



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

La Universidad Católica de Loja

ÁREA TÉCNICA

TITULACIÓN DE INGENIERIA CIVIL

Modelación de la calidad de agua del río Malacatos, tramo comprendido desde el Sector Dos Puentes hasta Sauces Norte

TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN

AUTOR: Zúñiga Torres, Liliana Alexandra

DIRECTOR: Cisneros Abad, Mónica Jacqueline, MS.c.

LOJA – ECUADOR

2014

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN

Máster

Mónica Jacqueline Cisneros Abad

DIRECTORA DEL TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN

De mi consideración:

El presente trabajo de fin de titulación: Modelación de la calidad de agua del río Malacatos, tramo comprendido desde el Sector Dos Puentes hasta Sauces Norte realizado por Zúñiga Torres Liliana Alexandra ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por eso se aprueba la presentación del mismo.

Loja, septiembre 30 de 2014

f)

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

“Yo, Zúñiga Torres Liliana Alexandra, declaro ser autora del presente trabajo de fin de titulación: Modelación de la calidad de agua del río Malacatos, tramo comprendido desde el Sector Dos Puentes hasta Sauces Norte, de la Titulación de Ingeniería Civil, siendo la MSc. Mónica Jacqueline Cisneros Abad directora del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 67 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”

f.....
Autora: Zúñiga Torres Liliana Alexandra
1104992795

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a mi Dios, por haberme dado la vida y permitirme haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional, por mostrarme día a día que con humildad, paciencia y sabiduría todo es posible.

A mis Padres por ser el pilar fundamental y quienes hicieron todo en la vida para que yo pudiera lograr mis sueños, por motivarme y darme la mano en los momentos difíciles, a mis Hermanas por estar siempre presentes, brindándome aliento durante toda mi vida y por ser mi motivación, inspiración y felicidad, a mi Abuelito por su apoyo, consejos, comprensión, y amor.

“La dicha de la vida consiste en tener siempre algo que hacer, alguien a quien amar y alguna cosa que esperar”. Thomas Chalmers.

Liliana Alexandra

AGRADECIMIENTO

Le agradezco a Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad.

A todos mis profesores que me han acompañado durante este largo camino, brindándome confianza, apoyo y sobretodo haber compartido sus conocimientos y su amistad, en especial a mi maestra y amiga MS.c. Mónica Cisneros Abad por haber orientado en todo momento la realización de este proyecto con sus atinados consejos, igualmente a los Ingenieros Celso Romero, Miguel Guamán, Lorena Bermeo, Diego Maza, Mercedes Villa y Galo Maldonado por su colaboración en el desarrollado de mi labor investigadora.

Al Ing. José Marcelo Espín por su incondicional apoyo y confianza depositada en mí, así mismo al Ing. Roger Carchipulla e Ing. Fabián Berrezueta por la comprensión, paciencia y ánimos recibidos.

Y mis más sinceros agradecimientos a José Alberto, Xiomar, Roberth y mis amigos quienes me permitieron entrar en su vida durante estos cinco años de carrera y haber compartido momentos inolvidables.

Liliana Alexandra

INDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN	ii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
RESUMEN.....	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN.....	3
CAPÍTULO I.....	5
1. Generalidades.....	6
1.1. Antecedentes.....	6
1.1.1. Objetivo general.....	7
1.2. Problemática y justificación.....	7
1.3. Objetivos.....	7
1.3.1. Objetivos específicos.....	7
CAPITULO II.....	8
2. Calidad del agua.....	9
2.1. Introducción.....	9
2.2. Modelos de calidad de agua.....	10
2.3. Tipos de modelos.....	12
2.4. Modelo de Streeter & Phelps.....	13
2.5. Parámetros analizados.....	13
2.5.1. Oxígeno Disuelto (OD).....	13
2.5.2. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).....	14
2.5.2.1. Demanda bioquímica de oxígeno carbonácea (DBOC).....	15
2.5.2.2. Demanda bioquímica de oxígeno nitrogenada (DBON).....	15
CAPÍTULO III.....	16
3. Caso de estudio – Río Malacatos.....	17
3.1. Localización de la Sub cuenca del Río Malacatos.....	17
3.2. Diseño de la red de monitoreo.....	17
3.3. Aforos.....	20
3.4. Muestreo.....	22
3.5. Análisis de Laboratorio.....	26
4. Resultados.....	29
4.1. Resultados de aforos y parámetros analizados.....	29
4.1.1. Resultados de aforos en la subcuenca del Río Malacatos.....	29
4.1.2. Resultados de los ensayos de los parámetros a modelar en la subcuenca del Río Malacatos.....	30
4.2. Análisis estadístico de los ensayos de laboratorio.....	37
4.2.1. Análisis estadístico de los puntos de monitoreo de la subcuenca del Río Malacatos.....	37
4.2.2. Análisis estadístico de las descargas de aguas residuales de la red de monitoreo de la subcuenca del Río Malacatos.....	41
4.3. Aplicación del modelo de Streeter-Phelps en Microsoft Excel 2013.....	45
4.3.1. Ecuación general de balance de masa.....	45
4.3.2. Constantes cinéticas.....	48
4.3.2.1. Constante de desoxigenación carbonácea.....	48
4.3.2.2. Constante de nitrificación.....	50
4.3.2.3. Constante de reaireación.....	54
4.3.3. Efectos de temperatura.....	56

4.3.4.	Correcciones de las constantes cinéticas por temperatura.....	56
4.3.5.	Concentración de saturación del oxígeno disuelto en el río Malacatos.	58
4.3.6.	Concentración de oxígeno disuelto.	59
4.3.7.	Modelación de OD, DBOC y DBON.	59
4.3.8.	Condiciones críticas del modelo.	63
4.3.9.	Calibración del modelo.	66
4.3.10.	Verificación del modelo.	72
4.3.11.	Simulación del tramo 2 – Punzara.	74
4.3.12.	Datos iniciales para el modelo de Streeter & Phepls.	74
4.3.13.	Déficit de oxígeno disuelto.	75
4.3.14.	Cálculo de constantes de reacción en el tramo.	75
4.3.15.	Perfiles de OD, DBOC, DBON.	75
4.3.15.1.	Resultado del cálculo del modelo en el Tramo 2. Punzara.	75
4.3.16.	Calibración del Modelo.	76
4.3.17.	Matriz de Correlación.	81
4.3.18.	Verificación del Modelo.	81
4.3.19.	Datos iniciales para el Modelo de Streeter & Phepls.	83
4.3.20.	Déficit de oxígeno disuelto - Do.	84
4.3.21.	Cálculo de constantes de reacción en el tramo.	84
4.3.22.	Perfiles de OD, DBOC, DBON.	84
4.3.23.	Resultado del cálculo del modelo en el Tramo 3. Parque Lineal.	84
4.3.24.	Calibración del Modelo.	85
4.3.25.	Matriz de Correlación.	90
4.3.26.	Verificación del Modelo.	91
4.3.27.	Simulación del tramo 4 – Catacocha.	92
4.3.28.	Datos iniciales para el Modelo de Streeter & Phepls.	93
4.3.29.	Déficit de oxígeno disuelto - Do.	93
4.3.30.	Cálculo de constantes de reacción en el tramo.	93
4.3.31.	Perfiles de OD, DBOC, DBON.	94
4.3.31.1.	Resultado del cálculo del modelo en el Tramo 4. Calle Catacocha.	94
4.3.32.	Calibración del Modelo.	95
4.3.33.	Matriz de Correlación.	100
4.3.34.	Verificación del Modelo.	100
4.3.35.	Simulación del tramo 5 – Calle 10 de Agosto.	102
4.3.36.	Datos iniciales para el Modelo de Streeter & Phepls.	102
4.3.37.	Déficit de oxígeno disuelto - Do.	103
4.3.38.	Cálculo de constantes de reacción en el tramo.	103
4.3.39.	Perfiles de OD, DBOC, DBON.	103
4.3.39.1.	Resultado del cálculo del modelo en el Tramo 5. Calle 10 de Agosto.	103
4.3.40.	Calibración del Modelo.	104
4.3.41.	Matriz de Correlación.	109
4.3.42.	Verificación del modelo.	110
4.3.43.	Simulación del tramo 6 –Sector Mayorista.	111
4.3.43.1.	Datos iniciales para el Modelo de Streeter & Phepls.	112
4.3.44.	Déficit de oxígeno disuelto - Do.	112
4.3.45.	Cálculo de constantes de reacción en el tramo.	112
4.3.46.	Perfiles de OD, DBOC, DBON.	113
4.3.46.1.	Resultado del cálculo del modelo en el Tramo 6. Sector Mayorista.	113
4.3.47.	Calibración del Modelo.	114
4.3.48.	Matriz de Correlación.	119
4.3.49.	Verificación del modelo.	119

4.3.50.	Simulación del tramo 7 – Terminal.....	121
4.3.51.	Datos iniciales para el Modelo de Streeter & Phepls.....	121
4.3.52.	Déficit de oxígeno disuelto - Do usando la ecuación 4.15 y la Tabla 13. Oxígeno Disuelto en función de la temperatura	122
4.3.53.	Cálculo de constantes de reacción en el tramo.....	122
4.3.54.	Perfiles de OD, DBOC, DBON.....	122
4.3.54.1.	Resultado del cálculo del modelo en el Tramo 7. Terminal Terrestre.	123
4.3.55.	Calibración del Modelo	123
4.3.56.	Matriz de Correlación.....	128
4.3.57.	Verificación del modelo.....	129
4.3.58.	Simulación del tramo 8 – Río Jipiro.....	130
4.3.59.	Datos iniciales para el Modelo de Streeter & Phepls.....	131
4.3.60.	Déficit de oxígeno disuelto - Do	131
4.3.61.	Cálculo de constantes de reacción en el tramo.....	131
4.3.62.	Perfiles de OD, DBOC, DBON.....	132
4.3.62.1.	Resultado del cálculo del modelo en el Tramo 8 - Río Jipiro	132
4.3.63.	Calibración del Modelo	134
4.3.64.	Matriz de Correlación.....	139
4.3.65.	Verificación del modelo.....	139
4.3.66.	Simulación del tramo 9 – Colector.....	141
4.3.67.	Datos iniciales para el Modelo de Streeter & Phepls.....	141
4.3.68.	Déficit de oxígeno disuelto - Do	142
4.3.69.	Cálculo de constantes de reacción en el tramo.....	142
4.3.70.	Perfiles de OD, DBOC, DBON.....	142
4.3.70.1.	Resultado del cálculo del modelo en el Tramo 9. Colector	142
4.3.71.	Calibración del Modelo	144
4.3.72.	Matriz de Correlación.....	149
4.3.73.	Verificación del modelo.....	149
CAPÍTULO V	.....	152
5.	Modelación utilizando el software WASP 7.....	153
5.1.	Software WASP 7.	153
5.2.	Aplicación del software WASP 7.	154
5.3.	Resultados de la modelación en el software WASP 7.....	154
5.3.1.	Simulación del Oxígeno Disuelto de los nueve puntos muestreados en el software WASP 7.....	155
CAPÍTULO VI	.....	161
6.	Análisis de resultados.....	162
CONCLUSIONES	.....	165
BIBLIOGRAFÍA	.....	167
ANEXOS	.....	170

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 : Curva de Demanda bioquímica de Oxígeno.....	15
Figura 2 : Sub cuenca del río Malacatos	18
Figura 3 : Esquema del balance de masa	45
Figura 4 : Balance de masas del Tramo 1 – Sector Dos Puentes	46
Figura 5: Comportamiento de la DBO total en el tiempo.	53
Figura 6 : Constante de Nitrificación.	53
Figura 7: Simulación del Oxígeno Disuelto v/s Déficit de Oxígeno en el Tramo 1.	67
Figura 8: Simulación del Tiempo v/s Oxígeno Disuelto en el Tramo 1.	67
Figura 9: Simulación del Tiempo v/s Oxígeno Disuelto en el Tramo 1.	67
Figura 10: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea v/s Déficit de Oxígeno en el Tramo 1.	68
Figura 11: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea v/s Oxígeno Disuelto en el Tramo 1.....	68
Figura 12: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea v/s Distancia ..	68
Figura 13: Simulación del Tiempo v/s Déficit de Oxígeno Disuelto en el Tramo 1.....	69
Figura 14: Simulación del Tiempo v/s Demanda Bioquímica de Oxígeno en el Tramo 1.....	69
Figura 15: Simulación del Tiempo v/s Distancia en el Tramo 1.....	69
Figura 16: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada v/s Distancia ..	70
Figura 17: Simulación del Tiempo v/s Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada en el Tramo 1.....	70
Figura 18: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada v/s Déficit de Oxígeno Disuelto en el Tramo 1.	70
Figura 19: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada v/s Oxígeno Disuelto en el Tramo 1.....	71
Figura 20: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada v/s Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea en el Tramo 1.....	71
Figura 21: Simulación del Oxígeno Disuelto v/s Distancia en el Tramo 1 – Dos Puentes...	72
Figura 22: Simulación de la demanda bioquímica de oxígeno carbonácea v/s	73
Figura 23: Simulación de la demanda bioquímica de oxígeno nitrogenada v/s distancia en el tramo 1 – Dos Puentes.	73
Figura 24:. Tramo 2- Punzara.	74
Figura 25: Simulación del Oxígeno Disuelto v/s Distancia en el Tramo 2.....	76
Figura 26: Simulación del Oxígeno Disuelto v/s Déficit de Oxígeno en el Tramo 2.	77
Figura 27: Simulación del Tiempo v/s Oxígeno Disuelto en el Tramo 2.....	77
Figura 28: Simulación del Oxígeno Disuelto v/s Déficit de Oxígeno en el Tramo 2.	77
Figura 29: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea v/s Déficit de Oxígeno en el Tramo 2.	78
Figura 30: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea v/s Oxígeno Disuelto en el Tramo 2.....	78
Figura 31: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea v/s Distancia .	78
Figura 32: Simulación del Tiempo v/s Déficit de Oxígeno en el Tramo 2.....	79
Figura 33: Simulación del Tiempo v/s Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea en el Tramo 2.....	79
Figura 34: Simulación del Tiempo v/s Distancia en el Tramo 2.	79
Figura 35: Simulación del Oxígeno Disuelto v/s Déficit de Oxígeno en el Tramo 2.	80
Figura 36: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada v/s Oxígeno Disuelto en el Tramo 2.....	80
Figura 37: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada v/s Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea en el Tramo 2.....	80
Figura 38: Simulación del Oxígeno Disuelto v/s Distancia en el Tramo 2 – Punzara.....	81

Figura 39: Simulación de la demanda bioquímica de oxígeno carbonácea v/s distancia en el tramo 2 – Punzara	82
Figura 40: Simulación de la demanda bioquímica de oxígeno nitrogenada v/s distancia en el tramo 2 – Punzara.	82
Figura 41: Tramo 3- Parque Lineal.	83
Figura 42: Simulación del Oxígeno Disuelto v/s Distancia en el Tramo 3.....	85
Figura 43: Simulación del Oxígeno Disuelto v/s Déficit de Oxígeno en el Tramo 3.	86
Figura 44: Simulación del Tiempo v/s Oxígeno Disuelto en el Tramo 3.....	86
Figura 45: Simulación del Déficit de Oxígeno Disuelto v/s Distancia en el Tramo 3.	86
Figura 46: Simulación de la Demanda Bioquímica Carbonácea v/s Déficit de Oxígeno en el Tramo 3.	87
Figura 47: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea v/s Distancia en el Tramo 3.	87
Figura 48: Simulación del Tiempo v/s Déficit de Oxígeno en el Tramo 3.....	87
Figura 49: Simulación del Tiempo v/s Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea en el Tramo 3.	88
Figura 50: Simulación del Tiempo v/s Distancia en el Tramo 3.	88
Figura 51: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada v/s Distancia en el Tramo 3.	88
Figura 52: Simulación del Tiempo v/s Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada en el Tramo 3.	89
Figura 53: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada v/s Déficit de Oxígeno Disuelto en el Tramo 3.....	89
Figura 54: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada v/s Oxígeno Disuelto en el Tramo 3.....	89
Figura 55: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada v/s Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea en el Tramo 3.....	90
Figura 56: Simulación del oxígeno disuelto v/s distancia en el tramo 3 – Parque Lineal	91
Figura 57: Simulación de la demanda bioquímica de oxígeno carbonácea v/s distancia en el tramo 3 – Parque Lineal.....	91
Figura 58: Simulación de la demanda bioquímica de oxígeno nitrogenada v/s distancia en el tramo 3 – Parque Lineal.....	92
Figura 59: Tramo 4 - Catacocha.	92
Figura 60: Simulación del Oxígeno Disuelto v/s Distancia en el Tramo 4.....	95
Figura 61: Simulación del Oxígeno Disuelto v/s Déficit de Oxígeno en el Tramo 4.	95
Figura 62: Simulación del Tiempo v/s Oxígeno Disuelto en el Tramo 4.	95
Figura 63: Simulación del Déficit de Oxígeno Disuelto v/s Distancia en el Tramo 4.	96
Figura 64: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea v/s Déficit de Oxígeno en el Tramo 4.	96
Figura 65: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea v/s Oxígeno Disuelto en el Tramo 4.....	96
Figura 66: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea v/s Distancia en el Tramo 4.	97
Figura 67: Simulación del Tiempo v/s Déficit de Oxígeno en el Tramo 4.....	97
Figura 68: Simulación del Tiempo v/s Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea en el Tramo 4.	97
Figura 69: Simulación del Tiempo v/s Distancia en el Tramo 4.	98
Figura 70: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada v/s Distancia en el Tramo 4.	98
Figura 71: Simulación del Tiempo v/s Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada en el Tramo 4.....	98

Figura 72: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada v/s Déficit de Oxígeno Disuelto en el Tramo 4.	99
Figura 73: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada v/s Oxígeno Disuelto en el Tramo 4.	99
Figura 74: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada v/s Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea en el Tramo 4.	99
Figura 75: Simulación del oxígeno disuelto v/s distancia en el tramo 4 – Catacocha.	100
Figura 76: Simulación de la demanda bioquímica de oxígeno carbonácea v/s distancia en el tramo 4 – Catacocha.	101
Figura 77: Simulación de la demanda bioquímica de oxígeno nitrogenada v/s distancia en el tramo 4 – Catacocha.	101
Figura 78: Tramo 5 – Calle 10 de Agosto.	102
Figura 79: Simulación del Oxígeno Disuelto v/s Distancia en el Tramo 5.	104
Figura 80: Simulación del Oxígeno Disuelto v/s Déficit de Oxígeno en el Tramo 5.	105
Figura 81: Simulación del Tiempo v/s Oxígeno Disuelto en el Tramo 5.	105
Figura 82: Simulación del Déficit de Oxígeno Disuelto v/s Distancia en el Tramo 5.	105
Figura 83: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea v/s Déficit de Oxígeno en el Tramo 5.	106
Figura 84: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea v/s Oxígeno Disuelto en el Tramo 5.	106
Figura 85: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea v/s Distancia en el Tramo 5.	106
Figura 86: Simulación del Tiempo v/s Déficit de Oxígeno en el Tramo 5.	107
Figura 87: Simulación del Tiempo v/s Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea en el Tramo 5.	107
Figura 88: Simulación del Tiempo v/s Distancia en el Tramo 5.	107
Figura 89: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada v/s Distancia en el Tramo 5.	108
Figura 90: Simulación del Tiempo v/s Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada en el Tramo 5.	108
Figura 91: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada v/s Déficit de Oxígeno Disuelto en el Tramo 5.	108
Figura 92: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada v/s Oxígeno Disuelto en el Tramo 5.	109
Figura 93: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada v/s Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea en el Tramo 5.	109
Figura 94: Simulación del Oxígeno Disuelto v/s Distancia en el Tramo 5 – Calle 10 de Agosto.	110
Figura 95: Simulación de la demanda bioquímica de oxígeno carbonácea v/s distancia en el tramo 5 – Calle 10 de Agosto.	110
Figura 96: Simulación de la demanda bioquímica de oxígeno nitrogenada v/s distancia en el tramo 5 – calle 10 de Agosto.	111
Figura 97: Tramo 6 – Sector Mayorista.	111
Figura 98: Simulación del Oxígeno Disuelto v/s Distancia en el Tramo 6.	114
Figura 99: Simulación del Oxígeno Disuelto v/s Déficit de Oxígeno en el Tramo 6.	114
Figura 100: Simulación del Tiempo v/s Oxígeno Disuelto en el Tramo 6.	114
Figura 101: Simulación del Déficit de Oxígeno Disuelto v/s Distancia en el Tramo 6.	115
Figura 102: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea v/s Déficit de Oxígeno en el Tramo 6.	115
Figura 103: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea v/s Oxígeno Disuelto en el Tramo 6.	115

Figura 104: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea v/s Distancia en el Tramo 6.....	116
Figura 105: Simulación del Tiempo v/s Déficit de Oxígeno en el Tramo 6.....	116
Figura 106: Simulación del Tiempo v/s Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea en el Tramo 6.	116
Figura 107: Simulación del Tiempo v/s Distancia en el Tramo 6.	117
Figura 108: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada v/s Distancia en el Tramo 6.	117
Figura 109: Simulación del Tiempo v/s Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada en el Tramo 6.	117
Figura 110: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada v/s Déficit de Oxígeno en el Tramo 6.	118
Figura 111: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada v/s Oxígeno Disuelto en el Tramo 6.	118
Figura 112: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada v/s Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea en el Tramo 6.....	118
Figura 113: Simulación del oxígeno disuelto v/s distancia en el tramo 6 – Sector Mayorista.	119
Figura 114: Simulación de la demanda bioquímica de oxígeno carbonácea v/s distancia en el tramo 6 – Sector Mayorista.	120
Figura 115: Simulación de la demanda bioquímica de oxígeno nitrogenada v/s distancia en el tramo 6 – Sector Mayorista.	120
Figura 116: Tramo 7 – Terminal.....	121
Figura 117: Simulación del Oxígeno Disuelto v/s Distancia en el Tramo 7.....	123
Figura 118: Simulación del Oxígeno Disuelto v/s Déficit de Oxígeno en el Tramo 7.	124
Figura 119: Simulación del Déficit de Oxígeno v/s Distancia en el Tramo 7.....	124
Figura 120: Simulación del Tiempo v/s Oxígeno Disuelto en el Tramo 7.....	124
Figura 121: Simulación del Oxígeno Disuelto v/s Déficit de Oxígeno en el Tramo 7.	125
Figura 122: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea v/s Oxígeno Disuelto en el Tramo 7.....	125
Figura 123: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea v/s Distancia en el Tramo 7.....	125
Figura 124: Simulación del Tiempo v/s Déficit de Oxígeno en el Tramo 7.....	126
Figura 125: Simulación del Tiempo v/s Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea en el Tramo 7.	126
Figura 126: Simulación del Tiempo v/s Distancia en el Tramo 7.	126
Figura 127: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada v/s Distancia en el Tramo 7.	127
Figura 128: Simulación del Tiempo v/s Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada en el Tramo 7.	127
Figura 129: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada v/s Déficit de Oxígeno Disuelto en el Tramo 7.	127
Figura 130: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada v/s Oxígeno Disuelto en el Tramo 7.....	128
Figura 131: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada v/s Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea en el Tramo 7.....	128
Figura 132: Simulación del Oxígeno Disuelto v/s Distancia en el Tramo 7 – Terminal.	129
Figura 133: Simulación de la demanda bioquímica de oxígeno carbonácea v/s distancia en el tramo 7 – Termina	129
Figura 134: Simulación de la demanda bioquímica de oxígeno nitrogenada v/s distancia en el tramo 7 – Terminal.....	130

