, con un nivel de confianza del 95%.	135
Tabla 17. Análisis de varianza del modelo de mejor ajuste entre los coliformes totales y el cloro residual en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016, con n= 150 datos y un nivel de confianza del 95%.	135
Tabla 18. Comparación de diferentes modelos de regresión entre el hierro total y el cloro residual en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016, con un nivel de confianza del 95%.	138



Tabla 19. Análisis de varianza del modelo de mejor ajuste entre el hierro total y el cloro residual en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016, con n= 56 datos y un nivel de confianza del 95%.	139
Tabla 20. Comparación de diferentes modelos de regresión entre el manganeso total y el cloro residual en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016, con un nivel de confianza del 95%.	141
Tabla 21. Análisis de varianza del modelo de mejor ajuste entre el manganeso total y el cloro residual en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016, con n= 24 datos y un nivel de confianza del 95%.....	142
Tabla 22. Comparación de diferentes modelos de regresión entre aluminio y cloro residual en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016, a un nivel de confianza al 95%.	143
Tabla 23. Análisis de varianza del modelo de mejor ajuste entre aluminio y cloro residual en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016, con n=27 datos y un nivel de confianza de 95%.	144
Tabla 24. Modelos de regresión múltiple para predecir el cloro residual en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016, con n= 27 datos y un nivel de confianza del 95%.	146
Tabla 25. Coeficientes de los modelos de regresión múltiple para predecir el cloro residual en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016, con un nivel de confianza del 95%.	147
Tabla 26. Técnicas de preservación y almacenamiento de las muestras para análisis físico-químicos y microbiológicos	160
Tabla 27. Componentes relativos a la calidad organoléptica del agua potable.....	161
Tabla 28. Componentes inorgánicos relativos a la calidad organoléptica del agua potable	162



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Evolución de la cantidad de cloro añadida al agua. (Romero, 2010)	43
Figura 2. Red de distribución de agua potable del municipio Valencia, estado Carabobo.	69
Figura 3. Concentraciones medias de cloruros en el agua de abastecimiento de la red pública del municipio Valencia, estado Carabobo en el periodo 2009-2016.	71
Figura 4. Concentración promedio anual de cloruros en el agua de abastecimiento de la red pública del municipio Valencia, estado Carabobo en el período 2009 – 2016. Las líneas a trazos de color rojo corresponden al valor máximo aceptable, igual a 300 mg/L. Las líneas a trazos de color azul corresponden al valor deseable menor que 250 mg/L. Estos valores umbrales son referenciados de la Gaceta Oficial N° 36.395 (1998).	72
Figura 5. Valores medios de sulfatos en el agua de abastecimiento de la red pública del municipio Valencia, estado Carabobo durante el período 2009 - 2016.	74
Figura 6. Valores promedio anual de sulfatos en el agua de abastecimiento de la red pública del municipio Valencia, estado Carabobo en el período 2009 – 2016. Las líneas a trazos de color rojo corresponden al valor máximo aceptable, igual a 1000 mg/L. Las líneas a trazos de color azul corresponden al valor deseable menor a 600 mg/L. Estos valores umbrales son referenciados de la Gaceta Oficial N° 36.395 (1998).	75
Figura 7. Valores medios de dureza total en el agua de abastecimiento de la red pública del municipio Valencia, estado Carabobo en el período 2009 – 2016.	76
Figura 8. Valores promedio anual de dureza total en el agua de abastecimiento de la red pública del municipio Valencia, estado Carabobo en el período 2009 – 2016. Las líneas a trazos de color rojo corresponden al valor máximo aceptable, igual a 500 mgCaCO ₃ /L. Las líneas a trazos de color azul corresponden al valor deseable menor a 250 mgCaCO ₃ /L. Estos valores umbrales son referenciados de la Gaceta Oficial N° 36.395 (1998).	77



Figura 9. Valores medios de sólidos disueltos totales en el agua de abastecimiento de la red pública del municipio Valencia, estado Carabobo en el período 2009 – 2016.	78
Figura 10. Valores promedio anual de sólidos disueltos totales en el agua de abastecimiento de la red pública del municipio Valencia, estado Carabobo en el período 2009 – 2016. Las líneas a trazos de color rojo corresponden al valor máximo aceptable, igual a 1000 mg/L. Las líneas a trazos de color azul corresponden al valor deseable menor a 600 mg/L. Estos valores umbrales son referenciados de la Gaceta Oficial N° 36.395 (1998).....	79
Figura 11. Concentraciones medias de nitritos en el agua de abastecimiento de la red pública del municipio Valencia, estado Carabobo en el período 2009 – 2016.	81
Figura 12. Valores promedio anual de nitritos en el agua de abastecimiento de la red pública del municipio Valencia, estado Carabobo en el período 2009 – 2016. Las líneas a trazos de color azul corresponden al valor máximo aceptable, igual a 0.03 mg/L. Este valor umbral viene referenciado de la Gaceta Oficial N° 36.395 (1998).	82
Figura 13. Concentraciones medias de nitratos en el agua de abastecimiento de la red pública del municipio Valencia, estado Carabobo en el período 2009 – 2016.	84
Figura 14. Valores promedio anual de nitratos en el agua de abastecimiento de la red pública del municipio Valencia, estado Carabobo en el período 2009 – 2016. Las líneas a trazos de color azul corresponden al valor máximo aceptable, igual a 45.0 mg/L. Este valor umbral viene referenciado de la Gaceta Oficial N° 36.395 (1998).	85
Figura 15. Valores medios del pH del agua de abastecimiento de la red pública del municipio Valencia, estado Carabobo en el período 2009 – 2016.....	86
Figura 16. Valores promedio anual del pH del agua de abastecimiento de la red pública del municipio Valencia, estado Carabobo en el período 2009 – 2016. Las líneas a trazos de color rojo y azul corresponden al rango aceptable, según Gaceta Oficial N° 36.395 (1998).	87
Figura 17. Valores medios del color del agua de abastecimiento de la red pública del municipio Valencia, estado Carabobo en el período 2009 – 2016.....	88



Figura 18. Valores promedio anual de color del agua de abastecimiento de la red pública del municipio Valencia, estado Carabobo en el período 2009 – 2016. Las líneas a trazos de color rojo corresponden al valor máximo aceptable, igual a 15 Unidades Pt. Co. Las líneas a trazos de color azul corresponden al valor deseable menor que 5 Und. Pt. Co. Estos valores umbrales son referenciados de la Gaceta Oficial N° 36.395 (1998).	90
Figura 19. Valores medios de la turbiedad del agua de abastecimiento de la red pública del municipio Valencia, estado Carabobo en el período 2009 – 2016.....	91
Figura 20. Valores promedio anual de la turbiedad del agua de abastecimiento de la red pública del municipio Valencia, estado Carabobo en el período 2009 – 2016. Las líneas a trazos de color rojo corresponden al valor máximo aceptable, igual a 5 NTU. Las líneas a trazos de color azul corresponden al valor deseable menor a 1 NTU. Estos valores umbrales son referenciados de la Gaceta Oficial N° 36.395 (1998).	93
Figura 21. Valores medios de organismos heterótrofos aerobios en el agua de abastecimiento de la red pública del municipio Valencia, estado Carabobo en el período 2009 – 2016.	94
Figura 22. Concentración promedio anual de organismos heterótrofos aerobios en el agua de abastecimiento de la red pública del municipio Valencia, estado Carabobo en el período 2009 – 2016. Las líneas a trazos de color azul corresponden al valor máximo aceptable 100 UFC/mL establecido en la Gaceta Oficial N° 36.395 (1998).....	95
Figura 23. Valores medios de coliformes totales en el agua de abastecimiento de la red pública del municipio Valencia, estado Carabobo en el período 2009 – 2016.	97
Figura 24. Valores promedio anual de coliformes totales en el agua de abastecimiento de la red pública del municipio Valencia, estado Carabobo en el período 2009 – 2016. Las líneas a trazos de color negro corresponden al valor máximo aceptable, menor a 2.2 NMP/100mL. Este valor umbral esta referenciado de la Gaceta Oficial N° 36.395 (1998).	98
Figura 25. Valores medios de hierro total en el agua de abastecimiento de la red pública del municipio Valencia, estado Carabobo en el período 2009 – 2016.....	100
Figura 26. Valores promedio anual de hierro total en el agua de abastecimiento de la red pública del municipio Valencia, estado	



Carabobo en el período 2009 – 2016. Las líneas a trazos de color rojo corresponden al valor máximo aceptable, igual a 0.30 mg/L. Las líneas a trazos de color azul corresponden al valor deseable menor a 0.10mg/L. Estos valores umbrales son referenciados de la Gaceta Oficial N° 36.395 (1998).	101
Figura 27. Valores medios de manganeso total en el agua de abastecimiento de la red pública del municipio Valencia, estado Carabobo en el período 2009 – 2016.	102
Figura 28. Valores promedio anual de manganeso total en el agua de abastecimiento de la red pública del municipio Valencia, estado Carabobo en el periodo 2009 – 2016. Las líneas a trazos de color rojo corresponden al valor máximo aceptable, igual a 0.50 mg/L. Las líneas a trazos de color azul corresponden al valor deseable menor a 0.10mg/L. Estos valores umbrales son referenciados de la Gaceta Oficial N° 36.395 (1998).	103
Figura 29. Concentración media de aluminio en el agua de abastecimiento de la red pública del municipio Valencia, estado Carabobo en el período 2009 – 2016.	105
Figura 30. Concentración promedio anual de aluminio en el agua de abastecimiento de la red pública del municipio Valencia, estado Carabobo en el período 2009 – 2016. Las líneas a trazos de color rojo corresponden al valor máximo aceptable, igual a 0.20 mg/L. Las líneas a trazos de color azul corresponden al valor deseable menor que 0.10 mg/L. Estos valores umbrales son referenciados de la Gaceta Oficial N° 36.395 (1998).	107
Figura 31. Valores medios de cloro residual del agua de abastecimiento de la red pública del municipio Valencia, estado Carabobo en el período 2009 – 2016.	108
Figura 32. Valores promedio anual de cloro residual del agua de abastecimiento de la red pública del municipio Valencia, estado Carabobo en el período 2009 – 2016. Las líneas a trazos de color rojo corresponden al valor máximo recomendado, igual a 0.60 mg/L. Las líneas a trazos de color azul corresponden al valor mínimo recomendado, igual a 0.30 mg/L. Estos valores umbrales son referenciados de la Gaceta Oficial N° 36.395 (1998).	110
Figura 33. Concentración de cloro residual en función a la concentración de cloruros en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016.	112



Figura 34. Concentración de cloro residual en función a la concentración de sulfatos en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016.....	114
Figura 35. Concentración de cloro residual en relación a la dureza del agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016.....	116
Figura 36. Concentración de cloro residual en función a los sólidos disueltos totales en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016.	118
Figura 37. Concentración de cloro residual en relación a la concentración de nitritos en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016.....	120
Figura 38. Concentración de cloro residual en relación a la concentración de nitratos en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016.....	121
Figura 39. Concentración de cloro residual en función al pH del agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016.....	124
Figura 40. Concentración de cloro residual en relación al color del agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016.....	126
Figura 41. Concentración de cloro residual en función a la turbiedad del agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016.....	129
Figura 42. Concentración de cloro residual en función a la presencia de organismos heterótrofos aerobios en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016.....	131
Figura 43. Concentración de cloro residual en relación a los coliformes totales en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016.....	134
Figura 44. Concentración de cloro residual en relación a la concentración de hierro en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016.....	137
Figura 45. Concentración de cloro residual en relación a la concentración de manganeso en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016.	140



Figura 46. Concentración de cloro residual en función a la concentración de aluminio en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016.....	143
Figura 47. Modelo de regresión logística para el cloro residual del agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016.....	148



INTRODUCCIÓN

Desde hace varios años los valencianos viven con una creciente angustia e inconformidad por el servicio de agua suministrada por la red de abastecimiento público debido a los rigurosos planes de racionamiento ejecutados por la Hidrológica del Centro C.A. y por la calidad del agua que consumen. De acuerdo a Bastidas (2014) el agua en Carabobo presenta en muchos casos un aspecto desagradable, color apreciable y olor perceptible.

Según Bastidas (2014), el Sistema Regional del Centro ha sido afectado desde su fuente por la contaminación del embalse Pao Cachinche, el cual surte del recurso hídrico a la planta potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga, donde una vez tratado se distribuye para ser utilizado por más de novecientos mil valencianos. El uso del cloro en el tratamiento genera controversias porque su rendimiento como agente oxidante está marcado a la carga de contaminantes en el agua y su capacidad como agente desinfectante a un conjunto de variables físico-químicas influyentes en el proceso.

El cloro residual es el principal responsable de desinfectar el agua de consumo y evitar rebrotes de microorganismos en la red de distribución. El presente trabajo tiene como finalidad estudiar el comportamiento de las variables físico-químicas y microbiológicas, para conocer cuales se asocian y describen la variabilidad de la concentración de cloro residual en la red de abastecimiento público.

El trabajo está estructurado en cinco capítulos como se detalla a continuación:



El Capítulo I, contiene el planteamiento del problema, la formulación del mismo, el objetivo general y los específicos, la justificación, el alcance y limitaciones del estudio

El Capítulo II, comprende los antecedentes de la investigación, las bases teóricas y las bases legales que lo sustentan.

El Capítulo III, corresponde al marco metodológico, conformado por el tipo y diseño de la investigación, la población y muestra, las técnicas de recolección, análisis e interpretación de datos.

El Capítulo IV, donde se muestran los resultados y su correspondiente análisis.

El Capítulo V, donde se exponen las conclusiones y recomendaciones. Por último se presenta la bibliografía consultada seguida de los respectivos anexos.



CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

En esta sección se dará a conocer el problema en estudio, describiendo la situación actual y especificando la situación deseada, para definir el objetivo general y los objetivos específicos de la investigación. Además se exponen las razones que justifican la investigación, el alcance y las limitaciones de la misma.

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Las aguas superficiales y subterráneas que son fuentes de abastecimiento para los seres vivos representan un recurso natural renovable pero relativamente escaso o muy escaso en muchos países. Según el Instituto Geológico y Minero de los estados Unidos (2014), el agua dulce accesible para el hombre representa únicamente el 0,007% del total del Planeta Tierra, unos 93.000 kilómetros cúbicos de agua.

Con el acelerado crecimiento de la población mundial se incrementa la demanda y consumo de los alimentos, del agua y de otros recursos naturales. Un reporte emitido por el Programa Conjunto de Monitoreo de la OMS/UNICEF, PCM (2015), señala que se ha alcanzado la cifra de 7.300 millones de habitantes en el mundo; del cual solo el 91% de la población total tiene acceso al agua potable, a pesar de ser un recurso indispensable e irremplazable para la vida.



También repercute sobre la disponibilidad de agua: los efectos de la deforestación y el cambio climático, la contaminación y deterioro de la calidad del agua, la expansión urbana, la deficiente administración de los recursos y las grandes asimetrías sociales y económicas según informe de la Fundación AVINA (2014).

Dentro de estas observaciones, la contaminación de los cuerpos de aguas superficiales y acuíferos aprovechables exhibe magnitudes alarmantes. Afirma Guevara (2016), que los ríos y lagos se han contaminado en mayor o menor medida; siendo los mayores focos de contaminación los vertimientos descontrolados de aguas residuales sin tratar de origen doméstico e industrial. Igualmente interviene la agricultura por irrigación; la cual es responsable del consumo de aproximadamente el 70% del agua a nivel mundial, además de generar descargas de plaguicidas tóxicos y fertilizantes a los ríos y lagos por prácticas inadecuadas. Todo esto produce el grave problema de la eutrofización ya que introduce altas cargas de nitrógeno y fósforo en los cuerpos de agua dulce; ocasionando un crecimiento desmedido de las plantas acuáticas, la disminución del oxígeno disuelto, la muerte de especies y putrefacción.

En México, un estudio de la calidad de los cuerpos de agua superficiales dirigido por la Comisión Nacional del Agua, Conagua, en el 2013; revela que el 31,7% de los sitios monitoreados en el país presentan un grado de contaminación elevado, de acuerdo al indicador DQO (Demanda Química de Oxígeno). Estas aguas están seriamente afectadas y requieren complejos y costosos tratamientos para ser depuradas.



En esencia, el hombre necesita para su desarrollo agua con el fin de satisfacer una serie de necesidades vitales. Estas necesidades se plantean con un doble aspecto funcional: Cantidad y Calidad, ya que no solo es importante el suministro de agua apta para consumo, sino que es necesario un aporte de agua en cantidad suficiente que asegure el abastecimiento total de la población. La cantidad de agua requerida por el ser humano es muy variable entre unas comunidades y otras; dependiendo de diversos factores tales como el clima, el desarrollo económico y social, entre otros.

Las Plantas de Tratamiento de Agua Potable, conocidas también como Plantas Potabilizadoras constan de una serie de etapas que pueden variar entre un diseño y otro; dependiendo de la calidad de la fuente de agua; e involucran la dosificación de químicos, entre los que se destacan: el sulfato de aluminio, el carbón activado y el cloro. Las operaciones básicas son: la sedimentación, la coagulación, la floculación, la decantación, la filtración y la desinfección.

En la República Bolivariana de Venezuela, el 24 de mayo de 1990 se constituyó Hidroven, como Casa Matriz del Sector Agua Potable y Saneamiento, una vez liquidado el Instituto Nacional de Obras Sanitarias (INOS). Funciona en conjunto con diez empresas Hidrológicas Regionales. Según cifras del INE, en 2007 el acceso a servicios de agua potable estaba sobre 92%; representando el 94% de la población urbana y el 79% de la población rural.

Actualmente en el país, existe un problema ambiental localizado en la red hidrológica de la Cuenca del Río Pao; la cual está ubicada entre los estados Carabobo y Cojedes, debido al vertido de los efluentes de las Plantas de



Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) “Los Guayos” y “La Mariposa”, el desvío del río Cabriales, las descargas no controladas y sin tratamiento procedentes de actividades agropecuarias e industriales, y el trasvase del Lago de Valencia. Posteriormente, las aguas del río Pao vierten en el Embalse Pao Cachinche; el cual es la principal fuente de abastecimiento de agua potable de la Región Central del país. Según la información oficial del MINEA (2016), tiene una capacidad de 157,71 Hm³ y se encuentra en su nivel óptimo.

La administración de este embalse recae en la empresa estatal Hidrológica del Centro, Hidrocentro, responsable del suministro de agua potable y recolección de aguas servidas para las poblaciones de los estados Aragua, Carabobo y Cojedes. El Sistema Regional del Centro Etapa I tiene como componentes el embalse Pao Cachinche, el embalse Guataparo, la Planta Potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga, esta última fundamenta su operación en un Proceso Convencional y Degremont; incluyendo cinco estaciones de bombeo, seis tanques de almacenamiento y aducciones con diámetros que van desde 24” hasta 54” con 114,2 km de longitud.

Debido al alto nivel de contaminación y eutrofización del embalse, las aguas no se consideran idóneas para surtir directamente a la Planta Potabilizadora, por lo cual se ha requerido y demandado adicionar procesos no convencionales al tratamiento tales como: la adición de carbón activado en polvo desde la fuente, la aireación y la precloración. En general, se han incrementado las dosis aplicadas de los productos químicos: principalmente el sulfato de aluminio y el cloro.



El cloro es utilizado como oxidante en la etapa de precloración, y luego a la salida de la Planta Potabilizadora como agente desinfectante, protegiendo la red de distribución gracias a su efecto residual. Sin embargo, la concentración de cloro decae conforme el agua avanza por la red y en muchos puntos de esta, la concentración puede ser insuficiente, lo cual podría implicar un riesgo para la salud de los consumidores. De esta manera, el control de la calidad del agua para uso y consumo humano tiene como objetivo principal combatir los microorganismos patógenos causantes de enfermedades de transmisión hídrica, siendo hoy en día, un reto lidiar con el riesgo químico derivado del uso de los desinfectantes.

Generalmente se incorporan otros puntos de dosificación de cloro en el sistema de abastecimiento, que son ubicados en: los depósitos o tanques de almacenamiento, las estaciones de bombeo o puntos lejanos de la red de distribución. A pesar de ello, el decaimiento de la concentración del desinfectante también ocurre cuando el suministro no es continuo, ya que el sistema puede estar sobrediseñado, lo cual implica que no siempre la concentración más baja se encuentra en los puntos más lejanos de las fuentes de abastecimiento (Conagua, 2013). Este problema también se presenta en tanques de almacenamiento, donde, un tiempo de residencia alto puede combinarse con un mantenimiento inadecuado del tanque, que resulta en un crecimiento microbiano (Biocapa) en la red de distribución.

Las compañías Hidrológicas procuran mantener los niveles del desinfectante por encima de los mínimos establecidos o recomendados, sin embargo, el exceso de cloro en la red incrementa el riesgo químico debido a que reacciona con la materia orgánica presente en el agua o biofilm y forma los compuestos indeseables, conocidos como los subproductos de la



desinfección; incluyendo los compuestos orgánicos clorados o fenolicos denominados los trihalometanos (THMs), (Leal, 1999). Según Conagua (2013) los THMs al ser ingeridos, pueden provocar enfermedades hepáticas y desarrollo de cáncer.

El agua que fluye a través de la red de distribución se puede contaminar en su recorrido. Esto puede ser en la extracción, durante un proceso deficiente de potabilización, en tanques de almacenamiento o en tomas clandestinas. Existe la posibilidad de que sustancias o partículas contaminantes ingresen de manera accidental a la red, por ejemplo cuando se suspende el servicio, existe el riesgo de que se infiltre agua contaminada del subsuelo o el alcantarillado. El sedimento y la materia orgánica, que el proceso de potabilización no logra eliminar, tienden a adherirse en las paredes de la tubería o a precipitarse en zonas de baja velocidad, produciendo coloración indeseable del agua, mal olor y proliferación de bacterias.

En la Región Central, Hidrocentro ha implementado un plan especial de abastecimiento para proteger la calidad del agua a través de racionamiento, por tanto, las comunidades reciben el servicio de forma intermitente, y pocos días a la semana.

El agua potable suministrada al municipio Valencia proviene del Sistema Regional del Centro I. Los valencianos han sido claramente afectados por los planes de racionamiento. Las pocas horas semanales de suministro del servicio, perturba el desarrollo normal de las actividades de los habitantes y transeúntes, quienes requiriendo del vital líquido recurren a almacenar agua en los tanques residenciales y privados. La cantidad de agua que logran recoger las personas durante el servicio no es suficiente, y existe una



enorme preocupación ya que cuando la reciben no presenta las características más idóneas para su uso; algunas veces un olor desagradable, un aspecto, color o turbidez variable. Incluso, en ocasiones las personas han declarado sufrir de irritaciones en la piel y ojos durante las duchas, y desconfían de destinar el agua para el lavado de los alimentos, la cocina y la ingesta directa.

En este sentido, se requieren medidas de control en las parroquias del municipio empezando por realizar programas de muestreos y análisis del agua periódicamente. La Resolución SG-018-98 “Normas Sanitaria de Calidad del Agua Potable” publicadas en la Gaceta Oficial N° 36.395, en su artículo 16 indica: “el agua que se suministre como potable deberá someterse a mediciones sistemáticas para la evaluación de parámetros microbiológicos, organolépticos, físicos, químicos y radioactivos en muestras representativas del sistema de abastecimiento con la frecuencia que establecen estas Normas”. Así mismo, el artículo 17 señala que una población de 5.000 a 100.000 se debe tomar una muestra mensual por cada 5.000 personas para análisis de parámetros bacteriológicos.

Por medio de los resultados de los análisis y aplicando métodos estadísticos, se puede predecir el decaimiento del cloro en la red de abastecimiento, o detectar un riesgo químico o biológico. Sobre la base de las ideas expuestas y con el objeto de conocer si existe un riesgo para la población, se plantea estudiar la influencia de los parámetros físico-químicos y microbiológicos sobre el cloro residual en el agua de consumo público del municipio Valencia, y conocer el grado de significancia de cada variable en la red de abastecimiento. Surge entonces, las siguientes interrogantes a las inquietudes planteadas:



1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuáles son las características del agua de consumo público en el municipio Valencia, estado Carabobo?

¿Qué parámetros físico-químicos y microbiológicos influyen en la concentración del cloro residual en el agua de consumo público de la localidad?

¿De qué forma se relacionan niveles de cloración deficiente con contaminación microbiológica en las aguas de consumo público?

¿Cómo afecta la presencia de materia orgánica, producto de tratamiento deficiente o provocado por focos de contaminación en la red de distribución?

¿Cómo se relacionan matemáticamente los diferentes parámetros físico-químicos con la concentración de cloro residual?

1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Objetivo General

Formular relaciones matemáticas entre el cloro residual y los parámetros físico-químicos y microbiológicos del agua de consumo público en el municipio Valencia, estado Carabobo.

Objetivos Específicos

1. Elaborar mapa de la red de distribución de agua potable del municipio Valencia.



2. Realizar una caracterización espacial y temporal de los parámetros físico-químicos y microbiológicos del agua de consumo público del municipio Valencia.

3. Analizar la influencia de los parámetros físico-químicos y microbiológicos sobre la concentración de cloro residual en el agua de consumo público de la localidad.

1.4 JUSTIFICACIÓN

La investigación permitió conocer las variables que influyen en la concentración de cloro residual en el agua de abastecimiento público, así como estudiar el comportamiento de cada una ellas en la red de distribución de las diferentes parroquias que conforman el municipio Valencia.

Los resultados de la investigación podrán servir de apoyo a entes gubernamentales y ONGs, preocupados por la calidad del servicio e involucradas con la preservación del medio ambiente, proporcionando una data de campo y resultados de laboratorio para la evaluación de la calidad del agua en las parroquias del municipio. En este sentido, se levanta una información que permite tomar acciones para mejorar los niveles de aceptación de la red de abastecimiento público y ejecutar planes de mantenimiento, modernización o rehabilitación de la red.

El estudio también tiene una trascendencia social, ya que responde en gran medida a la preocupación de los habitantes del municipio Valencia acerca de la calidad de las aguas suministradas por el acueducto público.



Además, pretende que otros profesionales del área ambiental, cuenten con una metodología para evaluar la calidad del agua en otras poblaciones a partir de parámetros específicos, y la relación que guardan con los niveles de concentración de cloro residual.

Por último, este trabajo se encuadra en la línea de investigación de transporte y transformación de contaminantes del Centro de Investigaciones Hidrológicas y Ambientales de la Universidad de Carabobo (CIHAM-UC), aportando datos para ayudar y estimular el desarrollo de futuros estudios similares o relacionados, compilando la información necesaria para evaluaciones referentes al suministro de agua potable, detectar problemas y sugerir medidas correctoras para salvaguardar la salud de la población, previéndola de infecciones o enfermedades que puedan ser transmitidas o adquiridas por uso y consumo del agua por prolongados períodos de tiempo.

1.5 ALCANCE Y LIMITACIONES

Los parámetros físico-químicos y microbiológicos del agua de consumo público del municipio Valencia se obtuvieron de la base de datos registrada desde 2009 hasta 2016 en el laboratorio ambiental Hidrolab Toro Consultores, C.A., el cual está certificado por el Ministerio del Poder Popular para Ecosocialismo y Aguas y por el Ministerio del Poder Popular para la Salud a través de Insalud en Carabobo.

La cantidad de datos por empresas, que solicitaron y ejecutaron el servicio de captación y análisis de muestras de agua del acueducto regional del Centro, limita el estudio a las parroquias donde se ubican estas empresas,



por lo cual no se recopilaron datos en la parroquia Santa Rosa y en la parroquia no urbana Negro Primero.

Los datos requeridos para la elaboración del mapa de la red de acueducto se limitan a los proporcionados por Hidrocentro C.A. y el Centro de Investigaciones Hidrológicas y Ambientales de la Universidad de Carabobo (CIHAM-UC).



CAPÍTULO II

MARCO REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo contempla los antecedentes a la investigación incluyendo sus principales hallazgos, similitudes y diferencias; y la revisión bibliográfica.

2.1 ANTECEDENTES

En esta sección se presenta un resumen de los trabajos especiales de grado, investigaciones y proyectos con fines semejantes a los perseguidos en esta investigación, de manera que puedan servir de sustento a la misma.

Martínez y Núñez en el año 2013 presentaron su trabajo titulado **Efectos de la implementación de un sistema de información geográfica para la planificación de la prestación de los servicios de drenaje, agua potable y saneamiento en el municipio Valencia parroquia San José, estado Carabobo**. Este trabajo fue presentado en la Universidad de Carabobo, para optar al grado de Ingeniero Civil.

Esta investigación realizó un análisis de la implementación de la tecnología SIG en el municipio Valencia específicamente en la parroquia San José, con el propósito de evaluar y observar los efectos que causa esta tecnología en el plano base y proponer posibles soluciones a áreas que no cuentan con un buen plan de prestación de servicios y saneamiento.



Tiene como logros resaltantes, la construcción de un mapa base topográfico que facilita la visualización de las diferentes comunidades que conforman la parroquia San José, y la ubicación georeferencial de los diversos componentes que comprenden el plano tales como líneas de abastecimiento de agua potable, drenajes, colectores, entre otros.

Sirve como apoyo a la presente investigación ya que describe parte del procesamiento de datos geográficos en el programa ArcGis, y a su vez facilita la localización de la red de distribución de agua potable en la parroquia San José del municipio Valencia, estado Carabobo. No obstante, los trabajos difieren en sus objetivos debido a que esta tesis recopila datos para generar mapas y planificar la prestación de servicios mientras que el presente estudio recopila datos geográficos que contienen información acerca de las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua de la red de distribución de todo el municipio Valencia.

Mendoza y Trujillo en el año 2013 se dedicaron a **Evaluar la implementación de un sistema de información geográfica para la planificación de la prestación de los servicios de drenaje, agua potable, y saneamiento en las parroquias Candelaria, El Socorro, Catedral y San Blas del municipio Valencia, estado Carabobo.** Este trabajo fue presentado en la Universidad de Carabobo, para optar al grado de Ingeniero Civil.

Esta investigación realiza un análisis de la aplicación de la tecnología SIG en el municipio Valencia específicamente en la parroquia Catedral, El Socorro, Candelaria y San Blas, con el propósito de mejorar la planificación y dotación



de servicios, que son imprescindibles en el desarrollo de toda sociedad moderna.

Los logros más resaltantes de este estudio fueron la construcción de un mapa comunidades, de parcelas y un mapa de vialidades, además de la digitalización de las tuberías de las redes de distribución de agua potable, recolección de aguas servidas y drenajes de aguas de lluvia.

Representa un soporte para la presente investigación ya que describe parte del procesamiento de datos geográficos en el programa ArcGis, y a su vez facilita la localización de la red de distribución de agua potable en las parroquias del Casco Central de Valencia, estado Carabobo. No obstante, los trabajos difieren en sus objetivos debido a que esta tesis recopila datos para generar mapas y planificar la prestación de servicios mientras que el presente estudio recopila datos geográficos que contienen información acerca de las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua de la red de distribución de todo el municipio Valencia.

Machuca en el año 2013 presentó un estudio de **Simulación del transporte, decaimiento o crecimiento de sustancias presentes en redes de distribución de agua potable debido a reacciones internas**. El trabajo fue llevado a cabo en la Universidad Técnica Particular de Loja, Loja, Ecuador; para optar por el título de Ingeniero Civil.

Este trabajo determina mediante simulación con el Software Epanet la calidad de agua que circula a través de la red de distribución de agua potable de la ciudadela Yaguarcuna de la Provincia de Loja.



Tiene como logros, corroborar a través de la simulación que en la red de distribución de la ciudadela no existen problemas de sobrepresión y constatar que no se puede diseñar las redes y los depósitos tomando en cuenta como único criterio el máximo consumo diario porque se pueden presentar serios inconvenientes desde el punto de vista de calidad. Entre otros resultados se destaca que el cloro dura aproximadamente 6 horas en la red de distribución de la ciudadela Yaguarcuna.

Este ensayo es de gran apoyo a la investigación ya que describe una metodología de trabajo para evaluar las concentraciones de cloro como agente desinfectante en una red y las sustancias químicas que intervienen en el decaimiento de éste.

Santos en el año 2012 realizó la **Modelación de solutos en redes de distribución de agua potable**. Este trabajo fue presentado en la Universidad Autónoma de México, para optar al grado de Magister en Ingeniería Civil - Hidráulica.

Esta tesis evaluó diferentes modelos de calidad del agua para calcular el decaimiento del cloro en redes de distribución. Describe la distribución del flujo en una red de agua a través de los postulados de conservación de la masa y la energía, los fundamentos hidráulicos y esquemas estocásticos o determinísticos. Expone la modelación de la calidad de agua tanto en estado permanente o equilibrio, como en estado dinámico o variable.

Entre los resultados más destacados de este estudio, se encuentra la aplicación de un modelo advectivo- reactivo utilizando el programa EPANET



2.0, el cual es adecuado para representar la calidad del agua en tuberías con regímenes de flujo laminar o tiempos de residencia altos. Los efectos de no considerar la difusión molecular y la dispersión radial en el modelo propuesto resultaron poco significativos.

La contribución a la investigación es que describe cuales y como los diferentes parámetros pueden intervenir en el decaimiento de la concentración de cloro residual en una red de distribución. Sin embargo, los trabajos difieren bastante en que esta tesis utiliza datos de otras investigaciones para realizar las simulaciones de los diferentes modelos, mientras que el presente estudio recurre a datos de campo para hallar una influencia directa de los factores que intervienen en la cloración.

Álvarez en el año 2010 presento el trabajo titulado **Sistemas de Abastecimiento de Aguas en Núcleos Rurales. Variables que influyen en la cloración**. Esta tesis doctoral se publico en el Departamento de Medicina Preventiva y Salud Pública de la Universidad de Granada, España.

El objetivo de esta investigación fue caracterizar el agua de consumo público en Alpujarra Granadina. Posteriormente identificar los parámetros físico-químicos que influyen y en qué medida lo hacen sobre la concentración de cloro residual para valorar los aspectos que se asocian con niveles de cloración deficientes y con la contaminación microbiológica en el agua de consumo humano.

Entre los hallazgos, se destaca una asociación estadísticamente significativa del CRL (Cloro Residual Libre) con el pH y la turbidez. La correlación fue



positiva para valores de pH inferiores a 6,5 y para turbidez superior a 5 NTU. Además, confirmo y demostró que la presencia de CRL en el agua de consumo, se asocia claramente, con la ausencia de contaminación microbiológica en la misma. El estudio reveló que el 47% de las muestras evaluadas presentan niveles de cloración dentro de los límites de la legislación española, y tan solo el 2,8% de las zonas de abastecimiento presentan concentraciones óptimas de cloro libre.

Este trabajo guarda una relación muy estrecha con la investigación que se lleva a cabo en el municipio Valencia, en los aspectos de metodología, variables de estudio, y el análisis propiamente dicho de estas variables sobre su influencia en la concentración de cloro residual en el agua de la red de abastecimiento público.

2.2 BASES TEORICAS

En esta sección se establecen los aspectos teóricos necesarios para el desarrollo de los objetivos, a partir de la documentación y bibliografía existente sobre el tema tratado.

2.2.1 Sistemas de Abastecimiento Público

De acuerdo con Tzatchkov y Arreguín (1996), un sistema de abastecimiento público es el conjunto de instalaciones para la captación, conducción, tratamiento, almacenamiento, transporte y distribución del agua de consumo humano hasta las acometidas de los consumidores.



En cada abastecimiento se gestiona la producción de agua para una zona geográfica concreta denominada zona de abastecimiento. (Tzatchkov Arreguín, 1996). Las características particulares de cada una de las infraestructuras que integran los abastecimientos de agua de consumo humano son las siguientes:

- Captación:

Según CONAGUA (2013), la selección de una fuente de agua requiere comprobar que la calidad sea satisfactoria o pueda llegar a serlo después de recibir tratamiento. Además, la cantidad disponible sea suficiente para satisfacer la demanda de forma permanente, considerando las variaciones diarias, estacionales y las proyecciones de crecimiento de la comunidad. En cualquier caso, antes de la construcción y explotación de una captación se debe asegurar la protección sanitaria de acuíferos, cauces, cuencas y zonas de captación.