Figura 135: Tramo 8 – Río Jipiro.....	130
Figura 136: Simulación del Oxígeno Disuelto v/s Distancia en el Tramo 8.....	134
Figura 137: Simulación del Oxígeno Disuelto v/s Déficit de Oxígeno en el Tramo 8.	134
Figura 138: Simulación del Oxígeno Disuelto v/s Distancia en el Tramo 8.....	135
Figura 139: Simulación del Déficit de Oxígeno Disuelto v/s Distancia en el Tramo 8.	135
Figura 140: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea v/s Déficit de Oxígeno en el Tramo 8.	135
Figura 141: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea v/s Oxígeno Disuelto en el Tramo 8.....	136
Figura 142: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea v/s Distancia en el Tramo 8.	136
Figura 143: Simulación del Tiempo v/s Déficit de Oxígeno en el Tramo 8.....	136
Figura 144 Simulación del Tiempo v/s Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea en el Tramo 8.	137
Figura 145: Simulación del Tiempo v/s Distancia en el Tramo 8.	137
Figura 146: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada v/s Distancia en el Tramo 8.	137
Figura 147: Simulación del Tiempo v/s Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada en el Tramo 8.	138
Figura 148: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada v/s Déficit de Oxígeno Disuelto en el Tramo 8.	138
Figura 149: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada v/s Oxígeno Disuelto en el Tramo 8.....	138
Figura 150: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada v/s Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea en el Tramo 8.....	139
Figura 151: Simulación del oxígeno disuelto v/s distancia en el tramo 8 – Río Jipiro.	139
Figura 152: Simulación de la demanda bioquímica de oxígeno carbonácea v/s distancia en el tramo 8 – río Jipiro.....	140
Figura 153: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada v/s Distancia en el Tramo 8 – Río Jipiro.....	140
Figura 154: Tramo 9 – Colector.	141
Figura 155: Simulación del Oxígeno Disuelto v/s Distancia en el Tramo 9.....	144
Figura 156: Simulación del Oxígeno Disuelto v/s Déficit de Oxígeno en el Tramo 9.	144
Figura 157: Simulación del Tiempo v/s Oxígeno Disuelto en el Tramo 9.....	144
Figura 158: Simulación del Oxígeno Disuelto v/s Déficit de Oxígeno en el Tramo 9.	145
Figura 159: Simulación del Oxígeno Disuelto v/s Déficit de Oxígeno en el Tramo 9.	145
Figura 160: Simulación del Oxígeno Disuelto v/s Déficit de Oxígeno en el Tramo 9.	145
Figura 161: Simulación del Oxígeno Disuelto v/s Déficit de Oxígeno en el Tramo 9.	146
Figura 162: Simulación del Oxígeno Disuelto v/s Déficit de Oxígeno en el Tramo 9.	146
Figura 163: Simulación del Tiempo v/s Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea en el Tramo 9.....	146
Figura 164: Simulación del Tiempo v/s Distancia en el Tramo 9.	147
Figura 165: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada v/s Distancia en el Tramo 9.	147
Figura 166: Simulación del Tiempo v/s Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada en el Tramo 9.	147
Figura 167: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada v/s Déficit de Oxígeno en el Tramo 9.	148
Figura 168: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada v/s Oxígeno Disuelto en el Tramo 9.....	148

Figura 169: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada v/s Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea en el Tramo 9.....	148
Figura 170: Simulación del Oxígeno Disuelto v/s Distancia en el Tramo 9 – Colector.....	149
Figura 171: Simulación de la demanda bioquímica de oxígeno carbonácea v/s distancia en el tramo 9 – Colector	150
Figura 172: Simulación de la demanda bioquímica de oxígeno nitrogenada v/s distancia en el tramo 9 – Colector.....	151
Figura 173: Simulación del oxígeno disuelto v/s tiempo en el software WASP 7.....	155
Figura 174: Simulación del oxígeno disuelto v/s tiempo en el software WASP 7.- Tramo medio 1.....	156
Figura 175: Simulación del oxígeno disuelto v/s tiempo en el software WASP 7.....	156
Figura 176: Simulación del oxígeno disuelto v/s tiempo en el software WASP 7.....	157
Figura 177: Simulación del oxígeno disuelto v/s tiempo en el software WASP 7.....	157
Figura 178 Simulación de la demanda bioquímica de oxígeno carbonácea v/s tiempo en el software WASP 7 – Tramo inicial.....	158
Figura 179: Simulación de la demanda bioquímica de oxígeno carbonácea v/s tiempo en el software WASP 7.4.....	159
Figura 180: Simulación de la demanda bioquímica de oxígeno nitrogenada v/s tiempo en el software WASP 7.....	160

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Puntos de Muestreo del Río Malacatos.....	19
Tabla 2. Puntos de Muestreo de las descargas del Río Malacatos.....	19
Tabla 3. Métodos de análisis.....	26
Tabla 4. Datos del aforo del Río Malacatos.....	29
Tabla 5. Primer Muestreo – Río Malacatos.....	30
Tabla 6. Primer Muestreo – Descargas en el Río Malacatos.....	30
Tabla 7. Segundo Muestreo – Río Malacatos.....	31
Tabla 8. Segundo Muestreo – Descargas del Río Malacatos.....	31
Tabla 9. Tercer Muestreo – Río Malacatos.....	32
Tabla 10. Tercer Muestreo – Descargas en el río Malacatos.....	32
Tabla 11. Cuarto Muestreo – Río Malacatos.....	33
Tabla 12. Cuarto Muestreo – Descargas.....	33
Tabla 13. Quinto Muestreo – Río Malacatos.....	34
Tabla 14. Quinto Muestreo – Descargas en el Río Malacatos.....	35
Tabla 15. Sexto Muestreo – Río Malacatos.....	36
Tabla 16. Sexto Muestreo – Descargas en el Río Malacatos.....	36
Tabla 17. Análisis Estadístico del Río Malacatos.....	38
Tabla 18. Análisis Estadístico de las Descargas en el Río Malacatos.....	42
Tabla 19. Datos del tramo 1 – Dos Puentes.....	46
Tabla 20. Resultados de Balance de masa del Tramo1 – Dos Puentes.....	48
Tabla 21. Comportamiento de la DBO total.....	52
Tabla 22. Rangos de profundidad y velocidad.....	55
Tabla 23. Factores θ para la obtención de las constantes cinéticas reales.....	57
Tabla 24. Factores de obtención de constantes cinéticas reales.....	57
Tabla 25. Constantes cinéticas corregidas.....	58
Tabla 26. Oxígeno disuelto en función de la temperatura.....	58
Tabla 27. Modelación del OD, DBOC y DBON.....	61
Tabla 28. Resultados de las Condiciones Críticas del modelo en el Tramo 1- Dos.....	66
Tabla 29. Resultados de las Condiciones Críticas del modelo en el Tramo 2- Punzara.....	74
Tabla 30. Balance de materia.....	74
Tabla 31. Factores de obtención de constantes cinéticas reales.....	75
Tabla 32. Constantes de reacción en el Tramo 2 - Punzara.....	75
Tabla 33. Modelación del OD, DBOC y DBON.....	75
Tabla 34. Resultados de las condiciones críticas del modelo en el Tramo 2 - Punzara.....	76
Tabla 35. Datos del Tramo 3 – Parque Lineal.....	83
Tabla 36. Balance de materia.....	83
Tabla 37. Factores de obtención de constantes cinéticas reales.....	84
Tabla 38. Constantes cinéticas corregidas.....	84
Tabla 39. Modelación del OD, DBOC y DBON.....	84
Tabla 40. Resultados de las condiciones críticas del modelo en el Tramo 3 – Parque Lineal.....	85
Tabla 41. Datos del Tramo 4 - Catacocha.....	93
Tabla 42. Balance de materia.....	93
Tabla 43. Factores de obtención de constantes cinéticas reales.....	93
Tabla 44. Constantes cinéticas corregidas.....	93
Tabla 45. Modelación del OD, DBOC y DBON.....	94
Tabla 46. Resultados de las condiciones críticas del modelo en el Tramo 4 - Catacocha.....	94
Tabla 47. Modelación del OD, DBOC y DBON.....	102
Tabla 48. Balance de materia.....	102

Tabla 49. Factores de obtención de constantes cinéticas reales	103
Tabla 50. Constantes cinéticas corregidas.....	103
Tabla 51. Modelación del OD, DBOC y DBON.....	103
Tabla 52. Resultados de las condiciones críticas del modelo en el Tramo 5 – Calle 10 de Agosto	104
Tabla 53. Datos del Tramo 6 – Sector Mayorista	112
Tabla 54. Balance de materia	112
Tabla 55. Factores de obtención de constantes cinéticas reales	112
Tabla 56. Constantes cinéticas corregidas.....	112
Tabla 57. Modelación del OD, DBOC y DBON.....	113
Tabla 58. Resultados de las condiciones críticas del modelo en el Tramo 6 – Sector Mayorista	113
Tabla 59. Datos de entrada del Tramo 7 - Terminal.....	121
Tabla 60. Balance de materia	121
Tabla 61. Balance de materia	122
Tabla 62. Constantes cinéticas corregidas.....	122
Tabla 63. Modelación del OD, DBOC y DBON.....	123
Tabla 64. Resultados de las condiciones críticas del modelo en el Tramo 7 – Terminal terrestre	123
Tabla 65. Datos del Tramo 8 – Río Jipiro.....	131
Tabla 66. Balance de materia	131
Tabla 67. Factores de obtención de constantes cinéticas reales	131
Tabla 68. Resultados de las condiciones críticas del modelo en el Tramo 8 – Río Jipiro ...	132
Tabla 69. Modelación del OD, DBOC y DBON.....	132
Tabla 70. Resultados de las condiciones críticas del modelo en el Tramo 8 – Río Jipiro ...	133
Tabla 71. Datos del Tramo 9 – Colector.....	141
Tabla 72. Balance de materia	141
Tabla 73. Factores de obtención de constantes cinéticas reales	142
Tabla 74. Constantes cinéticas corregidas.....	142
Tabla 75. Modelación del OD, DBOC y DBON.....	142
Tabla 76. Resultados de las condiciones críticas del modelo en el Tramo 9 - Colector.....	143
Tabla 77. Resumen de resultados del software WASP 7.	154

INDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Aforo en el Punto Quebrada Mónica	20
Fotografía 2. Aforo del Punto Quebrada Mónica utilizando el molinete portátil.	21
Fotografía 3. Aforo en la descarga Punzara mediante el molinete portátil.....	21
Fotografía 4. Aforo en la descarga Catacocha.	22
Fotografía 5. Toma de muestra en el Punto 2 – Punzara.....	23
Fotografía 6. Toma de muestra en el Punto Río Jipiro.	23
Fotografía 7. Parámetros medidos In Situ en el Punto Parque Lineal	24
Fotografía 8. Muestreo en la descarga del Punto 4 - Catacocha.....	25

RESUMEN

El presente estudio se realizó en la ciudad de Loja, en el Río Malacatos; tramo comprendido desde el Sector Dos Puentes hasta Sauces Norte, contempla la modelación de los parámetros: Oxígeno Disuelto, Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea y Nitrogenada, el desarrollo de un modelo matemático, simulación en Excel como en un software de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (WASP7) y el análisis de resultados.

Para el estudio se estableció una red de monitoreo de nueve puntos a lo largo del tramo y se realizaron seis muestreos en diferentes épocas del año.

El modelo matemático desarrollado, se basa en la ecuación de Streeter & Phelps; este modelo unidireccional y estacionario ha permitido predecir el comportamiento y la evolución de la concentración de los parámetros en función de la distancia. Éste ha sido calibrado y verificado con la finalidad de que sea capaz de reproducir la calidad del agua con una alta confiabilidad.

Los resultados de la investigación servirán como base para la toma de decisiones en el manejo y diagnóstico adecuado del río.

PALABRAS CLAVES: modelo matemático, Streeter & Phelps, aguas residuales.

ABSTRACT

This study was conducted in the city of Loja, in Malacatos River; stretch from the Northern Sector Two Bridges to Sauces, provides modeling parameters: dissolved oxygen, carbonaceous biochemical oxygen demand and Nitrogen, the development of a mathematical model, simulation in Excel also in software by Environmental Protection Agency United States (WASP7) and analysis of results.

For this study a network of nine monitoring points along the section and was established six samples that were taken at different times of year.

The developed of this mathematical model is based on the equation of Streeter & Phelps; this unidirectional and steady model has allowed predicting the behavior and evolution of the concentration of the parameters depending on the distance. This was calibrated and verified in order to make it able to reproduce water quality with high reliability.

The research results provide a basis for decision making in the diagnosis and appropriate management of the river.

KEYWORDS: mathematical model, Streeter & Phelps, sewage.

INTRODUCCIÓN

El agua es uno de los recursos más abundantes en la naturaleza y es el elemento vital de todo ser viviente, se encuentra en nuestro planeta en gran cantidad tanto así que el setenta y un por ciento está cubierto por ella, millones de toneladas en forma de vapor, y sin embargo grandes regiones terrestres la carecen (Legarreta, 2001).

El agua en estado líquido no se encuentra pura sino que va incorporado diversas sustancias, los ríos son la principal fuente de disposición de descargas de contaminantes; siendo la principal causa de la contaminación el vertido de líquidos y residuos sólidos urbanos así como descargas de industrias, agentes infecciosos, productos químicos, aguas residuales de agricultura, etc. (Miguel Martín Monerri, Paula Marzal Doménech, 1999).

Todo lo que perjudica al agua, repercute directamente sobre los ecosistemas que lo rodean. Cuanta más agua sea empleada y despilarrada, más embalses y depuradoras harán falta; y es precisamente la construcción y funcionamiento de estas instalaciones una importante causa de deterioro medioambiental (Jodar & Castillo, Consejería de Educación y Ciencia, 1998).

Por lo expuesto, se ha decidido modelar la calidad de agua del Río Malacatos de los parámetros: oxígeno disuelto (OD), demanda bioquímica de oxígeno carbonácea (DBOC) y demanda bioquímica de oxígeno nitrogenada (DBON); considerando que es uno de los principales ríos que atraviesa nuestra ciudad, sus aguas deben ser manejadas y mantenidas en las mejores condiciones; para ello en el capítulo uno se ha establecido una red de monitoreo de nueve puntos a lo largo del tramo; en el capítulo dos un marco teórico acerca de calidad de agua, el capítulo tres muestra los aforos y muestreos de los puntos de monitoreo, los mismos que han sido localizados tomando en cuenta las descargas más influyentes que vierten en el cauce principal, por tanto se han receptado muestras del río como de las descargas; y, se procedió a realizar los aforos correspondientes en las diferentes épocas del año, en el capítulo cuatro con los resultados de aforos y muestreo se podrá establecer un modelo de calidad que es la herramienta adecuada para la predicción del comportamiento del agua en el río, en el capítulo quinto se realiza la modelación utilizando el software WASP 7, el cual evaluar y predice el comportamiento de los

parámetros, y finalmente en el capítulo seis se realiza un análisis de resultados de la modelación.

El modelo matemático se ha desarrollado en base a la ecuación de Streeter & Phelps y la simulación del modelo en el software WASP 7, el cual ha sido calibrado y verificado en cada uno de los tramos de estudio.

CAPÍTULO I

1. Generalidades.

1.1. Antecedentes.

En las últimas tres décadas el acelerado deterioro ambiental de cursos de agua debido a su empleo como receptores de desechos urbanos y rurales ha intensificado los estudios de calidad de agua, por lo que se han elaborado muchos modelos numéricos, de distinto grado de complejidad y aplicables a diferentes escenarios. El estudio "Reseña Sobre Modelos Unidireccionales de Calidad de Agua en Ríos", presenta la evolución histórica de los modelos unidireccionales más conocidos y enfatizan sus principales rasgos (Trento, 2001).

En el año 2002, en el Río San Juan, México realizaron la investigación "Evaluación de la Calidad del Agua del Río San Juan en el Estado de Nuevo León", con el propósito de evaluar la calidad del agua mediante la identificación de los contaminantes, el análisis de las variaciones espaciales y temporales y el ajuste de modelos estadísticos; teniendo como resultados altas concentraciones de coliformes fecales y totales, sulfatos, detergentes y sólidos disueltos, concluyendo que la calidad del río se encontraba afectada no solo por la actividad urbana e industrial sino por actividades antropogénicas (Laureano, 2002).

En el año 2009 en la ciudad de Loja, Ecuador el estudio denominado "Determinación de la calidad del agua del río Malacatos mediante fauna bentónica como bioindicadora y alternativas de mitigación de la contaminación", presenta la abundancia y calidad del agua por medio de bioindicadores; utilizando la comprobación de los análisis bio-físico-químico, obteniendo como resultado una baja calidad por la presencia de coliformes fecales, los cuales derivan de la descarga de aguas residuales (Medina & Riascos, 2009).

Estas investigaciones llevan a realizar un estudio exhaustivo de la subcuenca del Río Malacatos, para modelar la calidad de agua que posee este río y predecir su comportamiento.

1.1.1. Objetivo general.

Modelar la calidad de agua del río Malacatos en el tramo comprendido desde Dos Puentes hasta Sauces Norte.

1.2. Problemática y justificación.

La calidad de agua del Río Malacatos se ha visto afectada por las descargas de agua residual que provienen de las quebradas del sector oriental u occidental de la ciudad, y al no poseer colectores suburbanos genera el deterioro ambiental y de la salud de los habitantes que se encuentra dentro de la zona de influencia directa.

En tal virtud, con la finalidad de conocer el estado actual de la calidad de agua del Río Malacatos se ha realizado una evaluación aplicando un modelo matemático, una modelación en el software WASP 7, calibración, verificación y análisis de los resultados en el tramo comprendido desde el Sector Dos Puentes hasta Sauces Norte de los parámetros: OD, DBOC y DBON. Esto permitirá tomar las decisiones más adecuadas para el tratamiento de las aguas residuales y lograr la conservación de la calidad del agua del cauce.

1.3. Objetivos.

1.3.1. Objetivos específicos.

- Recopilar bibliografía, para conocer y analizar los diferentes aspectos que se investigarán del tema.
- Realizar la toma de muestras y aforos.
- Realizar ensayos de laboratorio de las muestras obtenidas
- Simular la interacción de los contaminantes en el agua
- Aplicar el modelo matemático
- Calibrar y verificar el modelo matemático.
- Analizar los resultados obtenidos en el software de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (WASP7).

CAPITULO II

2. Calidad del agua.

2.1. Introducción.

Los recursos hídricos son indispensables para los seres vivos, constituyendo así el medio más importante en la tierra que ha demostrado ser muy fuerte pero es cada vez más vulnerable y amenazado, es importante para muchos sectores de la economía y se encuentran repartidos de manera desigual en el espacio y el tiempo (Naciones Unidas, 2009).

La calidad del agua no es un criterio completamente objetivo, pero está socialmente definido y depende del uso que se le piense dar al líquido, puede ser utilizada como una medida de las propiedades físicas, químicas, biológicas y microbiológicas, pudiendo ser esta superficial o subterránea (WRI, 2000).

Existen diversos factores naturales que pueden afectar la calidad del agua, por lo que puede ser definida también como la aptitud del líquido para sostener varios usos o procesos como: la geología del área, el ecosistema y actividades humanas tales como: las descargas del alcantarillado sanitario, la contaminación industrial, el uso de cuerpos de agua para recreación y el uso excesivo de los recursos de agua; todos ellos reducen la capacidad de este recurso para sustentar tanto a las comunidades humanas como a la vida vegetal y animal (Meybeck, 1996).

Los parámetros utilizados para definir su calidad se pueden clasificar en cuatro grandes grupos: físicos, químicos, biológicos y microbiológicos, estos reflejan la función física y biológica del medio ambiente con el que el agua tiene interacciones.

La importancia de la calidad del agua radica en que es uno de los principales medios para la transmisión de muchas enfermedades que afectan a los seres humanos. Se puede considerar de buena calidad cuando está exenta de microorganismos que sean peligrosos para los consumidores y de sustancias que transmitan sensaciones sensoriales desagradables para el consumo, como: color, olor, sabor o turbiedad.

En Ecuador se cuenta con el Tratado Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (T.U.L.A.S) que nos proporciona una guía para determinar los valores máximos permisibles

para los diferentes usos del agua sin que este recurso pueda significar riesgo para la salud. (Ambiente M. d., 2002).

Entre los factores que determinan la calidad del agua están:

Factores físicos: son aquellos que definen las características del agua y que responden a los sentidos de la vista, del tacto, gusto y olfato como pueden ser: turbiedad, color, temperatura y sólidos totales (Vásquez, 2013).

Factores químicos: Los factores químicos se dividen en dos clases: Indicadores y sustancias químicas.

Los indicadores son aquellos parámetros cuyas concentraciones en el agua se deben a la presencia e interacción de varias sustancias, entre las que podemos mencionar: pH, conductividad y resistividad, acidez y dureza.

Las sustancias químicas son aquellas que están presentes en el agua y son utilizadas en el diagnóstico de la calidad del agua entre las cuales tenemos: grasas, hierro y manganeso, nitrógeno, fosforo, cloruro, sulfatos, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno y demanda química de oxígeno (Ramirez, 2011)

Factores biológicos y microbiológicos: son aquellos que están relacionados con la presencia de microorganismos patógenos entre los cuales tenemos: coliformes totales, escherichia coli y enterococos intestinales. Los organismos patógenos incluyen la bacteria Coliformo fecal, así como también virus y parásitos que causan enfermedades (Mitchel, Stapp, & Bixby, 1991).

Es importante conocer el tipo, número y desarrollo de las bacterias en el agua para prevenir o impedir enfermedades de origen hídrico.

2.2. Modelos de calidad de agua.

Los modelos de calidad del agua superficial constituyen una herramienta imprescindible en el planeamiento del uso de recursos hídricos para proveer el impacto de planes de ingeniería, para el control y manejo del medio ambiente, ayuda a la toma de decisiones, permite tomar medidas de restauración y de degradación (Vega, 2009).

Para alcanzar los objetivos de calidad concretos es necesario poder determinar cuál será la evolución de un contaminante vertido en un sistema, es decir cuál será la evolución de su concentración en distancia y como puede interferir con el resto de sustancias presentes en el medio.

En este sentido se hace necesario utilizar los modelos matemáticos de simulación que permitan predecir la evolución a largo plazo del sistema en su conjunto ante una acción determinada. Estos modelos se conocen genéricamente como modelos de calidad o modelos de transporte de contaminantes.

El desarrollo histórico de los modelos de calidad de aguas ha estado íntimamente ligados con los tipos de sustancias contaminantes, que a medida en que se los detectaba se los estudiaba. Existen una gran cantidad de modelos de calidad de agua entre los cuales se puede destacar: Streeter & Phelps, Vollenweider, Qual I, Qual II, QUAL2K, Mike 11, WASP (USEPA), etc.

En nuestro estudio se empleará el modelo de Streeter-Phelps, es uno de los primeros modelos para los cuerpos fluviales presentado por Streeter y Phelps en 1925, el cual determina el contenido de oxígeno a lo largo de un río sometido a una descarga continua de materia orgánica biodegradable (Miguel Martín Moneris, Paula Marzal Doménech, 1999).

El modelo Vollenweider es una solución analítica para el cálculo de la concentración de fósforo total en el agua de un lago, su autor Vollenweider (1968), propuso este modelo basado en el principio de conservación de la masa y correlacionó las concentraciones de varios nutrientes con variables indicadoras de procesos de eutrofización (Riascos, Díaz, Beltran, & Gutiérrez, 2012).

El modelo QUAL2K es un programa de calidad de agua para ríos o corrientes de agua diseñado por la EPA que intenta representar una versión más moderna del modelo QUAL2E, este es un programa comprensivo y versátil que contiene un modelo de calidad de agua fluvial, es una versión actualizada del modelo QUAL-II, que a su vez fue una extensión del modelo de calidad de agua fluvial QUAL-I desarrollado por F.D. Masch y Asociados y el Texas Water Development Board en 1970, es un modelo unidimensional, que puede usarse en condiciones de régimen permanente (Chapra & Pelletier, 2003).

El modelo Mike 11 es una herramienta avanzada que permite la simulación de la calidad del agua y transporte de sedimentos en estuarios, ríos, sistemas de riego y canales entre otros, es un sistema dinámico unidimensional, de sencilla aplicación en sistemas con diferente grado de complejidad (Quintero, 2008).

Finalmente WASP es uno de los modelos de calidad del agua más utilizado en los Estados Unidos y en todo el mundo, debido a las capacidades de manejo de múltiples tipos de contaminantes que se ha aplicado ampliamente en el desarrollo de Cargas Diarias Máximas Totales (TMDL). WASP tiene capacidades de vinculación con modelos hidrodinámicos y de las cuencas hidrográficas que permite un análisis de varios años en diversas condiciones meteorológicas y ambientales (McCarthy, 2014).

2.3. Tipos de modelos.

Los modelos matemáticos de calidad de agua pueden ser uni, bi o tridimensionales dependiendo de las características físicas del medio a simular tal como se describe a continuación:

Modelos unidimensionales: En calidad de agua un modelo unidimensional representan el flujo en sentido del escurrimiento, estos modelos son los más conocidos y han sido aplicados exitosamente en diferentes escenarios (Trento, 2001).