- Conducción:

La definición que maneja Cesar Marrón (1998), para la conducción del agua en los sistemas de abastecimiento es que esta etapa se refiere a cualquier canalización que lleva el agua desde la captación hasta la Planta de Tratamiento de Agua Potable. En la conducción es importante que el material de construcción, revestimiento, soldaduras y accesorios no transmitan al agua sustancias o propiedades que contaminen o empeoren la calidad del agua procedente de la captación. Al igual que las captaciones, deben estar provistas de las medidas de protección necesarias para evitar la contaminación o degradación del agua.



- Estación de tratamiento de agua:

Es el conjunto de procesos de tratamiento de potabilización situados antes de la red de distribución y/o depósito, que contenga más unidades que la desinfección. El artículo 4 del Decreto N° 883 de Gaceta Oficial N° 5.021 establece los criterios para clasificar las aguas, así como los niveles de calidad exigibles de acuerdo al uso que se destinen. Las aguas que generalmente son tratadas en una Potabilizadora son del tipo 1-B y requieren tratamientos convencionales de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección. Por lo general las aguas superficiales están muy contaminadas por lo que tienen que ser sometidas a un tratamiento completo.

- Depósitos o tanques de almacenamiento:

Rossmann et al. (1994), señalan que los tanques de almacenamiento se ubican en la cabecera o en tramos intermedios de la red de distribución, cumpliendo tres funciones importantes:

- Intervienen en la potabilización, pues durante el tiempo de retención del agua en el depósito continúa actuando el desinfectante residual, generalmente cloro, sobre los compuestos orgánicos más difíciles de degradar que todavía pueda contener el agua.
- Puesto que el consumo es muy variable a lo largo del día, el almacenamiento asegurará al consumidor la cantidad necesaria de agua y evitará interrupciones o cortes en las horas pico.



- Suelen colocarse en la cota más alta del terreno, lo cual contribuye a garantizar la presión hidráulica necesaria en las redes de distribución, evitando la realización de costosos bombeos.

- Red de distribución

En 1998, Marrón denomina red de distribución al conjunto de tuberías diseñadas para trasladar el agua de consumo humano desde la planta de tratamiento o desde los depósitos hasta la acometida del usuario. En la medida de lo posible el diseño debe ser de malla, eliminando puntos y situaciones que faciliten la contaminación o deterioro del agua distribuida. Deben disponer de mecanismos adecuados que permitan su cierre por sectores con objeto de poder aislar aéreas ante situaciones anómalas y de sistemas que permitan las purgas por sectores para proteger a la población de posibles riesgos a la salud.

El objetivo básico de una red es asegurar que los consumidores reciben un abastecimiento suficiente, sin interrupciones y con agua que no se contamina durante el proceso de distribución. Tzatchkov y Arreguín (1996) mencionan que las redes se deben instalar enterradas para evitar fluctuaciones de temperatura y por encima de las conducciones de la red de saneamiento para limitar la posibilidad de filtraciones de aguas residuales.

2.2.2 Utilización del Cloro como Agente de Desinfección

Los procesos de mezcla, coagulación, sedimentación y filtración remueven con mayor o menor eficiencia, la mayoría de las bacterias y virus presentes en el agua. Explica Arboleda (2000) que estos procesos son considerados



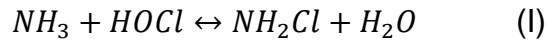
procesos preparatorios para la desinfección porque tienen como objetivo disminuir la carga bacteriana del agua y hacer más eficiente los métodos de desinfección.

❖ **Química de la cloración**

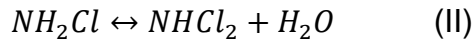
De acuerdo a Romero (2010), cuando el cloro entra en contacto con el agua se produce una reacción de hidrólisis, luego se asocia con el amoníaco presente, con la materia orgánica y otras sustancias químicas presentes.

- **Reacción de hidrólisis:** Se produce cuando el cloro interacciona con el agua para formar ácido hipocloroso (HOCl) e ión hipoclorito (OCl⁻). A los compuestos anteriores se les denomina *cloro libre o residual*.
- **Reacciones de oxido- reducción:** En este tipo de reacción el cloro se combina con las sustancias disueltas en el agua.
 - Con el nitrógeno amoniacal: formando monocloraminas, dicloraminas y en ciertos casos tricloraminas.

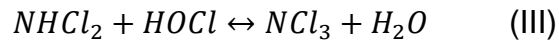
Arboleda (2000) destaca que las cloraminas tienen poder bactericida en menor grado que el ácido hipocloroso pero con la ventaja de que éstas permanecen más tiempo en el agua destruyendo los organismos más perjudiciales. A los compuestos anteriores se les denomina *cloro combinado*. Las reacciones serían las siguientes:



A partir de la monocloramina se forma la dicloramina así:



Y posteriormente de la dicloramina se forma la tricloramina, como sigue:



La distribución en el agua entre uno y otro tipo de cloramina depende del pH, de la temperatura y de la proporción que existe entre el cloro y el amoníaco expresado como nitrógeno. La dicloramina y especialmente la tricloramina son compuestos olorosos por lo tanto no son deseables su formación en el tratamiento del agua potable.

- Con la materia orgánica y otros compuestos químicos formando la demanda de oxígeno:

El nitrógeno orgánico que está formado principalmente por proteínas, peptonas, aminoácidos y materia orgánica en general, reacciona muy lentamente durante días y semanas con el cloro argumenta Quirós, (2005). Con el nitrógeno amoniacal y sustancias químicas como fenoles, hierro, ácido sulfhídrico, manganeso o metales que aportan a la alcalinidad reaccionan con relativa rapidez, es decir, menos de una hora.

Algunos de los aminoácidos resisten la oxidación del cloro dando como resultado aminoácidos clorados, los cuales además de tener mal olor pueden ser tóxicos para la ingesta humana.

El cloro también reacciona con otros compuestos orgánicos formando subproductos, los cuales se ha comprobado que son cancerígenos, mutagénicos, teratógenos o tóxicos. Los subproductos de la cloración llamados trihalometanos, resultan de la reacción de los halógenos como cloro, bromo y yodo con la molécula de metano.

❖ Comportamiento del cloro en el agua y tiempo de contacto

Al introducir el cloro en el agua, se irán produciendo sucesivamente diversas reacciones químicas. La siguiente figura describe la demanda de cloro hasta la formación de cloro residual.

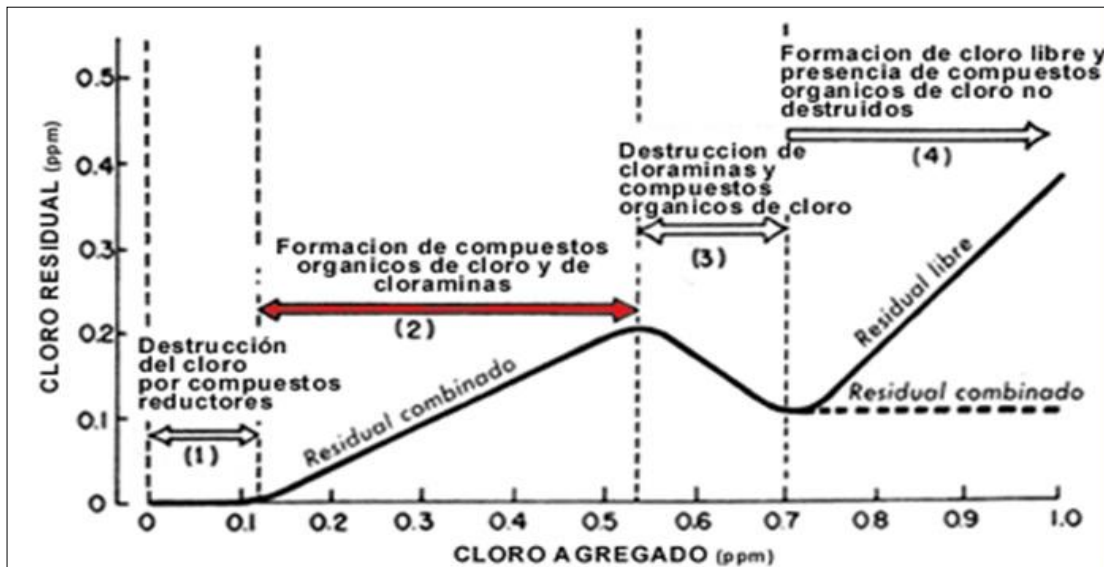


Figura 1. Evolución de la cantidad de cloro añadida al agua. (Romero, 2010)

El tiempo de contacto es el período que requiere el cloro para destruir o inactivar los microorganismos presentes en el agua, el cloro requiere tiempo para ejercer su acción microbicida el cual dependerá de la resistencia del



organismo. Este tiempo de contacto está determinado por: 1) pH del agua, 2) Concentración de cloro, 3) Tipo de cloro residual (libre o combinado), 4) Composición físico-químico del agua.

En general, a menor tiempo de contacto menor será la destrucción de microorganismos, se recomienda un tiempo de contacto mínimo de 30 minutos para asegurar la muerte bacteriana.

❖ **El fenómeno del Punto de Quiebre**

El punto de la curva en el cual todo el amoníaco ya ha reaccionado con el cloro y comienza a surgir un residual se denomina punto de quiebre. Esta curva denominada curva de punto de quiebre es diferente dependiendo de la concentración de nitrógeno (orgánico e inorgánico) presente en el agua (Arboleda, 2000).

Mientras más nitrógeno amoniacal exista, mayor dosis de cloro se requerirá para llegar al punto de quiebre. Si el contenido de nitrógeno es muy pequeño, el punto de quiebre se puede sobrepasar con muy bajas dosis de cloro y se obtendrá con facilidad cloro residual. En cambio si el contenido de nitrógeno es alto se puede:

- ✓ Necesitar considerables dosis de cloro
- ✓ Presentar dos o más puntos de quiebre
- ✓ No presentarse ninguno, aún a altas dosis, debido a las demandas retardadas que van llegando a diferentes tiempos y deforman la curva cuando las aguas están muy contaminadas.



❖ **El Cloro Residual**

Después de la cloración del agua, con toda la demanda de cloro consumida para la desinfección completa, el agua presenta concentración de cloro residual nula, en tanto la presencia de cloro residual en el agua de un sistema de distribución tiene la finalidad de proteger la calidad del agua contra el desenvolvimiento de microorganismos perjudiciales para la salud.

Orner (2011) menciona que para garantizar el mantenimiento de cloro residual en los puntos más distantes del sistema de distribución, normalmente se aumentan las dosis de cloro en las plantas de tratamiento de agua. Esta estrategia puede percutir en problemas relacionados con sabor y olor principalmente en las áreas de influencias más cercanas a la planta de tratamiento, también puede percutir en problemas relacionados con la salud, debido a la generación de subproductos cancerígenos.

❖ **El Cloro en las redes de distribución**

Cuando el cloro pasa de la Planta de Tratamiento a las redes de distribución debe eliminar las bacterias que crecen posteriormente, es decir las bacterias que reaparecen debido a tuberías cruzadas o por tuberías antiguas o en mal estado. Se define como tuberías cruzadas a aquellas que están averiadas y por lo tanto por ellas penetran contaminantes del suelo que dañan la calidad del agua que circula por las tuberías (Marrón, 1998).

Se debe tener en cuenta que la potabilización del agua no implica su esterilización, aunque las bacterias sean removidas en su gran mayoría,



éstas al encontrar un medio apropiado son capaces de desarrollarse nuevamente, incluso en presencia de cloro residual.

En los sistemas de distribución el cloro decae debido a las reacciones orgánicas e inorgánicas (amonio, sulfatos, iones de hierro, iones de magnesio y materia orgánica), y por las reacciones que ocurren en las paredes de las tuberías dándose un proceso de corrosión, principalmente en las tuberías de hierro.

2.2.3 Muestreo de Aguas

El muestreo de las aguas se realiza de acuerdo a lo establecido en la norma Covenin 2614:1994 para el muestreo de agua potable, dichas consideraciones se muestran a continuación.

Los envases para captación, deberán ser elaborados de un material que no altere el olor, el sabor o la composición físico-química de la muestra. Podrán utilizarse envases de vidrio químicamente resistentes, plástico rígido o cualquier otro material aprobado por la autoridad sanitaria competente. La selección del envase dependerá del tipo de análisis a efectuar.

Los envases para los análisis microbiológicos deberán ser de una calidad tal que permita las condiciones de esterilización. Deberán contener un agente decolorador a fin de neutralizar la acción bactericida del cloro durante el transporte de las muestras.



A los envase para ensayos físico-químicos, antes de la captación de la muestra se les aplicará un tratamiento preliminar con ácido clorhídrico diluido al 30%. En caso de utilizar envases de vidrio, podrá enjuagarse también con mezcla sulfocrómica (ácido sulfúrico concentrado saturado con dicromato de potasio), se enjuagara con abundante agua corriente, y finalmente cinco veces con agua destilada. Se llevará al sitio de muestreo con su respectiva tapa colocada.

2.2.4 Sistemas de Información Geográfica

Guerra et. al. (2011), afirman que los sistemas de información geográfica SIG son herramientas tecnológicas que facilitan el manejo eficiente de la información gráfica, y que permiten incorporar al sistema todas las características que describen los diferentes elementos, examinarlas, compararlas y cruzarlas de múltiples formas.

ArcGIS es un sistema de información geográfica on-line para trabajar con mapas e información geográfica en todas partes enfocándose en:

- a) Crear y utilizar mapas.
- b) Compilar datos geográficos.
- c) Analizar la información de los mapas.
- d) Compartir y detectar información geográfica.
- e) Utilizar mapas e información geográfica para diversas aplicaciones.
- f) Administrar la información geográfica de una base de datos.



Los datos recopilados se pueden ubicar en un mapa, utilizando las aplicaciones de la herramienta ArcGIS Desktop, versión 10.0, con nivel de licenciamiento ArcView, asignando a cada punto los atributos correspondientes, tales como, coordenadas, variables físico-químicas y microbiológicas.

2.2.5 Análisis y Modelos Estadísticos

❖ Pruebas de Hipótesis

Montgomery y Runger (2009), definen una hipótesis estadística como el enunciado acerca de los parámetros de una o más poblaciones. Del mismo modo, señalan que la prueba de hipótesis es el procedimiento para tomar decisiones acerca del enunciado o afirmación que se hace de estos parámetros.

Se hace hincapié en que el carácter verdadero o falso de una hipótesis particular nunca puede conocerse con toda certeza, a menos que pueda examinarse la población completa. Por lo tanto, el procedimiento para la prueba de hipótesis deberá realizarse teniendo en mente la probabilidad de llegar a una conclusión incorrecta. Destaca Arriaza (2006), que la hipótesis nula es aquella que quiere probarse y el rechazo esta hipótesis lleva siempre a aceptar una hipótesis alternativa. Otra definición relevante, es el Valor-P, el cual se refiere al nivel de significación más bajo que llevaría al rechazo de la hipótesis nula con los datos dados (Sánchez, 2008).



❖ **Análisis de la regresión bivariable**

Arriaza (2006), afirma que el objetivo de un análisis de correlación es cuantificar la relación entre dos variables métricas u ordinales. Según Montgomery y Runger (2009) se puede utilizar un diagrama o gráfico de dispersión para observar el comportamiento de una variable con respecto a otra cuando se representa cada par de datos, como puntos (x_i, y_i) en un sistema de coordenadas bidimensionales. Al inspeccionar este diagrama se puede observar que, aún cuando ninguna curva simple pase exactamente por todos los puntos, exista claros indicios de que los puntos se encuentren dispersos alrededor de una función matemática conocida.

Se supone que cada observación y_i puede describirse con el modelo

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \varepsilon \quad (IV)$$

Donde ε es un error aleatorio con media cero y varianza σ^2 . Se supone asimismo que los errores aleatorios correspondientes a diferentes observaciones son variables aleatorias no correlacionadas.

Para el análisis de correlación con variables métricas se calcula el coeficiente de Pearson y dicho coeficiente varía entre -1 (relación lineal negativa perfecta) y +1 (relación lineal positiva perfecta); mientras que si dos variables son totalmente independientes entre sí, el coeficiente de correlación es prácticamente 0. Aclara Arriaza (2006), que un coeficiente de correlación no implica necesariamente una relación de causalidad, ya que dos variables independientes pueden moverse en la misma dirección por efecto de una tercera sin ser una el resultado de la otra. También destaca que las



relaciones de regresión únicamente son válidas para los valores de la variable de regresión que se encuentran en el rango de datos originales.

El uso de pruebas de hipótesis permite decidir acerca de la validez o no de una correlación bivariable. A continuación se describen, las pruebas utilizadas durante la investigación:

- **Prueba de significación estadística:** el resultado de la prueba consiste en la aceptación o no de la hipótesis nula que asume la no relación entre la variable independiente y la variable dependiente. Si se obtiene un Valor-P inferior al nivel de significancia (α) pretendido, la hipótesis nula es rechazada siendo tal resultado denominado estadísticamente significativo (Sánchez, 2008).
- **Prueba de falta de ajuste:** Montgomery y Runger (2009) discuten sobre el peligro de usar un modelo de regresión que sea una relación pobre de la verdadera relación funcional. Esta prueba conocida también como “bondad del ajuste” es relevante cuando más de una medición de la variable dependiente ha sido obtenida para el mismo valor de la variable independiente.

Se plantea una hipótesis nula de que el modelo es adecuado para describir los datos. Si el Valor-P $< \alpha$ se rechaza la hipótesis nula y por tanto el modelo no es conveniente y debe seleccionar otro.

- **Prueba de independencia de los residuales:** Arriaza (2006), define los residuales como la diferencia entre el valor predicho por el modelo de



correlación y el valor observado. Uno de los supuestos básicos de la regresión lineal es la independencia de los residuos o residuales. La hipótesis nula en esta prueba plantea que no hay relación en estos valores. Por tanto si el Valor-P $< \alpha$ se rechaza la hipótesis nula indicando la existencia de un patrón no aleatorio entre los residuos.

Además, el estadístico Durbin Watson (DW) aporta información sobre el grado de independencia de los residuos. Varía entre 0 y 4, y se puede asumir independencia cuando tome valores entre 1,5 y 2,5.

❖ **Análisis de la regresión multivariable**

- **Regresión lineal múltiple:** muchas aplicaciones del análisis de regresión incluyen situaciones en las que hay más de una variable regresora o independiente.

Montgomery y Runger (2009) describen que la variable de respuesta o dependiente y_i puede relacionarse con k variables regresoras o independientes. Al modelo

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon \quad (V)$$

Se le llama modelo de regresión lineal múltiple con k variables regresoras. A los parámetros $\beta_j, j=0,1,\dots,k$, se les llama los coeficientes de regresión.

Arriaza (2006) describe los supuestos en los que se basa el modelo de regresión lineal múltiple, los cuales son: 1) la variable dependiente debe ser



métrica y no limitativa. 2) la varianza de las variables independientes no es cero. 3) el número de observaciones debe ser mayor al número de variables explicativas. 4) las variables explicativas no deben tener una correlación significativa entre sí. 5) la distribución de los residuos debe ser normal.

Si el modelo cumple con los supuestos, se puede aplicar la prueba de significación F para interpretar los resultados. Explica Arriaza, que la prueba F está asociada al análisis de varianza, siendo la hipótesis nula el rechazo global del modelo. Si el Valor-P $< \alpha$ se rechaza la hipótesis nula y se acepta la validez del modelo.

Para determinar la capacidad explicativa del modelo se utiliza el coeficiente de determinación (R^2), este siempre es positivo y con un valor de 0 a 1 excepto en modelos sin constante donde puede tomar valores negativos.

- **Regresión logística:** Arriaza (2006) expone que su aplicación principal viene dada cuando se manejan variables dependientes de tipo ordinaria (por ejemplo, nivel de ingresos, grado de satisfacción del cliente) o dicotómicas (por ejemplo, la ocurrencia o no de una enfermedad).

Dentro de estos modelos, se hace especial énfasis en los modelos de variable truncada, donde la muestra solo cubre una parte de la población y por tanto solo se observa y_i cuando $y_i \leq c$ ó $y_i \geq c$ siendo c una constante determinada.

La bondad del ajuste del modelo logístico se evalúa a través de tres procedimientos principales:



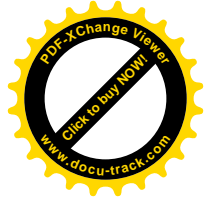
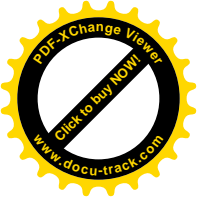
- 1) El estadístico del coeficiente de verosimilitud.
- 2) El pseudo coeficiente de determinación.
- 3) La capacidad predictiva del modelo.

2.3 MARCO LEGAL

El estado venezolano, por medio de sus leyes orgánicas, decretos, reglamentos y demás disposiciones establecidas, dictan las medidas que se deben cumplir en lo relacionado con las aguas del país. La base fundamental del ordenamiento jurídico actual está en la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela sancionada en el año 1999, que declara en su artículo 304 todas las aguas como: "...del dominio público de la Nación, insustituibles para la vida y el desarrollo...".

De forma que, suprimida la titularidad privada sobre las aguas queda derogada cualquier norma del ordenamiento jurídico contraria a esa afectación, quedando extinguido el derecho de propiedad privada que los particulares tenían sobre las aguas, conforme a las disposiciones del Código Civil. Luego, el artículo 127 consagra la obligación del Estado, con la activa participación de la sociedad, de garantizar la protección del agua, además de otros elementos de los ecosistemas.

En el caso de las aguas de consumo humano se establecieron las Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable (1998), la cual prevé en sus artículos 2 y 4, que el agua potable debe cumplir con requisitos parámetros microbiológicos, organolépticos, químicos, físicos y radiactivos. Tales parámetros, deben ser satisfechos, mediante tratamientos pertinentes, por los entes responsables del suministro de agua potable, sean públicos o



privados, y para ello, deben realizar mediciones y análisis sistemáticos frecuentes por parte de profesionales competentes en el área.

Así mismo, las Normas Sanitarias obligan a los entes del Estado o los concesionarios de aguas a realizar estudios periódicos para determinar la calidad de agua de consumo humano, y en caso de estar fuera de los parámetros fijados para considerarlas potables, es necesario y obligante realizar los tratamientos adecuados para eliminar su contaminación y hacerlas aptas para su consumo.



CAPÍTULO III

MARCO METODOLOGICO

En esta sección se describen las actividades, estrategias y herramientas metodológicas empleadas para el desarrollo de los objetivos propuestos.

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Esta investigación según su nivel de profundidad es de tipo correlacional, ya que busca formular relaciones matemáticas entre el cloro residual y diferentes parámetros físico-químicos y microbiológicos del agua de consumo público. Hernández, Fernández y Baptista, (2003) afirman que en esta modalidad investigativa se “tiene como propósito evaluar la relación que existe entre dos o más variables o conceptos”, (p.122).

En la investigación correlacional no se pretende dar explicación profunda de un fenómeno, sus causas y consecuencias. Se basa en un estudio estadístico y argumentado para conocer el comportamiento de una variable conociendo el comportamiento de otras variables relacionadas.

3.2 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El diseño empleado para la investigación es de campo, porque se realiza la recolección de datos de la realidad y como ocurren los hechos, sin manipular o controlar las variables. Según Palella y Martins (2010) el investigador no



manipula variables debido a que esto hace perder el ambiente de naturalidad en el cual se manifiestan.

La Universidad Pedagógica Experimental Libertador (UPEL, 2006) señala que una investigación de campo es el análisis sistemático de problemas en la realidad, con el propósito de describirlos, interpretarlos, entender su naturaleza, explicar sus causas y efectos, o predecir su ocurrencia, haciendo uso de enfoques de investigación conocidos.

Los datos de interés son recogidos en forma directa, tratándose de datos originales o primarios. También se puede hacer uso de series históricas, e incluye la recolección y organización de datos publicados para su análisis mediante procedimientos estadísticos, modelos matemáticos o de otro tipo.

3.3 ÁMBITO DEL ESTUDIO

3.3.1 Ámbito Geográfico.

El estudio se realiza en el municipio Valencia del estado Carabobo.

3.3.2 Ámbito Temporal

El período de estudio comprende desde el mes de enero de 2009 hasta diciembre del 2016.



3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA

Balestrini (2006) define la población como: “conjunto finito o infinito de personas, cosas o elementos, que presentan características comunes” (p.137). Mientras que la muestra, se refiere al grupo de individuos que se toma de la población para estudiar un fenómeno estadístico.

En ese orden de ideas, la población de la presente investigación está conformada por las empresas del municipio Valencia que se nutren del Acueducto Regional del Centro, Etapa I.

Por tanto se realizó un muestreo aleatorio simple donde los componentes de la muestra son seleccionados siguiendo un procedimiento que brinde a cada uno de los elementos de la población una probabilidad conocida de ser incluidos (Quintana, 1996).

Para el caso de estudio, de acuerdo con CONSECOMERCIO para el año 2015 existen 156 empresas en el municipio Valencia, conectadas a la red de distribución de agua potable. Tomando una probabilidad del 95%, una desviación estándar 0,036 y un error máximo aceptable del 5%, se calcula el tamaño de la muestra obteniéndose como resultado un total de 25 empresas.

3.5 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Arias (2006) refiere que la técnica es: “el procedimiento o forma particular de obtener datos o información, las cuales son particular y específicos de una disciplina, por lo que sirven de complemento al método científico, el cual



posee una aplicabilidad general” (p.67). Para dar cumplimiento a los objetivos propuestos de este estudio fue necesario el empleo de técnicas de recolección de datos que suministraron la información requerida.

En primer lugar se aplicó la *revisión documental*, que comprende el análisis de fuentes bibliográficas: libros específicos del área en estudio, trabajos y tesis de grado, fuentes de tipos legal, artículos científicos, folletos e informes técnicos. Posteriormente se utilizaron las *técnicas de medición*, necesarias para la evaluación de los parámetros físico-químicos y bacteriológicos del agua de abastecimiento público del municipio Valencia.

3.6 INSTRUMENTOS PARA EL ANÁLISIS DE LOS DATOS

Sampieri (2008) comenta que la finalidad del análisis de datos es describir las variables y explicar sus cambios y movimientos por medio de la sistematización y la utilización intensiva de la estadística.

Los datos recopilados fueron organizados en hojas de cálculo para preparar las tablas resumen, figuras y mapas que permiten analizar la variabilidad espacial y temporal de los parámetros que caracterizan el agua de consumo público de la localidad.

La herramienta utilizada para el análisis estadístico fue el programa Statgraphics Centurion XV, para la representación gráfica se utilizó la Hoja de Cálculo de Microsoft Excel y para la representación espacial el Sistema de Información Geográfica con el programa ArcGis Desktop.



3.7 FASES DE LA INVESTIGACIÓN

El presente trabajo de investigación se desarrolla a través de una serie de etapas claramente definidas para responder de forma ordenada y bajo una secuencia lógica los objetivos específicos planteados:

3.7.1 Recopilación de los Datos

Construcción de mapa de la red de distribución de agua potable de la localidad en estudio

- Obtención de imágenes satelitales a través del portal ESRI mediante el uso de comandos del programa ArgGIS.
- Obtención de la información digital e impresa de instituciones públicas. Se solicitó información correspondiente al catastro de redes de distribución de agua potable, los mapas de redes existentes de la Compañía Hidrológica del Centro, C.A.
- Obtención de mapa base y capas de redes de acueducto correspondiente a las diferentes parroquias del municipio Valencia en el programa ArcGis.

Caracterización espacial y temporal del agua de abastecimiento público del municipio Valencia

- Revisión de la data proporcionada por el Laboratorio Hidrolab Toro Consultores, C.A. sobre análisis realizados en diferentes tomas de agua de empresas de servicio e industrias conectadas a la red del acueducto Regional del Centro Etapa I durante el período enero 2009 julio 2016.



- Selección de los parámetros que aportan mayor información de la red de distribución durante los años evaluados: pH, color, turbiedad, sólidos disueltos totales, cloro residual, organismos aerobios mesofilos, coliformes totales, hierro total, manganeso total, aluminio total, dureza total, cloruros, sulfatos, nitritos y nitratos.
- Selección de las empresas que serán sujeto de medición durante el período julio a diciembre 2016 para complementar la data histórica de los ensayos realizados al agua de abastecimiento público de la localidad
- El muestreo de las aguas se realiza de acuerdo a lo establecido en la Norma Covenin 2614 (1994), dichas consideraciones se describen a continuación.
- Para los análisis físico-químicos se utiliza un envase limpio y previamente enjuagado y curado. Se deja drenar por unos minutos agua del grifo o válvula donde se capta la muestra, luego se tapa y cierra herméticamente. El pH se mide al momento de la captación con un pH metro verificado en laboratorio, mientras que el cloro residual se analiza inmediatamente con el método DPD utilizando un comparador de color.
- Para los análisis microbiológicos se utilizan envases plásticos esterilizados que se abren en el momento preciso de la captación y se llenan hasta $\frac{3}{4}$ partes de su volumen. Se emplean guantes tipo látex y tapa boca para evitar cualquier contacto que contamine las muestras. En caso de que las muestras sean tomadas de grifos, se deja drenar por unos minutos, desprendiendo todo tipo de accesorio o sedimento adherido. Se limpia la zona con algodón impregnado con alcohol y se esteriliza flameando con un mechero. Finalmente, se trasladan las muestras en cavas limpias con hielo, para mantener una temperatura menor a 6°C como medio de preservación física, según lo establece la APHA et al. (2012).



- La selección del envase dependerá del tipo de análisis a efectuar. En la tabla 26 de la sección de Anexos se presenta un resumen de la preservación y almacenamiento de las muestras siguiendo lo establecido en la norma Covenin 2614:1994, y las recomendaciones de la APHA et al. (2012).
- Para la determinación de los sólidos disueltos totales se utiliza un conductímetro calibrado y verificado en laboratorio. Para la turbiedad se emplea un turbidímetro que cumple también con especificaciones técnicas, y para la determinación del color se emplea un espectrómetro.
- La dureza total se analiza por el método de compleximetría que es una valoración con ácido etilendiaminotetracético (EDTA) en presencia de un buffer para llevar el pH a 10. Se adiciona negro de eriocromo T (NET) para titular desde un color rojizo hasta azul en el punto final.
- Los metales se analizan a través de la técnica ICP (Inductively Coupled Plasma). Mientras que los aniones se determinan empleando un cromatógrafo iónico cuya corrida cromatográfica tarda 30 minutos, para detectar la conductividad de los picos de cloruros y sulfatos; y un espectrofotómetro para analizar nitritos y nitratos por colorimetría.
- Los organismos heterótrofos aerobios se determinan en placas de petri, diluyendo la muestra y analizando por duplicado, añadiendo 15 mL del medio de cultivo previamente fundido y atemperado a 45°C, luego se deja solidificar se invierten las placas y se incuban durante 48 horas a 32 °C. Los coliformes totales se analizan por el método de sustrato definido en bandejas colilert.



3.7.2 Procesamiento y Análisis de los Datos

Caracterización espacial y temporal del agua de abastecimiento público del municipio Valencia

- Preparación de tabla resumen con los diferentes parámetros físicos, químicos y microbiológicos evaluados para el agua de abastecimiento público durante el período 2009-2016.
- Ubicación de las coordenadas UTM de los diferentes puntos monitoreados de la red, con la ayuda de la plataforma de Google Earth.
- Determinación de los valores promedio anuales de las variables de estudio para crear el archivo *geodatabase* en ArcMap. Se inserto la hoja de cálculo de Excel y para cada hoja se genero una clase de entidad en ArcCatalog para georreferencias los puntos de muestreo. Se utilizo para ello el Sistema de Coordenadas Proyectado, especificando el Huso Horario del Hemisferio Sur.
- Se seleccionó e insertó un mapa base de la página web de Open Street Map. Se utilizó la información de planos catastrales de Hidrocentro, C.A.
- Preparación de gráficas de control con los promedios anuales para cada una de las variables de estudio.



3.7.3 Obtención de los Resultados

Análisis de la influencia de los parámetros físico-químicos y microbiológicos sobre el cloro residual en el agua de abastecimiento público

- Para cada variable, se identificaron los muestreos donde se captó agua de la red y analizó la variable y el cloro residual en igualdad de condiciones.
- Con el software Statgraphics Centurion XV se estudió la existencia de correlación entre las diferentes variables cuantitativas y el cloro residual mediante la obtención del coeficiente de correlación de Pearson y la aplicación de las pruebas de significación estadística, falta de ajuste e independencia de los valores residuales.
- Se realizó un estudio del análisis de varianza del modelo bivariable con mejor correlación, incluyendo el error estimado y el estadístico de Durbin Watson.
- Se estudió la tendencia y relación de las variables entre sí y con el cloro residual para profundizar acerca de su influencia en la variabilidad de su concentración en el agua.
- Para el análisis multivariable se diseñaron diferentes modelos de regresión lineal múltiple con un procedimiento de selección paso a paso, iniciando con los parámetros con mayor significación estadística y mejor correlación con la variable dependiente.
- Se estudió el efecto de la aplicación de modelo de regresión logística con variables cuantitativas para estimar la concentración de cloro residual en la red de abastecimiento público.



Formulación de relaciones matemáticas entre el cloro residual y parámetros físico-químicos y microbiológicos en el agua de abastecimiento público

- La selección del modelo bivariable se realizó considerando el número de datos, el coeficiente de correlación obtenido con el cloro residual, y la significación estadística con un nivel de confianza del 95%.
- La selección del modelo multivariable por regresión lineal se lleva a cabo a partir del mayor coeficiente de determinación obtenido, que explica la variabilidad del cloro residual en función de un conjunto de variables independientes que son estadísticamente significativas.
- La selección del modelo multivariable por regresión logística se efectuó incluyendo solo variables cuantitativas para explicar las variaciones del cloro residual más allá de los modelos de regresión lineal. Se ajusta a la máxima verosimilitud que prueba la importancia de los coeficientes del modelo.

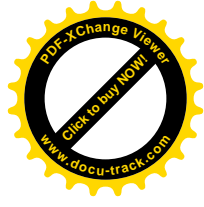
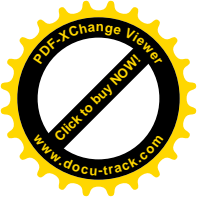
A continuación se muestra una tabla que resume los modelos aplicados en el análisis de regresión



Tabla 1. Modelos aplicados en el análisis de regresión del cloro residual como variable dependiente de parámetros físico-químicos y microbiológicos en el agua de consumo público del municipio Valencia.

Modelo de Regresión	Ecuación del Modelo
Lineal	$y = \beta_0 + \beta_1 x$
Raíz Cuadrada de Y	$y = (\beta_0 + \beta_1 x)^2$
Exponencial	$y = e^{(\beta_0 + \beta_1 x)}$
Inverso de Y	$y = (\beta_0 + \beta_1 x)^{-1}$
Y Cuadrática	$y = \sqrt{\beta_0 + \beta_1 x}$
Raíz Cuadrada de X	$y = \beta_0 + \beta_1 \sqrt{x}$
Raíz Cuadrada doble	$y = (\beta_0 + \beta_1 \sqrt{x})^2$
Y Logarítmico – X Cuadrática	$y = e^{(\beta_0 + \beta_1 \sqrt{x})}$
Y Inversa – Raíz Cuadrada de X	$y = (\beta_0 + \beta_1 \sqrt{x})^{-1}$
Y Cuadrática – Raíz Cuadrada de X	$y = \sqrt{\beta_0 + \beta_1 \sqrt{x}}$
X Logarítmico	$y = \beta_0 + \beta_1 \ln x$
Raíz Cuadrada de Y – Logaritmo de X	$y = (\beta_0 + \beta_1 \ln x)^2$
Multiplicativo	$y = \beta_0 x^{\beta_1}$
Y Inverso – X Logarítmico	$y = (\beta_0 + \beta_1 \ln x)^{-1}$
Y Cuadrática – Logaritmo de X	$y = \sqrt{\beta_0 + \beta_1 \ln x}$
Inverso de X	$y = \beta_0 + \beta_1 x^{-1}$
Raíz Cuadrada de Y – Inverso de X	$y = (\beta_0 + \beta_1 x^{-1})^2$
Doble Inverso	$y = (\beta_0 + \beta_1 x^{-1})^{-1}$
Y Cuadrática – Inverso de X	$y = \sqrt{\beta_0 + \beta_1 x^{-1}}$
X Cuadrática	$y = \beta_0 + \beta_1 x^2$
Raíz Cuadrada de Y – Cuadrado de X	$y = (\beta_0 + \beta_1 x^2)^2$
Doble Cuadrático	$y = \sqrt{\beta_0 + \beta_1 x^2}$
Logístico	$y = \frac{e^{(\beta_0 + \beta_1 x)}}{1 + e^{(\beta_0 + \beta_1 x)}}$

Fuente: Tutorial de análisis de regresión, statgraphics.net



CAPÍTULO IV

ANALISIS DE RESULTADOS

En este apartado, se presenta el análisis de cada uno de los resultados obtenidos y sus discusiones, mediante la aplicación de la metodología establecida a fin de alcanzar los objetivos previamente propuestos.