Modelos bidimensionales: Se utilizan para ríos de gran ancho, en los cuales las concentraciones de contaminantes varían de un lado del río al otro y en estos casos se usa un sistema cartesiano de coordenadas, en el cual una de ellas corresponde al sentido del flujo y la otra a la dimensión lateral. (Espinoza, 2005).

Modelos tridimensionales: Estos modelos son utilizados para estudios de agua subterránea, además emplean un sistema cartesiano de coordenadas y permite el acoplamiento de distintos submodelos que simulan procesos físicos y biológicos (Celorio, 2011).

Los modelos además pueden ser dinámicos o de estado estacionario, los dinámicos proveen información acerca de la calidad del agua tanto en la dirección como en el tiempo (distancia aguas abajo de una descarga) y los estacionarios suponen que existe variación sólo en el espacio (una descarga continua y constante), (Espinoza, 2005)

2.4. Modelo de Streeter & Phelps.

El primer modelo matemático aplicado a un curso de agua fue elaborado por W. B. Streeter y E. B. Phelps en 1925 aplicado al río Ohio (EE. UU.) en el estudio "La polución y purificación natural del río Ohio". Estos autores desarrollaron una ecuación que representa el decaimiento de oxígeno disuelto (OD) por la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y su recuperación por reaireación con oxígeno atmosférico.

El modelo de Streeter-Phelps consistió en una ecuación de balance de oxígeno para una descarga puntual a una tasa constante con condiciones hidrodinámicas estacionarias y para un tramo con geometría uniforme (Trento, 2001)

Este modelo tiene como hipótesis de partida lo siguiente:

- El caudal y composición del vertido constantes con el tiempo.
- Velocidad del río constante.
- La concentración solo varia con la distancia a lo largo del río
- La degradación de la materia orgánica sigue una cinética química de primer orden.
- Se produce transferencia de oxígeno por reaireación superficial con la atmosfera
- Estado estacionario.

En este proyecto investigativo se empleara este modelo para simular el OD, la DBOC y la DBON; estos parámetros se escogieron con la finalidad de conocer cómo se encuentra el estado de agua superficial y la cantidad de nutrientes presentes.

2.5. Parámetros analizados.

2.5.1. Oxígeno Disuelto (OD).

El oxígeno disuelto es la cantidad de oxígeno presente en el agua, su concentración es importante para evaluar la calidad del agua superficial y para el control del proceso de tratamiento de desechos, este parámetro es uno de los factores más asociados a la vida acuática al incidir en casi todos los procesos químicos y biológicos.

Habitualmente un nivel más alto de oxígeno disuelto indica agua de mejor calidad y si los niveles de oxígeno disuelto son demasiados bajos algunos peces y otros organismos no pueden sobrevivir.

Los niveles bajos de oxígeno disuelto pueden encontrarse en áreas donde el material orgánico (vertidos de depuradoras, plantas muertas y materia animal) está en descomposición, las bacterias requieren oxígeno para descomponer desechos orgánicos y, por lo tanto, disminuyen el oxígeno del agua.

Este indicador además depende de la temperatura, puesto que el agua a menor temperatura guarda más oxígeno en ella y los niveles de oxígeno disuelto típicamente pueden variar de 0 - 18 partes por millón (ppm) aunque la mayoría de los ríos requieren un mínimo de 5 - 6 ppm para soportar una diversidad de vida acuática.

2.5.2. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).

La demanda bioquímica de oxígeno determina el contenido de materia orgánica biodegradable que posee un cuerpo de agua (muestra), y la cantidad de oxígeno necesaria para su descomposición etapa llamada demanda biológica de oxígeno.

Esta cantidad de oxígeno es la que requieren los microorganismos como las bacterias principalmente (aerobias o anaerobias facultativas: Pseudomonas, Escherichia, Aerobacter, Bacillus) para degradarse, oxidarse, etc. Cuanto mayor cantidad de materia orgánica contiene la muestra, más oxígeno necesitan los microorganismos para oxidarla (degradarla) permitiendo que se reproduzcan con rapidez pero produciendo la muerte por asfixia de los organismos acuáticos.

La DBO total alcanza dos etapas: en la primera la estabilización de la materia orgánica carbonácea (DBOC) y se conoce como etapa de desoxigenación y en la segunda fase de descomposición de la materia orgánica se oxidan los compuestos nitrogenados (DBON).

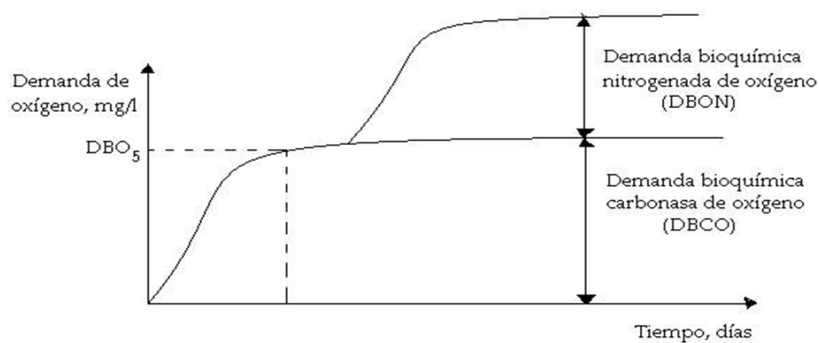


Figura 1 : Curva de Demanda bioquímica de Oxígeno.
Fuente: (Ramírez, 2011)

2.5.2.1. Demanda bioquímica de oxígeno carbonácea (DBOC).

Debido a la presencia de organismos heterótrofos capaces de derivar la energía que necesitan del carbono orgánico que contiene la materia orgánica, el análisis se determina incubando la muestra en un periodo de cinco días, el agua de dilución se le agregan nutrientes y microorganismos antes de efectuar el ensayo, dependiendo de las condiciones de la muestra los microorganismos inhiben la degradación biológica; es por ello que disminuye la DBOC a medida que aumenta la concentración de esta, además se puede apreciar que cuanto mayor es la dilución, mayor es el rango de incertidumbre y mayores son los errores en la determinación.

2.5.2.2. Demanda bioquímica de oxígeno nitrogenada (DBON).

Esta etapa es ejercida por los microorganismos autótrofos, se la conoce comúnmente como nitrificación debido a que el nitrógeno orgánico se hidroliza y forma nitrógeno amoniacal que en presencia de oxígeno es convertido a nitritos y luego a nitratos bajo condiciones adecuadas, para el análisis se determina añadiendo un agente inhibidor del crecimiento de las bacterias nitrificantes y se realiza su medición a los veintiún días. Requiere ese tiempo debido a que las bacterias nitrificantes ejercen una demanda de oxígeno en un proceso de reproducción lenta y necesitan alcanzar el tiempo necesario para tener una población suficiente, se recomienda inhibir la nitrificación puesto que es probable que en las muestras se presente una oxidación de los compuestos del nitrógeno.

CAPÍTULO III

3. Caso de estudio – Río Malacatos.

3.1. Localización de la Sub cuenca del Río Malacatos.

La subcuenca del Río Malacatos se encuentra localizada en la ciudad y provincia de Loja, situada a 4° de latitud, al sur del Ecuador, entre las coordenadas planas 9548976N a 9564075N y 700140E a 697518, a una altitud desde 1998 a 2266 m.s.n.m.

Esta subcuenca está atravesada por el río Malacatos, el mismo que nace de las quebradas Mónica, Sta Urcu y Curitroje; a lo largo del cauce recibe aportaciones de las quebradas Potrerillos, Namanda, Las Violetas y Punzara, en el Sector del Mercado Mayorista se une con el río Zamora Huayco y desde este punto toma el nombre de Río Zamora, el cual recibe aportaciones de las quebradas Turunuma y San Cayetano para luego unirse con el Río Jipiro y las quebradas Consacola y La Banda.

Los ríos Malacatos y Zamora, históricamente han sido los testigos de una serie de acontecimientos en nuestra ciudad, forman parte del patrimonio natural y cultural, por el hecho que en torno a ellos se narran muchas historias populares. Estos ríos son muy importantes, atraviesan las principales áreas verdes; y, a lo largo de sus riveras se encuentran variedades de especies de flora y fauna como: sauces, arupos, alisos, nogales, romerillo, eucalipto, llangaches, chirocas, atrapamoscas, jilgueros y carpinteros.

Estos emblemas de Loja mantiene la identidad de una ciudad ecológica y culta, resaltándose todo ello en la fuente de inspiración del himno Alma Lojana y Flor Zamorana.

3.2. Diseño de la red de monitoreo.

La red de monitoreo de la subcuenca del río Malacatos se ha diseñado tomando en cuenta las descargas influyentes que vierten en el cauce principal y detectando lugares de fácil acceso para poder tomar muestras, tanto en el río como en las descargas. Se localizó los siguientes puntos de muestreo: Sector denominado Los Dos Puentes, la intersección con las quebradas Punzara y Alumbre, Parque Lineal, calle Catacocha y Av. Universitaria, calle 10 de Agosto y Av. Universitaria, unión de los ríos Zamora y Malacatos (a la altura del Mercado Gran Colombia), intersección con la descarga proveniente del Terminal, intersección del río Malacatos y la quebrada Jipiro. Además para identificar los posibles contaminantes presentes en el agua, provenientes de los colectores marginales, se ha definido otro punto de muestreo en la descarga de dichos colectores, Sector Sauces Norte.

Tabla 1. Puntos de Muestreo del Río Malacatos

Puntos	Lugar de procedencia	Tipo de muestra	UBICACIÓN GEOGRÁFICA		
			Altitud (msnm)	Latitud (utm)	Longitud (utm)
P1	Quebrada Mónica	Compuesta	2262	700140	9548976
P2	Punzara	Compuesta	2115	699697	9554792
P3	Parque Lineal	Compuesta	2096	699545	9555764
P4	Catacocha y Av. Universitaria	Compuesta	2074	699366	9557220
P5	Puente 10 de agosto y Av. Universitaria	Compuesta	2095	699282	9557220
P6	Mayorista	Compuesta	2055	699463	9558905
P7	Terminal	Compuesta	2038	699612	9560265
P8	Río Malacatos - Jipiro	Compuesta	2017	699284	9560924
P9	Río Malacatos - Colector	Compuesta	1998	697518	9564075

Fuente: Adaptado del Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad Técnica Particular de Loja

Tabla 2. Puntos de Muestreo de las descargas del Río Malacatos

Puntos	Lugar de procedencia	Tipo de muestra	UBICACIÓN GEOGRÁFICA		
			Altitud (msnm)	Latitud (utm)	Longitud (utm)
D1	Quebrada Mónica	Compuesta	2251	700149	9548938
D2	Punzara	Simple	2099	699697	9554785
D3	Parque Lineal	Simple	2095	699545	9555764
D4	Catacocha y Av. Universitaria	Simple	2081	699364	9557230
D5	Juan de Salinas	Simple	2076	6996520	9557750
D6	Mayorista	Compuesta	2055	699464	9558905
D7	Terminal	Simple	2062	699610	9560268
D8	Río Malacatos - Jipiro	Compuesta	2029	699303	9560929
D9	Río Malacatos - Colector	Compuesta	2029	697732	9564117

Fuente: Adaptado del Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad Técnica Particular de Loja

3.3. Aforos.

Se realizaron aforos en distintas épocas climatológicas del año, es decir, en caudales de estiaje, medios e invierno, esto con la finalidad de determinar el caudal existente en la subcuenca del Río Malacatos. Los aforos se realizaron en las nueve estaciones de monitoreo aguas abajo de los puntos de descargas, los cuales también fueron aforados.

En el río se efectuaron los aforos mediante el molinete portátil (FP111 Global Flow Probe), debido a que la altura piezométrica es mayor a diez centímetros; por tanto se adoptó el método indirecto velocidad/superficie tal como se observa en la fotografía 1 y 2.



Fotografía 1. Aforo en el Punto Quebrada Mónica

Fuente: Autora



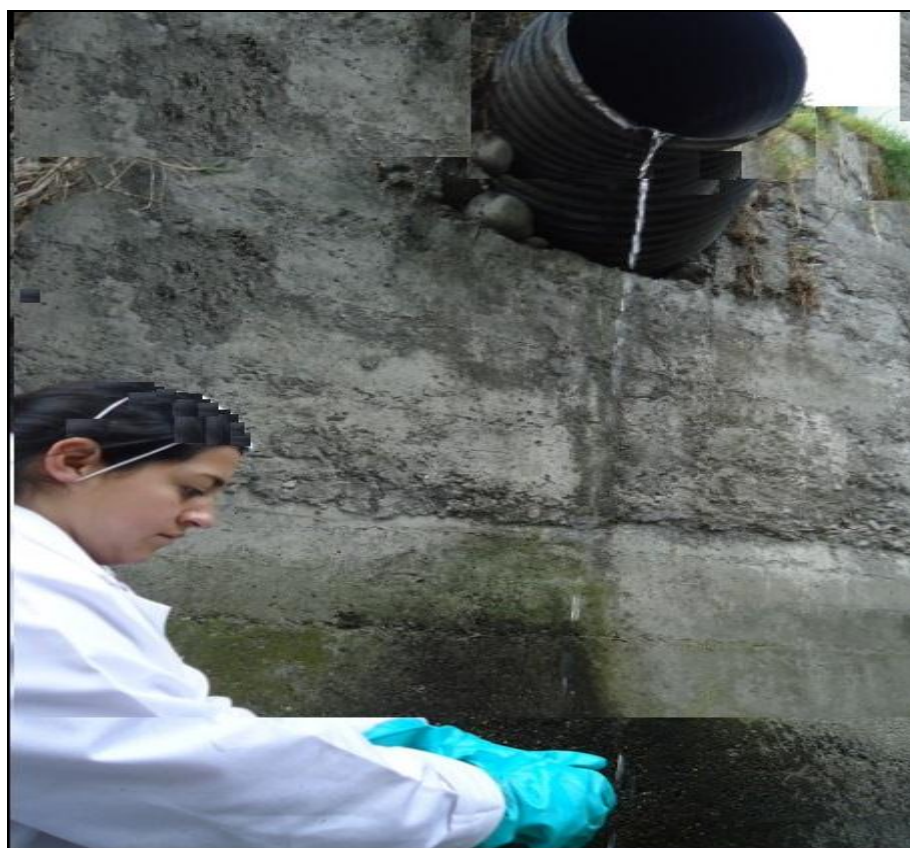
Fotografía 2. Aforo en el Punto Quebrada Mónica utilizando el molinete portátil.
Fuente: Autora

Así mismo se realizaron los aforos para las descargas Quebrada Mónica, Punzara, Mayorista, Río Jipiro y Colector utilizando el molinete portátil debido que la morfología del río tiene una altura piezométrica mayor a diez centímetros y caudales mayores a 1l/s. (Fotografía 3)



Fotografía 3. Aforo en la descarga Punzara mediante el molinete portátil.
Fuente: Autora

También se realizaron los aforos en las descargas Parque Lineal, Catacocha, Puente 10 de agosto y Av. Universitaria y Terminal; mediante el método volumétrico, para lo cual se utilizó un recipiente en el que se determinó el volumen y se midió el tiempo con un cronómetro; este método es recomendable para caudales pequeños y donde las características físicas lo permitan.



Fotografía 4. Aforo en la descarga Catacocha.
Fuente: Autora

3.4. Muestreo.

Para el desarrollo del proyecto investigativo se ha realizado la toma de muestras en las nueve estaciones que se encuentran a lo largo del cauce, cumpliendo con la normativa técnica ecuatoriana del Instituto Nacional de Normalización, NTE INEN 2176:98, técnicas de muestreo. (Fotografía 5)



Fotografía 5. Toma de muestra en el Punto 2 – Punzara.

Fuente: Autora

Para evitar alteraciones en las muestras estas fueron tomadas evitando las áreas de turbulencia así como también el de estancamiento, efectuando la toma en el centro del cauce y considerando la profundidad, caudal y velocidad.

Para realizar la toma de muestras se llenó completamente los recipientes y se selló con papel aluminio y ligas para evitar derrame del líquido y la presencia de oxígeno, procurando que las muestras de agua sean homogéneas y representativas. (Fotografía 6)



Fotografía 6. Toma de muestra en el Punto Río Jipiro.

Fuente: Autora

Para los parámetros medidos In Situ se utilizó el multímetro (HACH 40d), termómetro (LUTPL-TH-25) y turbidímetro (HACH-003), estos equipos fueron sumergidos directamente en el río a una profundidad de diez centímetros (aproximadamente) y en la mitad de la sección transversal. Los parámetros que se determinaron fueron: la temperatura del agua, temperatura del ambiente, pH, turbidez y oxígeno disuelto; aplicando los métodos estándar para el análisis de aguas y aguas residuales (Standar Methods., 2005).



Fotografía 7. Parámetros medidos In Situ en el Punto Parque Lineal
Fuente: Autora

Además se realizaron muestreos en las descargas de aguas residuales basándonos en las normativas antes mencionadas ver Fotografía 8.



Fotografía 8. Muestreo en la descarga del Punto 4 - Catacocha.
Fuente: Autora

Una vez recolectadas las muestras, se transportaron hasta el laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad Técnica Particular de Loja, preservándolas a una temperatura de 4°C, de acuerdo a la Norma técnica ecuatoriana del Instituto Nacional de Normalización INEN 2169:98, manejo y conservación de las muestras.

Los parámetros que se determinaron en el laboratorio fueron la DBOC y DBON, siguiendo el método de ensayo denominado Respirométrico AOAC 973.44.

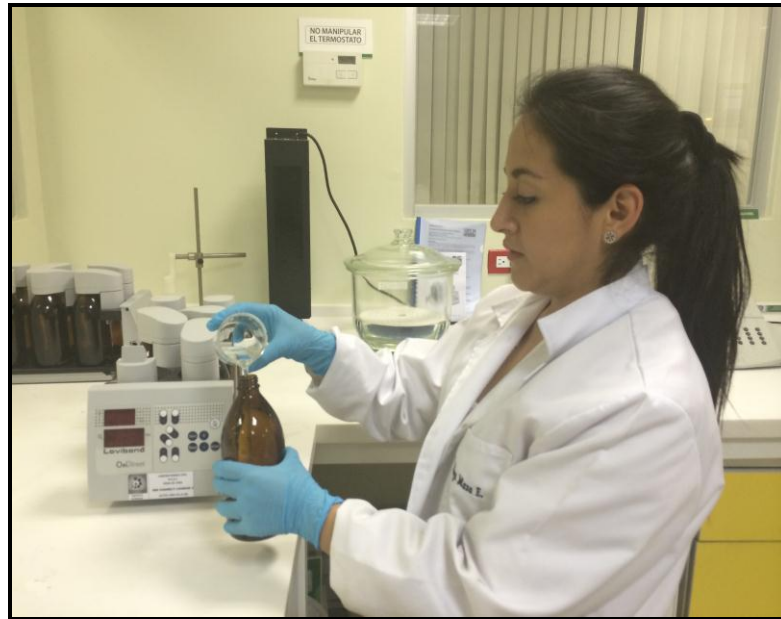
3.5. Análisis de Laboratorio

En la tabla 3 se presenta los métodos de análisis empleados para determinar el OD, DBOC, DBON y temperatura del Agua.

Tabla 3. Métodos de análisis

Parámetro	Unidades	Método de Referencia	Método de Laboratorio	Metodología de Laboratorio (OAE)
OD	mg/l	Standard Methods 4500-OG	Potenciométrico	LUTPL-NO2-HACH-010
DBOC	mg/l	Standard Methods Ed 21, 2012,5210D	Respirométrico	LUTPL-DBO-RESP-014
DBON	mg/l	Standard Methods Ed 21, 2012,5210D	Respirométrico	LUTPL-DBO-RESP-014
Temperatura Agua	°C	Standard Methods Ed 22, 2012,2550B	Potenciométrico	LUTPL-OD-ELECT-033

Fuente: Adaptado del Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad Técnica Particular de Loja.



Fotografía 9. Ensayo de la DBOC de los nueve puntos de muestreo del Rio Malacatos.

Fuente: Autora

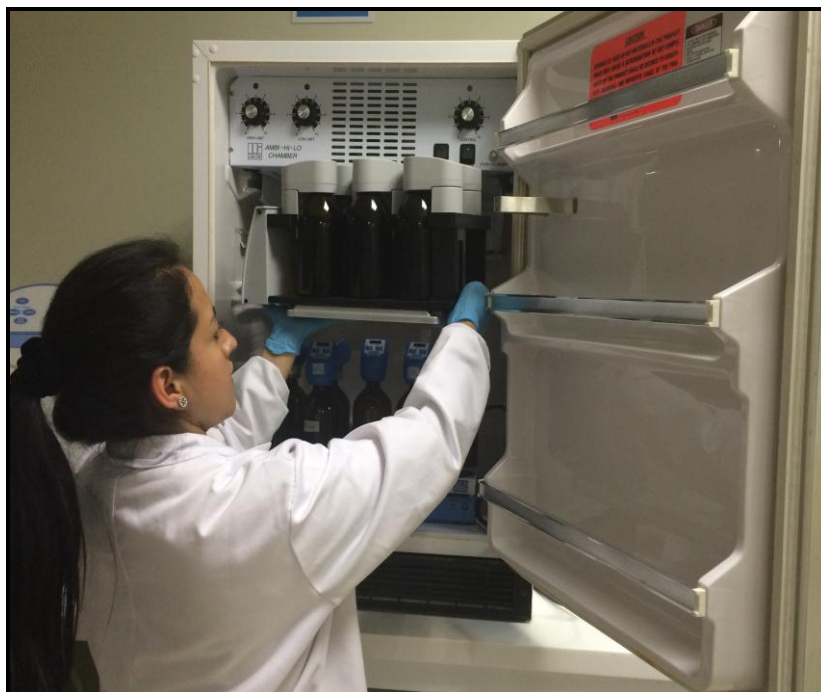
Colocación de inhibidor de nitrificación en cada una de las muestras tomadas en los nueve puntos de la red de monitoreo.



Fotografía 10. Colocación de reactivo en las muestras de los nueve Puntos de muestreo del Río Malacatos.

Fuente: Autora

Ingreso de las muestras de los nueve puntos monitoreados en la incubadora por un tiempo de 5 días para la Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea y 21 días para la Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada.



Fotografía 10. Ingreso de las muestras en la incubadora de los nueve Puntos de muestreo del Río Malacatos.

Fuente: Autora

CAPITULO IV

4. Resultados

4.1. Resultados de aforos y parámetros analizados

4.1.1. Resultados de aforos en la subcuenca del Río Malacatos

De los aforos realizados en las distintas épocas climatológicas del año, se han determinado los datos hidráulicos en los nueve puntos de la red de monitoreo de la subcuenca del Río Malacatos, definiendo los caudales, velocidad y profundidad media, los cuales se presentan a continuación:

Tabla 4. Datos del aforo del Río Malacatos.

DATOS DEL AFORO				
Punto	Estaciones de Muestreo	Caudal (m ³ /s)	Velocidad (m/s)	Profundidad (m)
P1	Quebrada Mónica	0.90	0.40	0.28
P2	Punzara	1.27	0.53	0.36
P3	Parque Lineal	1.32	0.45	0.40
P4	Catacocha y Av. Universitaria	1.24	0.30	0.28
P5	10 de Agosto	1.23	0.40	0.28
P6	Mayorista	1.58	0.50	0.38
P7	Terminal	1.76	0.45	0.38
P8	Río Malacatos – Jipiro	1.69	0.35	0.20
P9	Río Malacatos - Colector	1.88	0.65	0.26

Fuente: Autora.

En la calidad de agua la medición de caudales es importante, constituyendo un indicador del volumen actual del cauce analizado. En pequeños caudales existe mayor concentración de los parámetros y generalmente presenta pérdida de hábitat para las especies y organismos acuáticos. Por el contrario, el aumento del caudal dará por resultado un crecimiento del hábitat y menor concentración de los parámetros contaminantes que pueda contener el río.

4.1.2. Resultados de los ensayos de los parámetros a modelar en la subcuenca del Río Malacatos

A continuación se presentan los resultados de laboratorio de cada parámetro analizado en los puntos de muestreo.

El primer muestreo se realizó en época de estiaje, específicamente el 12 de septiembre de 2013.

Tabla 5. Primer Muestreo – Río Malacatos.