4.1 ELABORACIÓN DE MAPA DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE DEL MUNICIPIO VALENCIA, ESTADO CARABOBO.

Para 1873 la única fuente de abastecimiento hídrico era el viejo acueducto construido por el erario Municipal ubicado al oeste de la ciudad, obra ejecutada por Azpurua L Compañía. En 1875 se inicia el proyecto para suministrar agua a Valencia con la construcción del Acueducto “Guzmán Blanco”, trayendo agua del río Guataparo y posteriormente en 1888 se une el caudal denominado Cacaito (Arismendi, 2005).

Valencia se consolida como ciudad industrial, atrayendo gente de todas partes del país y creciendo su población desde mediados del siglo XX. A las parroquias Catedral, Candelaria, El Socorro y San Blas que conforman el casco histórico de Valencia, se unen las parroquias San José y Santa Rosa y posteriormente la ciudad agregaría las parroquias Miguel Peña y Rafael Urdaneta que serán habitadas por la nueva clase obrera y mano de obra de las ya establecidas zonas industriales.



En la década de los 70 se da apertura al Embalse Pao Cachinche y el Acueducto Regional del Centro Etapa I, realizando aducciones e incorporaciones a la red de distribución del municipio Valencia. Al desarrollo del municipio, finalmente se agregaría la parroquia no urbana Negro Primero para un total de 9 parroquias constituyentes.

Para la construcción del mapa de la red de distribución de agua potable del municipio Valencia se utilizaron datos recopilados de la Hidrológica del Centro C.A. y de diferentes Trabajos Especiales de Grado del área de Ingeniería Civil. Se agruparon las parroquias: Catedral, Candelaria, El Socorro y San Blas como parroquias del Casco Central de Valencia. Martínez y Núñez, (2013) aportaron la red de distribución de acueductos de la parroquia San José; mientras que Mendoza y Trujillo, (2013) contribuyeron con la digitalización de la red de distribución de las parroquias del Casco Central.

En la figura 2 se muestra el mapa resultante de la red de distribución de agua potable de la localidad, observándose una distribución por mallas lo cual significa que las tuberías principales se comunican unas con otras y forman circuitos cerrados. También se señala la ubicación de la planta potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga. Las redes de mayor longitud de tubería corresponden a las parroquias San José y Rafael Urdaneta, seguidas de la parroquia Miguel Peña. Las redes de distribución de las parroquias del Casco Central tienen una longitud de tubería más corta y son las más antiguas acopladas al Acueducto Regional Centro Etapa I. Las tuberías que tienen mayor tiempo de servicio son en su mayoría de hierro dúctil o hierro galvanizado según información suministrada por HIDROCENTRO, C.A.



Afirma Marrón (1998) que las tuberías de hierro en los sistemas de agua potable tienen un tiempo estimado de vida útil de 150 años, pero que de no llevarse un mantenimiento planificado y adecuado pueden alterar las características físicas, químicas y microbiológicas del agua transportada.

Otros factores aunados al deterioro de las tuberías son las fugas, pérdida de presión y tomas ilegales a lo largo del acueducto. Orner (2011) destaca que el cloro residual decae a lo largo de la red, siendo los puntos más alejados a salida de la planta de tratamiento los más comprometidos en sostener este residual.

La presencia de cloro libre depende en gran medida del tiempo de contacto en la red de distribución para asegurar la completa desinfección del agua, pero a su vez a mayor recorrido se pronuncia el decaimiento de la concentración de cloro libre. Las parroquias más propensas a esta afectación por su ubicación geográfica son las parroquias San José y Rafael Urdaneta.

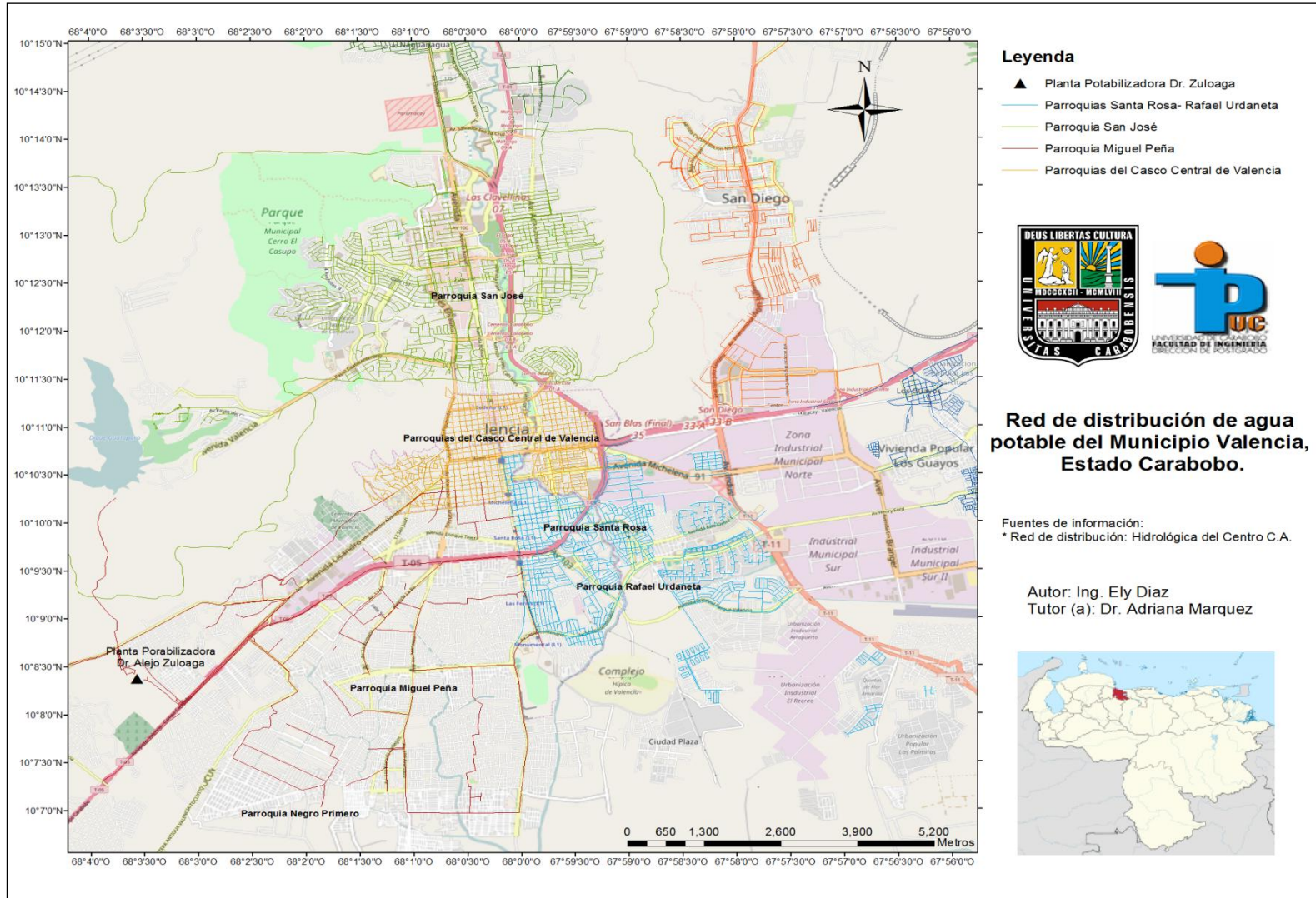
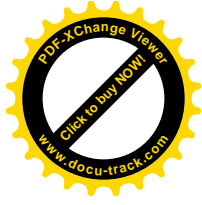


Figura 2. Red de distribución de agua potable del municipio Valencia, estado Carabobo.



4.2 CARACTERIZACIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL DE LOS PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DEL AGUA DE CONSUMO PÚBLICO DEL MUNICIPIO VALENCIA.

Se describen los resultados de la caracterización espacio-temporal de los siguientes parámetros físico-químicos y microbiológicos del agua de consumo público del municipio Valencia: 1) Cloruros, 2) Sulfatos, 3) Dureza total, 4) Sólidos disueltos totales, 5) Nitritos, 6) Nitratos, 7) pH, 8) Color, 9) Turbiedad, 10) Organismos heterótrofos aerobios, 11) Coliformes totales, 12) Hierro, 13) Manganeso, 14) Aluminio y 15) Cloro Residual.

1) Cloruros

En la figura 3 se representa los cloruros en el agua de abastecimiento de la red pública del municipio Valencia durante el período de estudio 2009 - 2016. Para elaborar este mapa en ArcMap, se establece un criterio de clasificación por intervalos de igualdad definiendo tres rangos de concentración. Los cloruros en el agua varían entre 30 y 62 mg/L en las parroquias San José y Rafael Urdaneta, mientras que en las parroquias del Casco Central de Valencia varían entre 52 y 62 mg/L. Por tanto, se observa que los cloruros en la red presentan valores similares en las diferentes parroquias. Además, estos valores son menores a 250 mg/L, cumpliendo con lo estipulado en el artículo 14 de la Gaceta Oficial N° 36.395 resolución SG-018-98 “Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable”.

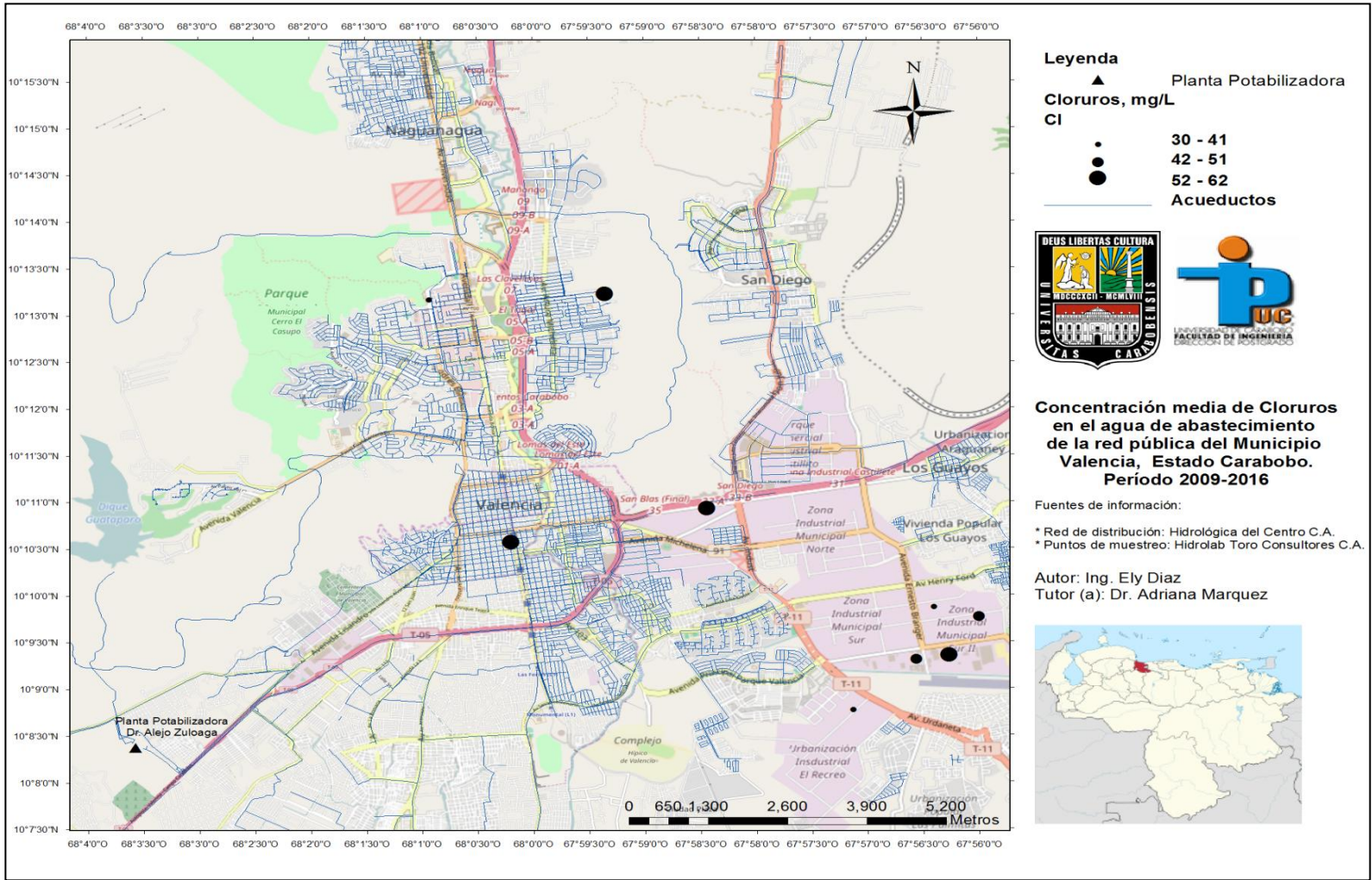


Figura 3. Concentraciones medias de cloruros en el agua de abastecimiento de la red pública del municipio Valencia, estado Carabobo en el periodo 2009-2016.



En la figura 4 se incorpora una gráfica del estudio temporal de las concentraciones promedio anual de cloruros en el agua de abastecimiento de la red pública del municipio Valencia. Conforme a lo observado en el mapa de la figura 3, los promedios anuales presentan valores bajos y cumplen con respecto a los límites indicados en el citado artículo 14.

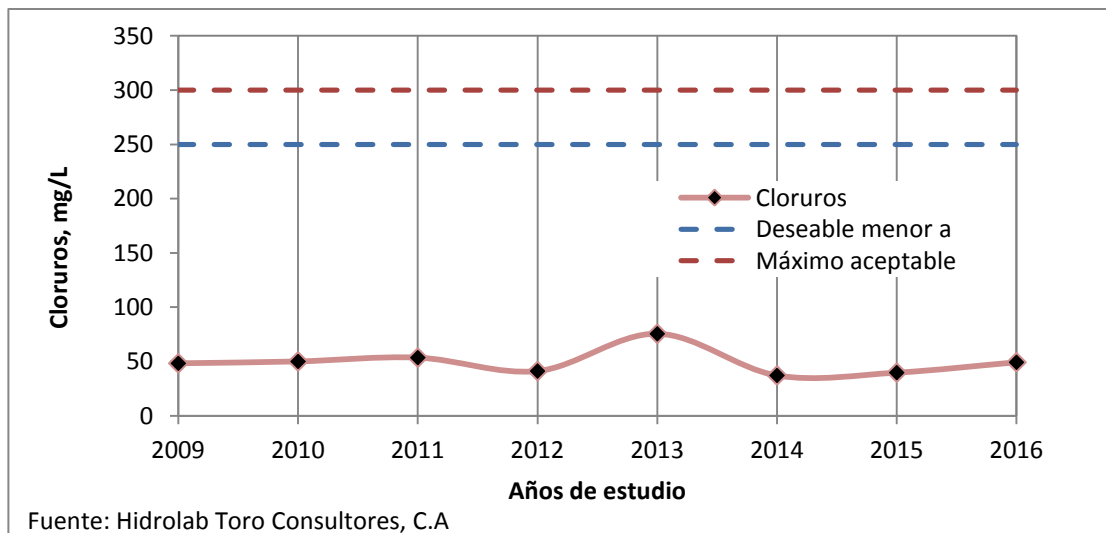


Figura 4. Concentración promedio anual de cloruros en el agua de abastecimiento de la red pública del municipio Valencia, estado Carabobo en el período 2009 – 2016. Las líneas a trazos de color rojo corresponden al valor máximo aceptable, igual a 300 mg/L. Las líneas a trazos de color azul corresponden al valor deseable menor que 250 mg/L. Estos valores umbrales son referenciados de la Gaceta Oficial N° 36.395 (1998).



2) Sulfatos

En el mapa de la figura 5 se muestran los valores medios de los sulfatos del agua de abastecimiento de la red pública durante el período 2009 - 2016. Al igual como se clasificaron los cloruros, se utiliza el criterio de intervalos de igualdad en ArcMap para clasificar las concentraciones de sulfatos en los puntos monitoreados. Todos los valores resultan aceptables para el agua de consumo humano según lo indican las Normas Sanitarias publicadas en la Gaceta Oficial N° 36.395, en su artículo 14.

La red de la parroquia Rafael Urdaneta presenta la mayor variabilidad, porque los sulfatos varían entre 27 y 76 mg/L. En la parroquia San José varían entre 27 y 43 mg/L, mientras que en las parroquias del Casco Central varían entre 44 y 60 mg/L. Sin embargo, estos valores no guardan relación respecto a la ubicación del punto de muestreo y su distancia con la Planta Potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga.

En la figura 6 se presenta los promedios anuales de los sulfatos en el agua de abastecimiento de la red pública del municipio Valencia. En concordancia con lo observado en el mapa de la figura 5, las concentraciones promedios son bastante menores al límite aceptable, y tienen tendencia a mantenerse relativamente constante en el tiempo.

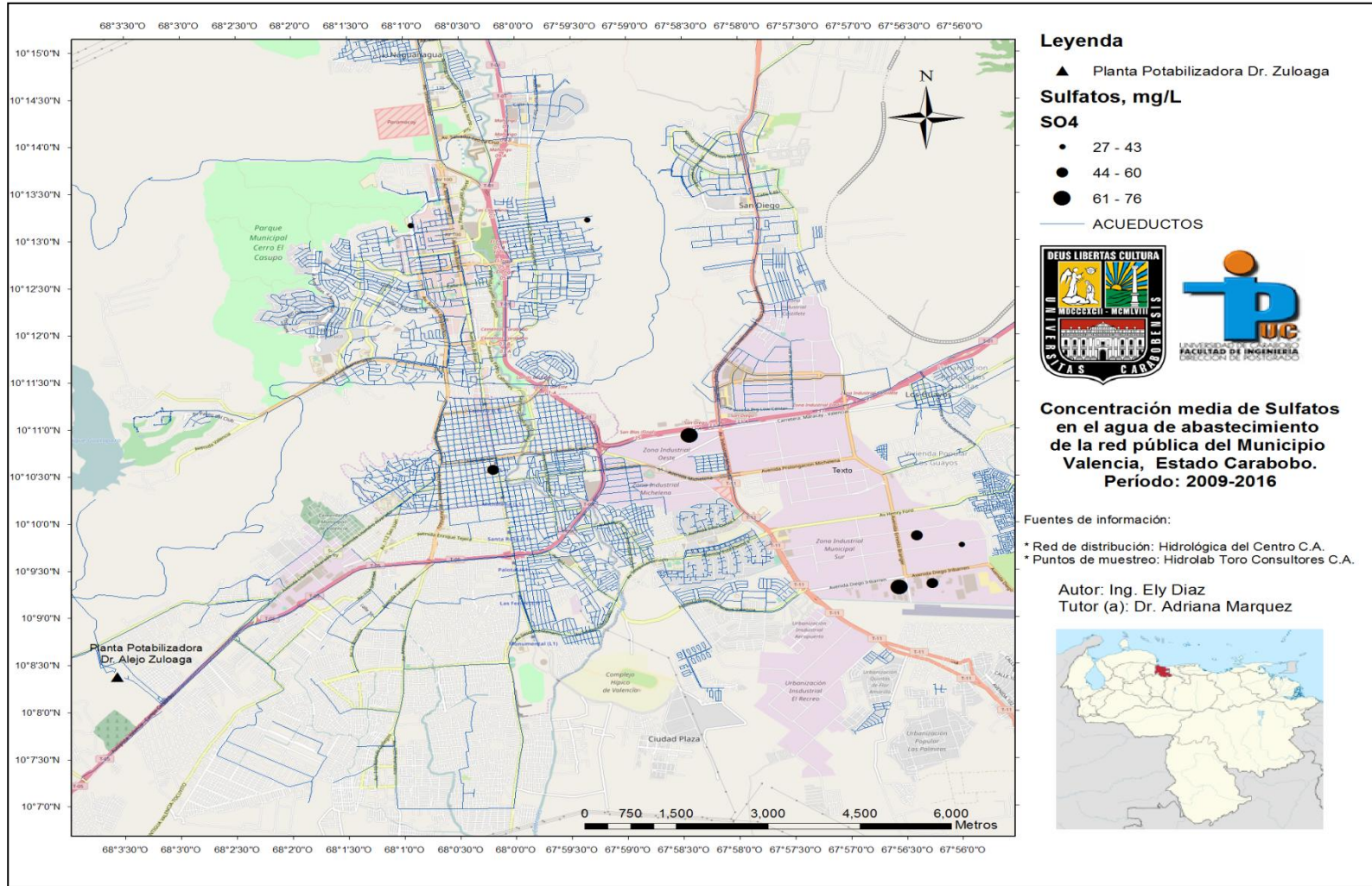


Figura 5. Valores medios de sulfatos en el agua de abastecimiento de la red pública del municipio Valencia, estado Carabobo durante el período 2009 - 2016.

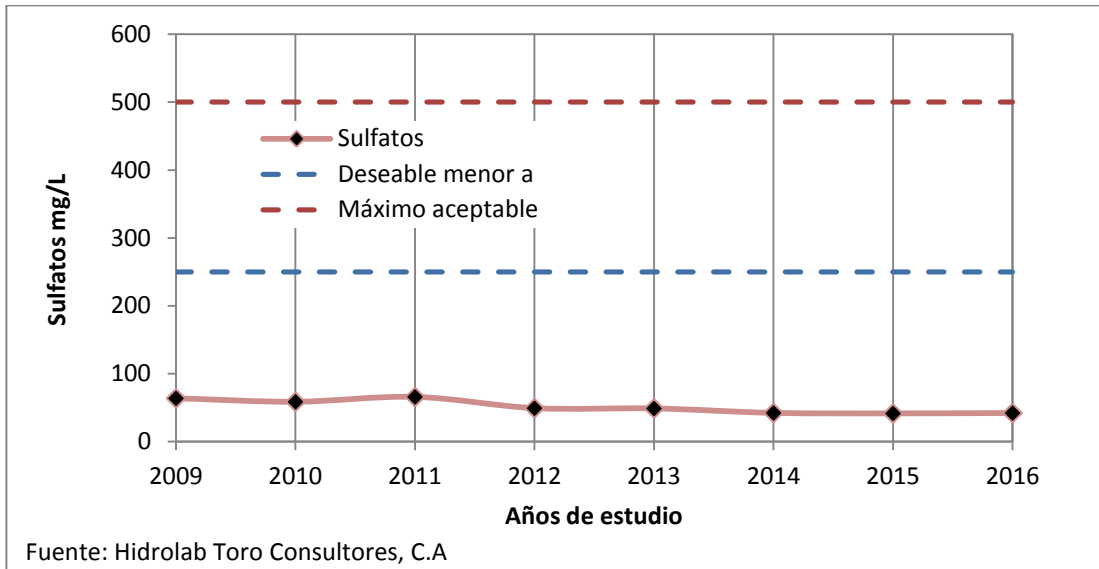


Figura 6. Valores promedio anual de sulfatos en el agua de abastecimiento de la red pública del municipio Valencia, estado Carabobo en el período 2009 – 2016. Las líneas a trazos de color rojo corresponden al valor máximo aceptable, igual a 1000 mg/L. Las líneas a trazos de color azul corresponden al valor deseable menor a 600 mg/L. Estos valores umbrales son referenciados de la Gaceta Oficial N° 36.395 (1998).

3) Dureza Total

En la figura 7 se muestra los valores medios de la dureza total del agua de abastecimiento de la red pública en el municipio Valencia durante los años 2009 – 2016. Se clasificaron las concentraciones en los puntos de muestreo por intervalos de igualdad.

La dureza varía entre: 105 y 130 mgCaCO₃/L en la parroquia Rafael Urdaneta, 114 y 122 mg/L mgCaCO₃/L en la parroquia San José, 105 y 113 mg/L mgCaCO₃/L en las parroquias del Casco Central de Valencia. Por tanto, se observa que la dureza total del agua en la red presenta valores muy similares entre las diferentes parroquias del municipio.

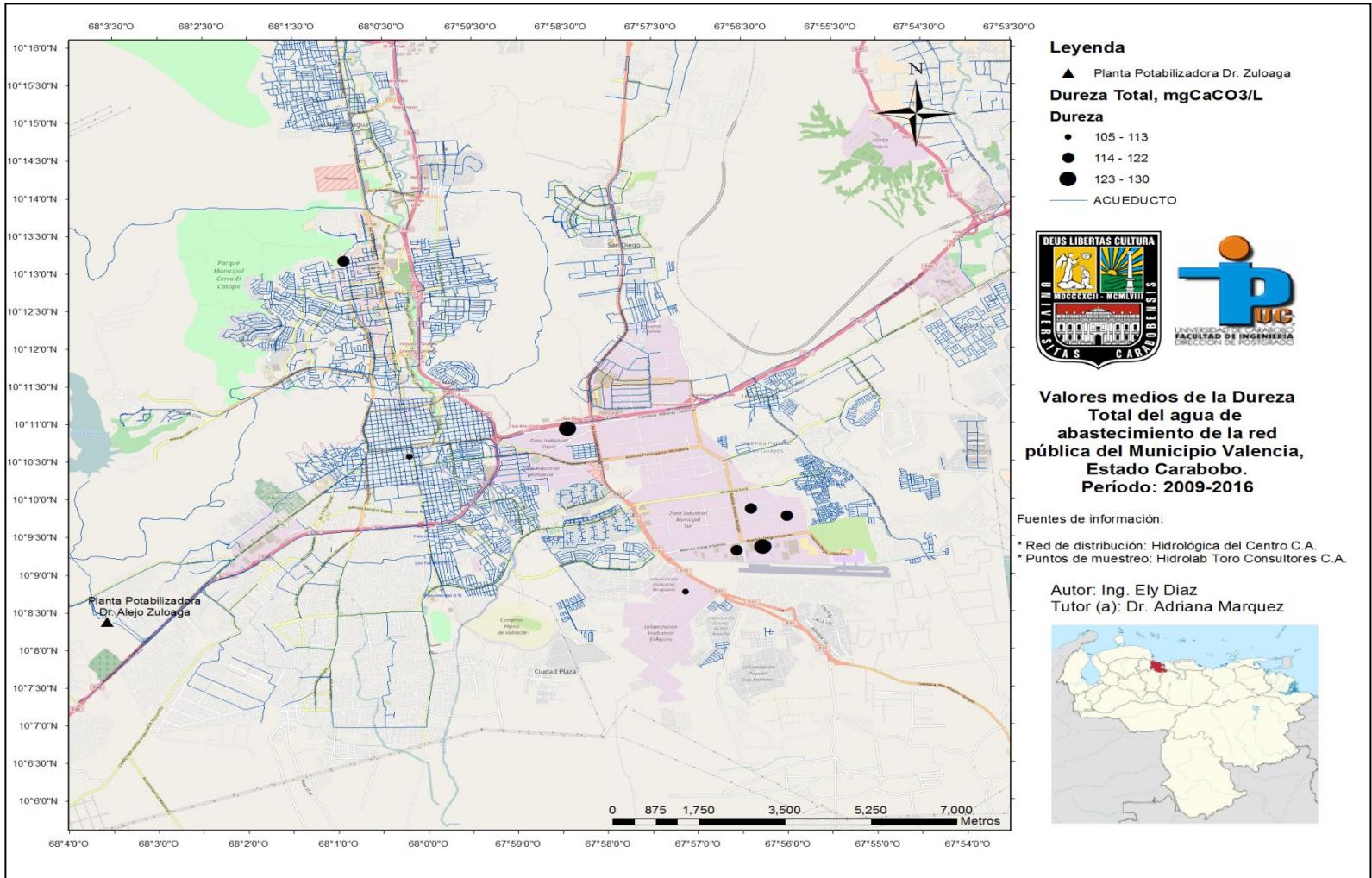


Figura 7. Valores medios de dureza total en el agua de abastecimiento de la red pública del municipio Valencia, estado Carabobo en el período 2009 – 2016.



En la figura 8 se representa los promedios anuales de dureza en el agua de abastecimiento de la red pública del municipio Valencia. Los valores varían desde 101.3 a 184.9 mgCaCO₃/L. Todos los años presentaron concentraciones deseables para el agua de consumo humano según lo establecido en el artículo 14 de la Norma Sanitaria.

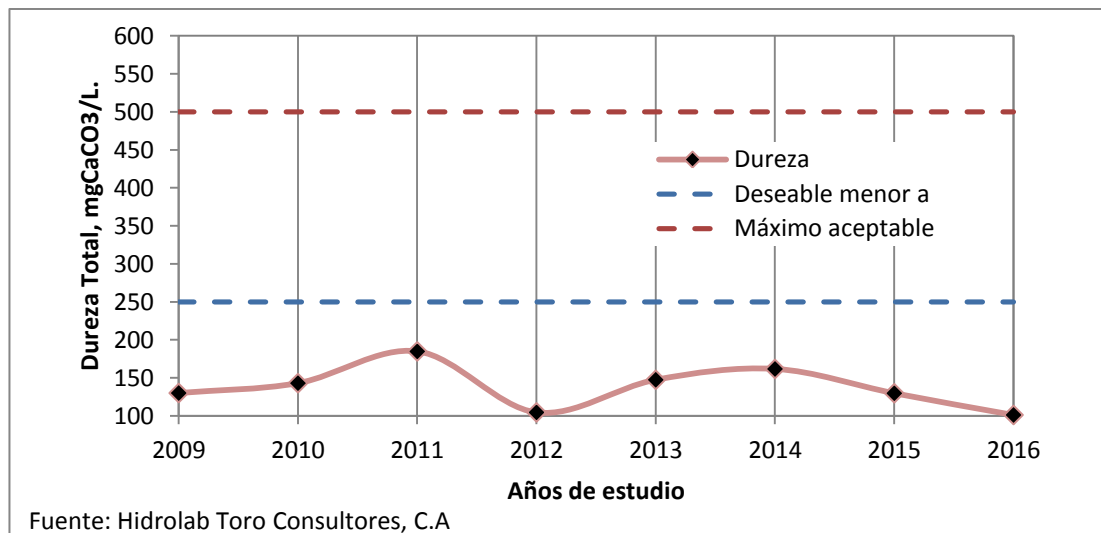


Figura 8. Valores promedio anual de la dureza total en el agua de abastecimiento de la red pública del municipio Valencia, estado Carabobo en el período 2009 – 2016. Las líneas a trazos de color rojo corresponden al valor máximo aceptable, igual a 500 mgCaCO₃/L. Las líneas a trazos de color azul corresponden al valor deseable menor a 250 mgCaCO₃/L. Estos valores umbrales son referenciados de la Gaceta Oficial N° 36.395 (1998).

4) Sólidos disueltos totales

En la figura 9 se muestran los valores medios de los sólidos disueltos del agua de abastecimiento de la red pública durante el período 2009 - 2016. Estos valores se clasificaron en ArcMap, utilizando un criterio manual estableciendo los rangos bajo, medio y alto a diferencia del criterio empleado para cloruros, sulfatos y dureza total.

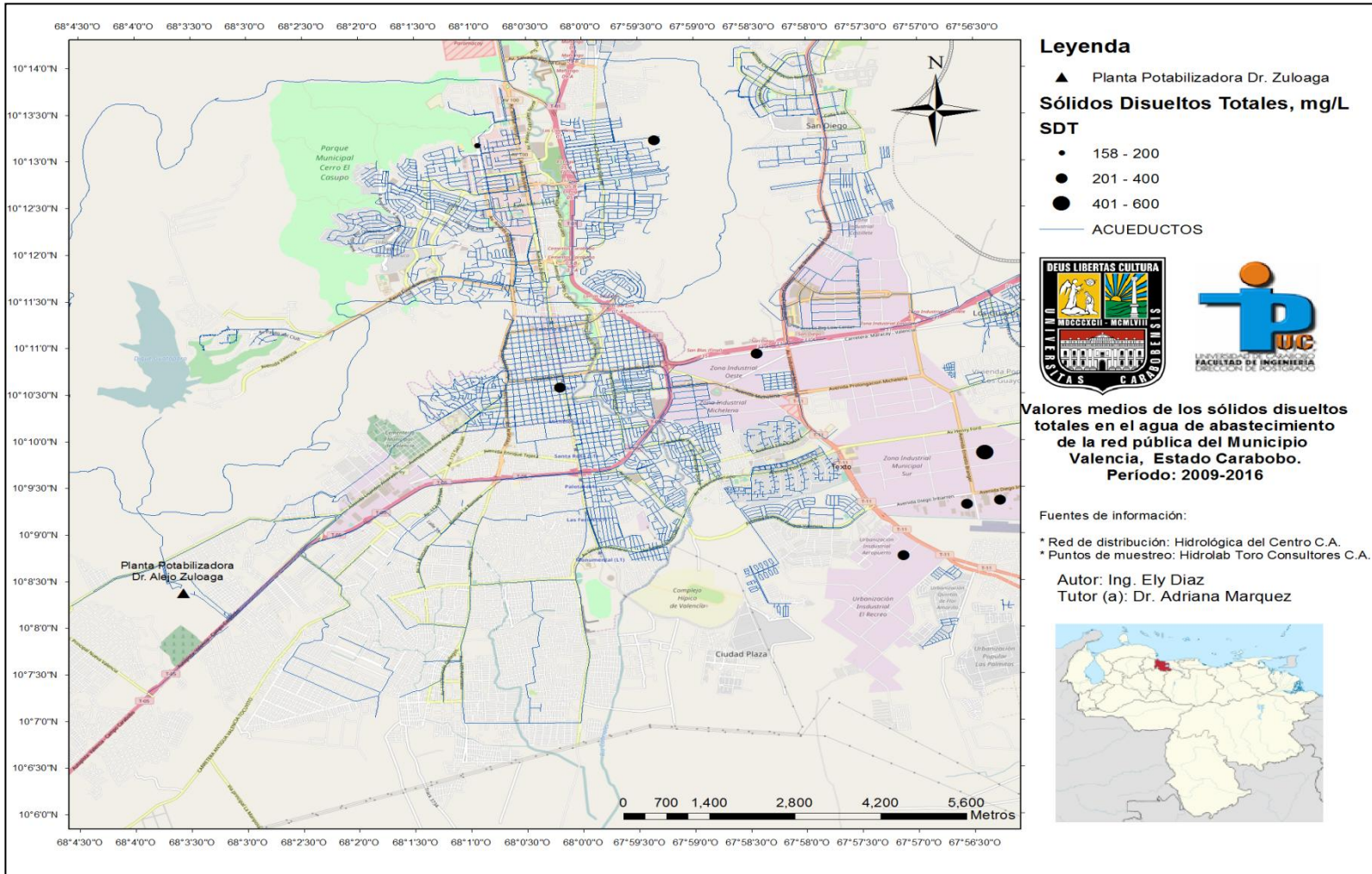


Figura 9. Valores medios de sólidos disueltos totales en el agua de abastecimiento de la red pública del municipio Valencia, estado Carabobo en el período 2009 – 2016.



Se encuentra una relativa similitud de los resultados entre las zonas muestreadas de las diferentes parroquias, por lo cual no hay tendencia de crecimiento o decrecimiento con respecto a la ubicación y su distancia a la Planta Potabilizadora. Todos los valores son admitidos para el agua de consumo humano según la Gaceta Oficial N° 36.395, en su artículo 14.

En la figura 10 se presenta los promedios anuales de los sólidos disueltos totales en el agua de abastecimiento de la red pública del municipio Valencia. En este otro aspecto evaluado, se puede observar que sus valores promedios son mucho menores al límite aceptable, con una tendencia a mantenerse relativamente constante en el tiempo.

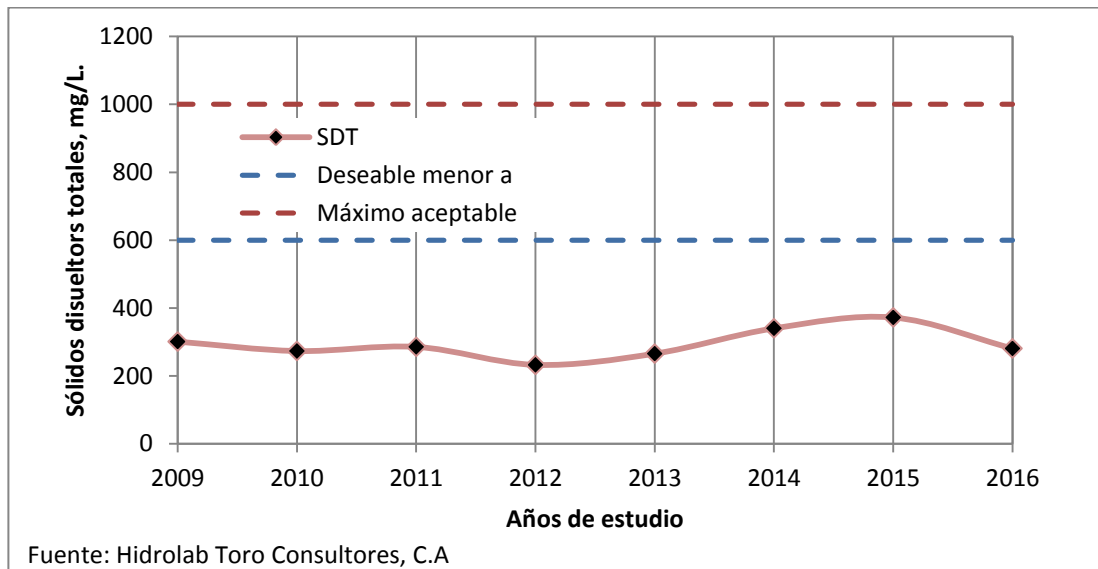


Figura 10. Valores promedio anual de sólidos disueltos totales en el agua de abastecimiento de la red pública del municipio Valencia, estado Carabobo en el período 2009 – 2016. Las líneas a trazos de color rojo corresponden al valor máximo aceptable, igual a 1000 mg/L. Las líneas a trazos de color azul corresponden al valor deseable menor a 600 mg/L. Estos valores umbrales son referenciados de la Gaceta Oficial N° 36.395 (1998).



Los sólidos disueltos totales corresponden a las sales inorgánicas presentes en el agua, principalmente se trata de sulfatos y cloruros. Además, destaca Perry et al. (2002) que parte de la dureza total del agua está asociada a sulfatos y cloruros como dureza permanente mientras que la dureza temporal la constituye sales de carbonato y bicarbonato.

Estos parámetros evaluados en la red de distribución del municipio Valencia, del estado Carabobo, durante el período 2009 – 2016 presentan poca variabilidad tanto a nivel espacial como temporal. Las mayores concentraciones detectadas de los cuatro parámetros señalados se encuentran en la parroquia Rafael Urdaneta y puede tener su explicación en el tiempo de servicio de las tuberías, los planes de racionamiento y las incrustaciones a lo largo de la red.

5) Nitritos

En la figura 11 se ilustra la concentración media de nitritos en el agua de abastecimiento de la red pública. En ArcMap, se aplica el criterio de clasificación de las concentraciones por cortes naturales para definir los rangos bajos, medios y altos; y simbolizar sobre los puntos de muestreo.

La red de la parroquia San José presenta la mayor variabilidad, con valores desde 10 a 960 ppb, seguida de la parroquia Rafael Urdaneta con valores desde 10 a 490 ppb. No hay un patrón de agrupación de valores altos o bajos por su ubicación en el mapa y distancia a la Planta Potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga. Tres de los ocho puntos de la red monitoreados presentan una concentración mayor a 0.03 mg/L (30 ppb) incumpliendo con lo señalado en el artículo 14 de la Normas Sanitarias.

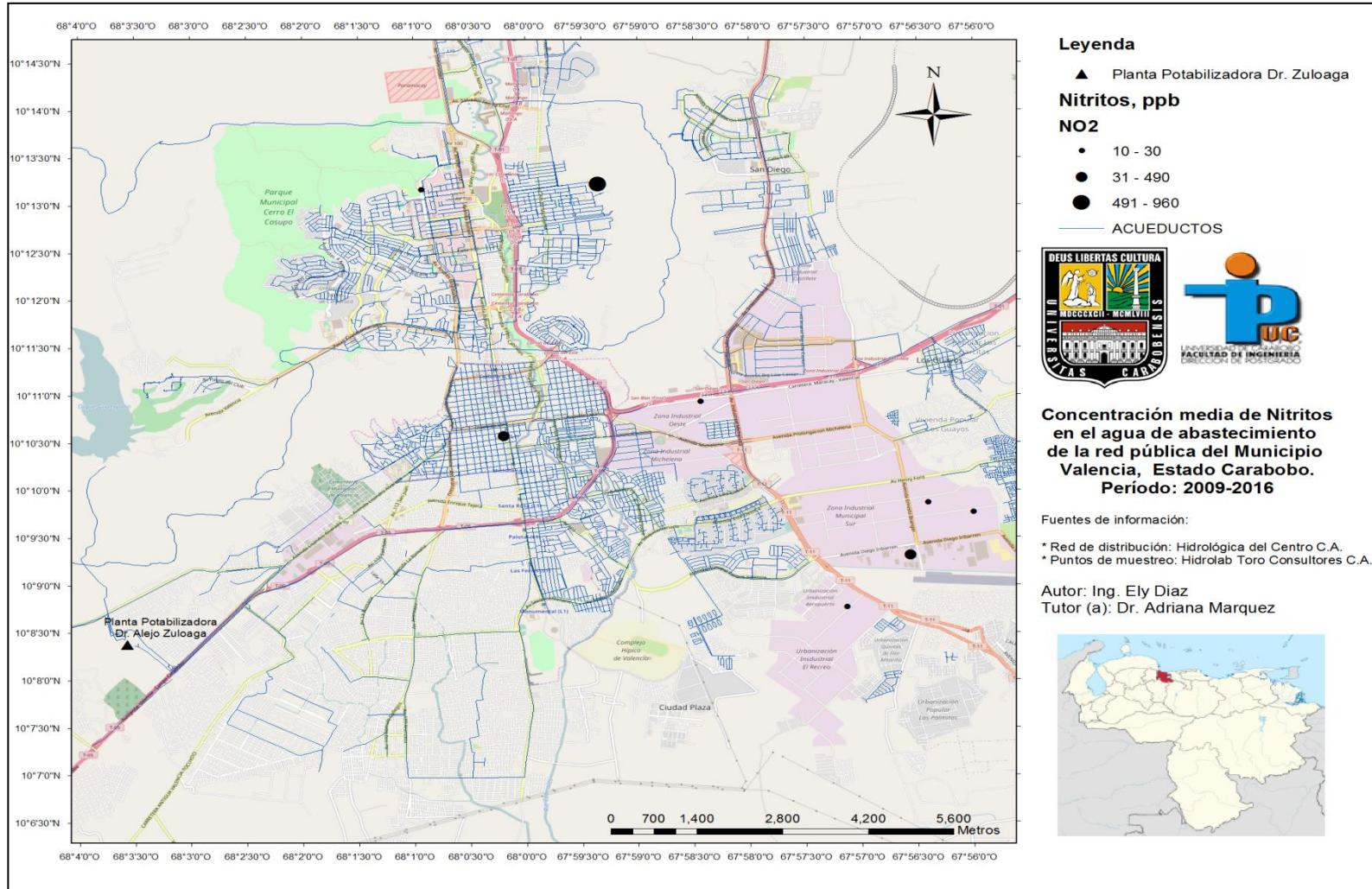


Figura 11. Concentraciones medias de nitritos en el agua de abastecimiento de la red pública del municipio Valencia, estado Carabobo en el período 2009 – 2016.



La concentración más elevada se encuentra en la parroquia San José, mientras que en las parroquias Candelaria y Rafael Urdaneta también se identificaron valores por encima de la Normativa.

En la figura 12 se presenta la caracterización temporal de los nitritos en el agua de abastecimiento de la red pública del municipio. Se puede observar que solo en el año 2016 la concentración de nitritos supera el límite aceptable.

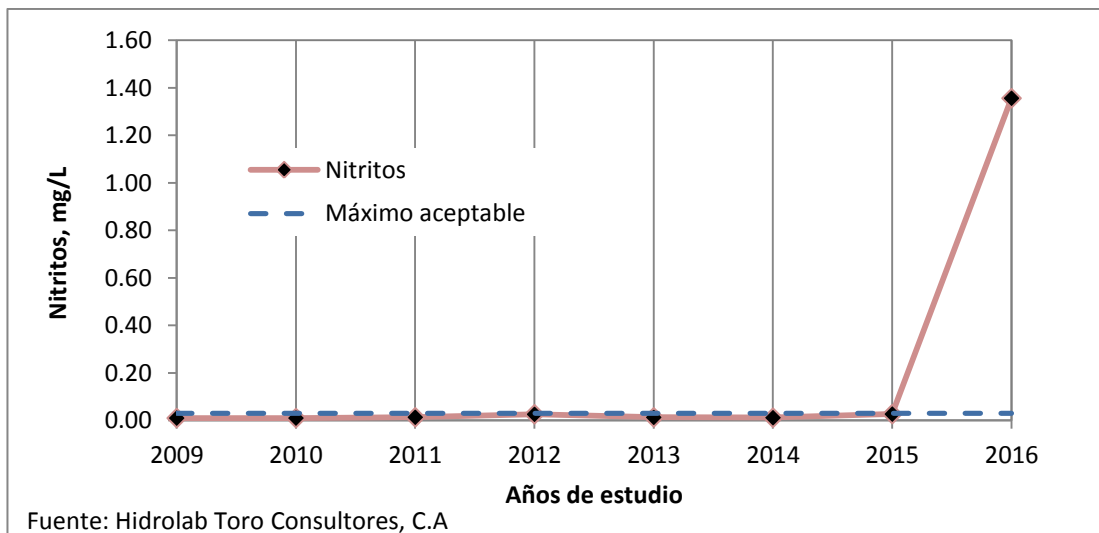


Figura 12. Valores promedio anual de nitritos en el agua de abastecimiento de la red pública del municipio Valencia, estado Carabobo en el período 2009 – 2016. Las líneas a trazos de color azul corresponden al valor máximo aceptable, igual a 0.03 mg/L. Este valor umbral viene referenciado de la Gaceta Oficial N° 36.395 (1998).



6) Nitratos

En la figura 13 se ilustra la concentración media de nitratos en el agua de abastecimiento de la red pública. Se aplica el mismo criterio de clasificación de los puntos utilizado para los nitritos.

La red en la parroquia San José presenta las concentraciones más elevadas, con valores desde 2400 a 8850 ppb, mientras que el resto de las parroquias presentan valores bastantes similares en el rango 266 a 2400 ppb. Todas las concentraciones son menores al límite aceptable por la Norma Sanitaria en su artículo 14.

En la figura 14 se muestran los promedios anuales de nitratos en el agua de abastecimiento de la red pública del municipio. Los valores oscilan entre 0.7 y 7.3 mg/L. En esta caracterización temporal, se puede observar que todos los promedios son inferiores al límite aceptable por el artículo 14.

Oliveira (2011) señala que los nitritos y nitratos son formas químicas asociadas directamente con materia orgánica ya que se producen en las redes durante la descomposición de nitrógeno orgánico y amoniacal por la acción del cloro. El agua desde la salida de la Planta de Tratamiento se puede contaminar por cualquier desperfecto de la red, en especial en los puntos más distantes como sucede con la parroquia San José en el municipio Valencia.

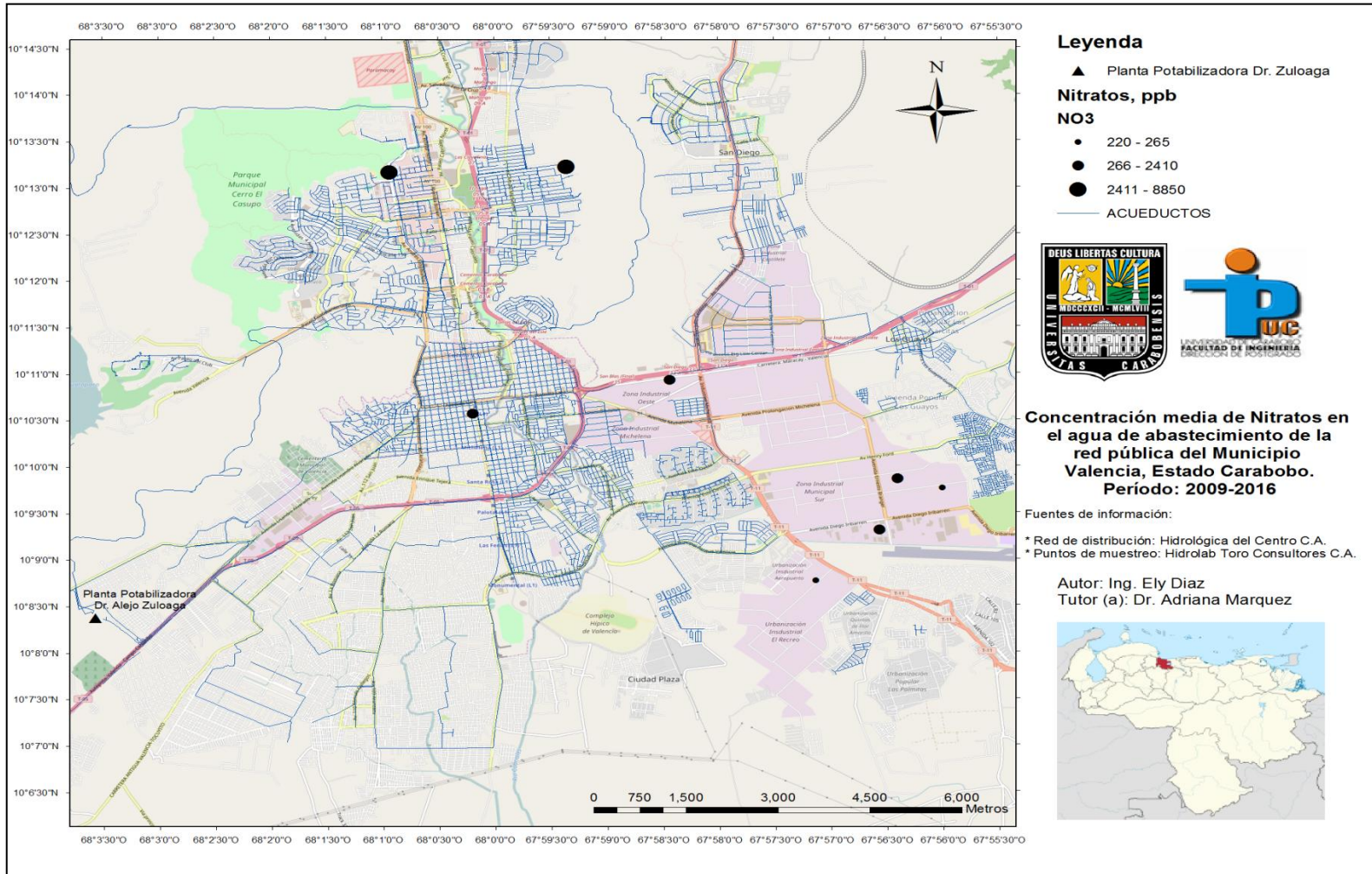


Figura 13. Concentraciones medias de nitratos en el agua de abastecimiento de la red pública del municipio Valencia, estado Carabobo en el período 2009 – 2016.

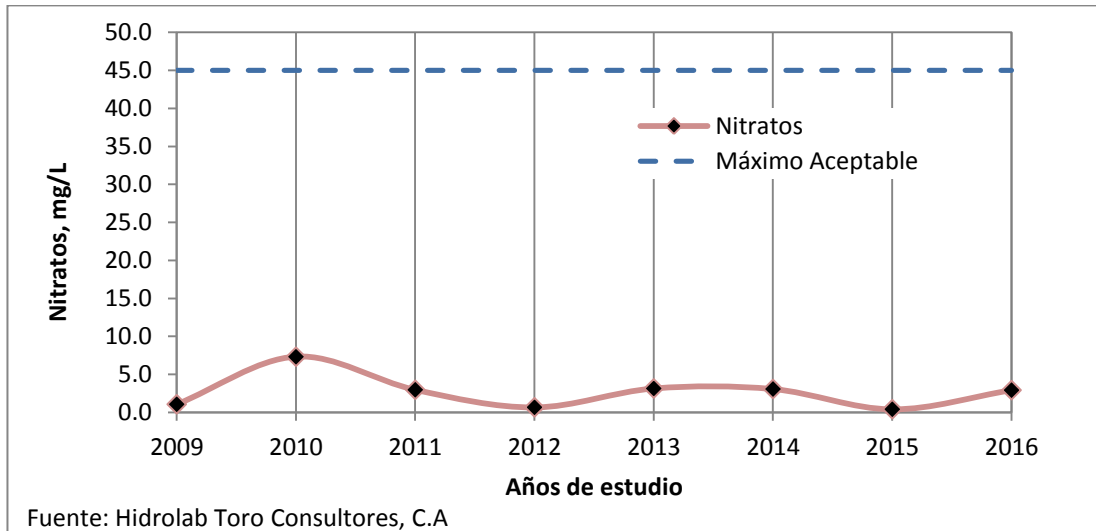


Figura 14. Valores promedio anual de nitratos en el agua de abastecimiento de la red pública del municipio Valencia, estado Carabobo en el período 2009 – 2016. Las líneas a trazos de color azul corresponden al valor máximo aceptable, igual a 45.0 mg/L. Este valor umbral viene referenciado de la Gaceta Oficial N° 36.395 (1998).

7) pH

En el mapa de la figura 15 se muestran los valores medios del pH del agua de abastecimiento de la red pública. Para clasificar estos valores sobre los puntos monitoreados, se utiliza un criterio manual estableciendo rangos bajo, medio y alto.

En las parroquias del Casco Central de Valencia y la parroquia San José el pH varía entre 6.62 y 7.00, mientras que en la parroquia Rafael Urdaneta el pH varía entre 6.62 y 8.00. Todos los puntos se encuentran dentro del rango aceptable indicado por las Normas Sanitarias publicadas en la Gaceta Oficial N° 36.395. Los valores más altos se hallan agrupados en el sureste del municipio, parroquia Rafael Urdaneta, Zona Industrial Municipal Sur.

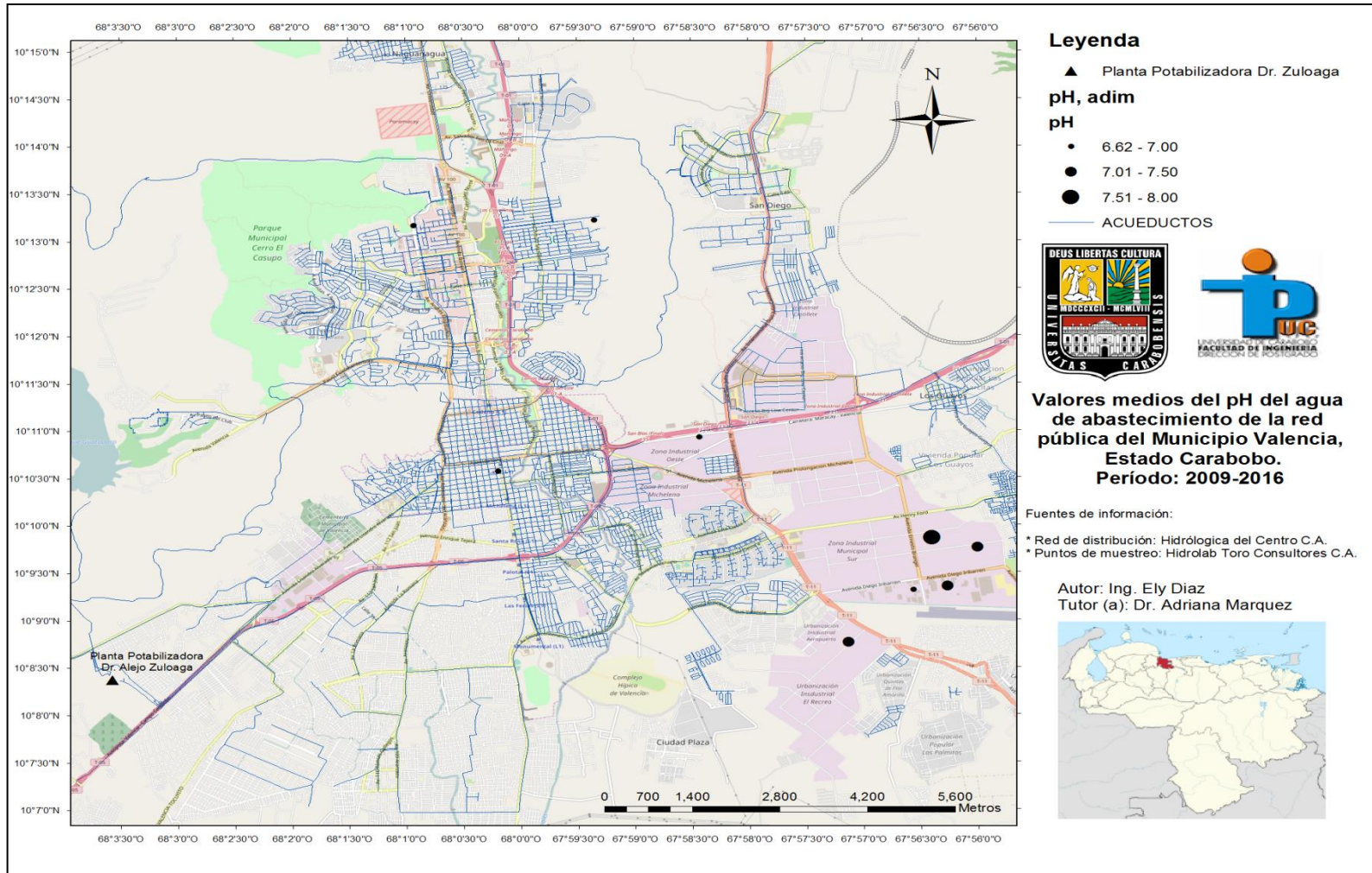


Figura 15. Valores medios del pH del agua de abastecimiento de la red pública del municipio Valencia, estado Carabobo en el período 2009 – 2016.

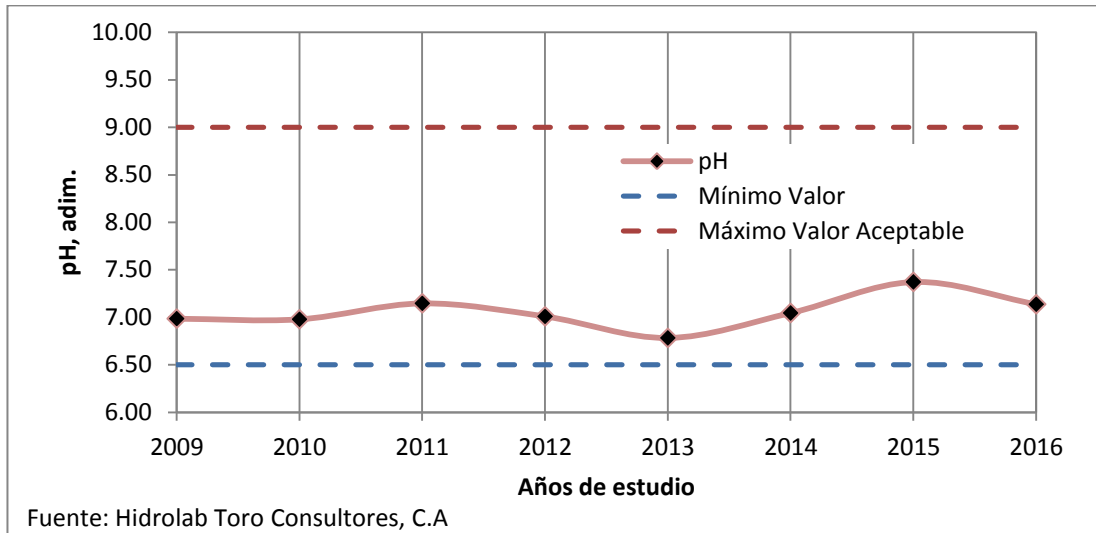


Figura 16. Valores promedio anual del pH del agua de abastecimiento de la red pública del municipio Valencia, estado Carabobo en el período 2009 – 2016. Las líneas a trazos de color rojo y azul corresponden al rango aceptable, según Gaceta Oficial N° 36.395 (1998).

En la figura 16 se presenta los promedios anuales del pH del agua de abastecimiento de la red pública del municipio Valencia. El pH se mantiene prácticamente constante, siendo la diferencia entre el valor máximo y mínimo solo 0.59 unidades. También, se puede observar que todos los promedios se encuentran dentro del rango requerido para el agua potable, como lo indica el citado artículo 14.

8) Color

En la figura 17 se puede observar los valores medios del color real del agua de abastecimiento de la red pública del municipio Valencia. Los valores promedios se clasifican usando un criterio manual para definir los tres niveles de color: bajo rango, medio rango y alto rango.

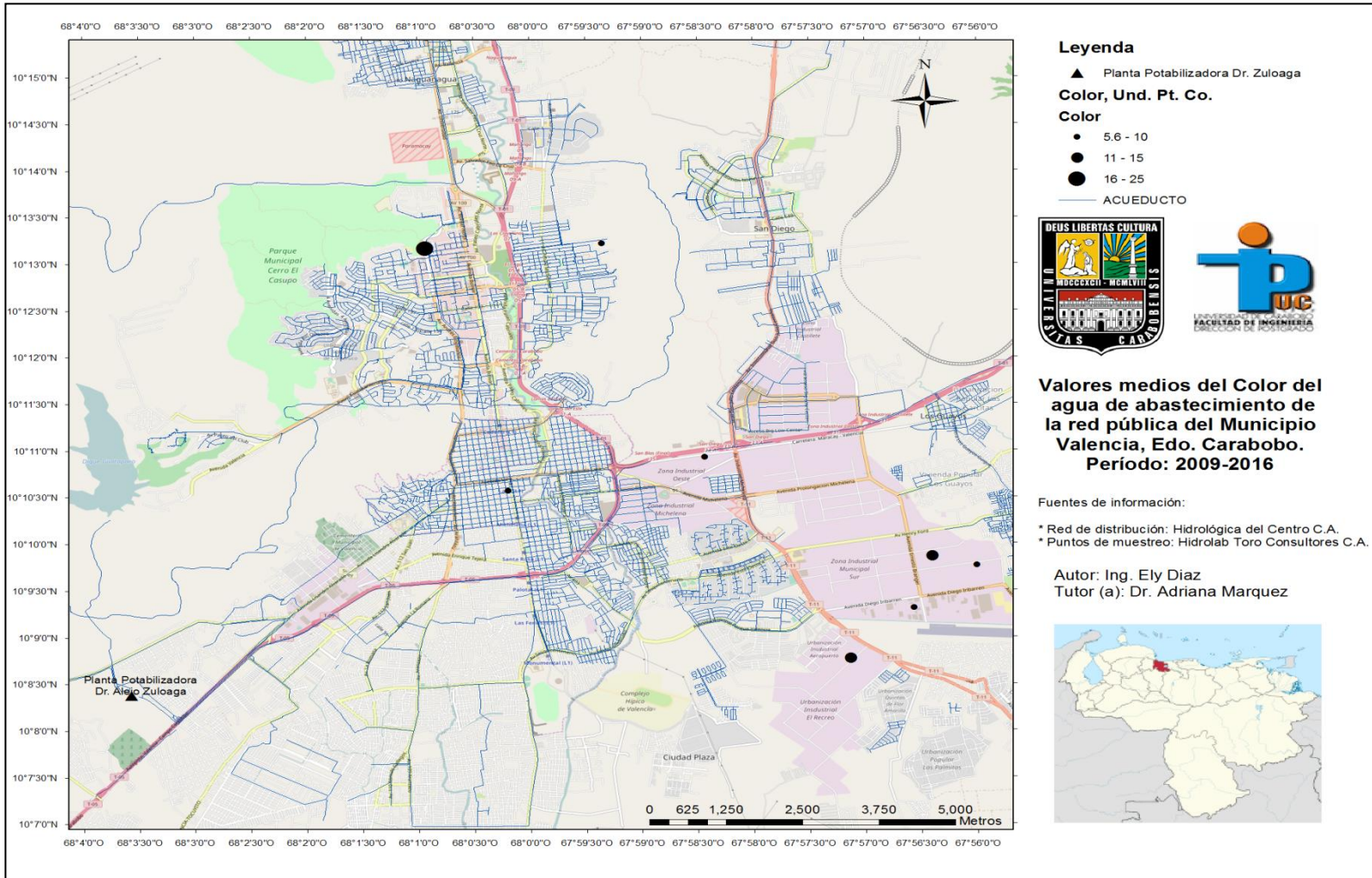


Figura 17. Valores medios del color del agua de abastecimiento de la red pública del municipio Valencia, estado Carabobo en el período 2009 – 2016.



Los valores de ruptura de los rangos se extraen del artículo 14 de la Norma Sanitaria según Resolución SG-018-98. El primer valor de ruptura o límite superior del nivel más bajo es 10 Unid. Pt. Co., y separa valores deseados de color con valores altos pero aceptables, representados en el segundo nivel con límite 15 Und. Pt. Co. El tercer valor de ruptura es 25 Unid. Pt. Co. utilizado para identificar los valores aceptables de forma provisional y en condiciones excepcionales establecidas por la Autoridad Sanitaria.

En la parroquia San José se observa una variabilidad del color entre 5.6 y 25 Und. Pt. Co., parroquias del Casco Central entre 5.6 y 10 Und. Pt. Co. y parroquia Rafael Urdaneta entre 5.6 y 15 Und. Pt. Co. Según información obtenida de Hidrocentro C.A., el color del agua a la salida de la planta de tratamiento Dr. Alejo Zuloaga durante el período de estudio presenta un promedio de 16 Und. Pt. Co. Se infiere, que no existe un patrón de variabilidad de este parámetro en la red.

En la figura 18 se muestra la gráfica de los promedios anuales de color en Unidades Pt. Co. del agua de abastecimiento de la red pública del municipio Valencia. Los valores van desde 6.0 a 19.7 Unid. Pt. Co. Según lo citado en el artículo 14, los promedios son aceptables excepto por el valor durante el año 2016, el cual queda sujeto a la aceptación provisional por parte de la Autoridad Sanitaria.

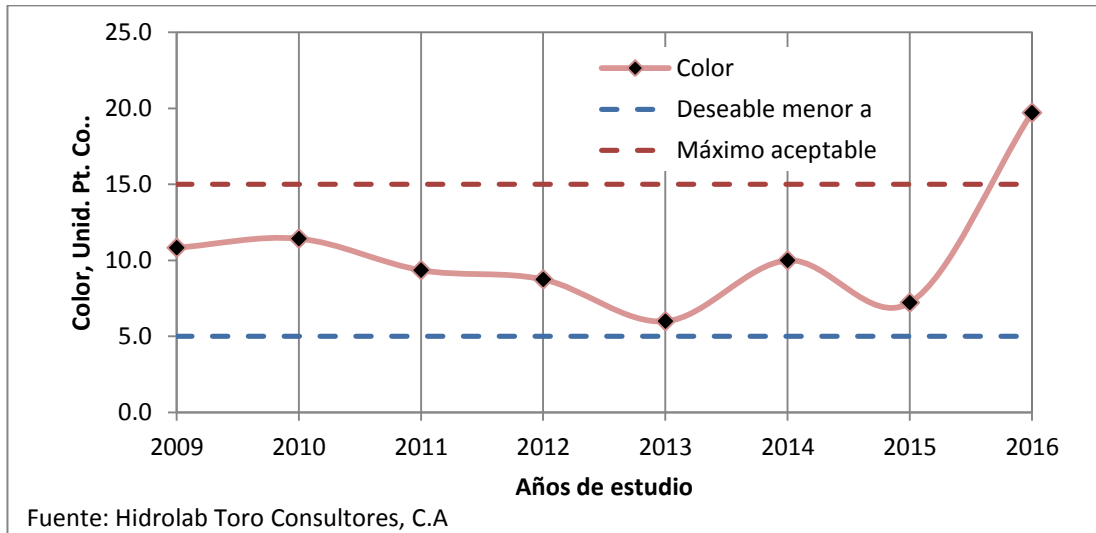


Figura 18. Valores promedio anual de color del agua de abastecimiento de la red pública del municipio Valencia, estado Carabobo en el período 2009 – 2016. Las líneas a trazos de color rojo corresponden al valor máximo aceptable, igual a 15 Unidades Pt. Co. Las líneas a trazos de color azul corresponden al valor deseable menor que 5 Und. Pt. Co. Estos valores umbrales son referenciados de la Gaceta Oficial N° 36.395 (1998).

9) Turbiedad

En la figura 19 se muestra los valores medios de la turbiedad del agua de abastecimiento de la red pública. Para clasificar los puntos monitoreados en el mapa, según los valores de turbiedad, se utiliza un criterio manual estableciendo rangos bajo, medio y alto.

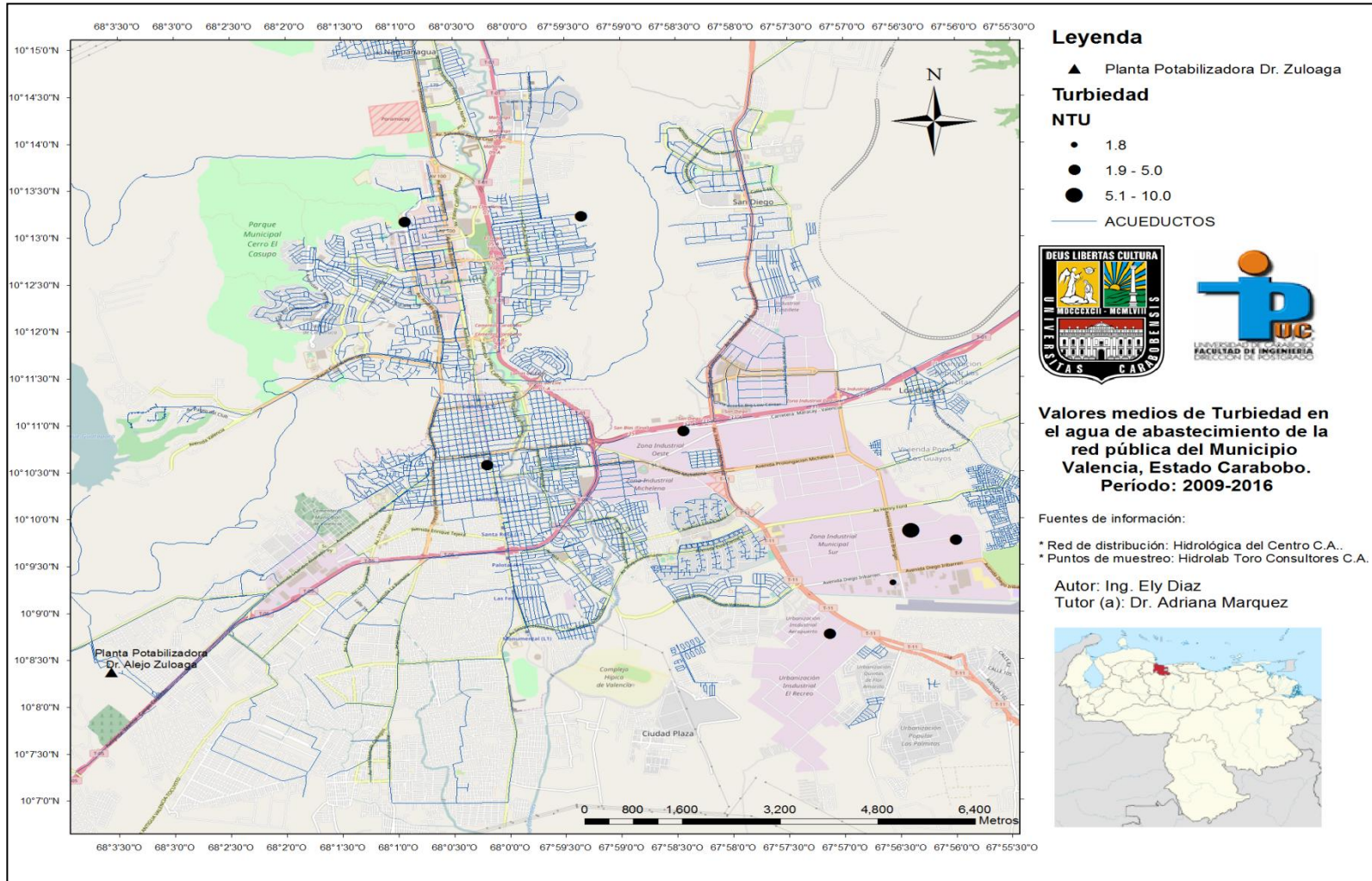


Figura 19. Valores medios de la turbiedad del agua de abastecimiento de la red pública del municipio Valencia, estado Carabobo en el período 2009 – 2016.