PUNTO	SITIO	PARÁMETROS ANALIZADOS							
		FECHA	CAUDAL	OXÍGENO DISUELTO		DBO C	DBO N	TEMPERATURA AMBIENTE	TEMPERATURA AGUA
				m3/s	mg/l				
P1	Quebrada Mónica	12/09/2013	0.280	8.52	104.6	3	8	19.8	12.8
P2	Punzara	12/09/2013	0.438	7.39	94.7	4	7.5	21.4	16
P3	Parque Lineal	12/09/2013	0.278	8.02	102.1	8	17.9	25.8	15
P6	Mayorista	12/09/2013	1.264	5.93	76.4	22.00	57.00	21	15.8

Fuente: Adaptado del Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad Técnica Particular de Loja

Tabla 6. Primer Muestreo – Descargas en el Río Malacatos

PUNTO	SITIO	PARÁMETROS ANALIZADOS							
		FECHA	CAUDAL	OXÍGENO DISUELTO		DBO C	DBO N	TEMPERATURA AMBIENTE	TEMPERATURA AGUA
				m3/s	mg/l				
D1	Quebrada Mónica	12/09/2013	0.150	7.95	103	3.42	7.00	20.5	12.9
D2	Punzara	12/09/2013	0.055	7.76	104.2	9.00	14.00	25.9	16.8
D3	Parque Lineal	12/09/2013	0.100	7.86	103.1	8.70	15.00	25.8	17.4
D6	Mayorista	12/09/2013	0.250	6.2	80	20.30	48.00	21	14.1

Fuente: Adaptado del Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad Técnica Particular de Loja

Los resultados obtenidos indican una mínima variación en los cuatro puntos de monitoreo realizado en el mes de septiembre tal como se muestra en la tabla 5, donde la concentración de oxígeno disuelto se encuentra dentro de los límites máximos permisibles que indica el Texto Unificado de Legislación Ambiental (TULAS) Libro VI, para la preservación de la flora y fauna en aguas dulces, cuyo límite no debe ser menor a 6 mg/l. De igual manera el porcentaje de oxígeno disuelto no debe ser menor a 80% de acuerdo a la normativa ecuatoriana.

Con respecto a la demanda bioquímica de oxígeno carbonácea (DBOC) y demanda bioquímica de oxígeno nitrogenada (DBON) estas también cumplen con los límites máximos permisibles.

Así mismo del análisis realizado a los resultados de las descargas de aguas residuales la norma ecuatoriana para calidad de agua nos indica que la demanda bioquímica de oxígeno no debe ser mayor a 100 mg/l, por tanto los cuatro puntos de muestreo efectuados se encuentran dentro de este límite tal como se indica en la tabla 6.

El segundo muestreo de la investigación se ha realizado el 04 de octubre de 2013, es decir, durante la época de estiaje, consiguiendo los siguientes resultados:

Tabla 7. Segundo Muestreo – Río Malacatos.

PUNTO	SITIO	PARÁMETROS ANALIZADOS							
		FECHA	CAUDAL	OXÍGENO DISUELTTO		DBOC	DBON	TEMPERATURA AMBIENTE	TEMPERATURA AGUA
			m3/s	mg/l	%	mg/l	mg/l	°C	°C
P4	Catacocha y Av. Universitaria	04/10/2013	0.730	5,84	75.7	23.00	56.00	20.1	16.1
P5	10 de Agosto	04/10/2013	0.940	6.64	75.7	12.00	31.00	22.7	16.1
P7	Terminal	04/10/2013	1.658	6.89	88.3	15.00	36.80	21.5	15.9
P8	Río Malacatos – Jipiro	04/10/2013	1.671	5.78	75.6	16.00	37.60	24	16.6
P9	Río Malacatos – Colector	04/10/2013	1.730	5.48	73.4	9.50	22.70	23	17.8

Fuente: Adaptado del Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad Técnica Particular de Loja

Tabla 8. Segundo Muestreo – Descargas del Río Malacatos

PUNTO	SITIO	PARÁMETROS ANALIZADOS							
		FECHA	CAUDAL	OXÍGENO DISUELTTO		DBOC	DBON	TEMPERATURA AMBIENTE	TEMPERATURA AGUA
			m3/s	mg/l	%	mg/l	mg/l	°C	°C
D4	Catacocha	04/10/2013	0.002	6.61	91.7	20.80	54.60	20.1	19.3
D5	Juan de Salinas	04/10/2013	0.005	7.46	90.15	10.50	23.00	20.6	15.5
D7	Terminal	04/10/2013	0.215	2.47	33.4	21.00	61.00	19.8	18.3
D8	Jipiro	04/10/2013	0.301	7.97	104.3	14.50	33.80	24	16.6
D9	Colector	04/10/2013	1.350	0.45	6.1	21.70	57.00	23	18.9

Fuente: Adaptado del Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad Técnica Particular de Loja

Del análisis realizados al parámetro de oxígeno disuelto medido en mg/l y en porcentaje de saturación los puntos Catacocha, 10 de Agosto y Jipiro han obtenido resultados que se encuentran dentro de los límites máximos permisibles a excepción de los puntos Terminal y Colector que no cumplen con la Norma de Calidad de Agua Ecuatoriana a través del libro VI del TULAS ya que la concentración de oxígeno disuelto en mg/l y en porcentaje de

saturación no deben ser menores a 6mg/l y 80% saturación respectivamente. De igual forma los parámetros de DBOC y DBON se encuentran dentro de los límites máximos permisibles que indica la normativa tal como se muestra en la tabla 7.

Como se muestra en la tabla 8 los resultados de las descargas de aguas residuales de los cinco puntos monitoreados en esta fecha, la demanda bioquímica de oxígeno se encuentra dentro de los límites máximos permisibles ya que no superan los 100mg/l que indica la norma.

Considerando la época de invierno se realizó el tercer muestreo el 12 de diciembre de 2013, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 9. Tercer Muestreo – Río Malacatos.

PUNTO	SITIO	FECHA	PARÁMETROS ANALIZADOS						
			CAUDAL	OXÍGENO DISUELTO		DBOC	DBON	TEMPERATURA AMBIENTE	TEMPERATURA AGUA
				m3/s	mg/l				
P1	Quebrada Mónica	12/12/2013	0.694	8.41	105.3	5	12.56	20.9	13.5
P2	Punzara	12/12/2013	1.553	7.8	104	9	7.85	27.1	17.1
P3	Parque Lineal	12/12/2013	1.784	7.96	102.9	6	21	24.1	15.7
P4	Catacocha y Av. Universitaria	12/12/2013	1.432	5.65	76.6	22	39	26.4	18.2
P6	Mayorista	12/12/2013	1.649	6.08	82.9	10	58	23.2	18.8

Fuente: Adaptado del Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad Técnica Particular de Loja

Tabla 10. Tercer Muestreo – Descargas en el río Malacatos.

PUNTO	SITIO	FECHA	PARÁMETROS ANALIZADOS						
			CAUDAL	OXÍGENO DISUELTO		DBOC	DBON	TEMPERATURA AMBIENTE	TEMPERATURA AGUA
				m3/s	mg/l				
D1	Quebrada Mónica	12/12/2013	0.350	8.23	104.9	7.00	13.00	20.9	14.3
D2	Punzara	12/12/2013	0.086	6.75	92	17.00	21.00	27.1	18.1
D3	Parque Lineal	12/12/2013	0.150	7.1	94.2	16.00	18.00	23.5	17.9
D4	Catacocha	12/12/2013	0.005	6.04	86.6	41.00	56.00	26.4	20.6
D6	Mayorista	12/12/2013	0.373	6.17	85.1	36.00	50.00	23.2	18.8

Fuente: Adaptado del Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad Técnica Particular de Loja

Considerando los resultados de la tabla 9 de los muestreos realizados en época de invierno estos nos indican que la concentración de oxígeno disuelto medido en mg/l cumplen con los límites máximo permisibles a excepción del punto Catacocha que no se encuentra dentro de los límites que indica el Texto Unificado de Legislación Ambiental, Libro VI en relación de conservación de flora y fauna en agua dulce, los cuales no deben ser menores a 6mg/l y 80% de saturación. Con respecto a la demanda bioquímica de oxígeno carbonácea (DBOC) y demanda bioquímica de oxígeno nitrogenada (DBON) estas se encuentran dentro de los límites que indica la normativa ecuatoriana. Analizando los resultados de la demanda bioquímica de oxígeno de las descargas de aguas residuales de los puntos muestreados tabla 10 se observa que estos son menores a 100 mg/l, por tanto se encuentran dentro de los límites máximos permisibles que indica la normativa para descargas.

El cuarto muestreo de la investigación ha sido realizado el 25 de marzo de 2014, dentro de la época de invierno, en el cual se ha conseguido los siguientes resultados:

Tabla 11. Cuarto Muestreo – Río Malacatos.

PUNTO	SITIO	PARÁMETROS ANALIZADOS							
		FECHA	CAUDAL	OXÍGENO DISUELTO		DBOC	DBON	TEMPERATURA AMBIENTE	TEMPERATURA AGUA
				m3/s	mg/l				
P5	Juan de Salinas	25/03/2014	1.350	8.5	105.9	3.00	8.00	16	14
P7	Terminal	25/03/2014	1.780	8.45	105.2	2.60	7.00	20	14.4
P8	Jipiro	25/03/2014	1.691	8.22	103.5	6.00	15.00	23	14.9
P9	Colector	25/03/2014	1.950	7.98	103	4.00	10.00	25	16.2

Fuente: Adaptado del Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad Técnica Particular de Loja

Tabla 12. Cuarto Muestreo – Descargas

PUNTO	SITIO	PARÁMETROS ANALIZADOS							
		FECHA	CAUDAL	OXÍGENO DISUELTO		DBOC	DBON	TEMPERATURA AMBIENTE	TEMPERATURA AGUA
				m3/s	mg/l				
D5	Juan de Salinas	25/03/2014	0.006	8.5	106.2	4.00	16.00	17	14.5
D7	Terminal	25/03/2014	0.416	6.02	81.4	31.00	43.00	20.7	17.6
D8	Jipiro	25/03/2014	0.498	8.35	105.1	3.00	8.00	22	15.2
D9	Colector	25/03/2014	1.697	2.14	29.1	80.00	126.00	26	18.7

Fuente: Adaptado del Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad Técnica Particular de Loja

En relación a los resultados de los cuatro puntos monitoreados en el mes de febrero tabla 11 se observa que estos se encuentran dentro los límites máximos permisibles de oxígeno disuelto medidos en mg/l y porcentaje de saturación ya que no son menores a 6mg/l y 80% de saturación indicado en la Norma Ecuatoriana de Calidad de Agua para Preservación de Flora y Fauna en agua dulce.

De igual manera se ha realizado el análisis a los resultados obtenidos en las descargas de aguas residuales tabla 12 los cuales se encuentra dentro de los límites máximos permisible que indica la norma ya que la demanda bioquímica de oxígeno no supera los 100 mg/l.

En el quinto muestreo realizado en época de invierno en la fecha de 24 de febrero del 2014, en época de lluviosa se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 13. Quinto Muestreo – Río Malacatos.

PUNTO	SITIO	PARÁMETROS ANALIZADOS							
		FECHA	CAUDAL	OXÍGENO DISUELTO		DBOC	DBON	TEMPERATURA AMBIENTE	TEMPERATURA AGUA
			m3/s	mg/l	% Satur.	mg/l	mg/l	°C	°C
P1	Quebrada Mónica	24/02/2014	1.734	8.91	109.4	3	7	15.8	12.7
P2	Punzara	24/02/2014	1.832	8.76	108.4	2	3	17.8	13.8
P3	Parque Lineal	24/02/2014	1.910	8.99	111.2	4	6	19.1	13.9
P4	Catacocha y Av. Universitaria	24/02/2014	1.543	8.4	106.9	9	11	21.7	15.4
P5	10 de Agosto	25/02/2014	1.399	8.28	104.2	7	8	17.5	14.7
P6	Mayorista	24/02/2014	1.815	8.32	107.2	12	14	20.8	15.8
P7	Terminal	25/02/2014	1.850	8.14	102.7	4	5	17.5	15
P8	Río Malacatos - Jipiro	24/02/2014	1.714	7.69	100.3	5	6	25.3	16.5
P9	Río Malacatos - Colector	25/02/2014	1.970	7.31	94.8	3	8	22.6	16.4

Fuente: Adaptado del Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad Técnica Particular de Loja

Tabla 14. Quinto Muestreo – Descargas en el Río Malacatos.

PUNTO	SITIO	PARÁMETROS ANALIZADOS							
		FECHA	CAUDAL	OXÍGENO DISUELTO		DBOC	DBON	TEMPERAT. AMBIENTE	TEMPERAT. AGUA
				m3/s	mg/l				
D1	Quebrada Mónica	24/02/2014	0.639	8.95	109.8	8.00	11.00	15.8	12.7
D2	Punzara	24/02/2014	0.143	7.39	97.5	30.00	49.00	18.8	16.7
D3	Parque Lineal	24/02/2014	0.210	6.15	85.3	79.00	138.00	21.2	18.4
D4	Catacocha y Av. Universitaria	24/02/2014	0.091	6.36	89.8	9.00	22.00	21.4	19.9
D5	10 de Agosto	25/02/2014	0.006	8.28	104.6	17.00	29.00	18.5	15
D6	Mayorista	24/02/2014	0.382	8.38	108.5	11.00	20.00	21.5	15.9
D7	Terminal	25/02/2014	0.430	3.97	53.9	55.00	114.00	18.3	18
D8	Río Malacatos - Jipiro	24/02/2014	0.521	8.3	111.7	7.00	16.00	24	17.9
D9	Río Malacatos - Colector	25/02/2014	1.700	1.08	148	78.00	143.00	20.8	18.4

Fuente: Adaptado del Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad Técnica Particular de Loja

De acuerdo al Texto Unificado de Legislación Ambiental TULAS, Libro VI para Preservación de Flora y Fauna la concentración de oxígeno disuelto en mg/l y en porcentaje de saturación no deber ser menor a 6mg/l y 80% de saturación respectivamente, por tanto los resultados obtenido de monitoreo realizado en el cauce indica que se encuentran dentro de estos límites máximo permisibles, al igual que la DBOC y DBON tal como se muestra en la tabla 13.

Con respecto a las descargas de aguas residuales la norma ecuatoriana indica que la demanda bioquímica de oxígeno no debe superar los 100mg/l, en tal virtud la tabla 14 muestra que los resultados obtenidos se encuentran dentro de este límite.

Finalmente el sexto muestreo se lo ha realizado el 8 de julio de 2014, en época de caudales medios, y se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 15. Sexto Muestreo – Río Malacatos.

PUNTO	SITIO	PARÁMETROS ANALIZADOS							
		FECHA	CAUDAL	OXÍGENO DISUELTO		DBOC	DBON	TEMPERAT. AMBIENTE	TEMPERAT. AGUA
				m3/s	mg/l				
P1	Quebrada Mónica	08/07/2014	2.420	8.13	98.1	4	10	13.8	11.9
P2	Punzara	08/07/2014	2.560	9.1	97	6	8	15.7	13.5
P3	Parque Lineal	08/07/2014	2.730	8.16	98.8	7	11	16.9	13.6
P4	Catacocha y Av. Universitaria	08/07/2014	1.740	7.76	98	19	34	22.2	15
P5	10 de Agosto	08/07/2014	1.840	8.06	98	8	16	14.7	13.3
P6	Mayorista	09/07/2014	2.370	7.77	98.2	15	28	25.9	15.2
P7	Terminal	09/07/2014	2.670	7.71	98.3	8	17	23	15.6
P8	Río Malacatos – Jipiro	09/07/2014	1.960	7.67	97.6	10	18	23.3	15.5
P9	Río Malacatos – Colector	09/07/2014	2.850	5.99	81.1	6	14	30.2	18.5

Fuente: Adaptado del Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad Técnica Particular de Loja

Tabla 16. Sexto Muestreo – Descargas en el Río Malacatos.

PUNTO	SITIO	PARÁMETROS ANALIZADOS							
		FECHA	CAUDAL	OXÍGENO DISUELTO		DBOC	DBON	TEMPERAT. AMBIENTE	TEMPERAT. AGUA
				m3/s	mg/l				
D1	Quebrada Mónica	08/07/2014	1.210	8.04	97.3	7.00	12.00	14.6	12.2
D2	Punzara	08/07/2014	0.370	7.57	96.9	19.00	31.00	17.8	15.5
D3	Parque Lineal	08/07/2014	0.480	8.03	98.4	37.00	60.00	16.9	13.5
D4	Catacocha y Av. Universitaria	08/07/2014	0.140	6.45	88.4	24.00	45.00	22	18.9
D5	10 de Agosto	08/07/2014	0.008	8.07	98	12.00	24.00	14.7	12.9
D6	Mayorista	09/07/2014	0.470	7.8	97.6	23.00	20.00	25.1	14.7
D7	Terminal	09/07/2014	0.650	6.92	93	36.00	74.00	26.1	18.2
D8	Río Malacatos – Jipiro	09/07/2014	0.730	7.67	97.8	9.00	20.00	20	15.4
D9	Río Malacatos – Colector	09/07/2014	1.840	7.44	96.9	61.00	109.00	24	16.4

Fuente: Adaptado del Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad Técnica Particular de Loja

Como se muestra en la tabla 15 los resultados obtenidos durante el monitoreo del mes de julio se encuentran dentro los límites máximos permisibles, es decir, la concentración del oxígeno disuelto medido en términos de mg/l y porcentaje de saturación no son menores a 6mg/l y 80% de saturación de acuerdo al Texto Unificado de Legislación Ambiental TULAS Libro 6 para Preservación de Flora y Fauna.

De igual manera del análisis realizado a las descargas de aguas residuales estas cumple con los límites máximos permisibles de acuerdo a la demanda bioquímica de oxígeno, ya que no superan los 100mg/l establecidos en la normativa ecuatoriana. (Tabla 16).

4.2. Análisis estadístico de los ensayos de laboratorio

Para realizar la modelación en Excel 2013 se requiere el análisis estadístico de los parámetros químicos muestreados (OD, DBOC y DBON) en los nueve puntos de monitoreo y las descargas de aguas residuales que se encuentran en la subcuenca del río Malacatos, mismos que fueron obtenidos durante un año.

4.2.1. Análisis estadístico de los puntos de monitoreo de la subcuenca del Río Malacatos

En los puntos de monitoreo de la subcuenca del Río Malacatos se ha desarrollado el análisis estadísticos de los parámetros OD, DBOC, DBON, temperatura del agua y temperatura ambiente, de los cuales se ha determinado el mínimo, máximo, media y mediana tal como se observa en la tabla 17.

Tabla 17. Análisis Estadístico del Río Malacatos.

DOS PUENTES							
Muestras		Oxígeno Disuelto (mg/l)	DBOC (mg/l)	DBON (mg/l)	Temperatura Ambiente (°C)	Temperatura Agua (°C)	Caudal (m3/s)
DATOS	Muestreo 1	8.52	3.00	8.00	19.80	12.80	0.280
	Muestreo 2	8.41	5.00	6.50	20.90	13.50	0.694
	Muestreo 3	8.91	3.00	7.00	15.80	12.70	1.734
	Muestreo 4	8.13	4.00	10.00	13.80	11.90	2.42
PARÁMETROS ESTADÍSTICOS	Mínimo	8.13	3.00	6.50	13.80	11.90	0.28
	Máximo	8.91	5.00	10.00	20.90	13.50	2.42
	Suma	33.97	15.00	31.50	70.30	50.90	5.13
	Media	8.49	3.75	7.88	17.58	12.73	1.28
	Mediana	8.47	3.50	7.50	17.80	12.75	1.21
PUNZARA							
Muestras		Oxígeno Disuelto (mg/l)	DBOC (mg/l)	DBON (mg/l)	Temperatura Ambiente (°C)	Temperatura Agua (°C)	Caudal (m3/s)
DATOS	Muestreo 1	7.39	4.00	7.50	21.40	16.00	0.438
	Muestreo 2	7.80	9.00	11.00	27.10	17.10	1.553
	Muestreo 3	8.76	2.00	3.00	17.80	13.80	1.832
	Muestreo 4	9.10	6.00	8.00	15.70	13.50	2.56
PARÁMETROS ESTADÍSTICOS	Mínimo	7.39	2.00	3.00	15.70	13.50	0.44
	Máximo	9.10	9.00	11.00	27.10	17.10	2.56
	Suma	33.05	21.00	29.50	82.00	60.40	6.38
	Media	8.26	5.25	7.38	20.50	15.10	1.60
	Mediana	8.28	5.00	7.75	19.60	14.90	1.69

...Sigue

PARQUE LINEAL							
Muestras		Oxígeno Disuelto (mg/l)	DBOC (mg/l)	DBON (mg/l)	Temperatura Ambiente (°C)	Temperatura Agua (°C)	Caudal (m3/s)
DATOS	Muestreo 1	8.02	8.00	17.90	25.80	15.00	0.278
	Muestreo 2	7.96	6.00	7.20	24.10	15.70	1.784
	Muestreo 3	8.99	4.00	6.00	19.10	13.90	1.91
	Muestreo 4	8.16	7.00	11.00	16.90	13.60	2.73
PARÁMETROS ESTADÍSTICOS	Mínimo	7.96	4.00	6.00	16.90	13.60	0.28
	Máximo	8.99	8.00	17.90	25.80	15.70	2.73
	Suma	33.13	25.00	42.10	85.90	58.20	6.70
	Media	8.28	6.25	10.53	21.48	14.55	1.68
	Mediana	8.09	6.50	9.10	21.60	14.45	1.85
CATACOCCHA Y AV. UNIVERSITARIA							
Muestras		Oxígeno Disuelto (mg/l)	DBOC (mg/l)	DBON (mg/l)	Temperatura Ambiente (°C)	Temperatura Agua (°C)	Caudal (m3/s)
DATOS	Muestreo 1	5.84	23.00	56.00	20.10	16.10	0.730
	Muestreo 2	5.65	22.00	26.00	26.40	18.20	1.432
	Muestreo 3	8.40	9.00	11.00	21.70	15.40	1.543
	Muestreo 4	7.76	19.00	34.00	22.20	15.00	1.74
PARÁMETROS ESTADÍSTICOS	Mínimo	5.65	9.00	11.00	20.10	15.00	0.73
	Máximo	8.40	23.00	56.00	26.40	18.20	1.74
	Suma	27.65	73.00	127.00	90.40	64.70	5.45
	Media	6.91	18.25	31.75	22.60	16.18	1.36
	Mediana	6.80	20.50	30.00	21.95	15.75	1.49
CALLE 10 DE AGOSTO							
Muestras		Oxígeno Disuelto (mg/l)	DBOC (mg/l)	DBON (mg/l)	Temperatura Ambiente (°C)	Temperatura Agua (°C)	Caudal (m3/s)
DATOS	Muestreo 1	6.64	12.00	31.00	22.70	16.10	0.94
	Muestreo 2	8.50	3.00	4.00	16.00	14.00	1.35
	Muestreo 3	8.28	7.00	8.00	17.50	14.70	1.399
	Muestreo 4	8.06	8.00	16.00	14.70	13.30	1.84
PARÁMETROS ESTADÍSTICOS	Mínimo	6.64	3.00	4.00	14.70	13.30	0.94
	Máximo	8.50	12.00	31.00	22.70	16.10	1.84
	Suma	31.48	30.00	59.00	70.90	58.10	5.53
	Media	7.87	7.50	14.75	17.73	14.53	1.38
	Mediana	8.17	7.50	12.00	16.75	14.35	1.37

...Sigue

MAYORISTA							
Muestras		Oxígeno Disuelto (mg/l)	DBOC (mg/l)	DBON (mg/l)	Temperatura Ambiente (°C)	Temperatura Agua (°C)	Caudal (m3/s)
DATOS	Muestreo 1	5.93	22.00	57.00	21.00	15.80	1.2635
	Muestreo 2	6.08	10.00	12.00	23.20	18.80	1.649
	Muestreo 3	8.32	12.00	14.00	20.80	15.80	1.815
	Muestreo 4	7.77	15.00	28.00	25.90	15.20	2.37
PARÁMETROS ESTADÍSTICOS	Mínimo	5.93	10.00	12.00	20.80	15.20	1.26
	Máximo	8.32	22.00	57.00	25.90	18.80	2.37
	Suma	28.10	59.00	111.00	90.90	65.60	7.10
	Media	7.03	14.75	27.75	22.73	16.40	1.77
	Mediana	6.93	13.50	21.00	22.10	15.80	1.73
TERMINAL							
Muestras		Oxígeno Disuelto (mg/l)	DBOC (mg/l)	DBON (mg/l)	Temperatura Ambiente (°C)	Temperatura Agua (°C)	Caudal (m3/s)
DATOS	Muestreo 1	6.89	15.00	36.80	21.50	15.90	1.65812
	Muestreo 2	8.45	2.60	3.20	20.00	14.40	1.78
	Muestreo 3	8.14	4.00	5.00	17.50	15.00	1.85
	Muestreo 4	7.71	8.00	17.00	23.00	15.60	2.67
PARÁMETROS ESTADÍSTICOS	Mínimo	6.89	2.60	3.20	17.50	14.40	1.66
	Máximo	8.45	15.00	36.80	23.00	15.90	2.67
	Suma	31.19	29.60	62.00	82.00	60.90	7.96
	Media	7.80	7.40	15.50	20.50	15.23	1.99
	Mediana	7.93	6.00	11.00	20.75	15.30	1.82
RÍO JIPIRO							
Muestras		Oxígeno Disuelto (mg/l)	DBOC (mg/l)	DBON (mg/l)	Temperatura Ambiente (°C)	Temperatura Agua (°C)	Caudal (m3/s)
DATOS	Muestreo 1	5.78	16.00	37.60	24.00	16.60	1.671
	Muestreo 2	8.22	6.00	7.20	23.00	14.90	1.691
	Muestreo 3	7.69	5.00	6.00	25.30	16.50	1.714
	Muestreo 4	7.67	10.00	18.00	23.30	15.50	1.96
PARÁMETROS ESTADÍSTICOS	Mínimo	5.78	5.00	6.00	23.00	14.90	1.67
	Máximo	8.22	16.00	37.60	25.30	16.60	1.96
	Suma	29.36	37.00	68.80	95.60	63.50	7.04
	Media	7.34	9.25	17.20	23.90	15.88	1.76
	Mediana	7.68	8.00	12.60	23.65	16.00	1.70

...Sigue

COLECTOR							
Muestras		Oxígeno Disuelto (mg/l)	DBOC (mg/l)	DBON (mg/l)	Temperatura Ambiente (°C)	Temperatura Agua (°C)	Caudal (m ³ /s)
DATOS	Muestreo 1	5.48	9.50	22.70	23.00	17.80	1.73
	Muestreo 2	7.98	4.00	5.00	25.00	16.20	1.95
	Muestreo 3	7.31	3.00	8.00	22.60	16.40	1.97
	Muestreo 4	5.99	6.00	14.00	30.20	18.50	2.85
PARÁMETROS ESTADÍSTICOS	Mínimo	5.48	3.00	5.00	22.60	16.20	1.73
	Máximo	7.98	9.50	22.70	30.20	18.50	2.85
	Suma	26.76	22.50	49.70	100.80	68.90	8.50
	Media	6.69	5.63	12.43	25.20	17.23	2.13
	Mediana	6.65	5.00	11.00	24.00	17.10	1.96

Fuente: Autora.