En siete de las ocho zonas muestreadas, la turbiedad del agua es inferior al máximo aceptable, es decir a 5 NTU. Hay similitud en los resultados obtenidos. El valor más alto, se ubica en la parroquia Rafael Urdaneta, Zona Industrial Municipal Sur; sin embargo, este valor es aceptado por la autoridad sanitaria de forma provisional y en casos excepcionales, tal y como lo describe el artículo 14 de la Gaceta Oficial N° 36.395. Según información oficial de Hidrocentro la turbiedad media a la salida de Planta Potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga durante el período 2011 – 2016 fue 5.9 NTU por encima del máximo aceptable con una tendencia al crecimiento.

En la figura 20 se presentan los promedios anuales de la turbiedad del agua de abastecimiento de la red pública. En este aspecto, se puede observar que todos los promedios son bajos, pero que en el 2016 se supero el máximo aceptable, según lo descrito en el artículo 14. Existe una tendencia progresiva a aumentar la turbiedad del agua ligeramente año tras año.

Según lo observado, los parámetros pH, color y turbiedad tienen comportamientos similares entre sí respecto a la ubicación del punto de muestreo, aumentando su magnitud a medida que la captación se realiza a mayor distancia de la Planta Potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga, es decir en las parroquias San José y Rafael Urdaneta. El color y la turbiedad presentan una tendencia al crecimiento de sus valores promedios en los últimos años. Afirma Arboleda (2000) que el color tiene un efecto indicador, porque su intensidad cambia con el pH. En general, al subir el pH se incrementa el color, siendo mayor el incremento observable con aguas que tienen originalmente una intensidad de color baja.

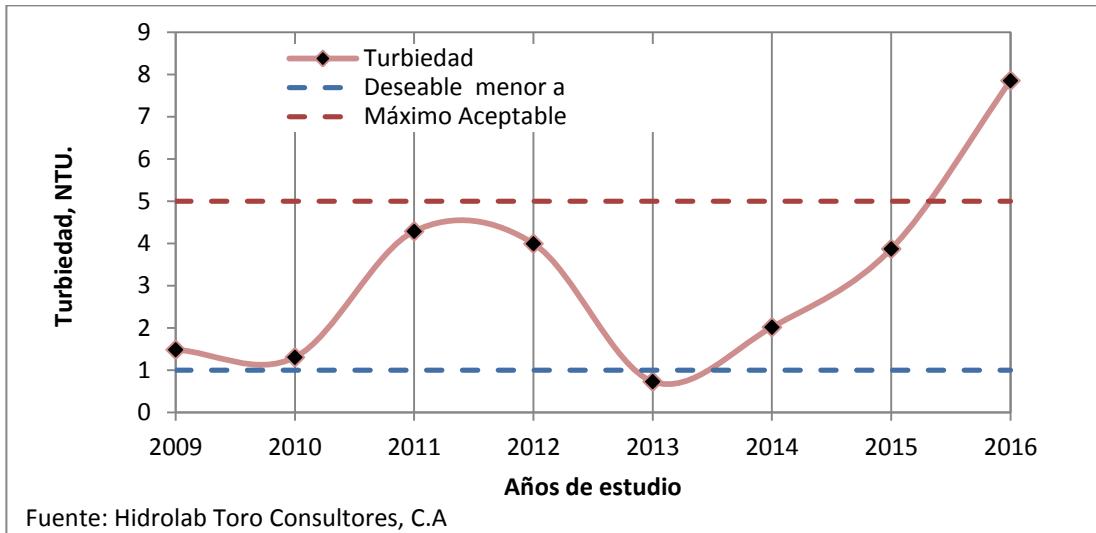


Figura 20. Valores promedio anual de la turbiedad del agua de abastecimiento de la red pública del municipio Valencia, estado Carabobo en el período 2009 – 2016. Las líneas a trazos de color rojo corresponden al valor máximo aceptable, igual a 5 NTU. Las líneas a trazos de color azul corresponden al valor deseable menor a 1 NTU. Estos valores umbrales son referenciados de la Gaceta Oficial N° 36.395 (1998).

10) Organismos heterótrofos aerobios

En la figura 21 se representa los valores promedios de heterótrofos en el agua de abastecimiento de la red pública del municipio Valencia durante el período de estudio 2009 – 2016. Para la clasificación de los niveles bajos, medios y altos de este parámetro se utiliza un criterio de intervalos de igualdad.

Los heterótrofos en la parroquia San José varían entre 18 y 39 UFC/mL, en la parroquia Rafael Urdaneta entre 6 y 39 UFC/mL, y en las parroquias del Casco Central de Valencia varían entre 6 y 17 UFC/mL. Todos los resultados representados son menores a 100 UFC/mL, y por consiguiente cumplen con lo establecido en el artículo 11 de la Gaceta Oficial N° 36.395 Resolución SG-018-98.

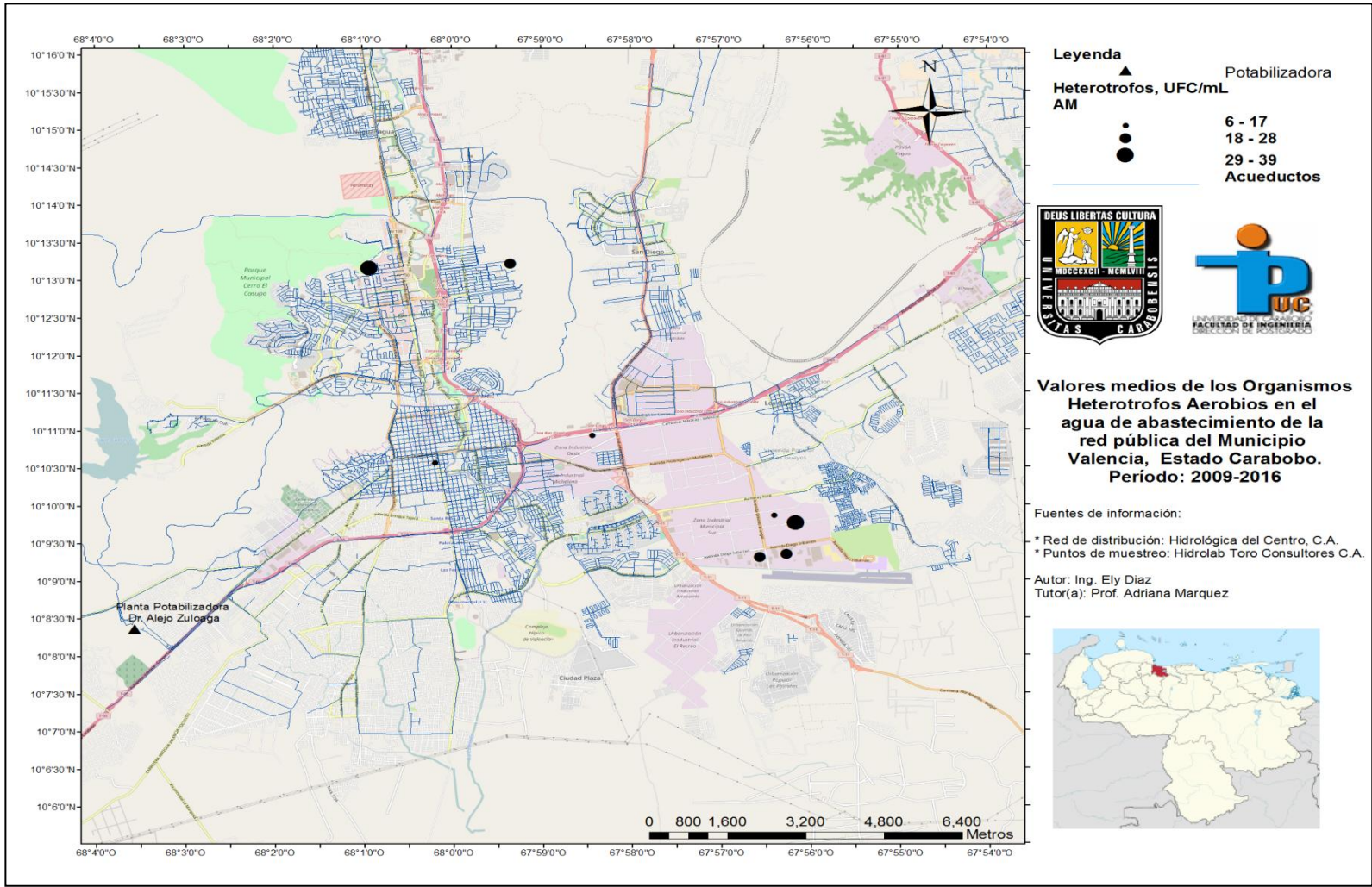


Figura 21. Valores medios de organismos heterótrofos aerobios en el agua de abastecimiento de la red pública del municipio Valencia, estado Carabobo en el período 2009 – 2016.



Los puntos muestreados de la parroquia San José y la parroquia Rafael Urdaneta presentan densidades superiores de unidades formadoras de colonias que aquellos puntos monitoreados de la red más cercanos a la salida de la Planta Potabilizadora.

En la figura 22 se presenta un grafico del estudio temporal de los valores medio anuales de heterótrofos en el agua de abastecimiento de la red pública del municipio Valencia. Se aprecia que todos los puntos monitoreados de la red presentan valores inferiores al límite indicado en el mencionado artículo 11 de la Norma Sanitaria, es decir menores a 100 UFC/mL. La diferencia entre el valor mínimo y máximo es 35 UFC/mL.

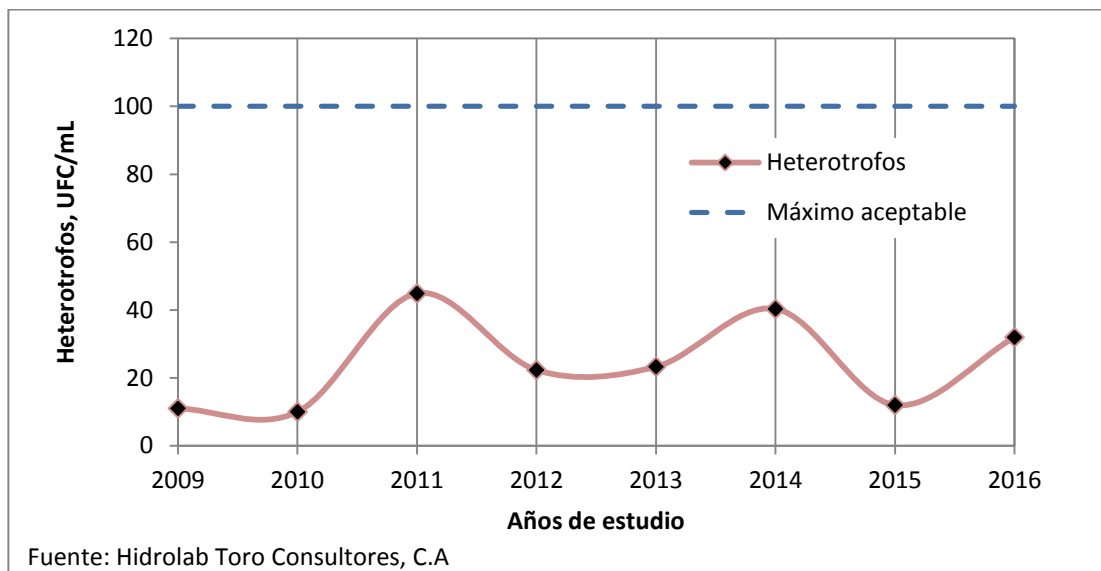


Figura 22. Concentración promedio anual de organismos heterótrofos aerobios en el agua de abastecimiento de la red pública del municipio Valencia, estado Carabobo en el período 2009 – 2016. Las líneas a trazos de color azul corresponden al valor máximo aceptable 100 UFC/mL establecido en la Gaceta Oficial N° 36.395 (1998).



11) Coliformes Totales

En la figura 23 se representa los valores medios de coliformes totales en el agua de abastecimiento de la red pública del municipio Valencia durante los años 2009 – 2016. Al igual que los diseños anteriores, se utiliza en ArcMap un criterio de clasificación manual para establecer los rangos de baja, media y alta densidad de coliformes totales.

Se observa una ligera tendencia a aumentar la presencia de coliformes totales en los puntos más distantes de la Planta Potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga. Dos de los ocho puntos de muestreo presentan valores promedios por encima de lo permitido, según lo establecido en el artículo 9 de la Resolución SG-018-98, Gaceta Oficial N° 36.395.

En la figura 24 se muestra los promedios anuales de coliformes totales detectados en el agua de abastecimiento de la red pública del municipio Valencia. Hay variabilidad significativa en los resultados. En los años 2011, 2014 y 2016 se manifestó la presencia de coliformes incumpliendo lo exigido en el citado artículo 9 de la Norma Sanitaria.

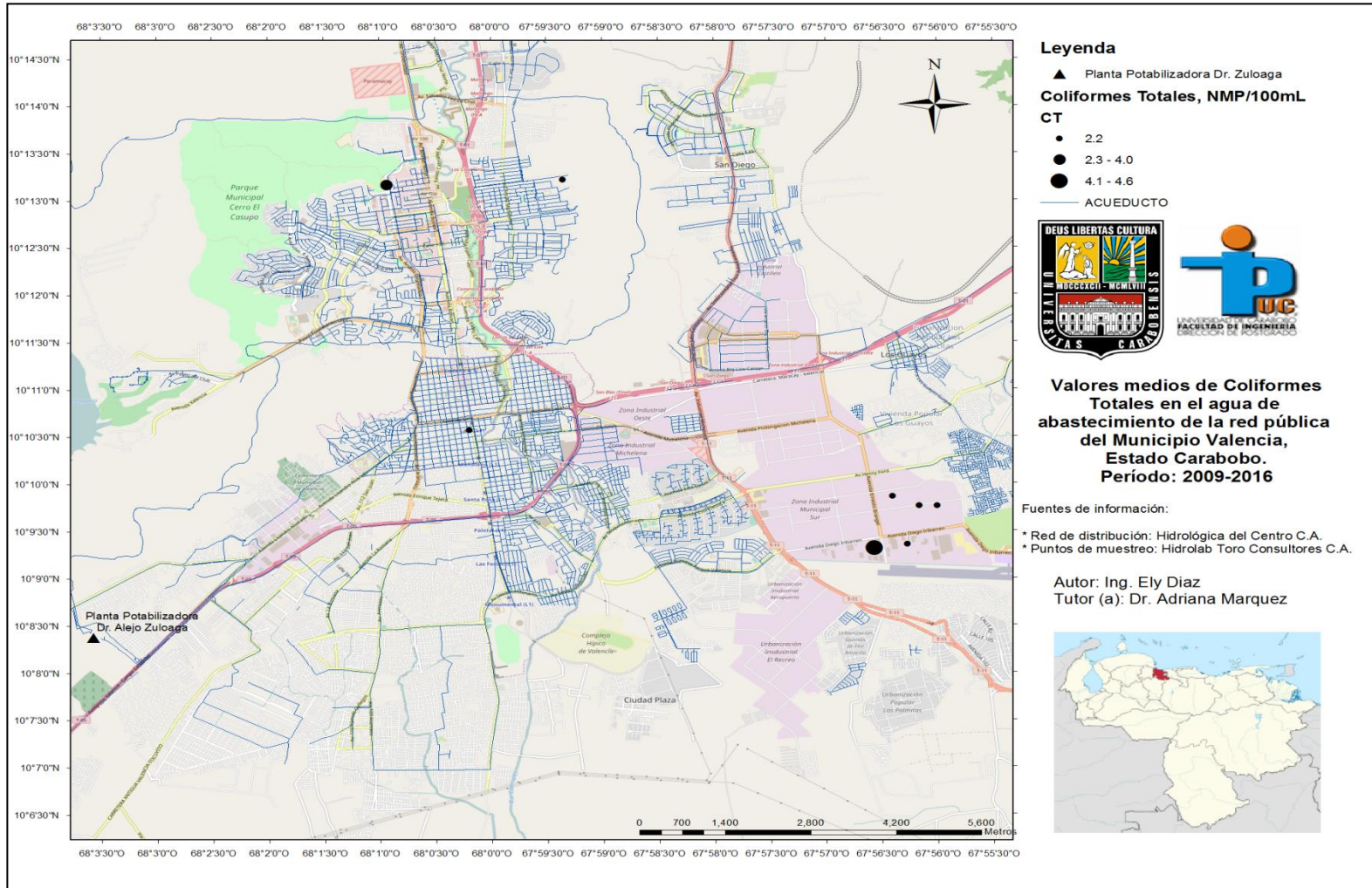
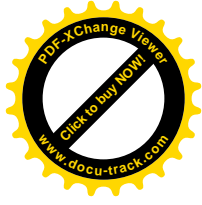


Figura 23. Valores medios de coliformes totales en el agua de abastecimiento de la red pública del municipio Valencia, estado Carabobo en el período 2009 – 2016.

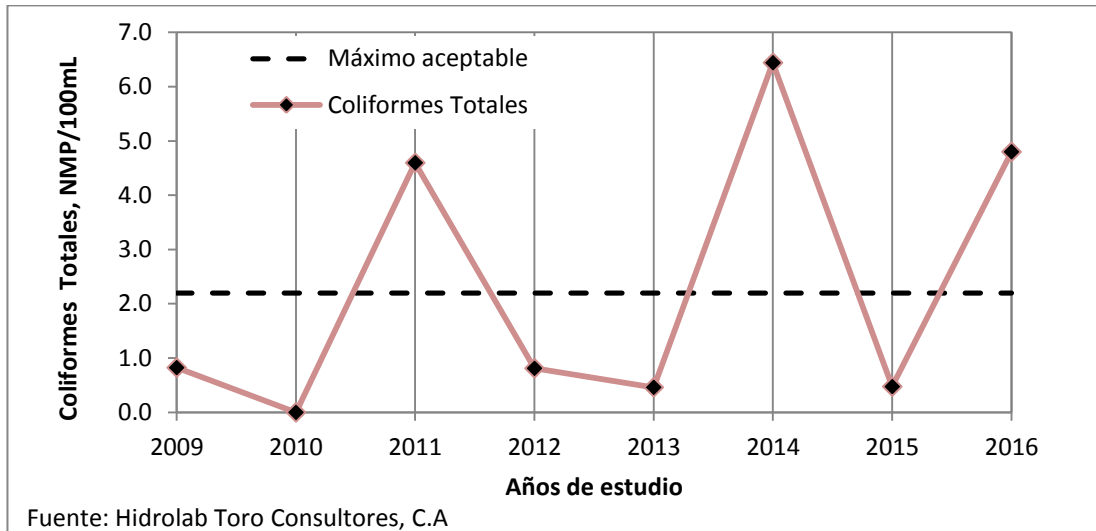


Figura 24. Valores promedio anual de coliformes totales en el agua de abastecimiento de la red pública del municipio Valencia, estado Carabobo en el período 2009 – 2016. Las líneas a trazos de color negro corresponden al valor máximo aceptable, menor a 2.2 NMP/100mL. Este valor umbral esta referenciado de la Gaceta Oficial N° 36.395 (1998).

Parámetros microbiológicos como los organismos heterótrofos aerobios y los coliformes totales se manifiestan en mayor medida en las parroquias más alejadas a la Planta Potabilizadora, como San José y Rafael Urdaneta debido a la demanda de cloro por compuestos orgánicos que reduce la cantidad de cloro residual en la red y puede producir rebrotes de contaminación. El agua mientras más alejada se encuentra de la red principal es más susceptible a la contaminación bacteriana. Otros factores como pérdida de presión, antigüedad de las tuberías, fugas o falta de mantenimiento del sistema, también están involucrados sobre una afectación de la calidad del agua de abastecimiento público.



12) Hierro Total

En la figura 25 se exhibe las concentraciones medias de hierro total en el agua de abastecimiento. Para clasificar las cantidades en los puntos de muestreo en ArcMap se utiliza el criterio manual fijando los rangos bajo, medio y alto. Existe cierto carácter aleatorio de los valores medios con respecto a su ubicación en la red de distribución, aunque se manifiesta mayor concentración en la parroquia Rafael Urdaneta. En el mapa se puede observar que cuatro de los ocho puntos muestreados, presentan una concentración superior a 300 ppb, equivalente a 0.3 mg/L; indicado como valor máximo aceptable en el artículo 14 de la Norma Sanitaria, publicada en la Gaceta Oficial N° 36.395. No obstante, ninguno de los valores promedios es superior a 1000 ppb y por tanto son concentraciones aceptadas provisionalmente por la autoridad sanitaria.

En la figura 26 se muestra los promedios anuales de hierro en el agua de abastecimiento de la red pública del municipio Valencia. Los valores oscilan desde 0.08 a 0.62 mg/L. Solo los años 2009 y 2014 presentan valores aceptables, según lo argumentado en el citado artículo 14, y existe una tendencia a aumentar la concentración de hierro en la red desde el año 2014.

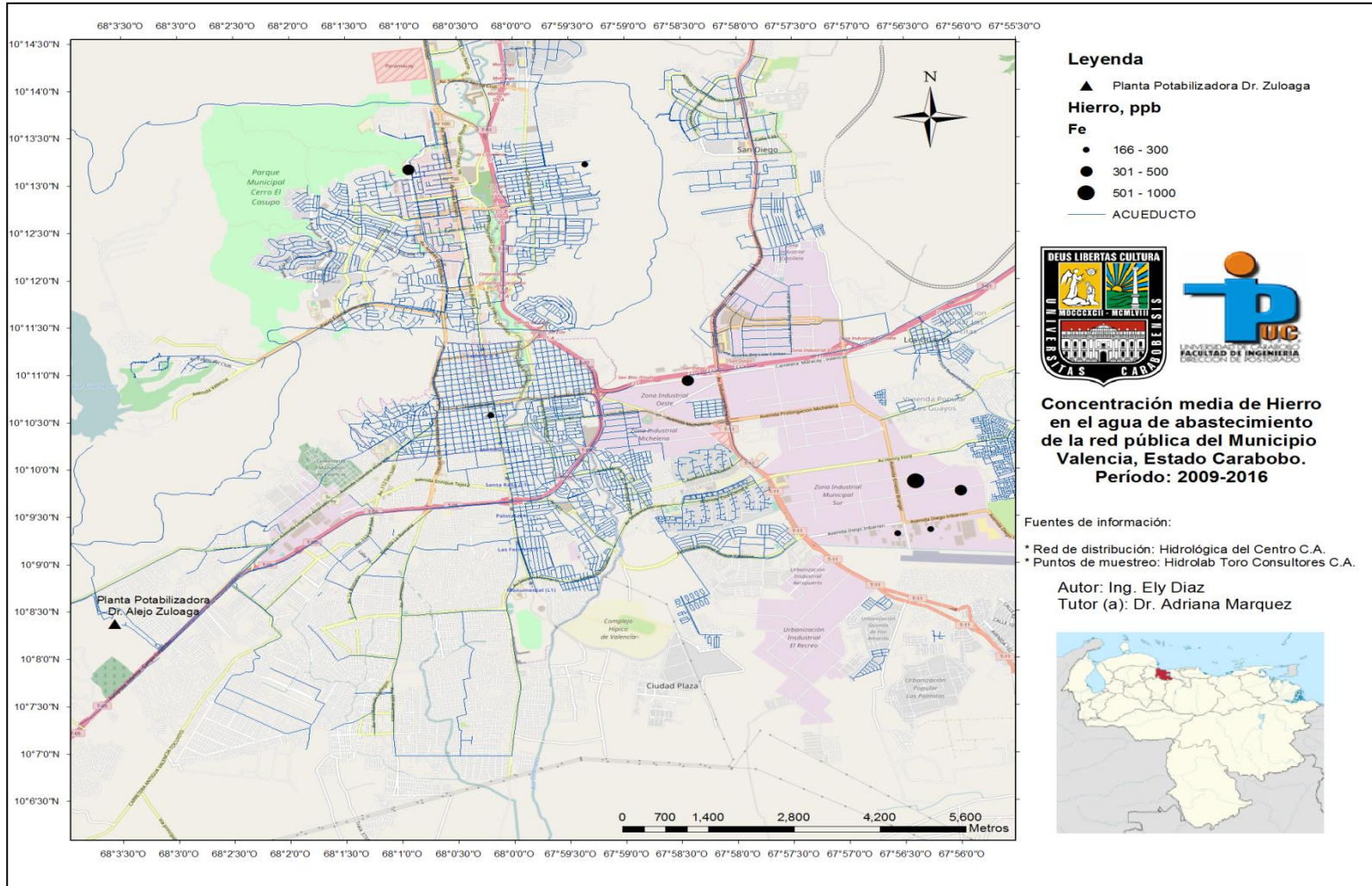


Figura 25. Valores medios de hierro total en el agua de abastecimiento de la red pública del municipio Valencia, estado Carabobo en el período 2009 – 2016.

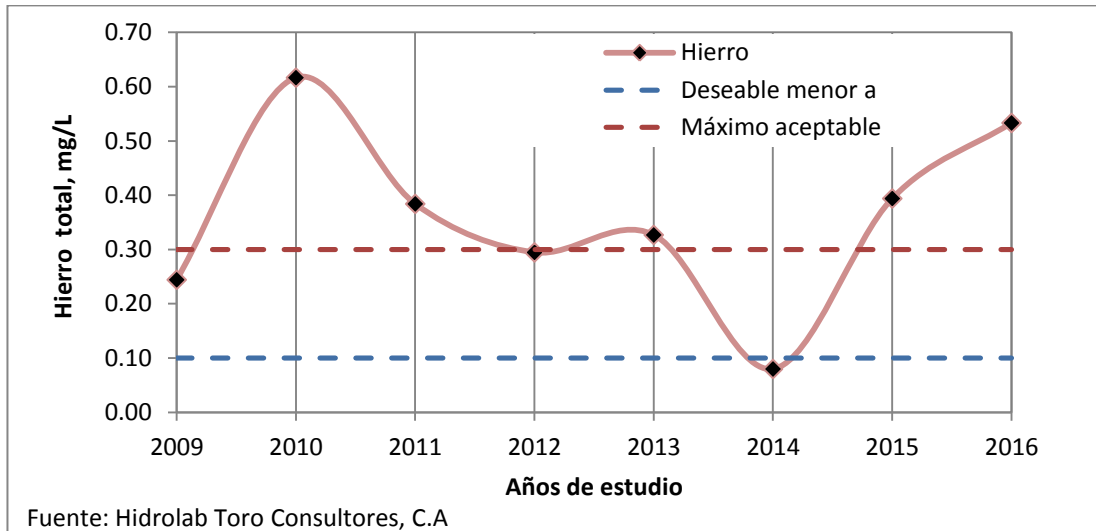


Figura 26. Valores promedio anual de hierro total en el agua de abastecimiento de la red pública del municipio Valencia, estado Carabobo en el período 2009 – 2016. Las líneas a trazos de color rojo corresponden al valor máximo aceptable, igual a 0.30 mg/L. Las líneas a trazos de color azul corresponden al valor deseable menor a 0.10mg/L. Estos valores umbrales son referenciados de la Gaceta Oficial N° 36.395 (1998).

13) Manganeso Total

En la figura 27 se presenta las concentraciones medias de manganeso en el agua de abastecimiento de la red pública municipio Valencia. Al igual que para la clasificación de las cantidades de hierro en los puntos de muestreo, se utiliza el criterio manual, definiendo los rangos bajo, medio y alto. El valor de ruptura del rango alto, representa el máximo aceptable establecido en el artículo 14 de la mencionada Norma Sanitaria de Calidad del Agua Potable. En el mapa se observa que no existe un patrón de agrupación espacial de valores altos y bajos en referencia a su ubicación con respecto a la Planta Potabilizadora, sin embargo la mayor variabilidad de manganeso se encuentra en la red de la parroquia Rafael Urdaneta donde varía entre 56 y 500 ppb.

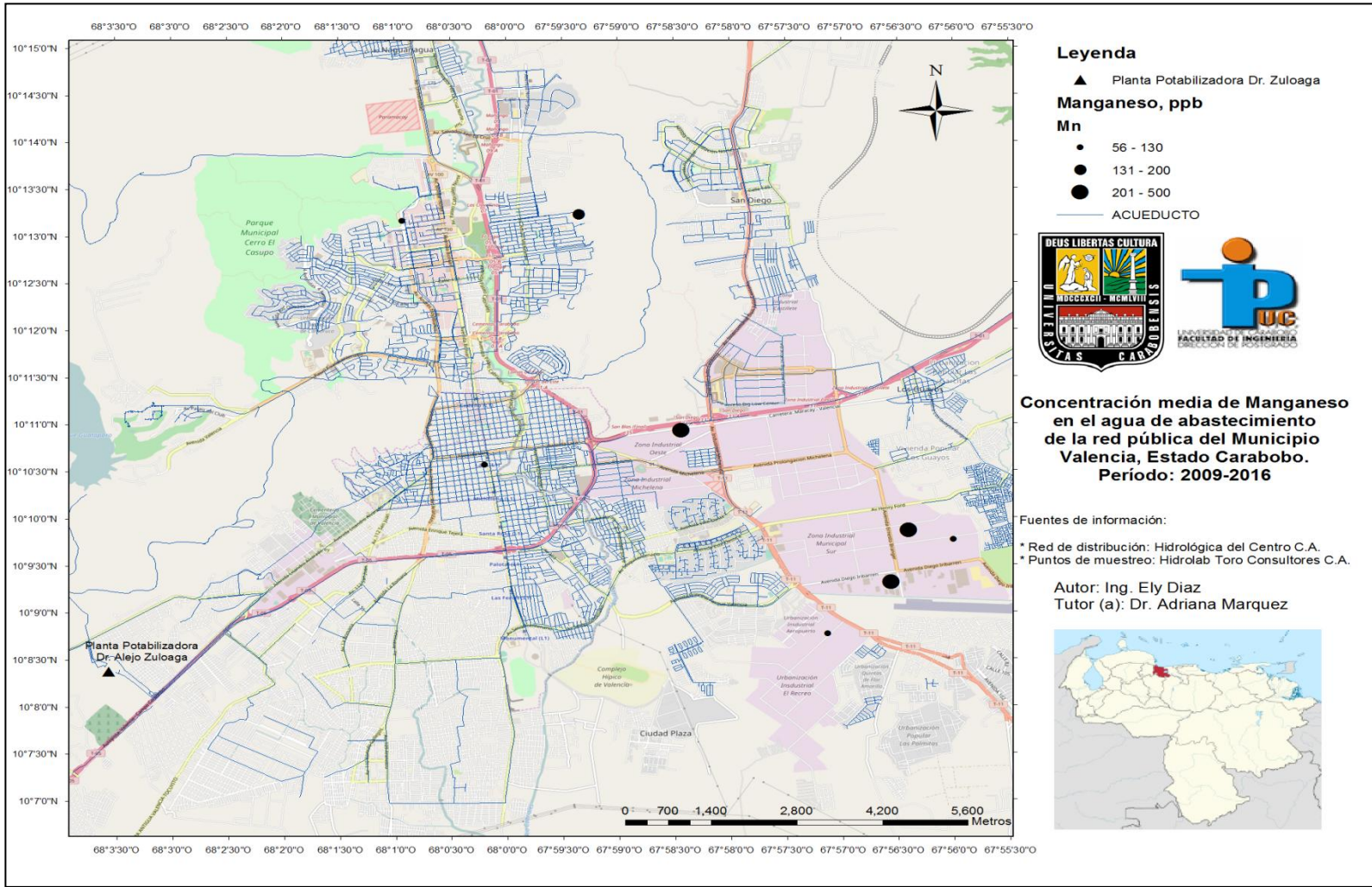


Figura 27. Valores medios de manganeso total en el agua de abastecimiento de la red pública del municipio Valencia, estado Carabobo en el período 2009 – 2016.



En la parroquia San José varía entre 56 y 200 ppb, y parroquias del Casco Central varía entre 56 y 130 ppb. Todos los puntos de la red muestreados, posee una concentración de manganeso menor al máximo aceptable por la Norma; y cuatro de los ochos puntos tiene una concentración media menor a 130 ppb, lo que equivale a 0.13 mg/L.

En la figura 28 se muestran los promedios anuales de manganeso total en el agua de abastecimiento de la red pública del municipio. Los valores van desde 0.04 a 0.36 mg/L. Del 2009 al 2012, los valores promedios son inferiores a 0.10 mg/L. Del 2013 en adelante, los promedios han fluctuado, pero se han mantenido inferiores a 0.36 mg/L.

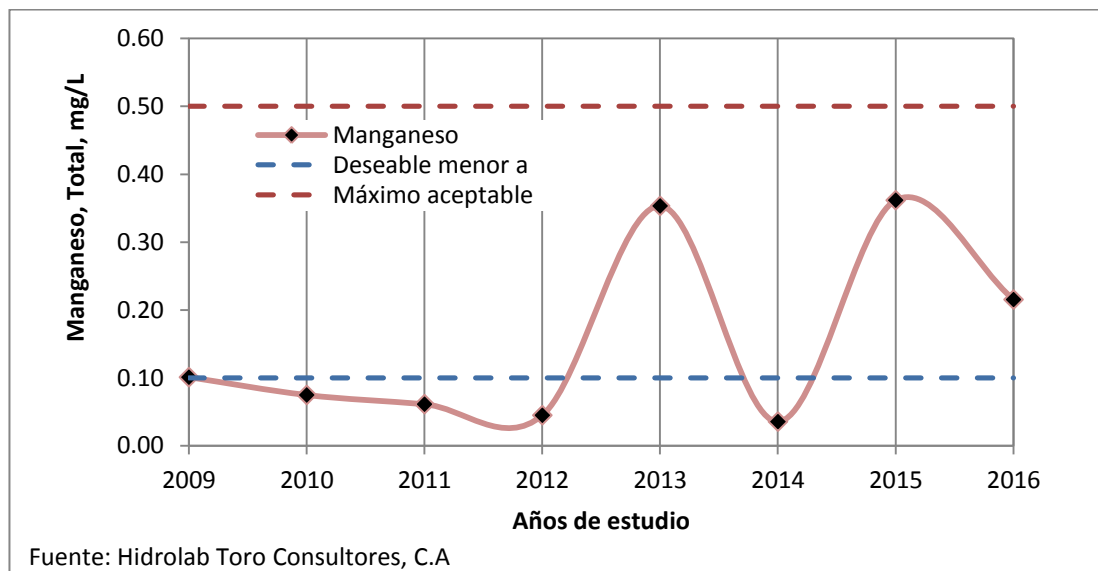


Figura 28. Valores promedio anual de manganeso total en el agua de abastecimiento de la red pública del municipio Valencia, estado Carabobo en el periodo 2009 – 2016. Las líneas a trazos de color rojo corresponden al valor máximo aceptable, igual a 0.50 mg/L. Las líneas a trazos de color azul corresponden al valor deseable menor a 0.10mg/L. Estos valores umbrales son referenciados de la Gaceta Oficial N° 36.395 (1998).



Las concentraciones más elevadas de hierro y manganeso, que son los principales causantes del color del agua, se encuentran en la parroquia Rafael Urdaneta, con una tendencia a aumentar sus concentraciones promedio en el municipio desde el 2014. No obstante, el carácter aleatorio de estos resultados, es una consecuencia directa del estado físico de la red. En ese sentido, Tzatchkov y Arreguín (1996), articulan que la antigüedad de las tuberías, los materiales, recubrimientos y el deterioro o falta de mantenimiento de las mismas, puede causar que aumente la presencia de estos metales en el agua.

14) Aluminio

En la figura 29 se representa la concentración media de aluminio en el agua de abastecimiento de la red pública del municipio Valencia durante el período de estudio 2009 – 2016. Para elaborar el mapa en ArcMap con este parámetro, se establece un criterio manual, clasificando los datos en tres rangos de concentración. Como se puede visualizar en la leyenda adjunta al mapa, los valores de ruptura de estos rangos para el aluminio son 100, 200 y 480 ppb. Los valores de 100 y 200 ppb, respectivamente, corresponden al límite deseable y al máximo aceptable según lo estipula el artículo 14 de la Gaceta Oficial N° 36.395 resolución SG-018-98 “Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable”. El último valor de ruptura, tercer nivel, permite incluir los valores promedios de aluminio por encima del máximo aceptable.

En el mapa se observa que el aluminio en la red de las parroquias del Casco Central de Valencia y la parroquia San José varía entre 200 y 480 ppb, mientras que la parroquia Rafael Urdaneta presenta mayor variación con valores que van desde 95 a 480 ppb.

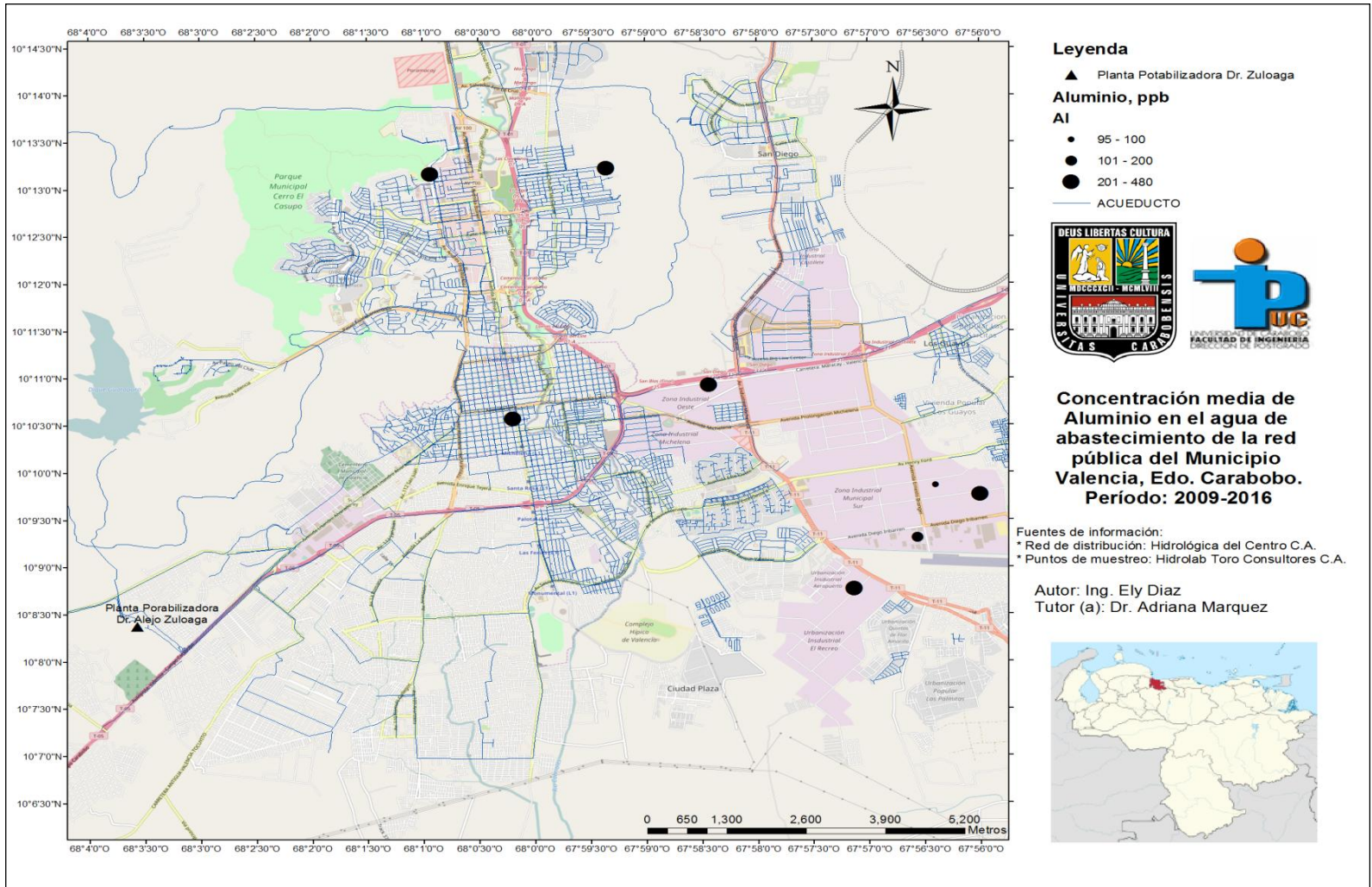
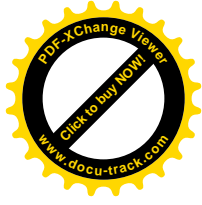


Figura 29. Concentración media de aluminio en el agua de abastecimiento de la red pública del municipio Valencia, estado Carabobo en el período 2009 – 2016.



Seis de los ocho puntos muestreados en el municipio presentan valores superiores al máximo aceptable por la Norma Sanitaria, es decir mayores a 200 ppb, y por tanto existe un patrón de agrupación de valores altos de aluminio en la red. Según información oficial de Hidrocentro C.A., el promedio de aluminio a la salida de la Planta de Tratamiento es 0.59 mg/L (590 ppb), lo cual ratifica el incumplimiento de este parámetro en la red de distribución.

En la figura 30 se observa un gráfico de dispersión de las concentraciones promedios anuales del aluminio en el agua de abastecimiento de la red pública del municipio Valencia. Estos valores varían desde 0.08 mg/L hasta 0.51 mg/L, y se puede apreciar que la red presenta una concentración de aluminio superior al máximo aceptable en cinco de los ocho años evaluados en este estudio. Además, desde el año 2013 existe una tendencia a aumentar la concentración de este parámetro.

Toda la red del Acueducto Regional del Centro Etapa I presenta valores altos de aluminio y al igual que el hierro y el manganeso, tiende a aumentar su concentración en los últimos años del estudio.

Las concentraciones de aluminio en el agua de abastecimiento público proporcionan un indicio de las altas dosis de sulfato de aluminio aplicado en la Planta Potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga, necesarias para descontaminar las aguas que provienen del embalse Pao Cachinche. Arboleda (2000) explica que en el proceso de coagulación floculación se genera un residual de aluminio, es decir una fracción soluble en agua, dependiente del pH y la alcalinidad. Si se pierde control de estas variables durante el tratamiento, el aluminio residual permanece aún después de la etapa de filtración, puede postprecipitar en la red los coloides que han quedado sin filtrar, arrastrando



partículas remanentes de turbiedad o encontrarse disuelto en el agua que reciben las diferentes parroquias del municipio Valencia.

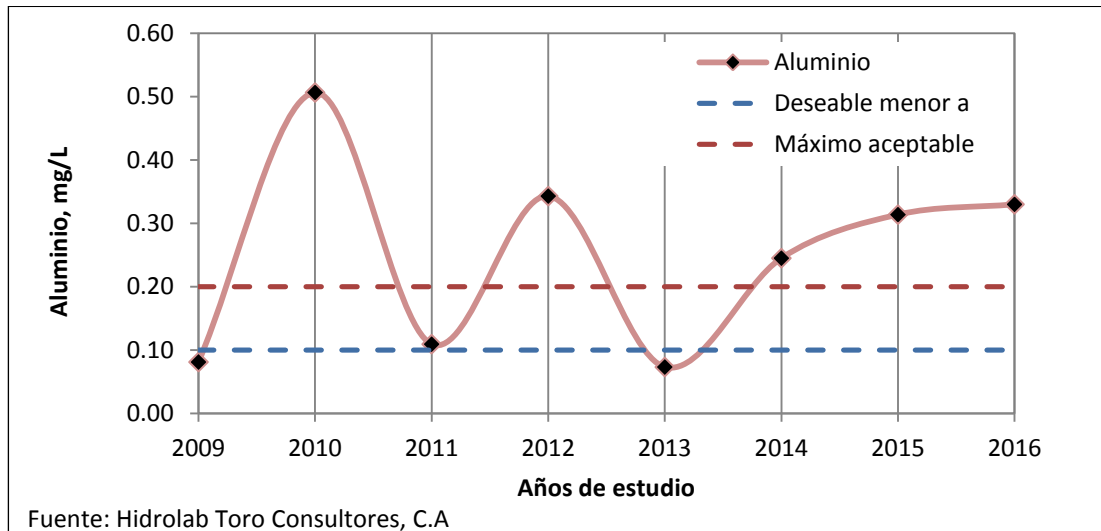


Figura 30. Concentración promedio anual de aluminio en el agua de abastecimiento de la red pública del municipio Valencia, estado Carabobo en el período 2009 – 2016. Las líneas a trazos de color rojo corresponden al valor máximo aceptable, igual a 0.20 mg/L. Las líneas a trazos de color azul corresponden al valor deseable menor que 0.10 mg/L. Estos valores umbrales son referenciados de la Gaceta Oficial N° 36.395 (1998).

15) Cloro Residual

En la figura 31 se visualiza la caracterización espacial del cloro residual en el agua de abastecimiento de la red pública municipio Valencia durante el período 2009 – 2016. Los valores promedios se clasifican en ArcMap usando un criterio manual para definir los tres niveles de concentración: bajo, medio y alto rango.

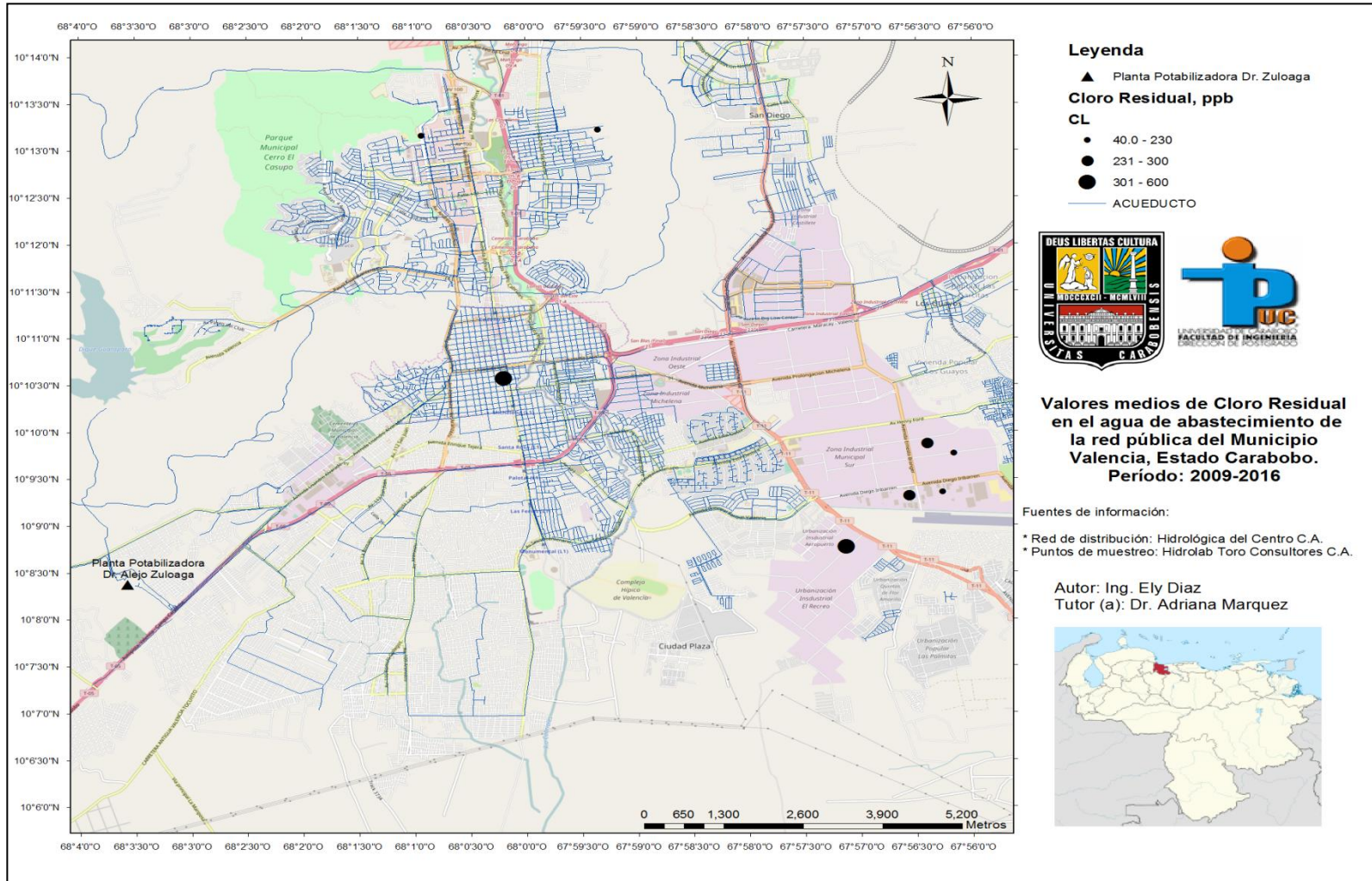


Figura 31. Valores medios de cloro residual del agua de abastecimiento de la red pública del municipio Valencia, estado Carabobo en el período 2009 – 2016.



Los valores de ruptura de estos rangos se definen de acuerdo al artículo 6 de la Norma Sanitaria, Resolución SG-018-98, que declara en todo momento el cloro residual del agua potable destinada al abastecimiento público debe estar en cualquier punto de la red de distribución entre 0.30 y 0.50 mg/L, lo cual equivale a 300 y 500 ppb.

Se puede observar que el cloro residual en la parroquia San José varía entre 40 y 230 ppb (0.04 a 0.23 mg/L), parroquias del Casco Central varía entre 230 y 300 ppb (0.23 a 0.30 mg/L, y la parroquia Rafael Urdaneta varía entre 40 y 600 ppb (0.04 a 0.60 mg/L). Estos resultados indican que la red de distribución posee mayor concentración de cloro residual en las parroquias inmediatas a la Planta Potabilizadora, y que progresivamente la concentración disminuye con la distancia. Solo la parroquia Candelaria presenta un valor promedio de cloro residual dentro del rango óptimo de 0.30 a 0.50 mg/L

En la figura 32 se representa la gráfica de los promedios anuales de cloro residual del agua de abastecimiento de la red pública del municipio Valencia. Los valores oscilan desde 0.06 a 0.43 mg/L. Los promedios anuales de las zonas muestreadas son valores bajos, a excepción del año 2015 que se encuentra dentro del rango recomendado en el citado artículo 6.

Según información oficial de Hidrocentro C.A., el promedio de cloro residual a la salida de la Planta de Tratamiento en los últimos 5 años es 0.75 mg/L con una marcada tendencia a disminuir desde el año 2015 dejando la red incluso sin cloro libre. De acuerdo con Arboleda (2000) el cloro reacciona con los compuestos orgánicos y nitrogenados, forma cloraminas que luego deben ser destruidas para dar lugar al cloro residual. Cuando hay un excedente de



materia orgánica, no se concluye la oxidación, y predomina el cloro combinado.

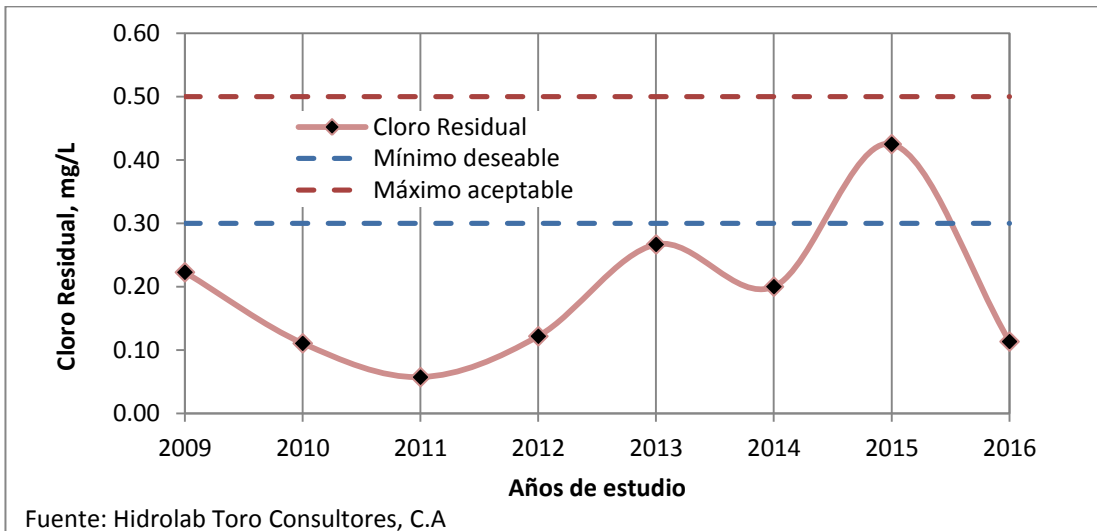


Figura 32. Valores promedio anual de cloro residual del agua de abastecimiento de la red pública del municipio Valencia, estado Carabobo en el período 2009 – 2016. Las líneas a trazos de color rojo corresponden al valor máximo recomendado, igual a 0.60 mg/L. Las líneas a trazos de color azul corresponden al valor mínimo recomendado, igual a 0.30 mg/L. Estos valores umbrales son referenciados de la Gaceta Oficial N° 36.395 (1998).

Cuando el cloro residual se manifiesta en la red de distribución del municipio Valencia, disminuye su concentración a medida que los puntos muestreados se encuentran más distantes de la salida de la planta de tratamiento, debido a que se consume por la acción de microorganismos alojados en la película de las tuberías, enmascarados por la turbidez o por la formación de óxidos e incrustaciones.



4.3 ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS SOBRE LA CONCENTRACIÓN DE CLORO RESIDUAL EN EL AGUA DE CONSUMO PÚBLICO DE LA LOCALIDAD.

El análisis de la influencia de diferentes parámetros físico-químicos y microbiológicos sobre la concentración de cloro residual incluye dos tipos: bivariable y multivariable.

4.3.1 Análisis Bivariable

Los parámetros caracterizados en el agua de consumo público del municipio Valencia se agrupan por su naturaleza para analizar la influencia sobre el cloro residual: 1) Sales inorgánicas, 2) Parámetros físico-químicos, 3) Parámetros microbiológicos, 4) Metales pesados.

Para cada parámetro se determinan diferentes correlaciones con respecto a la concentración de cloro residual, posteriormente su significancia estadística y un análisis de varianza para el modelo de mejor ajuste. A continuación se describe el análisis realizado:

1) Influencia de sales inorgánicas

a) Cloruros – Cloro Residual:

En la figura 33 se representa la concentración de cloro residual en función a la concentración de cloruros en el agua de abastecimiento público del



municipio Valencia durante el período 2009 – 2016. La información recopilada consta de 64 datos de la red de distribución.

La mayor densidad de puntos en esta gráfica de dispersión se encuentra dentro del rango de cloruros de 0.0 a 100 mg/L, cuando el cloro residual varía entre 0.0 y 0.4 mg/L. Se puede observar que hay diferentes valores de cloro residual para una misma concentración de cloruros y también diferentes cantidades de cloruros para iguales concentraciones de cloro residual.

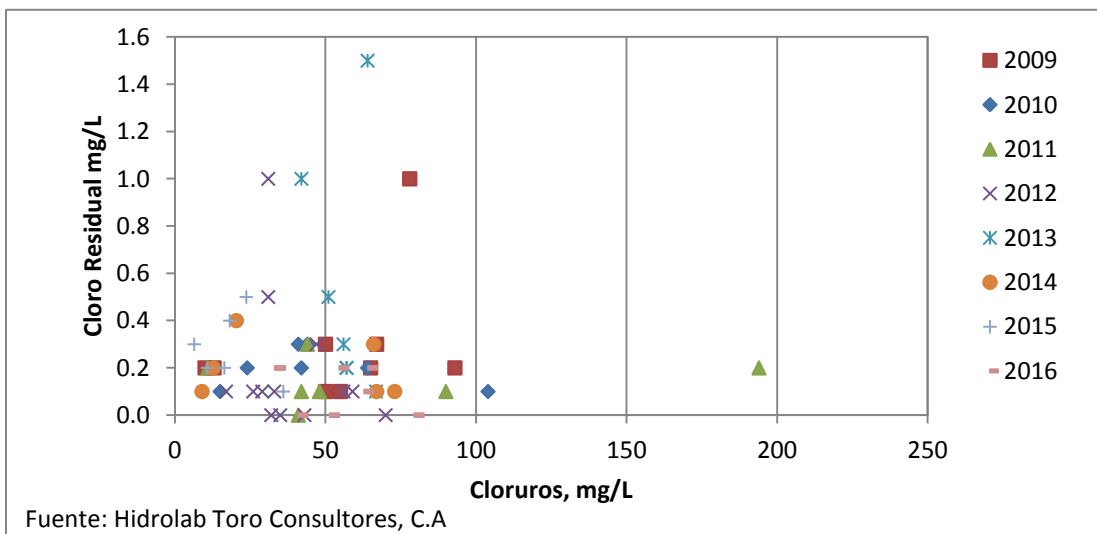


Figura 33. Concentración de cloro residual en función a la concentración de cloruros en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016.

En la tabla 2 se muestran los resultados de ajustar diferentes modelos matemáticos de regresión binaria para describir la influencia de los cloruros sobre el cloro residual en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016.



Los coeficientes de correlación de los diferentes modelos indican una relación muy débil entre las variables, así mismo el resultado de la prueba de hipótesis estadística revela que no hay una relación estadísticamente significativa entre cloruros y cloro residual con un nivel de confianza del 95%.

Tabla 2. Comparación de diferentes modelos de regresión entre los cloruros y el cloro residual en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016, con un nivel de confianza del 95%.

Modelo de Regresión	Coeficiente de correlación, R	Significación estadística, Valor-P	Coeficientes del modelo	
			β_0	β_1
Y Cuadrática - Inversa de X	-0.0912	0.4734	0.161901	-1.10193
Y Cuadrática – Log X	0.0844	0.5072	-0.033139	0.043318
Y Cuadrática – Raíz Cuadrada de X	0.0681	0.5928	0.049786	0.0115358
Raíz Cuadrada de Y – Inversa de X	0.0590	0.6431	0.40383	0.509931
Y Cuadrática	0.0445	0.7268	0.100974	$5.23 \cdot 10^{-4}$

b) Sulfatos– Cloro Residual:

En la figura 34 se presentan las concentraciones de cloro residual en función a la concentración de sulfatos en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016. Se recopilaron 61 casos donde se evaluaron ambos parámetros en el agua de la red de distribución. En esta gráfica de dispersión se puede observar aleatoriedad de los datos. La mayoría de las concentraciones medidas de sulfatos son valores menores a 100 mg/L, encontrándose el cloro residual entre 0.0 y 0.4 mg/L.

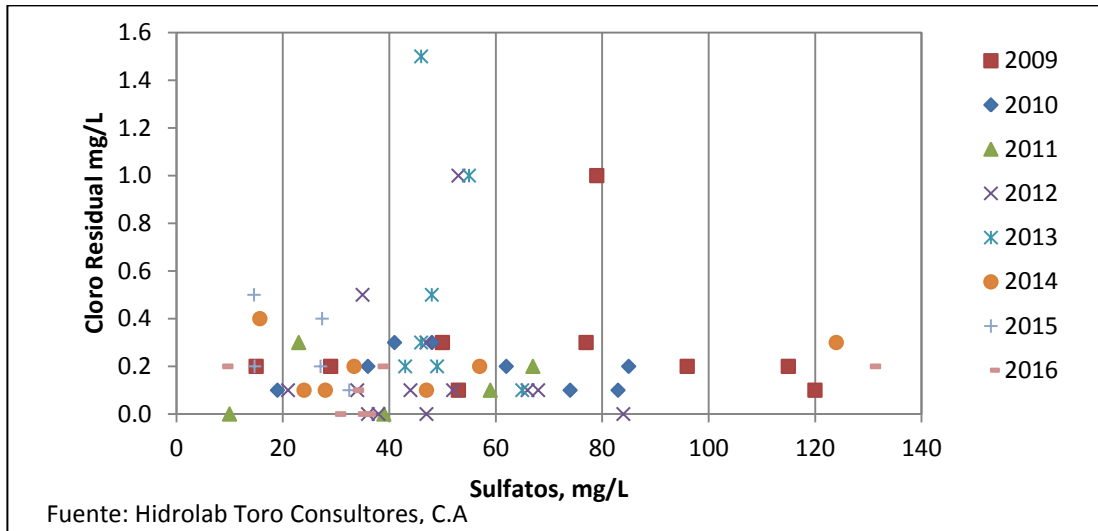


Figura 34. Concentración de cloro residual en función a la concentración de Sulfatos en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016.

En la tabla 3 se muestran los resultados de la regresión binaria para describir el comportamiento de los sulfatos sobre el cloro residual en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016.

Los coeficientes de correlación calculados para los diferentes modelos son negativos lo cual indica una tendencia del cloro residual a disminuir a medida que aumentan los sulfatos en el agua, excepto por el modelo Y Cuadrática – Inversa de X. Sin embargo esta tendencia es muy débil, según la magnitud de los coeficientes de correlación que varían entre -1 y +1, siendo una tendencia perfectamente negativa cuando el coeficiente es igual a -1. Todos los modelos propuestos presentan un Valor-P mayor a 0.05; por lo cual no existe una relación estadísticamente significativa entre estas variables, con un nivel de confianza del 95%.



Tabla 3. Comparación de diferentes modelos de regresión entre los sulfatos y el cloro residual en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016, con un nivel de confianza del 95%.

Modelo de Regresión	Coeficiente de correlación, R	Significación estadística, Valor-P	Coeficientes del modelo	
			β_0	β_1
Y Cuadrática-Log de X	-0.1414	0.2939	0.099598	-0.014280
Y Cuadrática - Raíz Cuadrada de X	-0.1324	0.3261	0.0740815	-4.11*10 ⁻³
Y Cuadrática - Inversa de X	0.1250	0.3541	0.035843	0.36238
Y Cuadrática	-0.1165	0.3883	0.0586192	-2.49*10 ⁻⁴
Doble Cuadrática	-0.0812	0.5482	0.050572	-1.28*10 ⁻⁶

c) Dureza Total – Cloro Residual:

En la figura 35 se presentan las concentraciones evaluadas de cloro residual en función a la dureza total del agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016. Se obtuvieron 64 datos de diferentes localidades de la red de distribución.

Existe un patrón de agrupación y una marcada densidad de puntos próximos a una dureza de 100 mg CaCO₃/L en todo el rango concentraciones de cloro residual, es decir, de 0.0 a 1.5 mg/L.

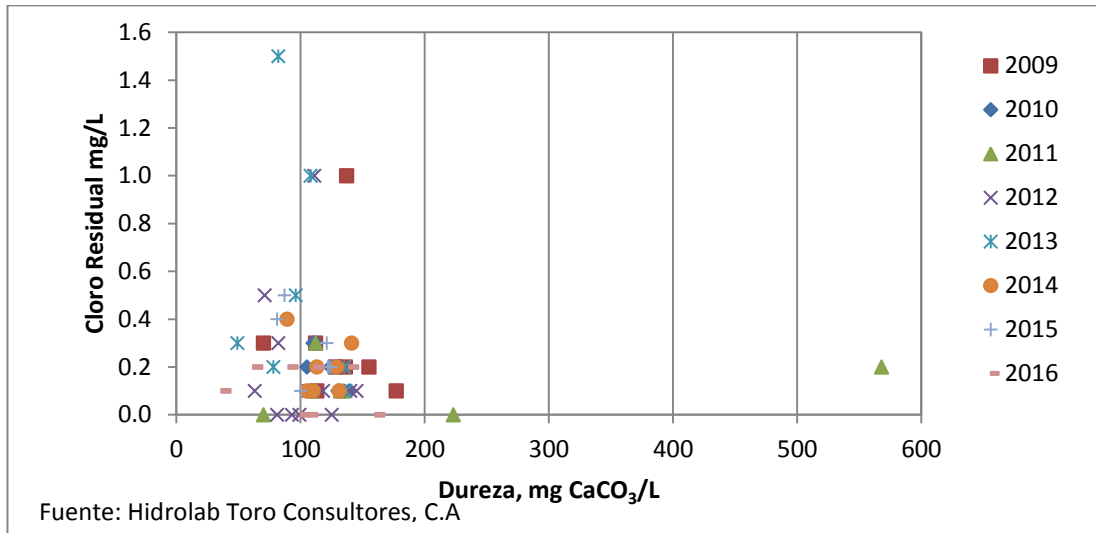


Figura 35. Concentración de cloro residual en relación a la dureza del agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016.

En la tabla 4 se muestran los resultados de la regresión binaria para describir la influencia de la dureza total sobre el cloro residual en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016.

Los coeficientes de correlación para los diferentes modelos son negativos lo cual indica una tendencia del cloro residual a disminuir a medida que aumenta la dureza del agua. Sin embargo esta tendencia es muy débil, siendo una tendencia perfectamente negativa cuando el coeficiente es igual a -1. Todos los modelos propuestos presentan un Valor-P mayor a 0.05; por lo cual no existe una relación estadísticamente significativa entre estas variables, con un nivel de confianza del 95%.



Tabla 4. Comparación de diferentes modelos de regresión entre la dureza total y el cloro residual en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016, con un nivel de confianza del 95%.

Modelo de Regresión	Coeficiente de correlación, R	Significación estadística, Valor-P	Coeficientes del modelo	
			β_0	β_1
Logaritmo de X	-0.1185	0.3511	0.64508	-0.087656
Raíz Cuadrada de X	-0.1140	0.3696	0.380019	-0.013776
Raíz Cuadrada de Y – Log de X	-0.1043	0.4122	0.752129	-0.071987
Y Cuadrática – Raíz Cuadrada de X	-0.0977	0.4423	0.286206	-0.015072
Y Cuadrática – Log de X	-0.0976	0.4428	0.558849	-0.092212

d) Sólidos Disueltos Totales– Cloro Residual:

En la figura 36 se presentan las concentraciones de cloro residual en función a los sólidos disueltos en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016. Se recopilaron 66 casos donde se evaluaron ambos parámetros en el agua de la red de distribución.

En la gráfica se puede observar cierta aleatoriedad de los datos, sin embargo si existe una mayor densidad de puntos cuando el cloro residual se encuentra entre 0.0 y 0.4 mg/L, y los sólidos disueltos entre 200 y 400 mg/L.

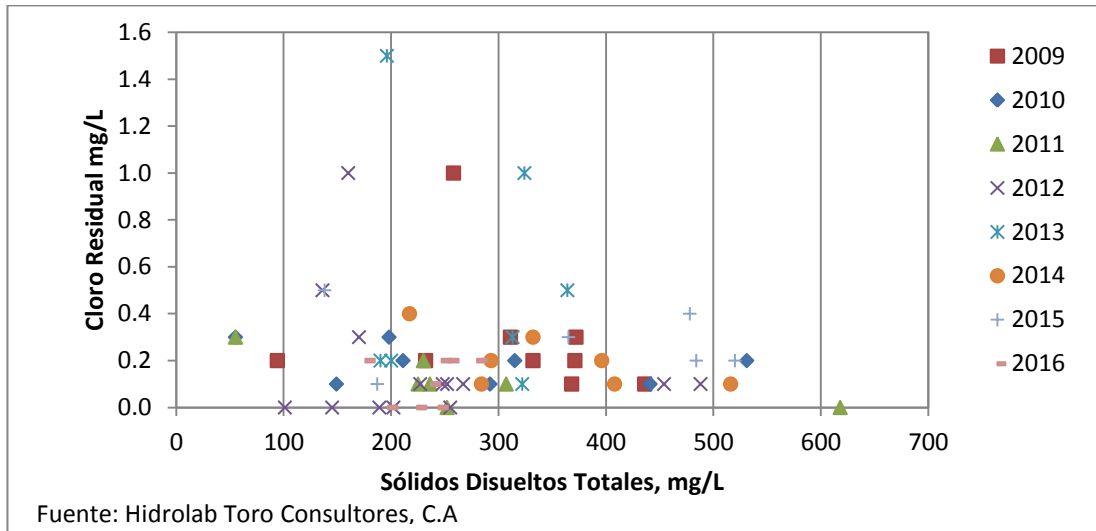


Figura 36. Concentración de cloro residual en función a los sólidos disueltos totales en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016.

En la tabla 5 se muestran los resultados de la regresión binaria para describir el comportamiento de los sólidos disueltos totales sobre el cloro residual en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016.

Los coeficientes de correlación para los diferentes modelos son negativos lo cual indica una tendencia del cloro residual a disminuir a medida que aumentan los sólidos disueltos en el agua. Sin embargo esta tendencia es muy débil, según la magnitud de los coeficientes de correlación que varían entre -1 y +1, siendo una tendencia perfectamente negativa cuando el coeficiente es igual a -1. Todos los modelos propuestos presentan un Valor-P mayor a 0.05; por lo cual no existe una relación estadísticamente significativa entre estas variables, con un nivel de confianza del 95%.



Tabla 5. Comparación de diferentes modelos de regresión entre los sólidos disueltos totales y el cloro residual en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016, con un nivel de confianza del 95%.

Modelo de Regresión	Coeficiente de correlación, R	Significación estadística, Valor-P	Coeficientes del modelo	
			β_0	β_1
Doble Cuadrática	-0.1318	0.2916	0.174821	$-5.65 \cdot 10^{-7}$
X Cuadrática	-0.1285	0.3038	0.269343	$-4.33 \cdot 10^{-7}$
Y Cuadrática	-0.1273	0.3083	0.222098	$-3.56 \cdot 10^{-4}$
Lineal	-0.1237	0.3224	0.305335	$-2.72 \cdot 10^{-4}$
Raíz Cuadrada de X	-0.1188	0.3421	0.370144	$-8.63 \cdot 10^{-3}$

e) Nitritos – Cloro Residual:

En la figura 37 se presentan las concentraciones evaluadas de cloro residual en función a las concentraciones de nitritos en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016. Se obtuvieron 28 datos de diferentes localidades de la red de distribución. La mayoría de los valores de cloro residual y nitritos están concentrados respectivamente entre 0.0 y 0.4 mg/L, 0.00 y 0.03 mg/L. Otros puntos resultan aberrantes a esta tendencia.

En la tabla 6 se muestran los resultados de la regresión binaria para describir la influencia de los nitritos sobre el cloro residual en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016.