Para la modelación se ha considerado los valores estadísticos de la media, debido a que los muestreos se encuentran dentro de mas – menos dos desviaciones estándar, además se cuenta con los suficientes muestreos para utilizar esta medida de tendencia central.

4.2.2. Análisis estadístico de las descargas de aguas residuales de la red de monitoreo de la subcuenca del Río Malacatos

Siendo las descargas de aguas residuales parte fundamental del modelo matemático de Streeter & Phelps se ha realizado el análisis estadístico determinando el mínimo, máximo, media y mediana de las nueve descargas monitoreadas.

Tabla 18. Análisis Estadístico de las Descargas en el Río Malacatos.

DOS PUENTES							
Muestreos		Oxígeno Disuelto (mg/l)	DBOC (mg/l)	DBON (mg/l)	Temperatura Ambiente (°C)	Temperatura Agua (°C)	Caudal (m3/s)
DATOS	Muestreo 1	7.95	3.42	7.00	20.50	12.90	0.15
	Muestreo 2	8.23	7.00	13.00	20.90	14.30	0.35
	Muestreo 3	8.95	8.00	11.00	15.80	12.70	0.639
	Muestreo 4	8.04	7.00	12.00	14.60	12.20	1.21
PARÁMETROS ESTADÍSTICOS	Mínimo	7.95	3.42	7.00	14.60	12.20	0.15
	Máximo	8.95	8.00	13.00	20.90	14.30	1.21
	Suma	33.17	25.42	43.00	71.80	52.10	2.35
	Media	8.29	6.36	10.75	17.95	13.03	0.59
	Mediana	8.14	7.00	11.50	18.15	12.80	0.49
PUNZARA							
Muestreos		Oxígeno Disuelto (mg/l)	DBOC (mg/l)	DBON (mg/l)	Temperatura Ambiente (°C)	Temperatura Agua (°C)	Caudal (m3/s)
DATOS	Muestreo 1	7.76	9.00	14.00	25.90	16.80	0.055
	Muestreo 2	6.75	17.00	21.00	27.10	18.10	0.086
	Muestreo 3	7.39	30.00	49.00	18.80	16.70	0.143
	Muestreo 4	7.57	19.00	31.00	17.80	15.50	0.37
PARÁMETROS ESTADÍSTICOS	Mínimo	6.75	9.00	14.00	17.80	15.50	0.06
	Máximo	7.76	30.00	49.00	27.10	18.10	0.37
	Suma	29.47	75.00	115.00	89.60	67.10	0.65
	Media	7.37	18.75	28.75	22.40	16.78	0.16
	Mediana	7.48	18.00	26.00	22.35	16.75	0.11
PARQUE LINEAL							
Muestreos		Oxígeno Disuelto (mg/l)	DBOC (mg/l)	DBON (mg/l)	Temperatura Ambiente (°C)	Temperatura Agua (°C)	Caudal (m3/s)
DATOS	Muestreo 1	7.86	8.70	15.00	25.80	17.40	0.1
	Muestreo 2	7.10	16.00	18.00	23.50	17.90	0.15
	Muestreo 3	6.15	79.00	138.00	21.20	18.40	0.21
	Muestreo 4	8.03	37.00	60.00	16.90	13.50	0.48
PARÁMETROS ESTADÍSTICOS	Mínimo	6.15	8.70	15.00	16.90	13.50	0.10
	Máximo	8.03	79.00	138.00	25.80	18.40	0.48
	Suma	29.14	140.70	231.00	87.40	67.20	0.94
	Media	7.29	35.18	57.75	21.85	16.80	0.24
	Mediana	7.48	26.50	39.00	22.35	17.65	0.18

...Sigue

CATACOCHA Y AV. UNIVERSITARIA							
Muestras		Oxígeno Disuelto (mg/l)	DBOC (mg/l)	DBON (mg/l)	Temperatura Ambiente (°C)	Temperatura Agua (°C)	Caudal (m3/s)
DATOS	Muestreo 1	6.61	20.80	54.60	20.10	19.30	0.002
	Muestreo 2	6.04	41.00	56.00	26.40	20.60	0.005
	Muestreo 3	6.36	9.00	22.00	21.40	19.90	0.091
	Muestreo 4	6.45	24.00	45.00	22.00	18.90	0.14
PARÁMETROS ESTADÍSTICOS	Mínimo	6.04	9.00	22.00	20.10	18.90	0.00
	Máximo	6.61	41.00	56.00	26.40	20.60	0.14
	Suma	25.46	94.80	177.60	89.90	78.70	0.24
	Media	6.37	23.70	44.40	22.48	19.68	0.06
	Mediana	6.41	22.40	49.80	21.70	19.60	0.05
CALLE 10 DE AGOSTO							
Muestras		Oxígeno Disuelto (mg/l)	DBOC (mg/l)	DBON (mg/l)	Temperatura Ambiente (°C)	Temperatura Agua (°C)	Caudal (m3/s)
DATOS	Muestreo 1	7.46	10.50	23.00	20.60	15.50	0.005
	Muestreo 2	8.50	4.00	16.00	17.00	14.50	0.0055
	Muestreo 3	8.28	17.00	29.00	18.50	15.00	0.006
	Muestreo 4	8.07	12.00	24.00	14.70	12.90	0.008
PARÁMETROS ESTADÍSTICOS	Mínimo	7.46	4.00	16.00	14.70	12.90	0.01
	Máximo	8.50	17.00	29.00	20.60	15.50	0.01
	Suma	32.31	43.50	92.00	70.80	57.90	0.02
	Media	8.08	10.88	23.00	17.70	14.48	0.01
	Mediana	8.18	11.25	23.50	17.75	14.75	0.01
MAYORISTA							
Muestras		Oxígeno Disuelto (mg/l)	DBOC (mg/l)	DBON (mg/l)	Temperatura Ambiente (°C)	Temperatura Agua (°C)	Caudal (m3/s)
DATOS	Muestreo 1	6.20	20.30	48.00	21.00	14.10	0.25
	Muestreo 2	6.17	36.00	50.00	23.20	18.80	0.373
	Muestreo 3	8.38	11.00	20.00	21.50	15.90	0.382
	Muestreo 4	7.80	23.00	20.00	25.10	14.70	0.47
PARÁMETROS ESTADÍSTICOS	Mínimo	6.17	11.00	20.00	21.00	14.10	0.25
	Máximo	8.38	36.00	50.00	25.10	18.80	0.47
	Suma	28.55	90.30	138.00	90.80	63.50	1.48
	Media	7.14	22.58	34.50	22.70	15.88	0.37
	Mediana	7.00	21.65	34.00	22.35	15.30	0.38

...Sigue

TERMINAL							
Muestruos		Oxígeno Disuelto (mg/l)	DBOC (mg/l)	DBON (mg/l)	Temperatura Ambiente (°C)	Temperatura Agua (°C)	Caudal (m3/s)
DATOS	Muestreo 1	2.47	21.00	61.00	19.80	18.30	0.215
	Muestreo 2	6.02	31.00	43.00	20.70	17.60	0.416
	Muestreo 3	3.97	55.00	114.00	18.30	18.00	0.43
	Muestreo 4	6.92	36.00	74.00	26.10	18.20	0.65
PARÁMETROS ESTADÍSTICOS	Mínimo	2.47	21.00	43.00	18.30	17.60	0.21
	Máximo	6.92	55.00	114.00	26.10	18.30	0.65
	Suma	19.38	143.00	292.00	84.90	72.10	1.71
	Media	4.85	35.75	73.00	21.23	18.03	0.43
	Mediana	5.00	33.50	67.50	20.25	18.10	0.42
RÍO JIPIRO							
Muestruos		Oxígeno Disuelto (mg/l)	DBOC (mg/l)	DBON (mg/l)	Temperatura Ambiente (°C)	Temperatura Agua (°C)	Caudal (m3/s)
DATOS	Muestreo 1	7.97	14.50	33.80	24.00	16.60	0.301
	Muestreo 2	8.35	3.00	8.00	22.00	15.20	0.498
	Muestreo 3	8.30	7.00	16.00	24.00	17.90	0.521
	Muestreo 4	7.67	9.00	20.00	20.00	15.40	0.73
PARÁMETROS ESTADÍSTICOS	Mínimo	7.67	3.00	8.00	20.00	15.20	0.30
	Máximo	8.35	14.50	33.80	24.00	17.90	0.73
	Suma	32.29	33.50	77.80	90.00	65.10	2.05
	Media	8.07	8.38	19.45	22.50	16.28	0.51
	Mediana	8.14	8.00	18.00	23.00	16.00	0.51
COLECTOR							
Muestruos		Oxígeno Disuelto (mg/l)	DBOC (mg/l)	DBON (mg/l)	Temperatura Ambiente (°C)	Temperatura Agua (°C)	Caudal (m3/s)
DATOS	Muestreo 1	0.45	21.70	57.00	23.00	18.90	1.35
	Muestreo 2	2.14	80.00	126.00	26.00	18.70	1.697
	Muestreo 3	1.08	78.00	143.00	20.80	18.40	1.7
	Muestreo 4	7.44	61.00	109.00	24.00	16.40	1.84
PARÁMETROS ESTADÍSTICOS	Mínimo	0.45	21.70	57.00	20.80	16.40	1.35
	Máximo	7.44	80.00	143.00	26.00	18.90	1.84
	Suma	11.11	240.70	435.00	93.80	72.40	6.59
	Media	2.78	60.18	108.75	23.45	18.10	1.65
	Mediana	1.61	69.50	117.50	23.50	18.55	1.70

Fuente: Autora.

Analizando que los muestreos de las descargas de aguas residuales se encuentran dentro de más - menos dos desviaciones estándar se han utilizado los valores estadísticos de la media para realizar la modelación.

4.3. Aplicación del modelo de Streeter-Phelps en Microsoft Excel 2013.

4.3.1. Ecuación general de balance de masa.

El balance de masa es el método más útil para describir, estudiar y analizar los cambios que ocurren cuando una sustancia química (contaminante) ingresa o se vierte en un medio acuático, (Ramirez, 2011).

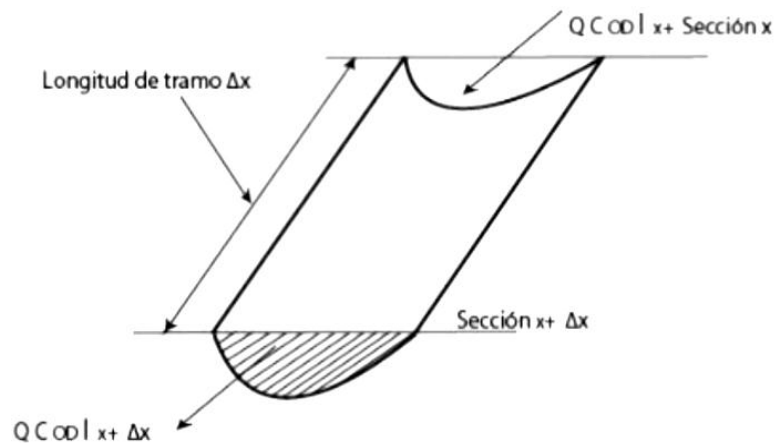


Figura 3 : Esquema del balance de masa
Fuente: Peralta, 2008

Emplea el principio de conservación de la masa, por lo tanto el balance de masa se expresa como:

$$\text{Acumulación} = \text{Entrada} - \text{Salida} \pm \sum \text{reacción (generación, utilización)}$$

El balance se realiza en cada uno de los tramos de estudio que conforman la subcuenca del Río Malacatos.

El Tramo 1 se encuentra conformado por los puntos Quebrada Mónica y Punzara y la descarga denominada Quebrada Mónica.

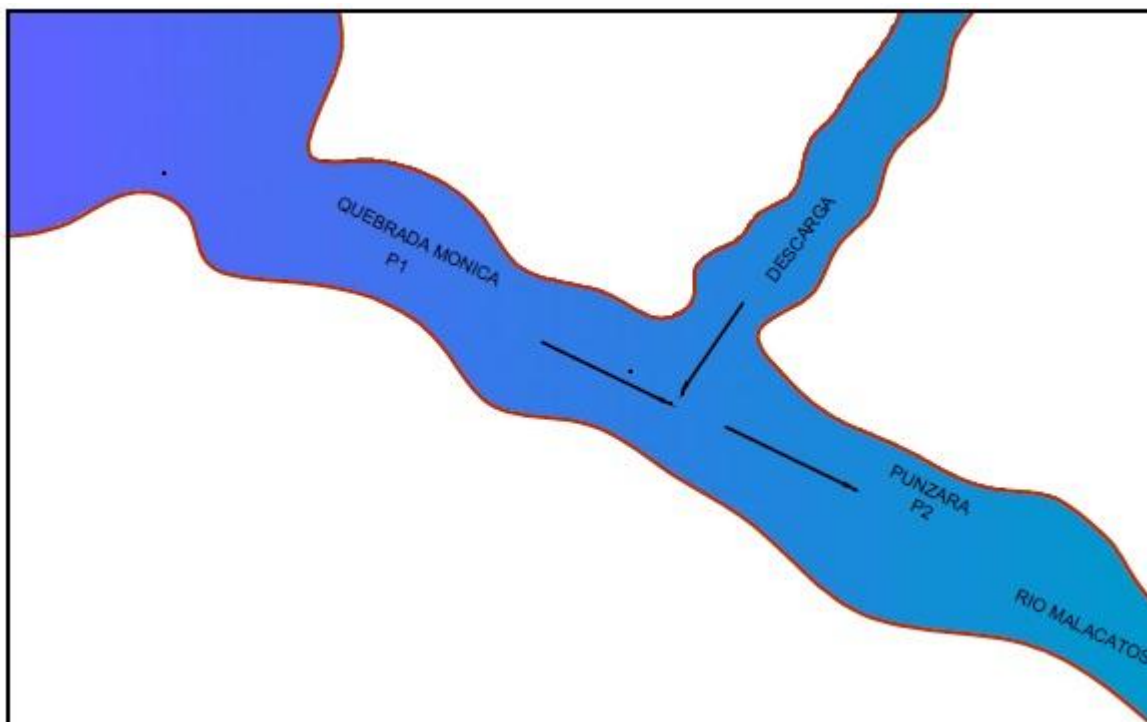


Figura 4 : Balance de masas del Tramo 1 – Sector Dos Puentes
Fuente: La autora

A continuación se presenta el balance de masa para el caudal, el OD, la DBOC, la DBON y la temperatura del agua del Tramo 1.

Tabla 19. Datos del tramo 1 – Dos Puentes

DATOS DEL TRAMO											
QR	QD	ODR	ODD	DBOCR	DBOCD	DBONR	DBOND	TR agua	TD agua	Velocidad	Profundidad
m3/s	m3/s	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	°C	°C	m/s	m
1,28	0,59	8,49	8,29	3,75	6,36	7,88	10,75	12,73	13,03	0,40	0,28

Fuente: Autora.

Balance de caudal

$$Qo = QR + QD$$

$$Qo = (1,28 + 0,59)m3/s$$

$$Qo = 1,87 m3/s$$

Balance del OD

$$ODo = \frac{(ODr * QR + ODD * QD)}{Qo}$$

$$ODo = \frac{(8,43 * 1,28 + 8,29 * 0,59)}{1,87}$$

$$ODo = 8,43 \text{ mg/l}$$

Balance de la DBOC

$$DBOC_o = \frac{(DBOCr * QR + DBOCd * QD)}{Qo}$$

$$DBOC_o = \frac{(3,75 * 1,28 + 6,36 * 0,59)}{1,87}$$

$$DBOC_o = 4,57 \text{ mg/l}$$

Balance de la DBON

$$DBON_o = \frac{(DBONr * QR + DBONd * QD)}{Qo}$$

$$DBON_o = \frac{(7,88 * 1,28 + 10,75 * 0,59)}{1,87}$$

$$DBON_o = 8,8 \text{ mg/l}$$

Balance de la Temperatura del Agua

$$T_o = \frac{(Tr * QR + Td * QD)}{Qo}$$

$$T_o = \frac{(12,73 * 1,28 + 13,03 * 0,59)}{1,87}$$

$$T_o = 12,8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Tabla 20. Resultados de Balance de masa del Tramo1 – Dos Puentes

Qo	1,87	m3/s
ODo	8,43	mg/l
DBOCo	4,57	mg/l
DBONo	8,8	°C
To	12,8	°C

Fuente: Autora.

Los resultados de la tabla 20 del balance de masa para el caudal, OD, DBOC, DBON y temperatura de agua, corresponden a los datos de partida para la modelación del Tramo 1 conformado por los puntos Quebrada Mónica y Punzara.

4.3.2. Constantes cinéticas.

La cinética o tasa de reacción de las reacciones irreversibles se puede determinar estableciendo el principio que sostiene que la tasa es proporcional a la concentración de los reactantes, (Espinoza, 2005).

Esta tasa de reacción tiene la siguiente ecuación:

$$\frac{dCA}{dt} = -k * (CA, CB \dots)$$

(4.1)

Dónde:

k = variable con la temperatura

A, B = Concentración de los reactantes

4.3.2.1. Constante de desoxigenación carbonácea.

La constante que está relacionada con la tasa de descomposición de la DBOC es:

- **Constante de desoxigenación en la corriente receptora (kd)**

Se presenta distintos métodos para el cálculo de esta constante kd:

Steven C. Chapra. La estimación de esta constante cinética del primer orden para el consumo de oxígeno por acción metabólica k_d , se realiza a partir de la tendencia expresada por Hydrosience, 1971 a 20°C (Chapra, 1997):

$$k_d = 0.3 \left(\frac{H}{8}\right)^{-0.434} \quad (4.2)$$

$$0 \leq H \leq 2.4 \text{ m}$$

Dónde:

K_d = Constante de desoxigenación en la corriente receptora

H = Profundidad

y

$K_d = 0.3$

$H > 2.4 \text{ m}$

Bosko. La determinación de la constante de desoxigenación de la corriente receptora K_d ha sido propuesta por Bosko, quien desarrollo una relación entre la constante de desoxigenación (k_1) y la constante desoxigenación en la corriente receptora (K_d , (Bosko, 1996).

$$K_d = k_1 + n \left(\frac{v}{h}\right) \quad (4.3)$$

Dónde:

K_d = Tasa de desoxigenación debida al ejercicio de la DBO en la corriente receptora, base e (d-1).

K_1 = Tasa de desoxigenación determinada en el laboratorio, base e (d-1).

v = Velocidad de la corriente (m/s)

h = Profundidad de la corriente (m)

n = Coeficiente de actividad del lecho de la corriente.

Wright and McDonnell. Relaciono Kd con las características hidráulicas como caudal, radio hidráulico y profundidad media. (McDonnell, 1979)

$$Kd = (10.3) * Q^{-0.49} \quad (4.4)$$

Donde:

Q = caudal expresado en pies³/s

Esta ecuación solo es validad para caudales entre 10 y 800 pies³/s.

Aplicación del método de Steven C. Chapra en el Tramo 1

En el presente estudio se emplea el método de Steven C. Chapra, debido a que los criterios que utiliza este método se cumple en el rio de la Seste rio.

Steven C. Chapra

$$kd = 0.3 \left(\frac{H}{8}\right)^{-0.434}$$

Profundidad = 28cm

$$kd = 0.3 \frac{(280)^{-0.434}}{8}$$

$$kd = 0,174$$

4.3.2.2. Constante de nitrificación.

La estimación de esta constante cinética del primer orden para simular el proceso de nitrificación es:

$$\frac{d(LN)}{dt} = KN * LN \quad (4.5)$$

Dónde:

KN = Tasa global de nitrificación d-1

LN = Nitrógeno oxidable total (DBON en mg/L)

Los métodos para calcular la constante de nitrificación son:

Método de Courchaine. Este método se gráfica la DBON en una escala logarítmica contra la distancia, la constante KN se determina a partir de la pendiente de la recta y la velocidad de la corriente (Courchaine, 1980).

$$kN = v \frac{\ln \frac{Q_1 \cdot L_1}{Q_2 \cdot L_2}}{X_2 - X_1} \quad (4.6)$$

Dónde:

kN = Tasa global de nitrificación d-1

v = Velocidad (m/s)

L1, L2 = concentración de demanda bioquímica nitrogenada

Q1, Q2 = caudal (m³/s)

X1, X2, = largo del tramo (m).

Método de Cibulka. En este método se hacen los respectivos análisis de DBON añadiendo un agente inhibidor del crecimiento de las bacterias nitrificantes. (Nemerow, 1974).

Una vez que se conoce el comportamiento de la DBON durante los 21 días se aplica el método logarítmico:

$$\ln(r) = \ln(L_0 * kN) - kN * t \quad (4.7)$$

Si se gráfica el ln (r) contra t para diferentes valores de DBON la pendiente será la constante Kn y el interceptor será Lo*Kn.

Se utiliza el método de Cibulka para el cálculo de la constante de nitrificación en nuestro estudio, debido a que se emplea el agente inhibidor del crecimiento de las bacterias nitrificantes.

Aplicación del Método Cibulka en el Tramo 1

Con el propósito de analizar el comportamiento de los microorganismos que degradan la materia orgánica, se elabora la siguiente tabla para luego graficar la curva DBO total v/s tiempo.

Los parámetros DBOC y DBON fueron determinados en el laboratorio a los 21 días, los cuales conforman la DBO total y a partir de estos tres parámetros se calcula la constante kN.

Tabla 21. Comportamiento de la DBO total

t (d)	t (d) Nitrógeno	DBON (mg/L)	DBOC (mg/L)	DBO total (mg/L)	kN	
					r	ln (r).
1		1	1	2		
2		1	1	2		
3		1.8	1	2.8		
4		1	3	4		
5		2.3	2	4.3		
6		2.4	2.4	4.8		
7		2.5	2.4	4.9		
8		2.5	2	4.5		
9	0	2.6	2	4.6		
10	1	3	2.5	5.5	4	1.386
11	2	7	1	8	4	1.386
12	3	3	5.6	8.6	1	0
13	4	4	4.8	8.8	1	0
14	5	5	4.3	9.3	2.4	0.875
15	6	7.4	2.5	9.9	0.1	-2.302
16	7	7.5	2.7	10.2	0.1	-2.302
17	8	7.6	2.6	10.2	0.1	-2.302
18	9	7.7	2.8	10.5	0.1	-2.302
19	10	7.8	2.7	10.5	0.1	-2.302
20	11	7.9	2.9	10.8	0.1	-2.302
21	12	8	3	11	0.67	-0.405

Fuente: Autora

Una vez conocido el comportamiento de la DBOC y DBON durante los 21 días se aplica el método Cibulka, en el cual se grafica el comportamiento de la DBO total v/s Tiempo.