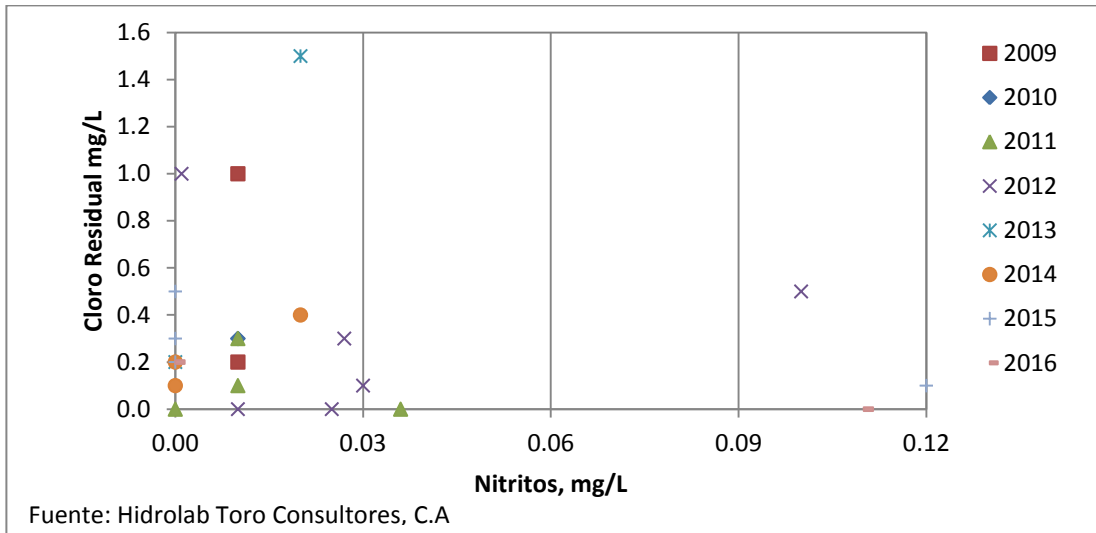


Figura 37. Concentración de cloro residual en relación a la concentración de nitritos en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016.

Tabla 6. Comparación de diferentes modelos de regresión entre los nitritos y el cloro residual en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016, con un nivel de confianza del 95%.

Modelo de Regresión	Coeficiente de correlación, R	Significación estadística, Valor-P	Coeficientes del modelo	
			β_0	β_1
Raíz Cuadrada de X	-0.1776	0.3660	0.314075	-0.064176
Lineal	-0.1363	0.4893	0.300628	-0.010767
Y Cuadrática - Raíz Cuadrada-X	-0.1211	0.5394	0.224784	-0.059538
Raíz Cuadrada de Y	-0.1196	0.5445	0.447399	-0.008568
X Cuadrática	-0.1107	0.5749	0.296855	$-3.78 \cdot 10^{-4}$

Los coeficientes de correlación de los diferentes modelos indican una relación negativa pero muy débil entre las variables, así mismo el resultado de la prueba de hipótesis estadística revela que no hay una relación estadísticamente significativa entre nitritos y cloro residual con un nivel de confianza del 95%.



f) Nitratos – Cloro Residual:

En la figura 38 se presentan las concentraciones evaluadas de cloro residual en función a las concentraciones de nitratos en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016. Se recopilaron 32 datos de diferentes localidades de la red de distribución. La mayoría de los resultados de cloro residual varían entre 0.0 y 0.4 mg/L, y los nitratos entre 0.0 y 5.0 mg/L. Sin embargo, existe una aleatoriedad significativa de estos parámetros entre sí, en el período de estudio.

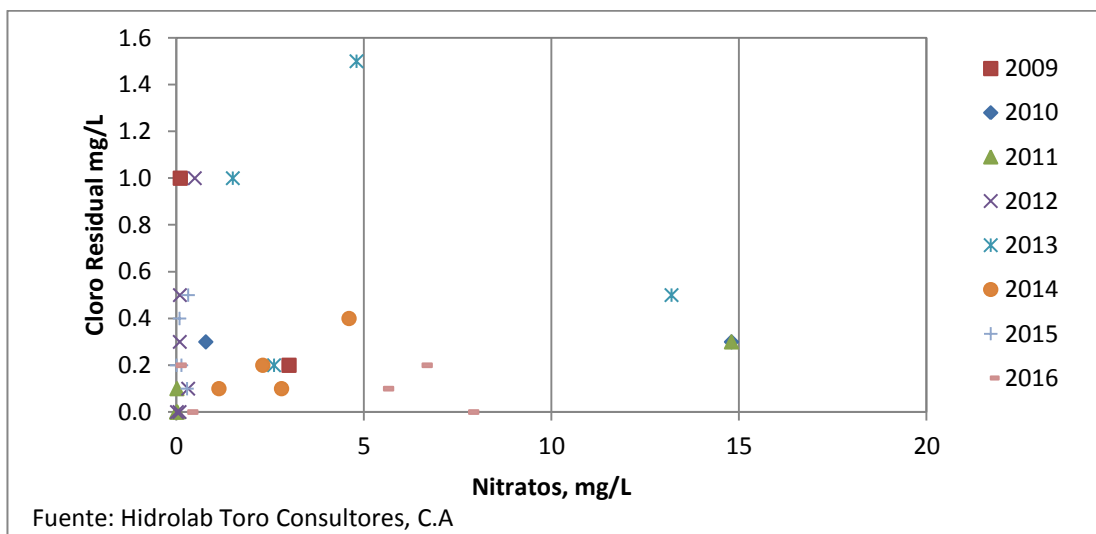


Figura 38. Concentración de cloro residual en relación a la concentración de nitratos en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016.

En la tabla 7 se exponen los resultados de la regresión binaria para describir la influencia de los nitratos sobre el cloro residual en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016. En este caso, los coeficientes de correlación de los diferentes modelos indican una relación muy débil pero positiva entre estas variables,



así mismo el resultado de la prueba de hipótesis estadística revela que no hay una relación estadísticamente significativa entre nitratos y cloro residual con un nivel de confianza del 95%.

Tabla 7. Comparación de diferentes modelos de regresión entre los nitratos y el cloro residual en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016, con un nivel de confianza del 95%.

Modelo de Regresión	Coeficiente de correlación, R	Significación estadística, Valor-P	Coeficientes del modelo	
			β_0	β_1
Raíz Cuadrada Doble	0.1952	0.2843	0.400535	0.0527009
Raíz Cuadrada de Y	0.1392	0.4475	0.435164	0.0102221
Raíz Cuadrada de X	0.1281	0.4848	0.26645	0.0385866
Raíz Cuadrada de Y -X Cuadrática	0.1125	0.5398	0.448163	$5.29 \cdot 10^{-4}$
Y Cuadrática - Raíz Cuadrada de X	0.0864	0.6382	0.178307	0.0344119

Los cloruros, sulfatos, nitritos y nitratos constituyen gran parte de los sólidos disueltos y buena parte de la dureza permanente del agua. En el análisis bivariable, estos parámetros, excepto por los nitratos, presentan una muy débil correlación negativa que indica una ligera tendencia a encontrar menor concentración de cloro residual a medida que estas sales se encuentran en mayor concentración en la red. Arboleda (2000) describe que en la primera fase de la cloración reaccionan las diferentes formas orgánicas y ciertas sustancias químicas para producir cloruros, óxidos de nitrógeno, cloro orgánicos y una variedad de otros componentes que constituyen la demanda de cloro, y finalmente producen una disminución del cloro residual.

A pesar de estas observaciones, para el conjunto de datos obtenidos del agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período



2009 – 2016, no hay correlaciones entre el cloro residual y las sales presentes en el agua que tengan significación estadística con un nivel de confianza del 95%.

2) Influencia de parámetros físico-químicos

a) pH– Cloro Residual:

En la figura 39 se presentan las concentraciones de cloro residual en función al pH del agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016. Se recopilaron 78 casos donde se evaluaron ambos parámetros en el agua de la red de distribución. En la gráfica se puede observar un patrón de agrupación de los datos de pH entre 6 y 8, para todos los valores de cloro residual. Pocos datos se encuentran fuera de esta tendencia.

En la tabla 8 se muestran los resultados de la regresión binaria para describir el comportamiento del pH sobre el cloro residual en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016. Se puede observar que existe una relación relativamente débil entre las variables, ya que los coeficientes de correlación son bajos en todos los modelos ajustados. La prueba de significancia estadística es positiva con un nivel de confianza del 95%, excepto en el modelo Doble Cuadrática.

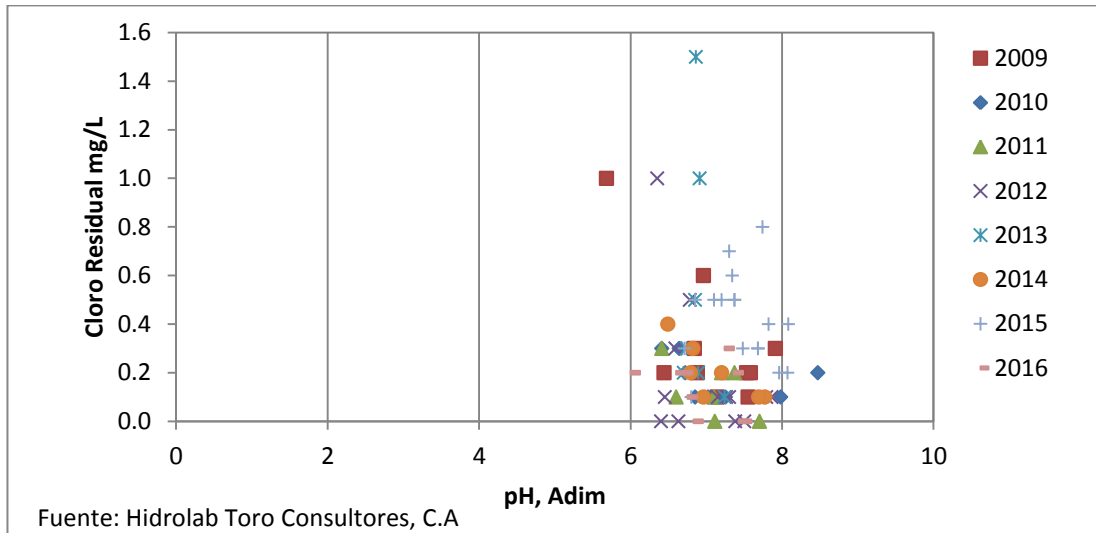


Figura 39. Concentración de cloro residual en función al pH del agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016.

En la tabla 9 se presenta el análisis de varianza del modelo de mejor ajuste entre el pH y el cloro residual. El coeficiente de determinación explica que solo el 6.86% de la variabilidad de la concentración de cloro residual se debe al pH. Según el resultado de la prueba falta de ajuste, el modelo parece ser adecuado para los datos con un nivel de confianza del 95%. Sin embargo, el Valor-P en la prueba de aleatoriedad de los residuales es menor a 0.05, por lo cual puede existir un patrón no aleatorio entre los residuos de este modelo.

El pH presenta una correlación débil y positiva con el cloro residual, lo que significa que pequeños incrementos del pH se relacionan con ligeros incrementos de la concentración de cloro libre. Tzatchkov y Arreguín (1996) explican que la reacción de disociación del cloro está influenciada por el pH, quedando en el agua parte del cloro residual como ácido hipocloroso HOCl y otra parte como ión hipoclorito OCl^- .



Tabla 8. Comparación de diferentes modelos de regresión entre el pH y el cloro residual en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016, con un nivel de confianza del 95%.

Modelo de Regresión	Coeficiente de correlación, R	Significación estadística, Valor-P	Coeficientes del modelo	
			β_0	β_1
Y Cuadrática – Inversa de X	0.2619	0.0214	-0.630125	5.31059
Y Cuadrática - Log X	-0.2470	0.0303	1.51715	-0.712878
Y Cuadrática – Raíz Cuadrada de X	-0.2399	0.0356	1.50835	-0.520754
Y Cuadrática	-0.2330	0.0414	0.795557	-0.094921
Doble Cuadrática	-0.2200	0.0546	0.439453	-6.27*10 ⁻³

Tabla 9. Análisis de varianza del modelo de mejor ajuste entre el pH y el cloro residual en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016, con n= 77 datos y nivel de confianza del 95%.

Nombre del Modelo	Y Cuadrática – Inversa de X
Coeficiente de correlación, R	0.2619
Coeficiente de determinación, R ²	6.86%
Prueba de falta de ajuste	0.0834 >0.05
Error estándar del estimado	0.207507
Media del error absoluto	0.133495
Estadístico Durbin Watson	1.52055
Prueba de aleatoriedad de los residuales	0.0151 <0.05

El ácido hipocloroso es el agente desinfectante principal, encontrándose en mayor cantidad a menor pH y actuando sobre los microorganismos hasta desinfectar el agua. El ión hipoclorito aumenta con el pH, igualando su concentración con la del ácido hipocloroso a pH igual a 7.7, mientras que a pH mayor o igual a 9 casi todo el residual es OCl⁻, perdiendo totalmente su poder bactericida. Al ser menos reactivo permanece mayor tiempo en solución sin desinfectar el agua.



b) Color – Cloro Residual:

En la figura 40 se proyecta los resultados de la concentración de cloro residual en función al color real del agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016. Se utilizan 41 datos de monitoreos realizados en diferentes localidades de la red de distribución.

Se puede observar que hay diferentes valores de cloro residual para un color real y también distintas unidades de color real para una concentración específica de cloro residual. La máxima intensidad de color detectada es 36 Und. Pt. Co y la mayor concentración de cloro residual medida es 1.5 mg/L.

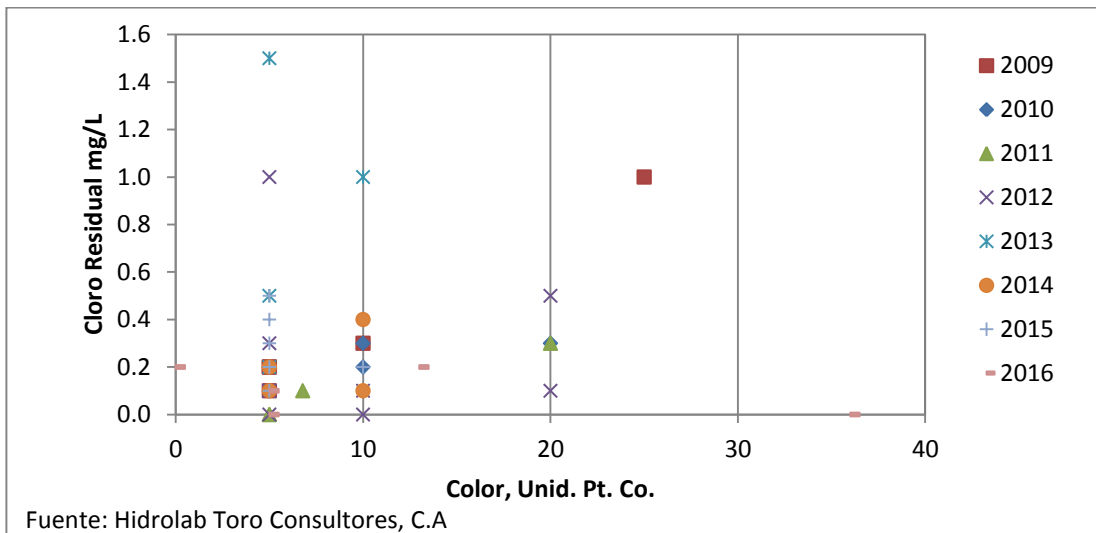
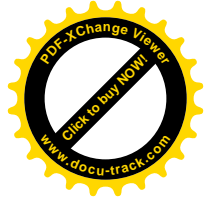
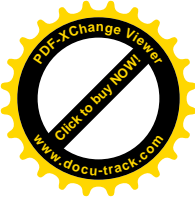


Figura 40. Concentración de cloro residual en relación al color del agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016.

En la tabla 10 se muestran los resultados de ajustar diferentes modelos de regresión binaria para describir la influencia del color sobre el cloro residual en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia. Los



coeficientes de correlación de los diferentes modelos indican una relación débil entre las variables. Sólo los modelos de la función Y Cuadrática y Y Cuadrática con Raíz Cuadrada de X, presentan un valor P menor a 0.05; por lo cual para ambos modelos existe una relación estadísticamente significativa entre el color y el cloro residual, con un nivel de confianza del 95%.

Tabla 10. Comparación de diferentes modelos de regresión entre el color y el cloro residual en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016, con un nivel de confianza del 95%.

Modelo de Regresión	Coeficiente de correlación, R	Significación estadística, Valor P	Coeficientes del modelo	
			β_0	β_1
Y Cuadrática	0.3633	0.0250	0.0035278	0.0085197
Y Cuadrática – Raíz Cuadrada de X	0.3453	0.0337	-0.072523	0.0543615
Doble Cuadrática	0.3115	0.0570	0.0520875	$2.17 \cdot 10^{-4}$
Lineal	0.2705	0.1005	0.144072	$7.30 \cdot 10^{-3}$
Raíz Cuadrada de X	0.2701	0.1010	0.0722233	0.0489552

En la tabla 11 se presenta el análisis de varianza del modelo de mejor ajuste entre las variables de estudio. El coeficiente de determinación revela que sólo el 13.20% de la variabilidad de la concentración de cloro residual es causada por el color real del agua. Según los resultados de la prueba de falta de ajuste y la prueba de aleatoriedad de los residuales, el modelo carece de un ajuste estadísticamente significativo y hay indicación de una posible dependencia de los residuos.

El color al igual que el pH presenta una correlación débil y positiva con el cloro residual. Este aspecto, guarda a su vez relación con el pH, así como la



presencia de los minerales hierro y manganeso que son los principales causantes del color del agua.

Tabla 11. Análisis de varianza del modelo de mejor ajuste entre el color y el cloro residual en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016, con n= 38 datos y nivel de confianza del 95%.

Nombre del Modelo	Y Cuadrática
Coefficiente de correlación, R	0.3633
Coefficiente de determinación, R ²	13.20%
Prueba de falta de ajuste	0.0000<0.05
Error estándar del estimado	0.159355
Media del error absoluto	0.083117
Estadístico Durbin Watson	1.23682
Prueba de aleatoriedad de los residuales	0.0071<0.05

c) Turbiedad – Cloro Residual:

En la figura 41 se presentan las concentraciones de cloro residual en función a la turbiedad del agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016. Se recopilaron 27 casos donde se evaluaron ambos parámetros en el agua de la red de distribución. En esta gráfica se puede observar que existe una variabilidad significativa cuando se cruzan los parámetros cloro residual y turbiedad.

En la tabla 12 se exponen los resultados de la regresión binaria para describir la influencia de la turbiedad sobre el cloro residual en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016. Para la turbiedad y cloro residual, los coeficientes de correlación de los diferentes modelos indican una relación negativa y débil entre las variables, así mismo el resultado de la prueba de hipótesis estadística determina que no hay una relación estadísticamente significativa entre la turbiedad y cloro residual con un nivel de confianza del 95%.

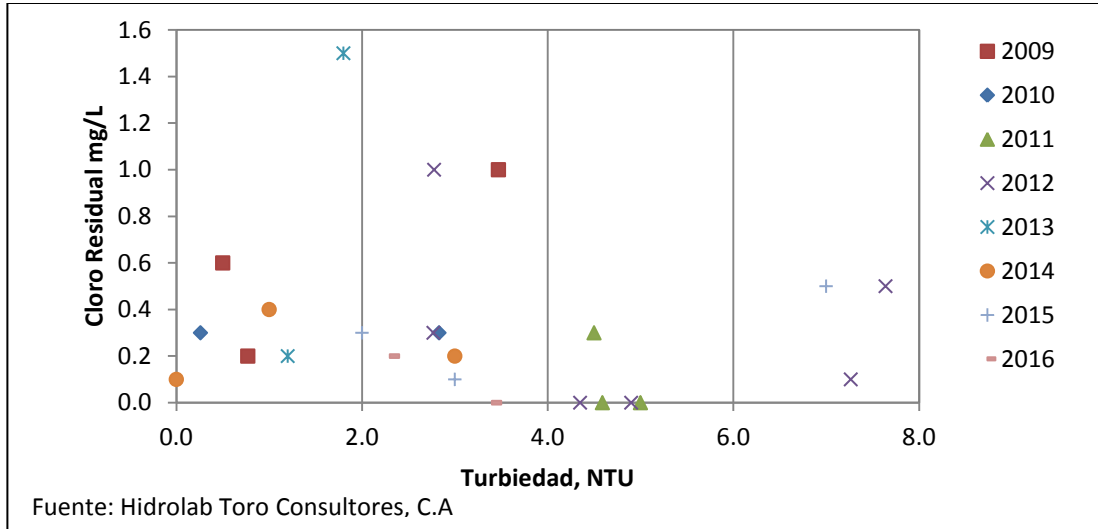


Figura 41. Concentración de cloro residual en función a la turbiedad del agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016.

Tabla 12. Comparación de diferentes modelos de regresión entre la turbiedad y el cloro residual en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016, con un nivel de confianza del 95%.

Modelo de Regresión	Coeficiente de correlación, R	Significación estadística, Valor-P	Coeficientes del modelo	
			β_0	β_1
Raíz Cuadrada de Y	-0.2464	0.2458	0.459841	-0.020245
Raíz Cuadrada de X	-0.2347	0.2697	0.292858	-0.048326
Lineal	-0.2167	0.3090	0.254312	-0.012335
Y Cuadrática – Raíz Cuadrada de X	-0.1594	0.4569	0.103806	-0.017739
X Cuadrática	-0.1499	0.4845	0.224875	$-8.07 \cdot 10^{-4}$

En la tabla 13 se presenta el análisis de varianza del modelo de mejor ajuste entre cloro residual y turbiedad. A pesar de que no hay significancia estadística debido a la dispersión de los datos, las pruebas de falta de ajuste



y aleatoriedad de los residuales conducen a valores de P mayores a 0.05, por lo cual el ajuste de Raíz Cuadrada de Y parece ser adecuado para los datos observados con un nivel de confianza del 95%.

Tabla 13. Análisis de varianza del modelo de mejor ajuste entre la turbiedad y el cloro residual en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016, con n= 27 datos y nivel de confianza del 95%.

Nombre del Modelo	Raíz Cuadrada de Y
Coeficiente de correlación, R	-0.2464
Coeficiente de determinación, R ²	6.07%
Prueba de falta de ajuste	0.2746 >0.05
Media del error absoluto	0.196596
Estadístico Durbin Watson	2.15264
Prueba de aleatoriedad de los residuales	0.6177 >0.05

La correlación determinada entre la turbiedad y el cloro residual es débil y negativa. Perry et al. (2002) afirman que una turbiedad elevada impedirá el buen contacto entre cloro y microorganismos con lo que se reducirá la efectividad de la desinfección.

Los modelos propuestos para pH y color tienen significación estadística pero no para la turbiedad con un nivel de confianza del 95%, a pesar de su relevancia en el proceso de desinfección.

3) Influencia de los parámetros microbiológicos:

a) Organismos Heterótrofos Aerobios - Cloro Residual:

En la figura 42 se representa la concentración de cloro residual en función a la presencia de organismos heterótrofos aerobios en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 –

2016. La información recopilada para construir este gráfico, consta de 158 muestras de agua de la red de distribución. En este gráfico se observa que hay diferentes valores de cloro residual para una misma cantidad de unidades formadoras colonias de organismos heterótrofos y también diferentes cantidades de estos organismos para iguales concentraciones de cloro residual. La mayor densidad de puntos se encuentra en el intervalo (0.0, 0.0) y (50, 0.3).

En la tabla 14 se muestran los resultados de ajustar los modelos para describir la influencia de los organismos heterótrofos sobre el cloro residual en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016.

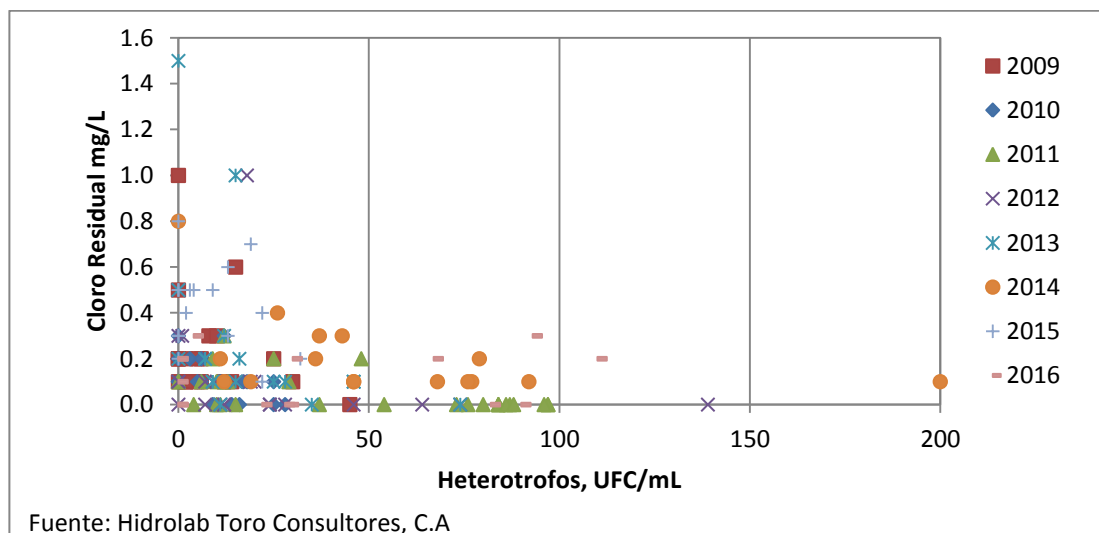


Figura 42. Concentración de cloro residual en función a la presencia de organismos heterótrofos aerobios en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016.



Tabla 14. Comparación de diferentes modelos de regresión entre organismos heterótrofos aerobios y el cloro residual en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016, a un nivel de confianza al 95%.

Modelo de Regresión	Coeficiente de correlación, R	Significación estadística, Valor-P	Coeficientes del modelo	
			β_0	β_1
Raíz Cuadrada de X	-0.4033	0.0000	0.205832	-0.01707
Lineal	-0.3417	0.0000	0.172276	-1.36*10 ⁻³
Y Cuadrática – Raíz Cuadrada de X	-0.3315	0.0000	0.062636	-6.33*10 ⁻³
Y Cuadrática	-0.2682	0.0009	0.049554	-4.83*10 ⁻⁴
Raíz Cuadrada de Y – X Cuadrática	-0.2457	0.0025	0.316544	-1.25*10 ⁻⁵

Se puede observar que los coeficientes de correlación de los diferentes modelos de regresión son negativos, lo cual explica la disminución del cloro residual a medida que aumenta la población de heterótrofos aerobios en el agua de la red. El modelo de Raíz Cuadrada de X obtiene el coeficiente de correlación más alto, sin embargo su valor indica una relación relativamente débil entre las variables. Según el resultado de la prueba de hipótesis estadística, todos los modelos propuestos guardan una relación significativa entre los heterótrofos y el cloro residual con un nivel de confianza del 95%.

En la tabla 15 se presenta el análisis de varianza del modelo de mejor ajuste entre cloro residual y organismos heterótrofos aerobios.

El coeficiente de determinación revela que sólo el 16.26% de la variabilidad de la concentración de cloro residual se debe a la presencia de organismos heterótrofos aerobios. Según el resultado de la prueba de falta de ajuste, el modelo parece ser adecuado para los datos con un nivel de confianza del 95%. No obstante, el Valor-P para la prueba de aleatoriedad de los



residuales es menor a 0.05, por lo cual puede existir un patrón no aleatorio entre los residuos.

Tabla 15. Análisis de varianza del modelo de mejor ajuste entre organismos heterótrofos aerobios y el cloro residual en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016, con n= 149 datos y un nivel de confianza del 95%.

Nombre del Modelo	Raíz cuadrada de X
Coefficiente de correlación, R	-0.4033
Coefficiente de determinación, R ²	16.26%
Prueba de falta de ajuste	0.9303 >0.05
Error estándar del estimado	0.1240
Media del error absoluto	0.0962
Estadístico Durbin Watson	1.1975
Prueba de aleatoriedad de los residuales	0.0000 <0.05

b) Coliformes Totales – Cloro Residual:

En la figura 43 se presentan las concentraciones evaluadas de cloro residual en función al color real del agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016. Se recopilieron 158 datos de monitoreos realizados en diferentes localidades de la red de distribución.

En la mayoría de los puntos no se detecta coliformes independientemente de la concentración de cloro residual, mientras que en aquellos donde si se detecta, la tendencia del cloro es a disminuir a medida que aumenta el número de coliformes en el agua.

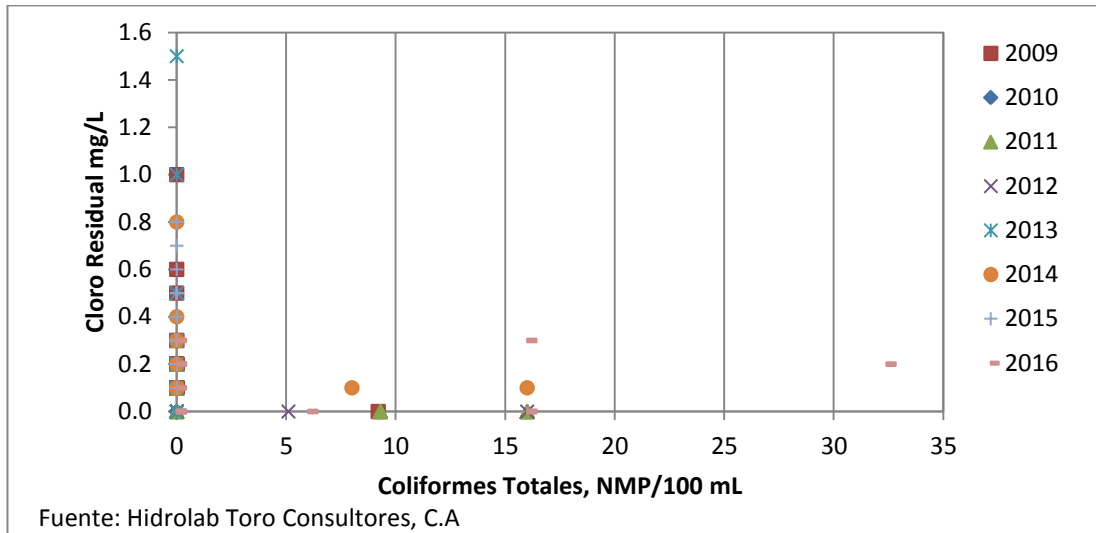


Figura 43. Concentración de cloro residual en relación a los coliformes totales en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016.

En la tabla 16 se muestran los resultados de ajustar diferentes modelos de regresión binaria para describir la influencia del número de coliformes sobre el cloro residual en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016.

Los coeficientes de correlación para los diferentes modelos son negativos lo cual indica una tendencia inversa entre cloro residual y coliformes. Además estos coeficientes son valores bajos que revelan una relación débil entre las variables. Todos los modelos propuestos presentan un Valor-P menor a 0.05; por lo cual existe una relación estadísticamente significativa entre los coliformes y el color residual, con un nivel de confianza del 95%.

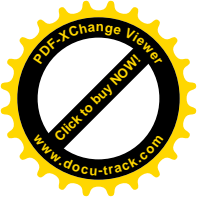


Tabla 16. Comparación de diferentes modelos de regresión entre los coliformes totales y el cloro residual en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016, con un nivel de confianza del 95%.

Modelo de Regresión	Coeficiente de correlación, R	Significación estadística, Valor-P	Coeficientes del modelo	
			β_0	β_1
Raíz Cuadrada de Y	-0.38934	0.0000	0.337476	-0.019741
Raíz Cuadrada de Y – X Cuadrática	-0.3491	0.0000	0.331486	-0.001173
Raíz Cuadrada de X	-0.3030	0.0002	0.162667	-0.037776
Lineal	-0.2874	0.0004	0.161127	$-9.60 \cdot 10^{-3}$
X Cuadrática	-0.2566	0.0016	0.158154	-0.000568

En la tabla 17 se presenta el análisis de varianza del modelo Raíz Cuadrada de Y que resulta ser el mejor ajuste entre los evaluados. El coeficiente de determinación señala que sólo el 15.16% de la variabilidad de la concentración de cloro residual es causada por la presencia de coliformes. Según el resultado de la prueba falta de ajuste, el modelo parece ser adecuado para los datos con un nivel de confianza del 95%. Sin embargo, el Valor-P en la prueba de aleatoriedad de los residuales es menor a 0.05, por lo cual puede existir un patrón no aleatorio entre los residuos.

Tabla 17. Análisis de varianza del modelo de mejor ajuste entre los coliformes totales y el cloro residual en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016, con n= 150 datos y un nivel de confianza del 95%.

Nombre del Modelo	Raíz Cuadrada de Y
Coeficiente de correlación, R	-0.38934
Coeficiente de determinación, R ²	15.16%
Prueba de falta de ajuste	0.2406 > 0.05
Error estándar del estimado	0.212277
Media del error absoluto	0.157718
Estadístico Durbin Watson	1.05246
Prueba de aleatoriedad de los residuales	0.0000 < 0.05



Como resumen, las correlaciones entre los parámetros microbiológicos y el cloro residual son débiles y negativas, son estadísticamente significativas y pasan la prueba de falta de ajuste pero no la de aleatoriedad de los residuales. Este resultado coincide totalmente con la afirmación de que la desinfección del agua constituye la última barrera contra la transmisión de enfermedades bacterianas y víricas por el agua.

4) Influencia de los metales pesados:

a) Hierro Total – Cloro Residual:

En la figura 44 se presentan las concentraciones evaluadas de cloro residual en función a las concentraciones de hierro en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016. Se obtuvieron 64 datos de diferentes localidades de la red de distribución. La mayoría de los valores de cloro residual y hierro están concentrados respectivamente entre 0.0 y 0.4 mg/L, 0.0 y 0.5 mg/L. Otros puntos resultan aberrantes a esta tendencia.

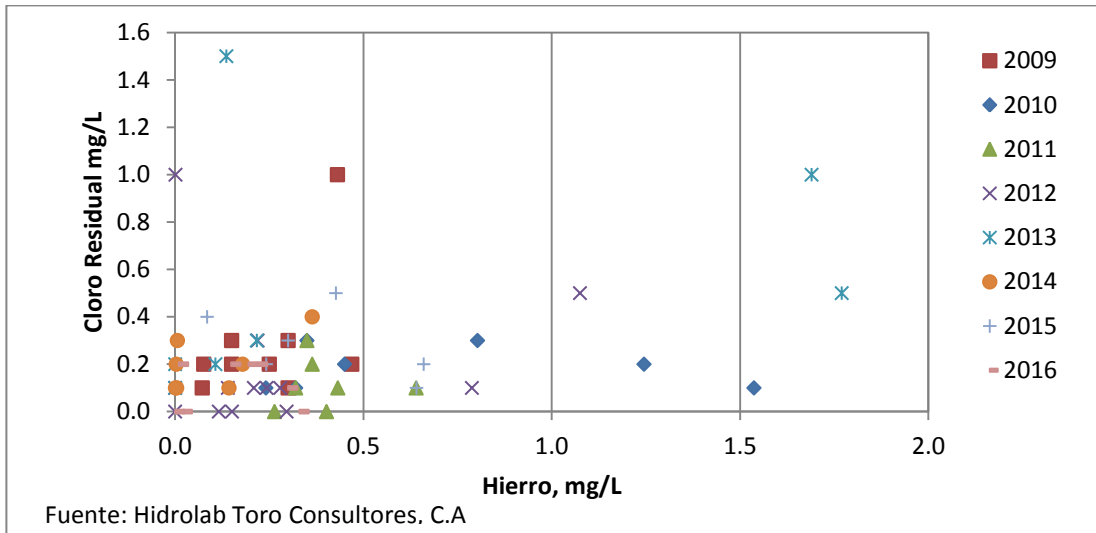


Figura 44. Concentración de cloro residual en relación a la concentración de hierro en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016.