Figura 5: Comportamiento de la DBO total en el tiempo.
Fuente: Autora

En la figura 5 se puede observar que al octavo día existe una estabilización de la DBO total, esto se debe a que la DBOC empieza a ejercerse durante los primeros ocho días y de ahí en adelante su valor permanece constante e igual al del día 8, mientras que la DBON inicia su nitrificación a partir del octavo día hasta el día veintiuno de forma ascendente.

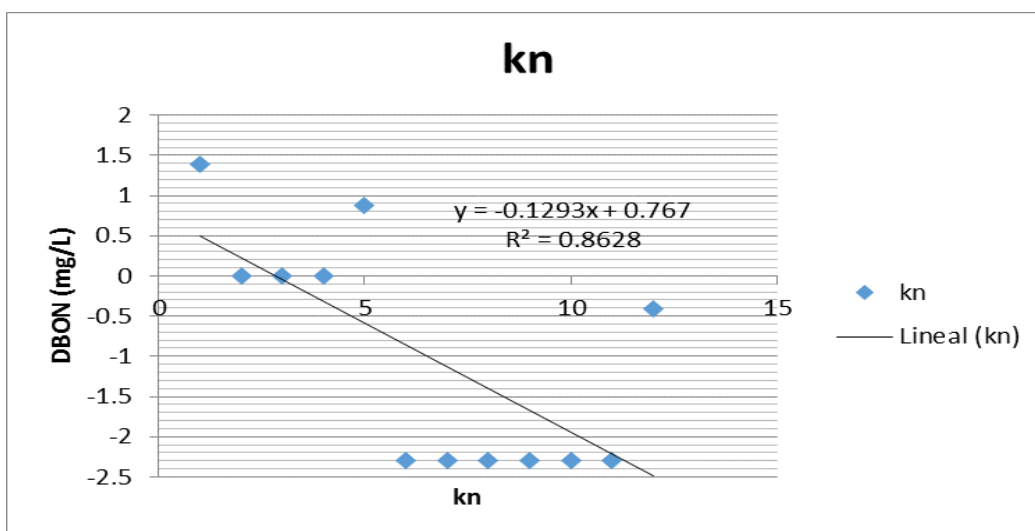


Figura 6 : Constante de Nitrificación.
Fuente: Autora

En la figura 6 se grafica la DBON v/s k_n encontrando el valor de la constante de nitrificación k_n mediante la obtención de la pendiente de la recta.

$$k_n = 0.129$$

4.3.2.3. Constante de reaireación.

La transferencia del oxígeno de la atmosfera al agua es un ejemplo del intercambio que existe entre dos sustancias químicas a través de la interface gas-agua.

La constante cinética de primer orden para la transferencia de oxígeno desde el aire k_a , se realiza a partir de varios modelos a 20°C:

O'Connor y Dobbins. Suponen que la velocidad de transferencia de oxígeno al agua es función de la relación entre la velocidad (v) de la corriente y la profundidad (H) (al, 1996). Esta ecuación es usada para velocidades y calados moderados.

$$k_a = 3.93 \frac{v^{0.5}}{H^{1.5}} \quad (4.8)$$

Dónde:

k_a = Constante de reaireación

v = Velocidad

H = Profundidad

Owens y Gibbs. Utilizaron una relación empírica y combinaron sus resultados como los obtenidos en el río Tennessee (Owens et al , 1964). Esta ecuación es usada para velocidades bajas y calados superficiales.

$$k_a = 5.32 \frac{v^{0.67}}{H^{1.85}} \quad (4.9)$$

Dónde:

k_a = Constante de reaireación

v = Velocidad

H = Profundidad

Churchill. Utilizó una expresión más empírica que la usada por O'Connor y Dobbins. Estos investigadores realizaron varios análisis de regresión en los cuales investigaron la correlación entre el fenómeno de la reaireación, la profundidad y velocidad en diversos tramos del río Tennessee (Estados Unidos), (Churchill, 1996). Esta ecuación es usada preferentemente para velocidades rápidas y calados profundos.

$$ka = 5.026 \frac{v}{H^{1.67}}$$

(4.10)

Dónde:

ka = Constante de reaireación

v = Velocidad

H = Profundidad

En la tabla 22 se resume los rangos de velocidad y profundidad del método O'Connor y Dobbins, Owens y Gibbs y Churchill fueron desarrolladas para diferentes tipos de corrientes. Covar (1976) encontró que las fórmulas se podían utilizar conjuntamente para predecir la reaireación por rangos de profundidad y combinación de velocidad.

Tabla 22. Rangos de profundidad y velocidad

Parámetro	O'Connors y Dobbins	Churchill	Owens y Gibbs
Profundidad (m)	0.3 – 9.14	0.61 – 3.35	0.12 - 0.73
Velocidad (m)	0.15 – 0.49	0.55 - 1.52	0.03 – 0.55

Fuente: Chapa, 1997

Aplicación del Método Owens y Gibbs en el Tramo 1 – Dos Puentes Quebrada Mónica.

En nuestro estudio se emplea el método de Owens y Gibbs debido a que en el Río Malacatos presenta velocidades bajas y calados superficiales.

Owens y Gibbs

$$ka = 5.32 \frac{v^{0.67}}{H^{1.85}}$$

Velocidad = 40 cm/s

Profundidad= 28 cm

$$ka = 5.32 \frac{40^{0.67}}{28^{1.85}}$$

ka= 0.132

4.3.3. Efectos de temperatura.

Las constantes de reacción de las reacciones químicas, físicas y biológicas que ocurren en las aguas naturales se incrementan con aumentos de temperatura, (Ramírez, 2011).

Para tener un balance de calor a la temperatura se la obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$T = \frac{[(QR \times T^{\circ}R) + (QD \times T^{\circ}D)]}{Qo} \quad (4.11)$$

Dónde:

T = Temperatura de la mezcla

QR = Caudal del río

QD = Caudal de descarga

Qo = Caudal del balance de materia

T°R = Temperatura del río

T°D = Temperatura de la descarga

Aplicación del balance de la Temperatura del Agua

$$T = \frac{[(QR \times T^{\circ}R) + (QD \times T^{\circ}D)]}{Qo}$$

$$T_o = \frac{(12,73 \times 1,28 + 13,03 \times 0,59)}{1,87}$$

$$T_o = 12,8^{\circ}C$$

4.3.4. Correcciones de las constantes cinéticas por temperatura.

En la calidad de agua se acostumbra a tomar como temperatura de referencia 20°C, por lo tanto la siguiente ecuación se usa generalmente para corregir las constantes por el efecto de la temperatura, (Ramírez, 2011).

$$k(T) = k_{20} \theta^{(T-20)} \quad (4.12)$$

Dónde:

$K(T)$ = Corrección de temperatura

K = Factor de corrección

T = Temperatura de la mezcla

θ = Factor para la obtención de las constantes cinéticas reales

Tabla 23. Factores θ para la obtención de las constantes cinéticas reales

	1.005 – 1.030	Thomam and Mueller (1987),p282
	1.024	Chapra (1997), p377
θ_a	1.024	Schnoor (1996), Tabla 6.3 p.246
	1.024 – 1.037	Schnoor (1996), Tabla 3.1 p.98
	1.048	Schnoor (1996), p.238; Tabla 6.3 p.246
θ_b	1.047	Schnoor (1996), Tabla 3.1 p.98
	1.04	Thomam and Mueller (1987),p297

Fuente: Chapra, 1997

Aplicación de la corrección de las constantes cinéticas reales por temperatura en el Tramo 1

Los factores para la corrección de las constantes cinéticas reales por temperatura que se emplean en nuestro modelo son las siguientes:

Tabla 24. Factores de obtención de constantes cinéticas reales

Factores de obtención de constantes cinéticas reales	
θ_a	1,024
θ_d	1,047
θ_n	1,080

Fuente: Chapra, 1997

Se escogió estos factores de los autores Chapra y Schnoor; en razón de que se emplean en rios de velocidades bajas y calados superficiales; como es el caso del Río Malacatos.

Las correcciones de las constantes cinéticas de reaireación, oxidación y nitrificación a 20°C son:

Constante de oxidación kd

$$k(T) = 0,174 * 1.047^{(12,8-20)}$$

$$kd = 0,125$$

Constante de reaireación ka

$$k(T) = 0,132 * 1.024^{(12,8-20)}$$

$$ka = 0,112$$

Constante de nitrificación kn

$$k(T) = 0,129 * 1.080^{(12,8-20)}$$

$$kn = 0,074$$

Tabla 25. Constantes cinéticas corregidas

Constante de reaireación ka		Constante de oxidación kd		Constante de nitrificación kn	
Owens y Gibbs					
Ka	Corrección ka por temperatura	Kd	Corrección kd por temperatura	Kn	Corrección kn por temperatura
0,132	0,112	0,17418	0,125	0,12977	0,07467158

Fuente: La autora

4.3.5. Concentración de saturación del oxígeno disuelto en el río Malacatos.

Para determinar la saturación del oxígeno disuelto se usa varias metodologías como la Ley de Henry o el uso de una tabla que presenta la concentración de OD en función de la temperatura, (Metcalf, 1995).

Tabla 26. Oxígeno disuelto en función de la temperatura.

OXIGENO DISUELTO EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA					
Temperatura °C	OD (mg/l)	Temperatura °C	OD (mg/l)	Temperatura °C	OD (mg/l)
0	14.6	11	11.0	22	8.7
1	14.2	12	10.8	23	8.6
2	13.8	13	10.5	24	8.4
3	13.5	14	10.3	25	8.3
4	13.1	15	10.1	26	8.1
5	12.8	16	9.9	27	8.0
6	12.5	17	9.7	28	7.8
7	12.1	18	9.6	29	7.7
8	11.8	19	9.3	30	7.6
9	11.6	20	9.1	31	7.5
10	11.3	21	8.9		

Fuente: Metcalf, 1995

4.3.6. Concentración de oxígeno disuelto.

La concentración del Oxígeno Disuelto se estima a partir de la diferencia entre la concentración de saturación de OD y el Déficit de OD, (Kiely, 1999).

$$OD = O_s - D_o \quad (4.13)$$

Dónde:

OD = Oxígeno disuelto en el río a x (m) aguas debajo de la descarga

O_s = Saturación del oxígeno disuelto

D_o = Déficit inicial de oxígeno disuelto

Aplicación de la concentración de oxígeno disuelto en el Tramo 1

$$OD = O_s - D_o$$

Saturación de O_s en función de la temperatura T_o = 10.5 (Tabla 26)

$$OD = 10,5 - 8,43$$

$$OD = 2,1$$

$$D = 2,1$$

4.3.7. Modelación de OD, DBOC y DBON.

Para la modelación del Oxígeno Disuelto, la Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonacea y Nitrogenada se realizara con las siguientes ecuaciones del modelo clásico de Streeter-Phelps 1925.

Si DBO = DBO_o y D = D_o a t = 0, tenemos las siguientes ecuaciones resueltas por Steven Chapra 1997:

$$DBOC = DBOCo e^{\frac{-kd x}{V}} \quad (4.14)$$

Dónde:

DBOC = Demanda bioquímica de oxígeno carbonácea

DBOCo = Demanda bioquímica de oxígeno carbonácea en el balance de materia

x = Distancia

V = Velocidad

kd = Constante de desoxigenación en la corriente receptora

$$DBON = DBONo e^{\frac{-kNx}{V}} \quad (4.15)$$

Dónde:

DBON = Demanda bioquímica de oxígeno nitrogenada

DBONo = Demanda bioquímica de oxígeno nitrogenada en el balance de materia

x = Distancia

V = Velocidad

kN = Constante de nitrificación en la corriente receptora

y

$$D = D_o e^{\frac{-k_a x}{V}} + \frac{k_d DBO_o}{k_a - k_d} \left(e^{\frac{-k_d x}{V}} - e^{\frac{-k_a x}{V}} \right)$$

(4.16)

Dónde:

D = Déficit de oxígeno disuelto

Do = Déficit inicial de oxígeno disuelto

V = Velocidad

x = Distancia

kd = Constante de desoxigenación en la corriente receptora

ka = Constante de reaireación

DBO = Demanda bioquímica de oxígeno

DBOo = Demanda bioquímica de oxígeno en el balance de materia

ECUACIONES RESULTANTES PARA EL TRAMO 1 - DOS PUENTES QUEBRADA

MÓNICA

Las ecuaciones que se obtuvieron para nuestro modelo son:

Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea (DBOC):

$$DBOC = DBOCo e^{\frac{-k_d x}{V}}$$

$$DBOC = (4,57 * 2,718)^{\frac{-0,125 * X}{(0,4 * 86400)}}$$

Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada (DBON):

$$DBON = DBONo e^{\frac{-k_N x}{V}}$$

$$DBON = (8,8 * 2,718)^{\frac{-0,074 * X}{(0,4 * 86400)}}$$

Déficit de oxígeno disuelto (D):

$$D = D_0 e^{\frac{-k_a x}{v}} + \frac{k_d DBO_0}{k_a - k_d} \left(e^{\frac{-k_d x}{v}} - e^{\frac{-k_a x}{v}} \right)$$

$$D = 2,1 * e^{\frac{-0,112 * X}{0,4+86400}} + \frac{0,125 * 4,57}{0,112 - 0,125} * \left(e^{\frac{-0,125 * X}{0,4+86400}} - e^{\frac{-0,112 * X}{0,4+86400}} \right)$$

Estas ecuaciones generadas son propias del Tramo 1 Dos Puentes – Quebrada Mónica, debido a que las constantes cinéticas utilizadas han sido obtenidas de forma experimental en el Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad Técnica Particular de Loja.

Empleando las ecuaciones 4.14, 4.15 y 4.16 en el Tramo 1 que posee una distancia de 5858.52m, se tiene la siguiente modelación:

Modelación del OD, DBOC y DBON

Tabla 27. Modelación del OD, DBOC y DBON

MODELO					
X (m)	t (días)	D (mg/l)	OD (mg/l)	DBOC (mg/l)	DBON (mg/l)
0	0,00	2,0703	8,4297	4,5684	8,7782
100	0,00	2,0713	8,4287	4,5667	8,7763
200	0,01	2,0723	8,4277	4,5650	8,7744
300	0,01	2,0733	8,4267	4,5634	8,7725
400	0,01	2,0743	8,4257	4,5617	8,7706
500	0,01	2,0753	8,4247	4,5601	8,7687
600	0,02	2,0762	8,4238	4,5584	8,7668
700	0,02	2,0772	8,4228	4,5568	8,7649
800	0,02	2,0782	8,4218	4,5551	8,7630
900	0,03	2,0792	8,4208	4,5535	8,7611
1000	0,03	2,0801	8,4199	4,5518	8,7592
1100	0,03	2,0811	8,4189	4,5502	8,7573
1200	0,03	2,0821	8,4179	4,5485	8,7554
1300	0,04	2,0831	8,4169	4,5469	8,7536
1400	0,04	2,0840	8,4160	4,5452	8,7517
1500	0,04	2,0850	8,4150	4,5436	8,7498
1600	0,05	2,0860	8,4140	4,5419	8,7479
1700	0,05	2,0870	8,4130	4,5403	8,7460
1800	0,05	2,0879	8,4121	4,5387	8,7441
1900	0,05	2,0889	8,4111	4,5370	8,7422

...Sigue

MODELO					
X (m)	t (dias)	D (mg/l)	OD (mg/l)	DBOC (mg/l)	DBON (mg/l)
2000	0,06	2,0899	8,4101	4,5354	8,7403
2100	0,06	2,0908	8,4092	4,5337	8,7384
2200	0,06	2,0918	8,4082	4,5321	8,7366
2300	0,07	2,0928	8,4072	4,5304	8,7347
2400	0,07	2,0937	8,4063	4,5288	8,7328
2500	0,07	2,0947	8,4053	4,5272	8,7309
2600	0,08	2,0957	8,4043	4,5255	8,7290
2700	0,08	2,0966	8,4034	4,5239	8,7271
2800	0,08	2,0976	8,4024	4,5222	8,7252
2900	0,08	2,0986	8,4014	4,5206	8,7233
3000	0,09	2,0995	8,4005	4,5190	8,7215
3100	0,09	2,1005	8,3995	4,5173	8,7196
3200	0,09	2,1014	8,3986	4,5157	8,7177
3300	0,10	2,1024	8,3976	4,5140	8,7158
3400	0,10	2,1033	8,3967	4,5124	8,7139
3500	0,10	2,1043	8,3957	4,5108	8,7120
3600	0,10	2,1052	8,3948	4,5091	8,7102
3700	0,11	2,1062	8,3938	4,5075	8,7083
3800	0,11	2,1072	8,3928	4,5059	8,7064
3900	0,11	2,1081	8,3919	4,5042	8,7045
4000	0,12	2,1091	8,3909	4,5026	8,7026
4100	0,12	2,1100	8,3900	4,5010	8,7008
4200	0,12	2,1110	8,3890	4,4994	8,6989
4300	0,12	2,1119	8,3881	4,4977	8,6970
4400	0,13	2,1128	8,3872	4,4961	8,6951
4500	0,13	2,1138	8,3862	4,4945	8,6932
4600	0,13	2,1147	8,3853	4,4928	8,6914
4700	0,14	2,1157	8,3843	4,4912	8,6895
4800	0,14	2,1166	8,3834	4,4896	8,6876
4900	0,14	2,1176	8,3824	4,4880	8,6857
5000	0,14	2,1185	8,3815	4,4863	8,6839
5100	0,15	2,1195	8,3805	4,4847	8,6820
5200	0,15	2,1204	8,3796	4,4831	8,6801
5300	0,15	2,1213	8,3787	4,4814	8,6782
5400	0,16	2,1223	8,3777	4,4798	8,6764
5500	0,16	2,1232	8,3768	4,4782	8,6745
5600	0,16	2,1241	8,3759	4,4766	8,6726

...Sigue

MODELO					
X (m)	t (días)	D (mg/l)	OD (mg/l)	DBOC (mg/l)	DBON (mg/l)
5700	0,16	2,1251	8,3749	4,4750	8,6707
5800	0,17	2,1260	8,3740	4,4733	8,6689
5858,517	0,17	2,1266	8,3734	4,4724	8,6678

Fuente: Autora

Esta tabla muestra el comportamiento del OD, DBOC y DBON cada 100 m de distancia a lo largo del Tramo 1 y al llegar a la distancia final del tramo los valores obtenidos se convertirán en los valores iniciales para la modelación del siguiente tramo.

4.3.8. Condiciones críticas del modelo.

Se puede determinar el tiempo crítico o lugar donde se presentan los niveles mínimos de oxígeno cuando se tiene una descarga con la siguiente ecuación:

$$t_c = \frac{1}{(k_a - k_d)} * \ln\left\{\frac{k_a}{k_d} \left[1 - \frac{D_o(k_a - k_d)}{k_d X DBO_o}\right]\right\} \quad (4.17)$$

Dónde:

t_c = Tiempo crítico

D_o = Déficit inicial de oxígeno disuelto

DBO_o = Demanda bioquímica de oxígeno en el balance de materia

k_d = Constante de desoxigenación en la corriente receptora

k_a = Constante de reaireación

La distancia crítica está dada:

$$X_c = V * t_c \quad (4.18)$$

Dónde:

X_c = Distancia crítico

V = Velocidad

t_c = Tiempo crítico

Se denominará máximo Déficit crítico de oxígeno disuelto:

$$D_c = \frac{k_d}{k_a} DBO_o e^{-k_d t_c}$$

(4.19)

Dónde:

D_c = Déficit de oxígeno disuelto crítico

DBO_o = Demanda bioquímica de oxígeno en el balance de materia

k_d = Constante de desoxigenación en la corriente receptora

k_a = Constante de reaireación

t_c = Tiempo crítico

El oxígeno disuelto crítico (OD_c) o concentración mínima se alcanza después de que una descarga de aguas residuales entra a una corriente de agua.

$$OD_c = O_s - D_c$$

(4.20)

Dónde:

OD_c = Oxígeno disuelto crítico

O_s = Saturación del oxígeno disuelto

D_c = Déficit de oxígeno disuelto crítico

La demanda bioquímica de oxígeno se encuentra sujeta a un proceso de decaimiento de primer orden (Metcalf, 1995), permitiendo estimar la DBO en el punto crítico.

$$DBO_c = DBO_o x e^{(-k_d x t_c)}$$

(4.22)

Dónde:

DBO_c = Demanda bioquímica de oxígeno crítica

DBO_o = Demanda bioquímica de oxígeno en el balance de materia

K_d = Constante de desoxigenación en la corriente receptora

T_c = Tiempo crítico

ECUACIONES PARA LAS CONDICIONES CRÍTICAS DEL MODELO EN EL TRAMO 1 - DOS PUENTES QUEBRADA MÓNICA

Las ecuaciones de las condiciones críticas que se obtuvieron para nuestro modelo son:

Tiempo crítico (Tc):

$$t_c = \frac{1}{(k_a - k_d)} * \ln\left\{\frac{k_a}{k_d} \left[1 - \frac{D_o(k_a - k_d)}{k_d \times DBO_o}\right]\right\}$$

$$t_c = \frac{1}{(0,112 - 0,125)} * \ln\left\{\frac{0,112}{0,125} \left[1 - \frac{2,1(0,112 - 0,125)}{0,125 * 4,57}\right]\right\}$$

$$t_c = 4,92 \text{ días}$$

Distancia crítica (Xc):

$$X_c = V * t_c$$

$$X_c = (40 * 4,92)$$

$$X_c = 196,68m$$

Déficit crítico de Oxígeno Disuelto (Dc):

$$D_c = \frac{k_d}{k_a} DBO_o e^{-k_d * t_c}$$

$$D_c = \frac{0,125}{0,112} 4,57 e^{-0,125 * 4,92}$$

$$D_c = 2,766$$

Oxígeno Disuelto Crítico (ODc):

$$OD_c = O_s - D_c$$

$$OD_c = 10,5 - 2,766$$

$$OD_c = 7,73 \text{ mg/l}$$

Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea (DBOCc):

$$DBOC_c = DBOC_o * e^{(-k_d * t_c)}$$

$$DBOC_c = 4,57 * e^{(-0,125 * 4,92)}$$

$$DBOC_c = 2,467 \text{ mg/l}$$

Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada (DBONc):

$$DBONc = DBONo * e^{(-kd*tc)}$$

$$DBONc = 8,8 * e^{(-0,125*4,92)}$$

$$DBONc = 4,741mg/l$$

Aplicando las ecuaciones 4.18, 4.19, 4.20, 4.21, 4.22, las condiciones críticas del modelo son:

Tabla 28. Resultados de las Condiciones Críticas del modelo en el Tramo 1- Dos Puentes

CONDICIONES CRÍTICAS					
tc (días)	Xc (m)	Dc (mg/l)	ODc (mg/l)	DBOc (mg/l)	DBON (mg/l)
4,9171	196,78	2,7668	7,7332	2,4678	4,7418

Fuente: La autora

En la tabla 28 se observa los valores en las condiciones críticas del modelo en el Tramo 1 – Dos Puentes Quebrada Mónica, los cuales nos sirven como referencia para tomar medidas en la restauración del tramo.

4.3.9. Calibración del modelo.

La calibración del modelo consiste en ajustar las constantes y coeficientes incluidos en el modelo de tal manera que este sea capaz de reproducir la calidad del agua en la corriente con una alta confiabilidad (Ramírez, 2011).

Se considera que un modelo ha sido validado cuando todos los datos de entrada de las fronteras y los parámetros de calibración son medidos en campo y las respuestas de las simulaciones reproducen con precisión los datos de campo (Canale, 1995).

Por lo antes mencionado la calibración para nuestro modelo se realiza en base a un grupo de datos de las fronteras del mismo, se efectúan simulaciones hasta lograr reproducir con precisión y confiabilidad las series de datos observados en campo en diferentes secciones de control, por medio del ajuste de los parámetros físicos y numéricos del modelo, el objetivo de la calibración es la apreciación del modelo como herramienta de toma de decisiones.

Para la calibración del modelo, se simula cada uno de los parámetros en función del otro, obteniendo con ello una correlación, la misma que se utiliza como medida del grado de asociación lineal que existe entre dos variables aleatorias. A continuación se presenta la calibración del Tramo 1 con todos los parámetros empleados en su modelación:

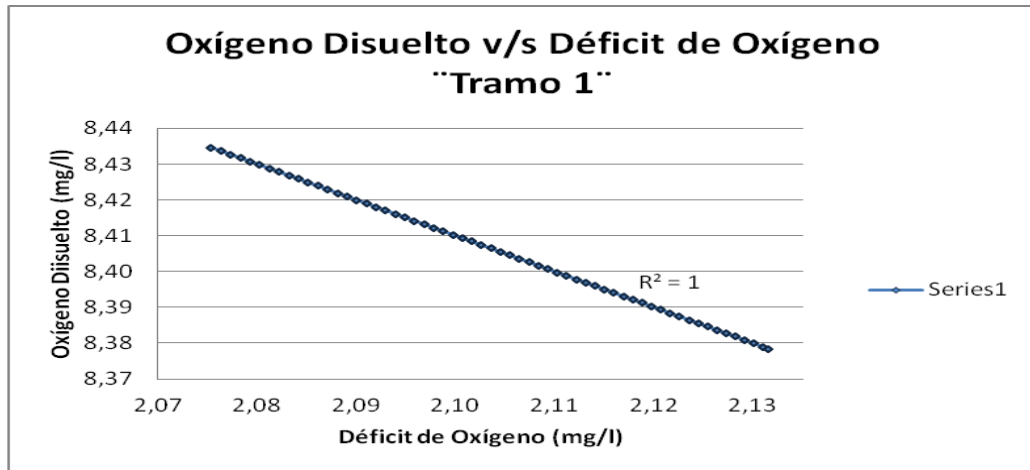


Figura 7: Simulación del Oxígeno Disuelto v/s Déficit de Oxígeno en el Tramo 1.
Fuente: Autora.

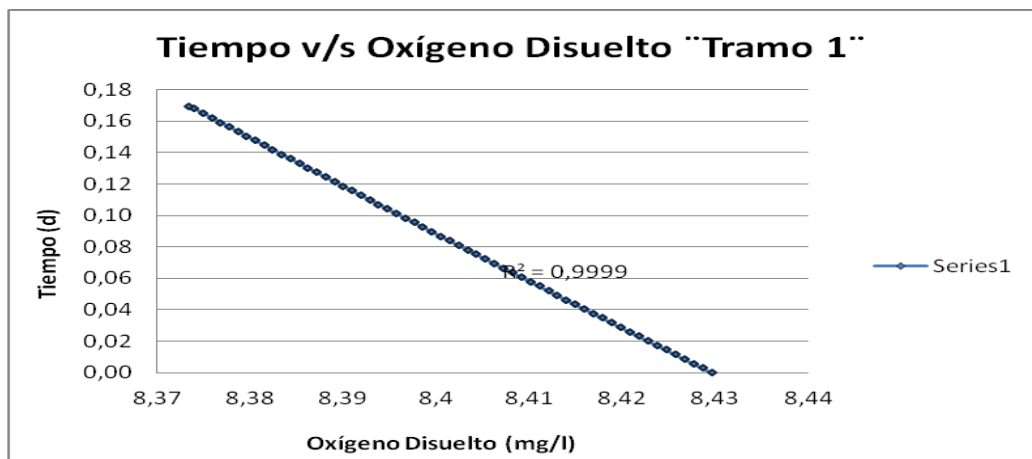


Figura 8: Simulación del Tiempo v/s Oxígeno Disuelto en el Tramo 1.
Fuente: Autora.

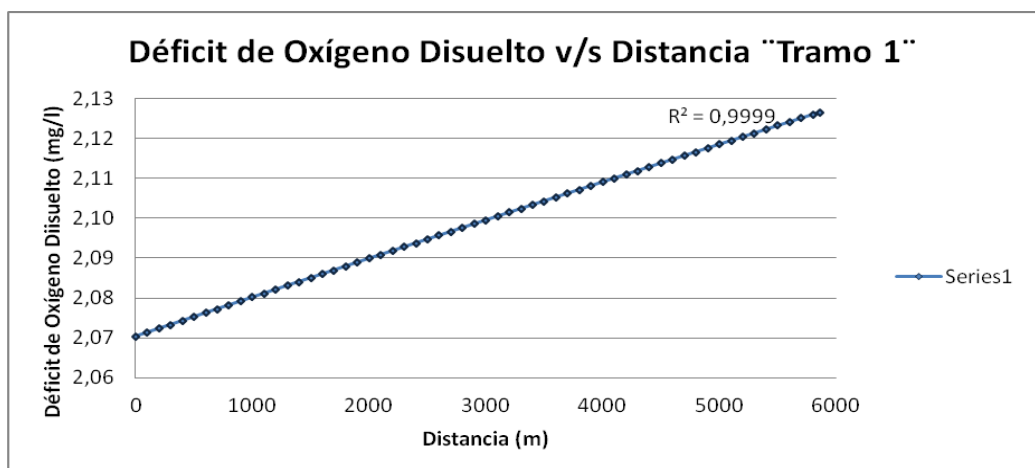


Figura 9: Simulación del Tiempo v/s Oxígeno Disuelto en el Tramo 1.
Fuente: Autora.

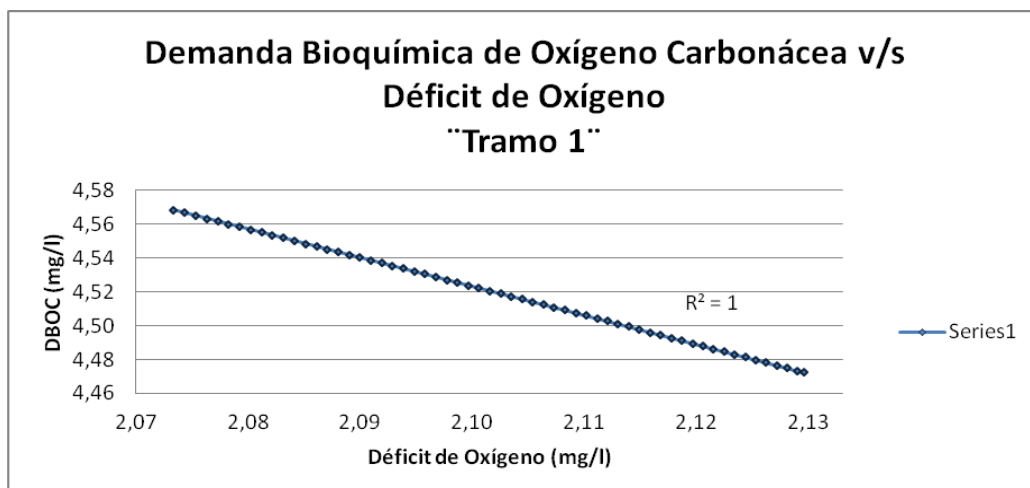


Figura 10: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea v/s Déficit de Oxígeno en el Tramo 1.
Fuente: Autora.

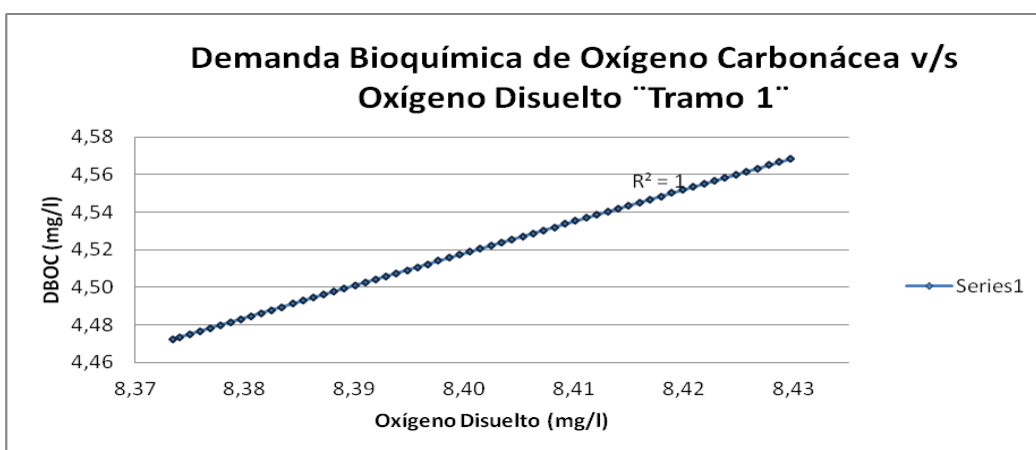


Figura 11: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea v/s Oxígeno Disuelto en el Tramo 1.
Fuente: Autora.

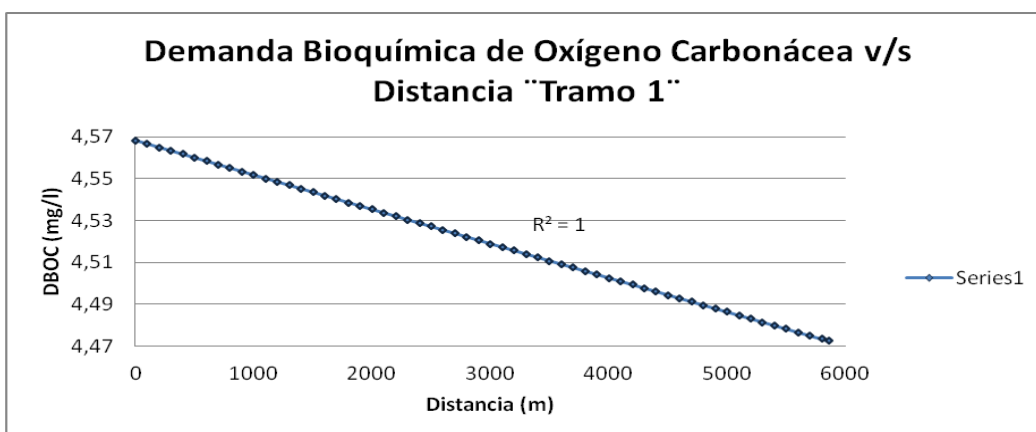


Figura 12: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea v/s Distancia en el Tramo 1.
Fuente: Autora.

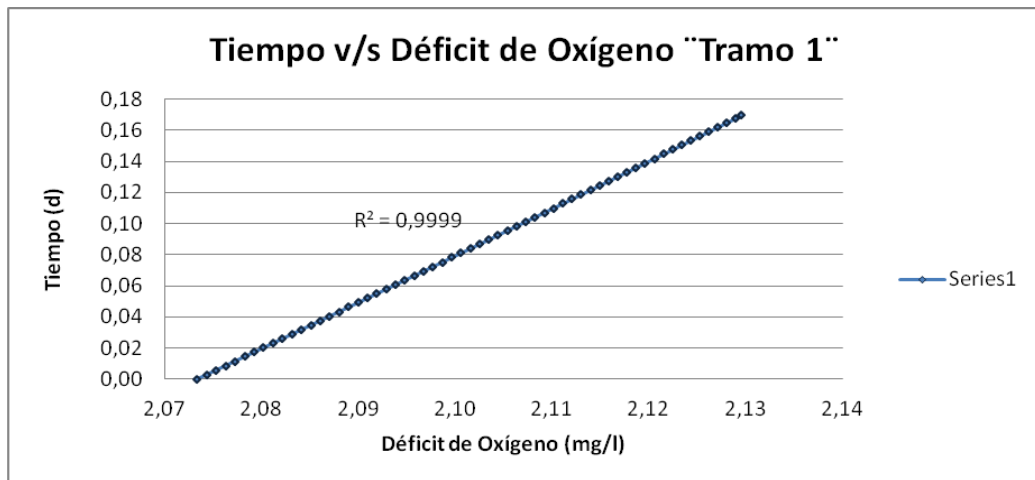


Figura 13: Simulación del Tiempo v/s Déficit de Oxígeno Disuelto en el Tramo 1.
Fuente: Autora.

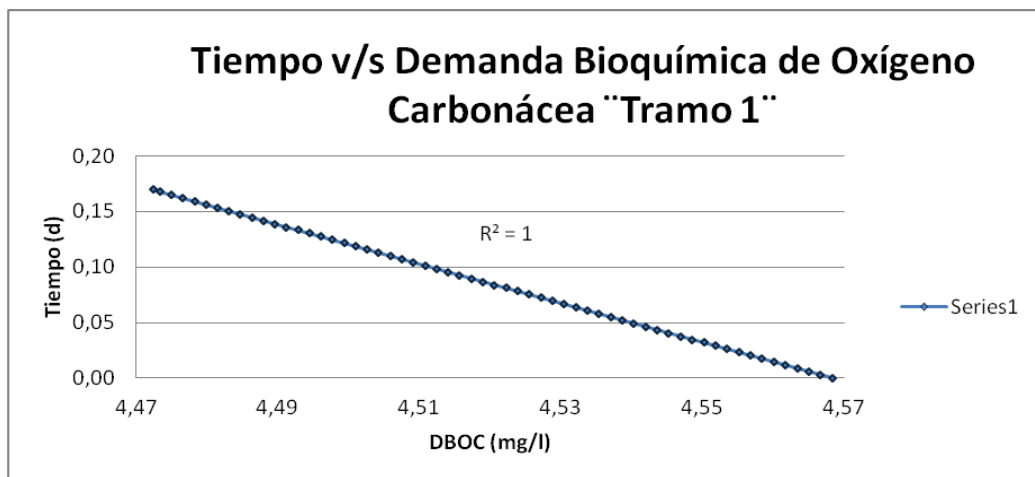


Figura 14: Simulación del Tiempo v/s Demanda Bioquímica de Oxígeno en el Tramo 1
Fuente: Autora.

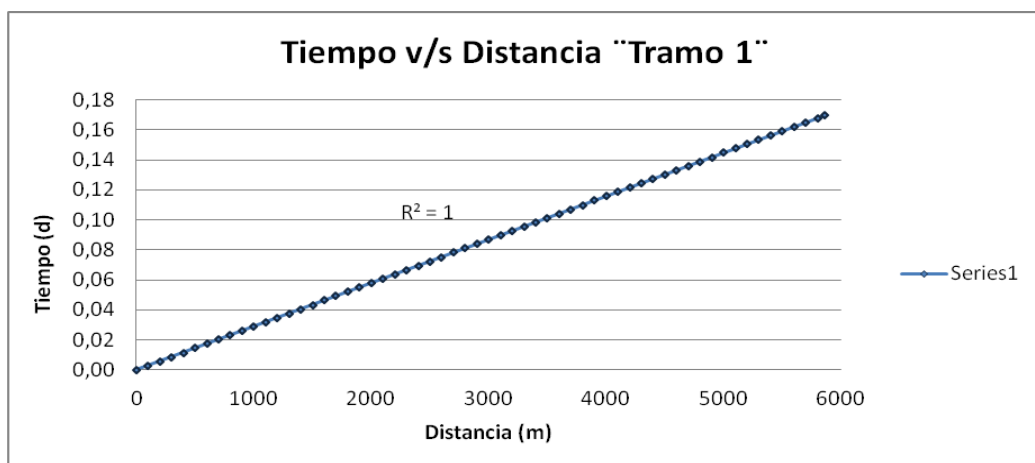


Figura 15: Simulación del Tiempo v/s Distancia en el Tramo 1.
Fuente: Autora.

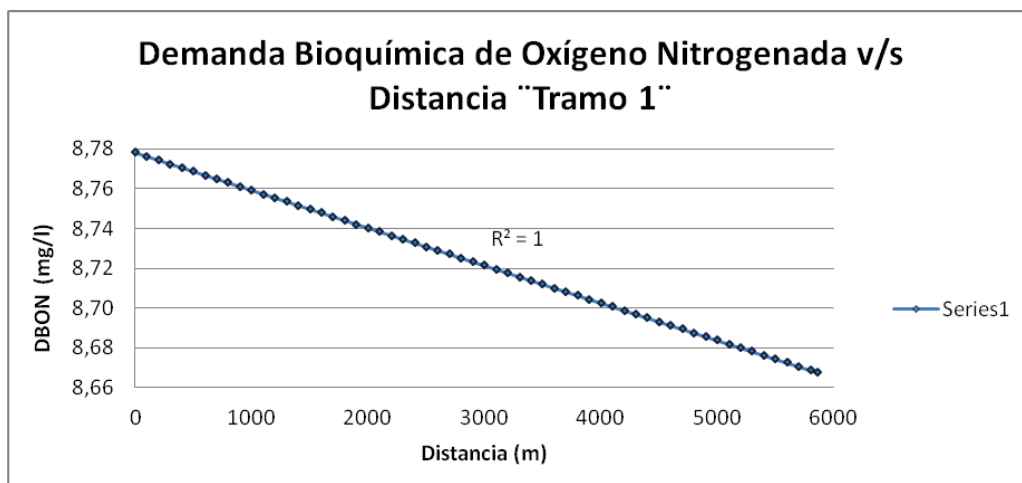


Figura 16: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada v/s Distancia en el Tramo 1.
Fuente: Autora.

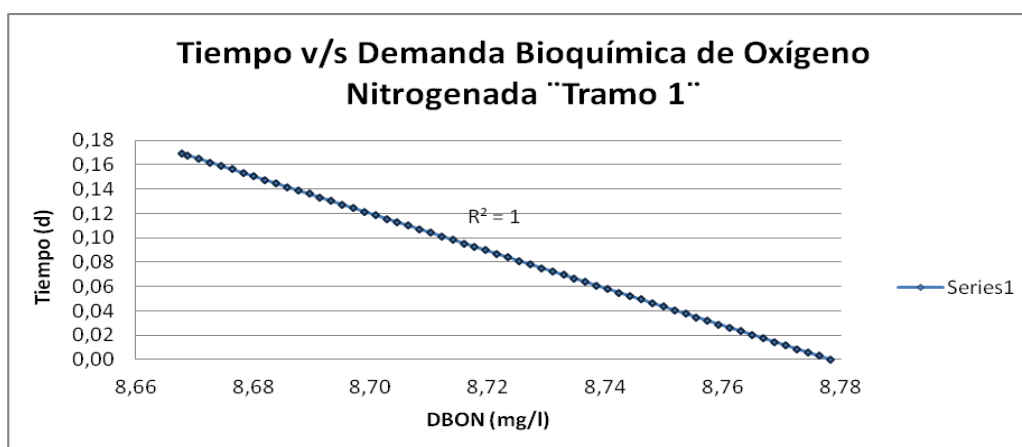


Figura 17: Simulación del Tiempo v/s Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada en el Tramo 1.
Fuente: Autora.

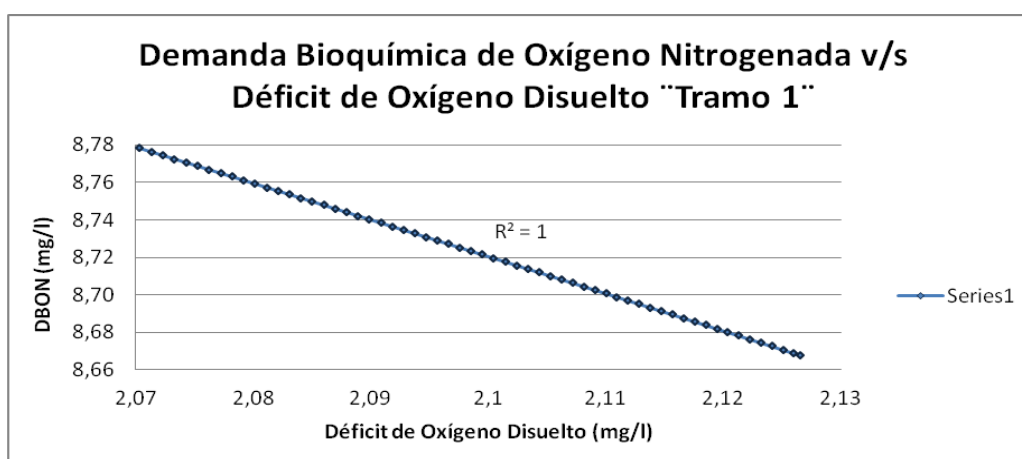


Figura 18: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada v/s Déficit de Oxígeno Disuelto en el Tramo 1.
Fuente: Autora.

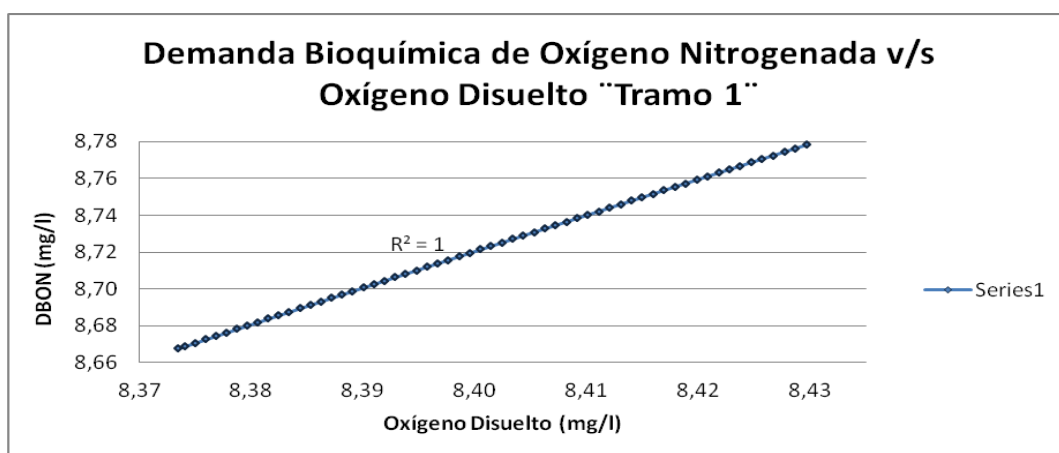


Figura 19: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada v/s Oxígeno Disuelto en el Tramo 1.

Fuente: Autora.

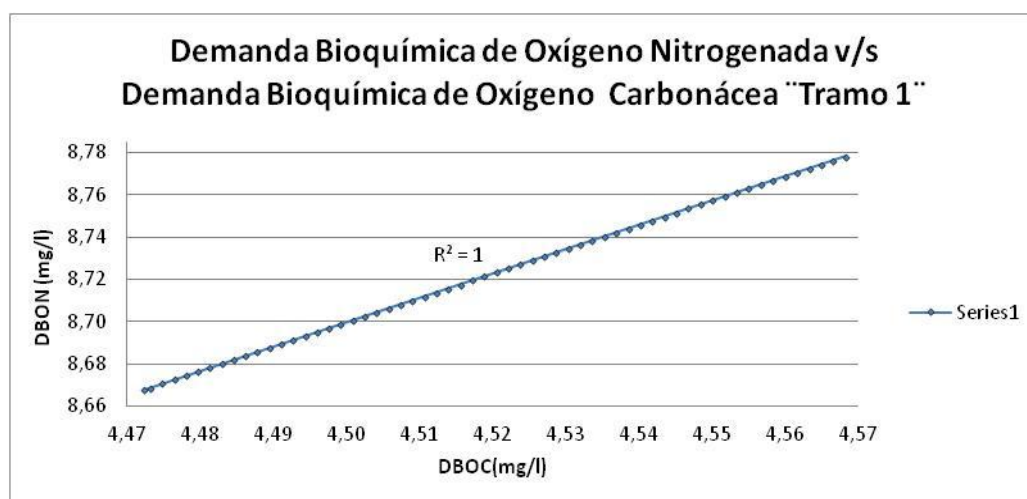


Figura 20: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada v/s Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea en el Tramo 1.

Fuente: Autora.

Los resultados de estas simulaciones nos muestran que el valor de R^2 oscila entre 0,99 y 1, por tanto el grado de asociación entre variables es mayor y se tiene una alta confiabilidad del modelo. Estas simulaciones han permitido conformar la siguiente matriz de correlación.

Matriz de Correlación

D (mg/l)	0,99				
OD (mg/l)	0,99	1			
DBOC (mg/l)	1	1	1		
DBON (mg/l)	1	1	1	1	
t (d)	1	0,99	0,99	1	1
	X (m)	D (mg/l)	OD (mg/l)	DBOC (mg/l)	DBON (mg/l)

Correlación negativa
 Correlación positiva

En la matriz se observa una correlación alta positiva entre variables de color negro, es decir, que la relación es directamente proporcional al aumentar una variable, la otra tiende a aumentar y las variables marcadas de rojo poseen una relación inversa o negativa, es decir que al aumentar una variable la otra tiende a disminuir.