En la tabla 18 se muestran los resultados de la regresión binaria para describir la influencia del hierro sobre el cloro residual en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016.

Se puede observar que los coeficientes de correlación de los diferentes modelos son positivos, lo cual implica que el cloro residual aumenta a medida que lo hace la concentración de hierro en el agua de la red. El modelo de ajuste Doble Cuadrático alcanza el mayor coeficiente de correlación. Dado que en la prueba de significación estadística se obtienen valores menores a 0.05, en cada uno de los modelos, existe una relación estadísticamente significativa entre las variables con un nivel de confianza del 95%.



Tabla 18. Comparación de diferentes modelos de regresión entre el hierro total y el cloro residual en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016, con un nivel de confianza del 95%.

Modelo de Regresión	Coeficiente de correlación, R	Significación estadística, Valor-P	Coeficientes del modelo	
			β_0	β_1
Doble Cuadrática	0.9063	0.0000	0.0048283	0.295823
X Cuadrática	0.7472	0.0000	0.125845	0.282314
Y Cuadrática	0.7120	0.0000	-0.039273	0.327916
Lineal	0.6318	0.0000	0.0769353	0.336808
Raíz Cuadrada de Y – X Cuadrática	0.4936	0.0001	0.324818	0.238716

En la tabla 19 se presenta el análisis de varianza de los modelos Doble Cuadrática y X Cuadrática para el ajuste de curva entre cloro residual y el hierro. En este caso se presentan dos modelos ya que a pesar de que el modelo Doble Cuadrática tiene un mayor coeficiente de correlación, resulta positivo a la prueba de carencia de ajuste; mientras que el X Cuadrática cumple tanto la prueba de falta de ajuste como la prueba de aleatoriedad de los residuales, al obtener valores de P mayores a 0.05. El modelo X Cuadrática a través de un coeficiente de determinación, explica que el 55.83% de la variabilidad de la concentración de cloro residual se debe a la concentración de hierro.



Tabla 19. Análisis de varianza del modelo de mejor ajuste entre el hierro total y el cloro residual en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016, con n= 56 datos y un nivel de confianza del 95%.

Nombre del Modelo	X Cuadrática	Doble Cuadrática
Coefficiente de correlación, R	0.7472	0.9063
Coefficiente de determinación, R ²	55.83%	82.14%
Prueba de falta de ajuste	0.3643 >0.05	0.0204 <0.05
Error estándar del estimado	0.10585	0.05816
Media del error absoluto	0.087858	0.040867
Estadístico Durbin Watson	1.83181	1.77393
Prueba de aleatoriedad de los residuales	0.2636 >0.05	0.1972 >0.05

b) Manganeso Total – Cloro Residual:

En la figura 45 se presentan las concentraciones evaluadas de cloro residual en función a las concentraciones de manganeso en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016. Se obtuvieron 30 datos de diferentes localidades de la red de distribución.

La mayoría de los valores de cloro residual y hierro están concentrados respectivamente entre 0.0 y 0.4 mg/L, 0.0 y 0.4 mg/L. Otros puntos resultan aberrantes a esta tendencia.

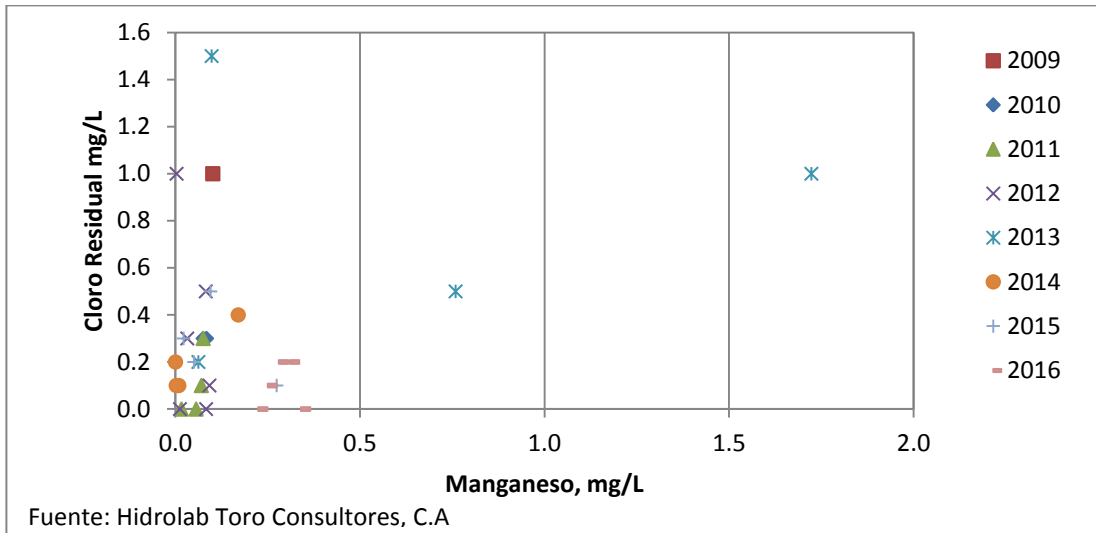


Figura 45. Concentración de cloro residual en relación a la concentración de manganeso en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016.

En la tabla 20 se muestran los resultados de la regresión binaria para describir la influencia del manganeso sobre el cloro residual en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016.

Se puede observar que los coeficientes de correlación de los diferentes modelos son positivos, lo cual implica que hay una relación directamente proporcional entre cloro residual y manganeso en el agua de la red. Existe una relación relativamente fuerte entre las variables, y al igual que para el hierro y cloro residual, el modelo de ajuste Doble Cuadrático alcanza el mejor coeficiente de correlación. Todos los modelos indican que existe una relación estadísticamente significativa entre las variables con un nivel de confianza del 95%.



Tabla 20. Comparación de diferentes modelos de regresión entre el manganeso total y el cloro residual en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016, con un nivel de confianza del 95%.

Modelo de Regresión	Coeficiente de correlación, R	Significación estadística, Valor-P	Coeficientes del modelo	
			β_0	β_1
Doble Cuadrática	0.9816	0.0000	0.025951	0.328502
Y Cuadrática	0.9206	0.0000	-0.022855	0.512362
X Cuadrática	0.8371	0.0000	0.141087	0.298223
Lineal	0.8023	0.0000	0.0946919	0.475367
Y Cuadrática – Raíz Cuadrada de X	0.7581	0.0000	-0.106273	0.533707

En la tabla 21 se presenta el análisis de varianza del modelo de mejor ajuste entre cloro residual y el manganeso. El modelo de mejor ajuste es el Doble Cuadrático.

El coeficiente de determinación explica que el 96.35% de la variabilidad de la concentración de cloro residual se debe a la concentración de manganeso. Sin embargo, el resultado de la prueba de falta de ajuste señala que existe carencia de ajuste estadísticamente significativa con un nivel de confianza del 95%, posiblemente por el número de datos utilizados para la modelación. Por otra parte, si se comprueba el carácter de aleatoriedad de los residuales, con un Valor-P mayor a 0.05.

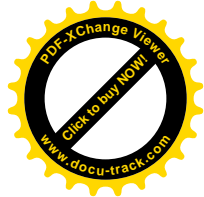
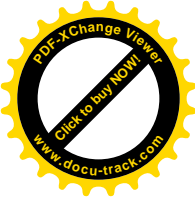


Tabla 21. Análisis de varianza del modelo de mejor ajuste entre el manganeso total y el cloro residual en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016, con n= 24 datos y un nivel de confianza del 95%.

Nombre del Modelo	Doble Cuadrática
Coefficiente de correlación, R	0.9816
Coefficiente de determinación, R ²	96.35%
Prueba de falta de ajuste	0.0000 <0.05
Error estándar del estimado	0.0397374
Media del error absoluto	0.0323836
Estadístico Durbin Watson	2.25269
Prueba de aleatoriedad de los residuales	0.7261 >0.05

c) Aluminio – Cloro Residual:

En la figura 46 se representa la concentración de cloro residual en función a la concentración de aluminio en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016. La información recopilada consta de 35 muestras de agua de la red de distribución.

En este gráfico se observa que la mayoría de los puntos evaluados se encuentran en el intervalo (0.0, 0.0) y (0.6, 0.6), y el resto de los datos resultan aberrantes a esta tendencia. Existen varias concentraciones de cloro residual para una misma concentración de aluminio. Empleando estrategias de condicionamiento a diferentes modelos de regresión binaria, se determinan los coeficientes de las correlaciones.

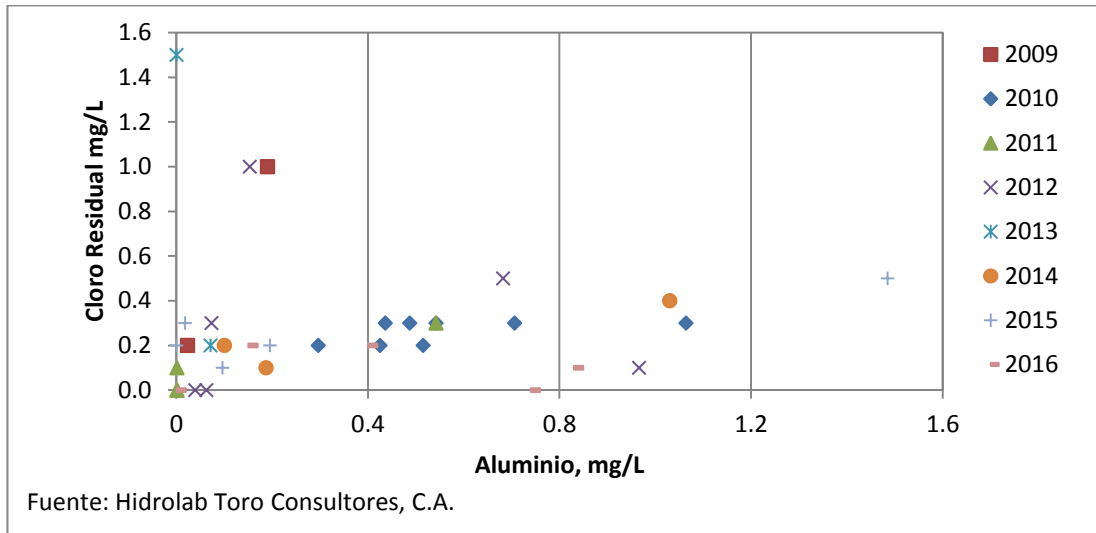


Figura 46. Concentración de cloro residual en función a la concentración de aluminio en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016.

En la tabla 22 se muestran los resultados de la regresión para describir la influencia del aluminio sobre el cloro residual en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016.

Tabla 22. Comparación de diferentes modelos de regresión entre aluminio y cloro residual en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016, a un nivel de confianza al 95%.

Modelo de Regresión	Coeficiente de correlación, R	Significación estadística, Valor-P	Coeficientes del modelo	
			β_0	β_1
Doble Cuadrático	0.8565	0.0000	0.033794	0.095942
Y Cuadrática	0.8390	0.0000	0.017881	0.120885
Raíz Cuadrada de X	0.7635	0.0000	0.080064	0.274236
Y Cuadrática - Raíz Cuadrada de X	0.7585	0.0342	0.001428	0.121351
Lineal	0.7570	0.0000	0.126593	0.244864



Se puede observar que los coeficientes de correlación de los diferentes modelos son positivos, lo cual implica que el cloro residual aumenta a medida que lo hace la concentración de aluminio en el agua de la red. El modelo de ajuste Doble Cuadrático alcanza el mayor coeficiente de correlación. Dado que el Valor-P obtenido en los diferentes modelos son menores a 5%, existe una relación estadísticamente significativa entre el cloro residual y el aluminio con un nivel de confianza del 95%.

En la tabla 23 se presenta el análisis de varianza del modelo de mejor ajuste entre cloro residual y aluminio. El coeficiente de determinación explica que el 73.36% de la variabilidad de la concentración de cloro residual se debe a la concentración de aluminio. Según el resultado de la prueba de falta de ajuste, el modelo parece ser adecuado para los datos con un nivel de confianza del 95%. Además, como el Valor-P en la prueba de aleatoriedad de los residuales es también mayor a 0.05, no hay indicación de una relación serial entre los residuos.

Tabla 23. Análisis de varianza del modelo de mejor ajuste entre aluminio y cloro residual en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016, con n=27 datos y un nivel de confianza de 95%.

Nombre del Modelo	Doble cuadrático
Coefficiente de correlación, R	0.8565
Coefficiente de determinación, R ²	73.36%
Prueba de falta de ajuste	Valor-P>0.05
Error estándar del estimado	0.0290
Media del error absoluto	0.0226
Estadístico Durbin Watson	2.7118
Prueba de aleatoriedad de los residuales	Valor-P>0.05

Las correlaciones obtenidas entre aluminio, hierro y manganeso individualmente con el cloro residual son positivas, indicando una mayor concentración de cloro libre cuando existe a su vez una mayor concentración



de estos metales en la red. Tzatchkov y Arreguín (1996) argumentan que si hay mayor cantidad de cloro residual en el agua se oxidan elementos como hierro y manganeso presentes en las paredes de las tuberías del acueducto, por incrustaciones o fisuras causadas por falta de mantenimiento o antigüedad de la red.

Ya que la toma de muestras no se realiza el mismo día en las diferentes parroquias y no se condicionó el estudio a las concentraciones de salida de la Planta Dr. Alejo Zuloaga; una mayor concentración de cloro residual a una mayor concentración de metales tiene lugar cuando las dosis aplicadas de sulfato de aluminio y cloro en los procesos de potabilización sean más elevadas.

Todos los modelos propuestos para los metales pesados tienen significación estadística con un nivel de confianza del 95%. El aluminio y el cloro residual se ajustan a un modelo Doble Cuadrática cumpliendo con las tres pruebas estadísticas utilizadas. El hierro con el cloro residual se ajusta más a un modelo X Cuadrática, mientras que el manganeso con el cloro residual a un modelo Doble Cuadrática pero con falta de ajuste, probablemente por el número de datos observados.

4.3.2 Análisis Multivariable

Para el análisis multivariable se incorporan los parámetros físico-químicos y microbiológicos, a través de un proceso de selección ascendente paso a paso, a partir de las variables con significación estadística. El ajuste se realiza con modelos de regresión lineal múltiple y modelos de regresión logística, como se describe a continuación.



1) Modelo de Regresión lineal múltiple

En la tabla 24 se presentan los resultados obtenidos de los cuatros modelos de regresión múltiple más relevantes, derivados de este análisis. Para comparar estos modelos se utiliza el coeficiente de determinación ajustado ya que toma en cuenta el número de variables implicadas en el modelo.

Tabla 24. Modelos de regresión múltiple para predecir el cloro residual en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016, con n= 27 datos y un nivel de confianza del 95%.

Modelo	Variables implicadas	Coefficiente de determinación ajustado, R ²	Significación estadística, Valor P	Prueba de aleatoriedad de los residuales
1	Manganeso, pH, turbiedad	81.16%	0.0000	0.4828
2	Aluminio, pH, turbiedad	54.10%	0.0009	0.8589
3	Hierro, Manganeso	53.56%	0.0000	0.4444
4	Hierro, pH, turbiedad	51.10%	0.0000	0.4651

La prueba de significación estadística, para valores de P menores a 0.05, indica que si hay una relación significativa entre las variables en los cuatros modelos enunciados. Los valores de P para el análisis de los residuales, mayores a 0.05, demuestran el carácter de independencia entre los residuos en los cuatros modelos de regresión múltiple, con un nivel de confianza del 95%.

En la tabla 25 se presenta un resumen de los coeficientes que acompañan a cada una de las variables en los diferentes modelos propuestos. La ecuación resultante es de la forma:



$$CRL = CI + A * pH + B * Turb + C * Mn + D * Fe + E * Al \quad (VI)$$

Donde:

CRL: Cloro residual, mg/L

CI: Coeficiente Independiente o Constante

Mn, Fe, Al: Concentración de manganeso, hierro y aluminio en la red, mg/L.

Turb: Turbiedad del agua en la red

A, B, C, D: Coeficientes que acompañan a las variables pH, turbiedad, manganeso, hierro y aluminio, respectivamente.

Tabla 25. Coeficientes de los modelos de regresión múltiple para predecir el cloro residual en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016, con un nivel de confianza del 95%.

Modelo	Coeficiente independiente	pH	Turbiedad	Mn	Fe	Al
1	1.35789	-0.165895	-0.0344483	0.476217	*	*
2	1.12157	-0.131302	-0.0284479	*	*	0.11582
3	0.0842492	*	*	0.255118	0.206226	*
4	0.591653	-0.065884	-0.021241	*	0.4141	*

2) Modelo de Regresión logística

La ecuación del modelo ajustado es:

$$CRL = \frac{e^{eta}}{1+e^{eta}} \quad (VII)$$

Donde:

$$eta = 5.16022 + 1.8076 * Mn + 1.54761 * Fe - 1.01078 * pH - 0.181478 * Turb \quad (VIII)$$

El Valor-P en el análisis de desviaciones es menor a 0.05, por lo cual existe una relación estadísticamente significativa entre las variables, con un nivel de confianza del 95%. Con un total de 27 datos, el porcentaje de desviación explicado por el modelo es igual a 61.98%, mientras que el porcentaje ajustado queda en 56.84%.

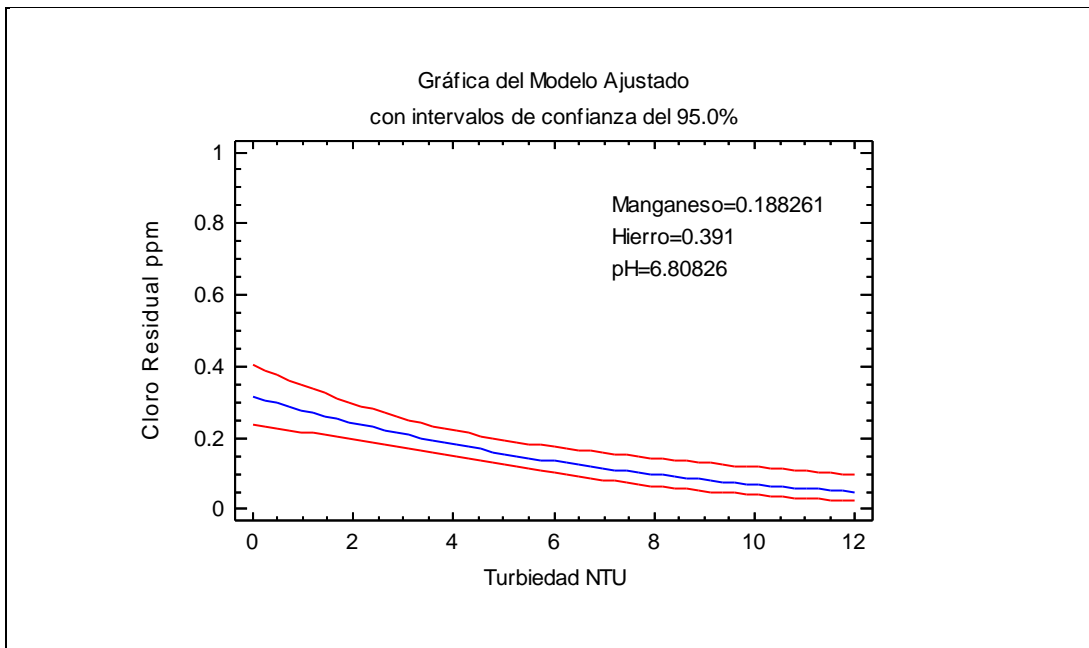


Figura 47. Modelo de regresión logística para el cloro residual del agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016.

En la regresión múltiple se diseñaron varios modelos que están relacionados entre sí, porque incluyen el pH, la turbiedad y la concentración de uno de los metales evaluados. En los modelos no pueden estar como variables independientes de forma simultánea el aluminio, el manganeso o el hierro sin el detrimento del coeficiente de determinación. Es decir, pierden efectividad para describir las variaciones del cloro residual en la red. El coeficiente cae de 81.16% a 55.90%, lo que equivale a un descenso del 25.2%.



Los modelos de regresión logística tienen la ventaja de modelar la probabilidad de ocurrencia de un evento como función de otros factores. En la regresión logística se incluyeron solo variables cuantitativas con el objetivo de poder explicar las variaciones del cloro residual más allá de los modelos de regresión lineal. Como resultado se obtuvo un modelo que involucra simultáneamente los parámetros: hierro, manganeso, pH y turbiedad; para un total de 27 datos, con un nivel de confianza del 95%. Se aprecia que al mantener constante los valores de hierro, manganeso y pH disminuye el cloro residual a medida que aumenta la turbiedad del agua, además que los límites de confianza se atenúan entre 4 y 6 NTU.

4.4 FORMULACIÓN DE RELACIONES MATEMÁTICAS ENTRE EL CLORO RESIDUAL Y LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DEL AGUA DE CONSUMO PÚBLICO EN EL MUNICIPIO VALENCIA, ESTADO CARABOBO.

Se seleccionan los modelos matemáticos que mejor se ajustan y describen la influencia de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos sobre la concentración de cloro residual.

El análisis bivariable conduce a que el parámetro mejor relacionado con el cloro residual es el aluminio total, debido a la calibración de un modelo tipo Doble Cuadrático que obtiene un coeficiente de correlación de 0.8565 con un total de 35 datos de la red de distribución de agua potable del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016. Además, este modelo es estadísticamente significativo con un nivel de confianza del 95%, no presenta



falta de ajuste, cumple con el carácter de aleatoriedad de los residuos, y logra describir el 73.36% de la variabilidad del cloro residual en la red de distribución, basado en el coeficiente de determinación.

El modelo bivariable propuesto es el siguiente:

$$CRL = \sqrt{0.033794 + 0.095942 * AI^2} \quad (IX)$$

Del análisis multivariable se formulan dos modelos potencialmente importantes, uno derivado de la regresión lineal múltiple y el otro de la regresión logística.

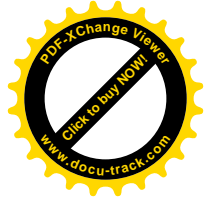
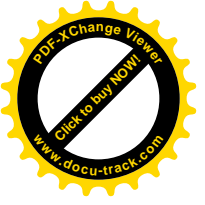
El modelo obtenido en la regresión múltiple con un coeficiente de determinación de 81.16% es el siguiente:

$$CRL = 1.35789 - 0.165895 * pH - 0.0344483 * Turb + 0.476217 * Mn \quad (X)$$

La regresión logística permitió reunir y describir la variabilidad del cloro residual a partir de la concentración de manganeso, de hierro, el pH y la turbiedad. Con un total de 27 datos, el porcentaje de desviación explicado ajustado por el modelo es igual a 56.84%.

La ecuación del modelo es:

$$CRL = \frac{e^{\eta}}{1 + e^{\eta}}$$



Donde:

$$\eta = 5.16022 + 1.8076 * Mn + 1.54761 * Fe - 1.01078 * pH - 0.181478 * Turb$$



CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- 1) La construcción del mapa de la red de distribución de agua potable del municipio Valencia, por medio de la tecnología de sistema de información geográfica, ayuda a comprender el decaimiento del cloro residual y la variación de parámetros físico-químicos y microbiológicos en las diferentes parroquias como consecuencia de su ubicación y distancia respecto a la Planta Potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga y la longitud total de la red de cada parroquia. Las parroquias más vulnerables por su ubicación geográfica son las parroquias San José y Rafael Urdaneta.

- 2) La caracterización espacio-temporal del agua de consumo público del municipio Valencia durante el período de estudio 2009 - 2016 señala que:
 - a) Los parámetros analizados que presentan valores superiores al máximo aceptable por las Normas Sanitarias de calidad del agua potable, publicadas en la Gaceta Oficial N° 36.395, son: el color, la turbiedad, el hierro total, el aluminio total, los nitritos y los coliformes totales; siendo principalmente afectadas las parroquias San José y Rafael Urdaneta, con una tendencia al crecimiento de las concentraciones de estos parámetros desde el año 2014.



- b) Los parámetros evaluados que cumplen con los valores recomendados en la Gaceta Oficial N° 36.395 son el pH, los sólidos disueltos totales, el manganeso, los cloruros, los sulfatos, los nitratos y la dureza total. Estos parámetros se mantienen constantes en el tiempo y presentan poca variabilidad entre las diferentes parroquias muestreadas.
- c) El cloro residual presenta valores por debajo del rango óptimo para redes de distribución que va desde 0.30 a 0.50 mg/L, establecido en el artículo 6 de la Gaceta Oficial N° 36.395, con una tendencia al decrecimiento de su concentración desde el año 2015.
- 3) Se determinaron correlaciones positivas y estadísticamente significativas del cloro residual con el aluminio, el hierro, el manganeso, el color y el pH. La presencia de cloro residual en el agua de consumo se asocia de forma significativa con la ausencia de contaminación microbiológica en la misma expresada como organismos heterótrofos aerobios y los coliformes totales.
- 4) Las relaciones matemáticas más destacadas obtenidas de los análisis de regresión son las siguientes:
- a) La variable aluminio total es la que mejor explica la variabilidad del cloro residual en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia durante el período 2009 – 2016 con un coeficiente de correlación de 0.8565 unidades para un nivel de confianza del 95% y un total de 35 datos.



- b) El modelo de regresión múltiple que mejor predice el cloro residual en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia tiene como variables independientes el pH, la turbiedad y la concentración de manganeso con un coeficiente de determinación ajustado de 81.16% para un nivel de confianza del 95% y un total de 27 datos.

- c) El modelo de regresión logística que permite predecir la concentración de cloro residual en el agua de abastecimiento público del municipio Valencia incluye las variables hierro, manganeso, pH y turbiedad con un total de 27 datos y un nivel de confianza del 95%. El porcentaje de desviación explicado por el modelo es igual a 56.84%, con la capacidad de estudiar el efecto de una variable como la turbiedad sobre el cloro libre teniendo como valores fijos los promedios de hierro, manganeso y pH en la red de distribución de agua potable del municipio Valencia.

5.2 RECOMENDACIONES

- 1) Evaluar más puntos de muestreo en las parroquias Miguel Peña, Santa Rosa, El Socorro y Catedral a fin de tener mayor representatividad de la influencia de parámetros físico-químicos y microbiológicos sobre el cloro residual en la red de distribución de agua potable del municipio Valencia estado Carabobo.

- 2) Extender este estudio al efecto que ejercen sobre el cloro residual variables cualitativas como la estación del año, las características del suministro y del sistema de abastecimiento para diseñar un modelo más apropiado con regresión logística.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Álvarez P. (2010). *Sistemas de Abastecimiento de Aguas en Núcleos Rurales. Variables que influyen en la cloración*. Tesis Doctoral, Universidad de Granada, España.

APHA; AWWA; WEF. (2012). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. (22a ed.) Washington, DC: Autor.

Arboleda, J. (2000). *Teoría y práctica de la purificación del agua*. (3ra ed.) Mc Graw Hill. Santa Fe de Bogotá, D.C., Colombia.

Arias (2006). *Proyecto de investigación: introducción a la metodología científica*. Caracas, Venezuela.

Arismendi L. (2005). Desarrollo industrial valenciano. *Mañongo* N° 25, pp. 105 – 124.

Arriaza M. (2006). Guía práctica de análisis de datos. [Documento en línea]. Disponible:http://www.um.es/jmpaz/AGP1213/guia_practica_de_analisis_de_datos.pdf [Consulta: 2016, noviembre 01].

Bastidas, M. (2014). *La contaminación del agua en Carabobo vista desde la prensa*. Trabajo de grado no publicado, Universidad Católica Andrés Bello, Caracas, Venezuela.

Balestrini, M. (2006) *Cómo se elabora el proyecto de investigación*. Caracas, Venezuela, 137.

CONAGUA, (2013). *Estadísticas del agua en México*. Comisión Nacional del Agua. México: Autor.



- Guerra, A., Aguirre, N. y Caicedo, O. (2011). *Mapificación y análisis de la distribución espacial de organismos indicadores de la calidad del agua en la quebrada la Ayurá (Envigado, Antioquia)*, 14(1), 55 – 64.
- Guevara, E. (2016). Transporte y transformación de contaminantes en el ambiente y contaminación de las aguas. (1ra ed.) ANA. Perú.
- Hernández, R., Fernández C. y Baptista P. (2003). *Metodología de la investigación*. México, 122.
- Machuca, S. (2013). Simulación del transporte, decaimiento o crecimiento de sustancias presentes en redes de distribución de agua potable debido a reacciones internas. [Documento en línea]. Disponible: <http://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/7895/1/Machuca%20Rivera%20Silvana%20Carolina.pdf>. [Consulta: 2016, junio 10].
- Marrón, C. (1998). *Sistemas de agua potable: manual de administración, operación y mantenimiento*. Lima, Perú.
- Martínez, J. y Núñez N. (2013). *Efectos de la implementación de un sistema de información geográfica para la planificación de la prestación de los servicios de drenaje, agua potable y saneamiento en el municipio Valencia parroquia San José, estado Carabobo*. Trabajo de grado no publicado, Universidad de Carabobo, Venezuela.
- Montgomery D. y Runger G. (2009). *Probabilidad y Estadística aplicadas a la Ingeniería*. (2a. ed). Limusa. México.
- Mendoza, V. y Trujillo V. (2013). *Evaluar la implementación de un sistema de información geográfica para la planificación de la prestación de los servicios de drenaje, agua potable, y saneamiento en las parroquias Candelaria, El Socorro, Catedral y San Blas del municipio Valencia, estado Carabobo*. Trabajo de grado no publicado, Universidad de Carabobo, Venezuela.



Norma Covenin Venezolana 2614. (1994). *Agua Potable. Toma de Muestra*. 1ra Revisión. Caracas, Venezuela

Norma para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos. (Decreto No 883). (11 de Octubre de 1995). Gaceta Oficial de la República de Venezuela, 5.021 (Extraordinaria), Diciembre 18, 1995.

Normas sanitarias de calidad del agua potable. (Decreto S.G.-018-98). (11 de Febrero de 1998). Gaceta Oficial de la República de Venezuela, 36.395 (Extraordinaria), Febrero 13, 1.998.

Oliveira, M. (2011). *Subproductos de Cloración Inorgánicos y Orgánicos en las Aguas de Castilla y León. Estado Actual y Perspectivas ante la Revisión de la Directiva Europea*. [Documento en línea]. Disponible: http://gredos.usal.es/jspui/bitstream/10366/110550/1/DQANB_Dantas_Leite_MV_EstadoActual.pdf. [Consulta: 2016, julio 15].

Orner, K. (2011). *Effectiveness of In-Line Chlorination of Gravity Flow Water Supply in Two Rural Communities in Panama*. [Documento en línea]. Disponible: <http://scholarcommons.usf.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=4466&context=etd>. [Consulta: 2016, agosto 7].

Quintana. (1996). *Elementos de inferencia estadística*. Costa Rica.

Quirós, F. (2004). *Empleo de cloro y cloraminas en la desinfección del agua. Cloración y subproductos*. Química e industria 51 (548), 12-24.

Quirós, F. (2005). *Desinfección del Agua con Cloro y Cloraminas*. Técnica Industrial, 65-63.

Palella, S. y Martins, F. (2010) *Metodología de la investigación cuantitativa*. Venezuela.



Perry D., Michael C., y Beger P. (2002) Aspectos de la calidad del agua: salud y estética. En: American Water Works Association. Calidad y tratamiento del agua: manual de suministros de agua contaminada. (5ta ed.). Mc Graw Hill. Estados Unidos.

Programa Conjunto OMS/UNICEF de Monitoreo (PCM). (2015). *Informe sobre el acceso al agua potable y saneamiento: datos esenciales*. [Documento en línea]. Disponible: http://www.who.int/water_sanitation_health/monitoring/jmp-2015-key-facts/es/. [Consulta: 2016, Febrero 24].

Romero J. (2010) *Potabilización del Agua*. Alfaomega. (3ra ed). Colombia.

Rossmann, L. A., Clark, R. M., & Grayman, W. M. (1994). *Modeling Chlorine Residuals in Drinking-Water Distributions Systems*. Journal of Environmental Engineering, ASCE 120(4), 803-820.

Sánchez J. (2008). *Manual de los análisis estadísticos de los datos*. Alianza editorial. España.

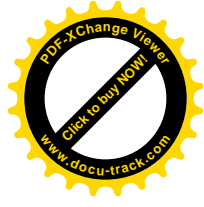
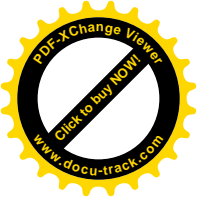
Santos, R. (2012). Modelación de solutos en redes de distribución de agua potable [Documento en línea]. Disponible: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/5283?show=full>. [Consulta: 2016, junio 30].

Sampieri, H. (2008) *Metodología de la Investigación*. México, 144.

Tzatchkov, V. G., y Arreguín, F. I. (1996). *Modelo de la Calidad del Agua en Redes de Distribución con Flujo Permanente*. Ingeniería Hidráulica en México. México, 61-70.

UPEL (2006). *Manual de Trabajos de Grado de Especialización y Maestría y Tesis Doctorales*. Caracas, Venezuela: Autor.

U.S EPA, Method 300.1, *Determination of inorganic anions in drinking water by ion chromatography*. Revision 1.0, 1997.



ANEXOS



Tabla 26. Técnicas de preservación y almacenamiento de las muestras para análisis físico-químicos y microbiológicos

Determinación	Envase	Volumen mínimo de muestra, mL	Preservación	Período máx. de almacenamiento
pH	P,V	50	Analice Inmediatamente.	0,5 h.
Color	P, V	500	Refrigerar. Analice pronto	48 h
Turbiedad	P, V	500	Analice pronto. Almacenar en la oscuridad	24 h.
Sólidos	P,V	200	Refrigerar.	7 días.
Dureza	P,V	100	Añada HNO ₃ hasta pH < 2.	6 meses
Nitritos, Nitratos	P,V	100	Analice pronto o refrigere	48 h.
Cloruros, sulfatos	P,V	150	No requiere	28 días
Bacteriología	P,V	250	Refrigerar. Analizar de inmediato	24 h.
Metales en general	P,V (A)	1000	Para metales disueltos filtre inmediatamente. Añada HNO ₃ hasta pH < 2.	6 meses
Cloro residual	P,V	500	Analice Inmediatamente.	15 min.

Fuente: Norma Covenin Venezolana 2614. (1994).



Tabla 27. Componentes relativos a la calidad organoléptica del agua potable

Componentes o características	Unidad	Valor Deseable Menor a	Valor Máximo Aceptable (a)
Color	Und. Pt. Co.	5	15 (25)
Turbiedad	NTU	1	5 (10)
Olor o Sabor	-	Aceptable	
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	600	1000
Dureza Total	mg/L CaCO ₃	250	500
pH	-	6.5 – 8.5	9.0
Aluminio	mg/L	0.1	0.2
Cloruro	mg/L	250	300
Cobre	mg/L	1	(2)
Hierro Total	mg/L	0.1	0.3 (1.0)
Manganeso Total	mg/L	0.1	0.5
Sodio	mg/L	200	200
Sulfato	mg/L	250	500
Zinc	mg/L	3	5.0

a) Los valores entre paréntesis son aceptados provisionalmente en casos excepcionales, plenamente justificados ante la autoridad sanitaria.

Fuente: Normas sanitarias de calidad del agua potable. (Decreto S.G.-018-98), artículo 14.



Tabla 28. Componentes inorgánicos relativos a la calidad organoléptica del agua potable

Componentes	Valor Máximo Aceptable (mg/L)
Arsénico	0.01
Bario	0.7
Boro	0.3
Cadmio	0.003
Cianuro	0.07
Cromo Total	0.05
Fluoruros	1.0
Mercurio Total	0.001
Níquel	0.02
Nitrato	45
Nitrito	0.03
Molibdeno	0.07
Plomo	0.01
Selenio	0.01
Cloro residual	1 (3) (a)

a) El valor entre paréntesis es aceptado provisionalmente en casos extremadamente excepcionales, plenamente justificado ante la Autoridad Sanitaria Competente.

Fuente: Normas sanitarias de calidad del agua potable. (Decreto S.G.-018-98), artículo 14.