Esto se debe al comportamiento de cada parámetro a lo largo del cauce, algunos tienden a aumentar y mejorar su calidad, mientras otros tienden a disminuir, como es el caso del OD en función de su distancia, este por medio de la reaeración se va mejorando y aumenta su calidad mientras que su déficit en el agua y en función de su distancia tiende a disminuir.

4.3.10. Verificación del modelo.

Para la verificación del modelo Steven Chapra (1997) propone un método cuantificable, definiéndose como error a la diferencia entre la concentración del contaminante calculada por el modelo y la concentración del contaminante medida en el campo.

$$Er = \sum(Cc,i - Cm,i) \tag{4.23}$$

Dónde:

Er % = Validación del modelo

Cc,i = Concentración del contaminante i calculada por el modelo.

Cm, i = Concentración del contaminante i medida en el campo.

En el Tramo 1 con una distancia de 5858.52m, el OD en función de la distancia presenta un error de 0.01% al iniciar el modelo y 0.67% en el final, estos porcentajes indican que el error es mínimo entre los resultados obtenidos en campo y el estimado por el modelo.

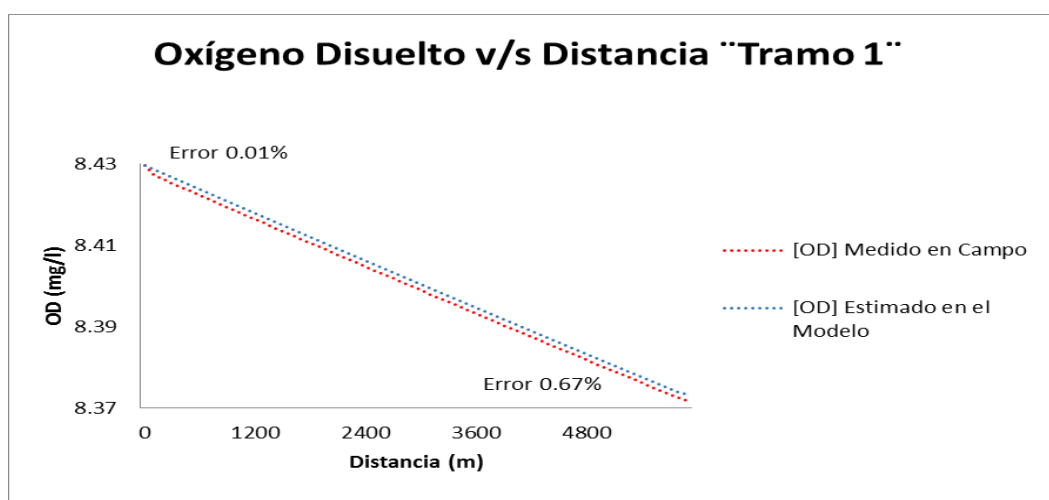


Figura 21: Simulación del Oxígeno Disuelto v/s Distancia en el Tramo 1 – Dos Puentes
Fuente: Autora

La demanda bioquímica de Oxígeno Carbonácea en el tramo 1 posee un error inicial de 0,04% y un error final de 2.10%, la concentración medida en campo es de 4,57mg/l y la estimada por el modelo de 4,47mg/l; la diferencia como se puede observar entre los resultados medidos en campo con los estimados en el modelo es pequeña siendo esta modelada en una distancia de 5858.52 m

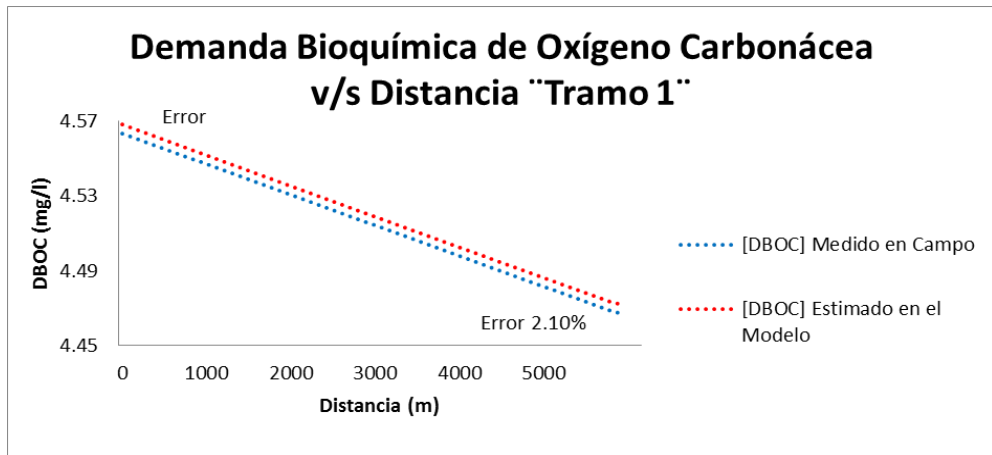


Figura 22: Simulación de la demanda bioquímica de oxígeno carbonácea v/s distancia en el tramo 1 – Dos Puentes
Fuente: Autora

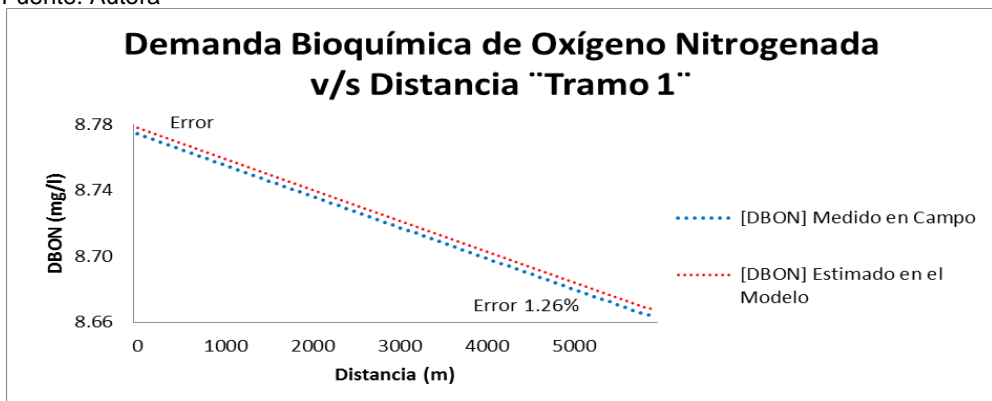


Figura 23: Simulación de la demanda bioquímica de oxígeno nitrogenada v/s distancia en el tramo 1 – Dos Puentes.
Fuente: Autora

La demanda bioquímica de Oxígeno Nitrogenada en el tramo 1 posee un error inicial de 0,02% y un error final de 1.26%, la concentración medida en campo es de 8,80mg/l y la estimada por el modelo de 8,67mg/l.

4.3.11. Simulación del tramo 2 – Punzara.

El Tramo 2 está conformado por los puntos P2 Punzara y P3 Parque Lineal, posee una longitud de 1276.9m.

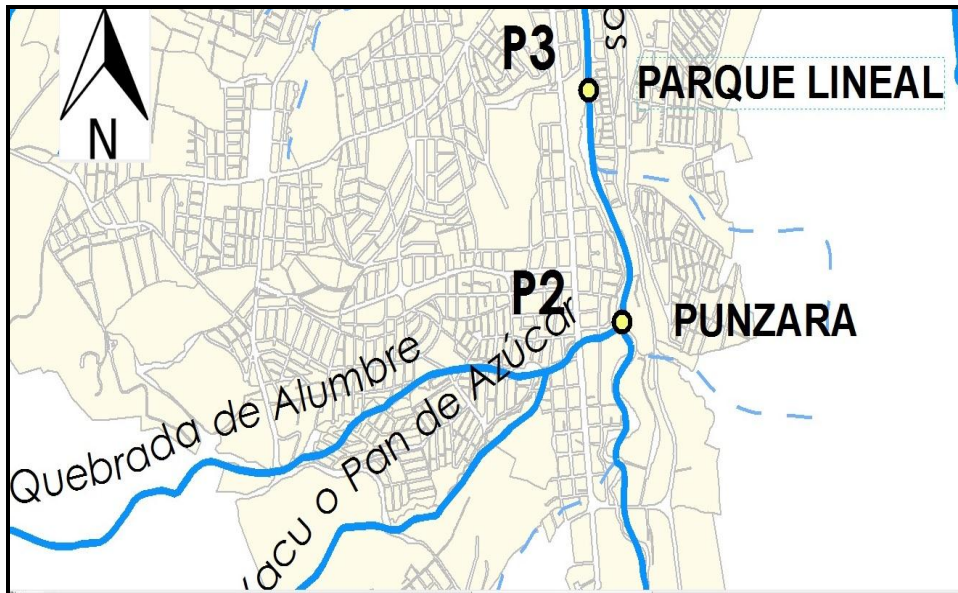


Figura 24.: Tramo 2- Punzara.
Fuente: Autora

4.3.12. Datos iniciales para el modelo de Streeter & Phepls

Tabla 299. Resultados de las Condiciones Críticas del modelo en el Tramo 2- Punzara

DATOS DEL TRAMO											
QR	QD	ODR	ODD	DBOCR	DBOCD	DBONR	DBOND	TR agua	TD agua	Velocidad	Profundidad
m3/s	m3/s	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	°C	°C	m/s	M
1,60	0,16	8,26	7,37	5,25	18,75	7,38	28,75	15,10	16,78	0,53	0,36

Fuente: La autora

Tabla 30. Balance de materia

Qo	1,76	m3/s
ODo	8,18	mg/l
DBOo	6,50	mg/l
To	15,3	°C
DBOn	9,4	mg/l

Fuente: La autora

4.3.13. Déficit de oxígeno disuelto

$$D_o = O_s - OD_o$$

OS	9,9
Do =	1,7

Fuente: La autora

4.3.14. Cálculo de constantes de reacción en el tramo

Tabla 31. Factores de obtención de constantes cinéticas reales

Factores de obtención de constantes cinéticas reales	
θ_a	1,024
θ_d	1,047

Fuente: La autora

Tabla 32. Constantes de reacción en el Tramo 2 - Punzara

Constante de reaireación k_a		Constante de oxidación k_d		Constante de nitrificación k_n	
Owens y Gibbs					
K_a	Corrección k_a por temperatura	K_d	Corrección k_d por temperatura	K_n	Corrección k_n por temperatura
0,100	0,090	0,156	0,126	0,206	0,143

Fuente: La autora

4.3.15. Perfiles de OD, DBOC, DBON

Longitud del tramo:

1276,93 m.

4.3.15.1. Resultado del cálculo del modelo en el Tramo 2. Punzara.

Tabla 33. Modelación del OD, DBOC y DBON

MODELO						Validación		
X (m)	t (días)	D (mg/l)	OD (mg/l)	DBOC (mg/l)	DBON (mg/l)	Error OD %	Error DBOC %	Error DBON %
0	0,000	1,7207	8,1793	6,5047	9,3616	0,00	0,00	0,00
100	0,002	1,7221	8,1779	6,5029	9,3587	0,02	0,03	0,03
200	0,004	1,7236	8,1764	6,5011	9,3557	0,04	0,05	0,06
300	0,007	1,7250	8,1750	6,4993	9,3528	0,05	0,08	0,09

...Sigue

MODELO						Validación		
X (m)	t (días)	D (mg/l)	OD (mg/l)	DBOC (mg/l)	DBON (mg/l)	Error OD %	Error DBOC %	Error DBON %
400	0,009	1,7265	8,1735	6,4976	9,3499	0,07	0,11	0,12
500	0,011	1,7279	8,1721	6,4958	9,3470	0,09	0,14	0,16
600	0,013	1,7293	8,1707	6,4940	9,3441	0,11	0,16	0,19
700	0,015	1,7308	8,1692	6,4922	9,3411	0,12	0,19	0,22
800	0,017	1,7322	8,1678	6,4904	9,3382	0,14	0,22	0,25
900	0,020	1,7337	8,1663	6,4887	9,3353	0,16	0,25	0,28
1000	0,022	1,7351	8,1649	6,4869	9,3324	0,18	0,27	0,31
1100	0,024	1,7365	8,1635	6,4851	9,3295	0,19	0,30	0,34
1200	0,026	1,7380	8,1620	6,4833	9,3266	0,21	0,33	0,37
1276,93	0,028	1,7391	8,1609	6,4819	9,3243	0,23	0,35	0,40

Fuente: La autora

Los resultados del OD, DBOC y DBON en la distancia 1276,93 corresponden a los datos de partida de la modelación del siguiente tramo.

Tabla 34. Resultados de las condiciones críticas del modelo en el Tramo 2 - Punzara

CONDICIONES CRÍTICAS					
tc (días)	Xc (m)	Dc (mg/l)	ODc (mg/l)	DBOc (mg/l)	DBON (mg/l)
7,343	336,24	3,619	6,281	2,586	3,722

Fuente: La autora

4.3.16. Calibración del Modelo

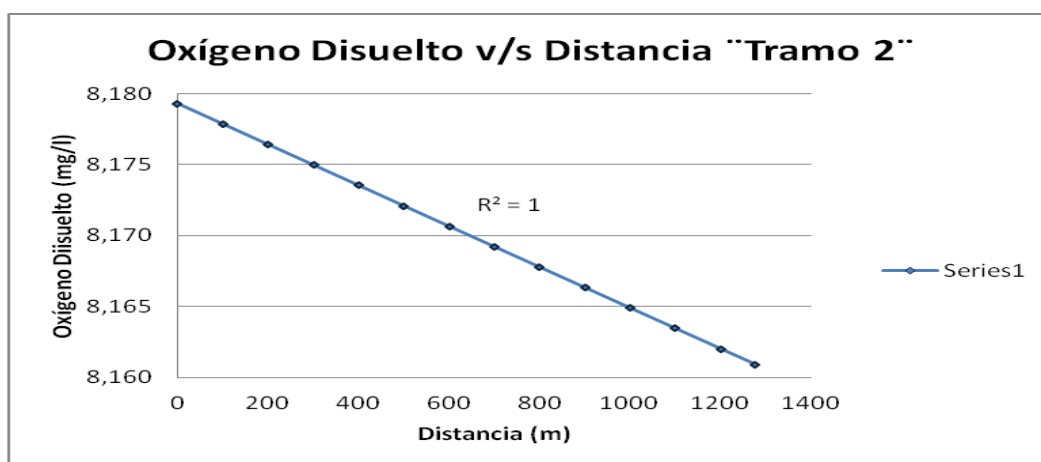


Figura 25: Simulación del Oxígeno Disuelto v/s Distancia en el Tramo 2.
Fuente: Autora.

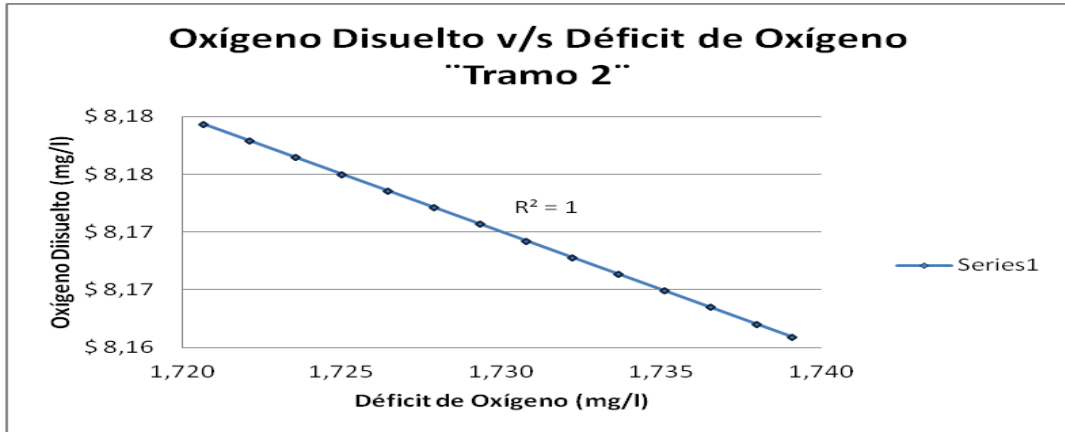


Figura 26: Simulación del Oxígeno Disuelto v/s Déficit de Oxígeno en el Tramo 2.
Fuente: Autora.

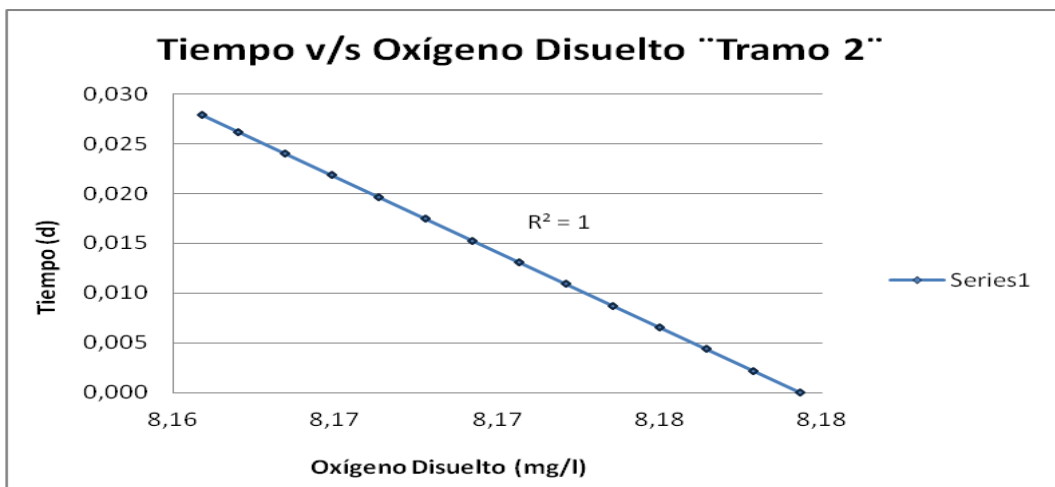


Figura 27: Simulación del Tiempo v/s Oxígeno Disuelto en el Tramo 2.
Fuente: Autora.

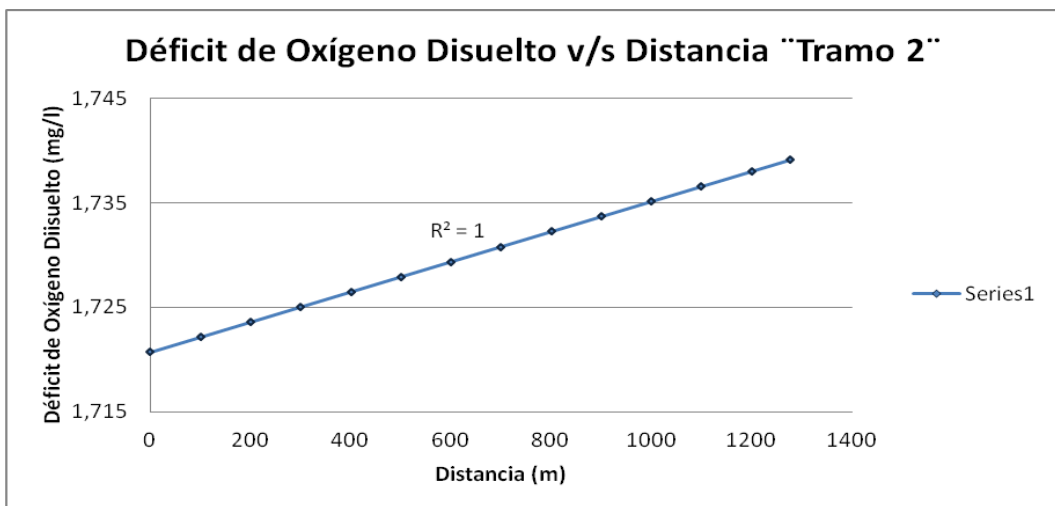


Figura 28: Simulación del Oxígeno Disuelto v/s Déficit de Oxígeno en el Tramo 2.
Fuente: Autora.

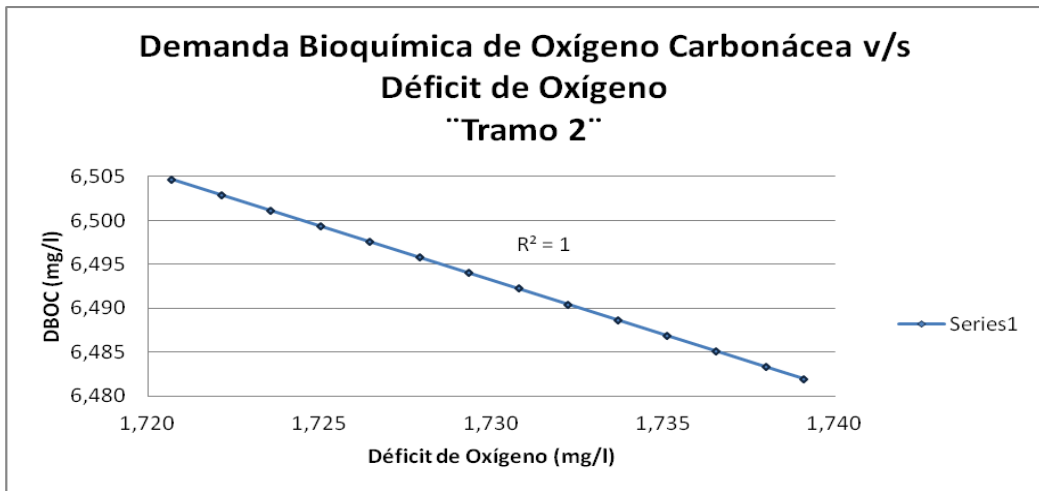


Figura 29: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea v/s Déficit de Oxígeno en el Tramo 2.
Fuente: Autora.

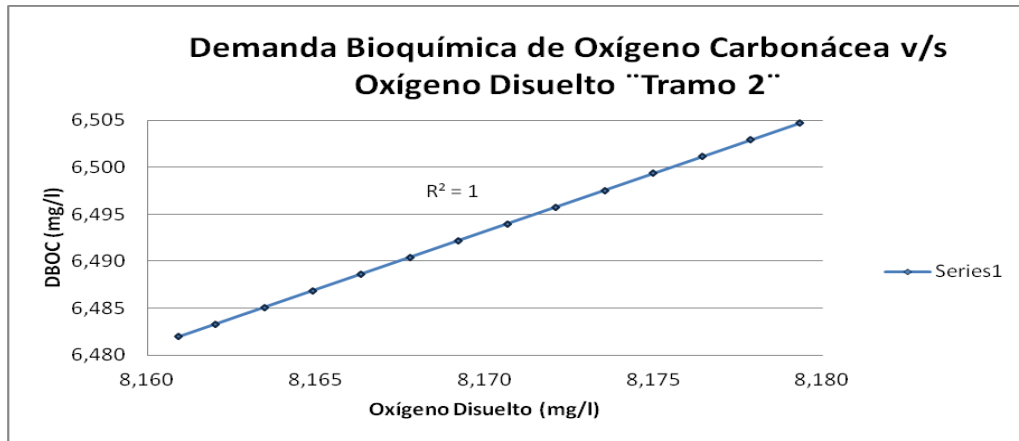


Figura 30: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea v/s Oxígeno Disuelto en el Tramo 2.
Fuente: Autora.

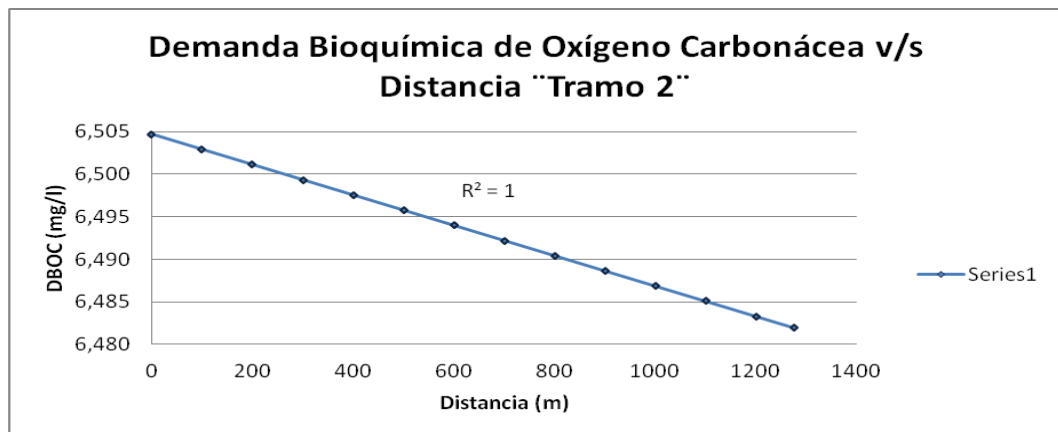


Figura 31: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea v/s Distancia en el Tramo 2.
Fuente: Autora.

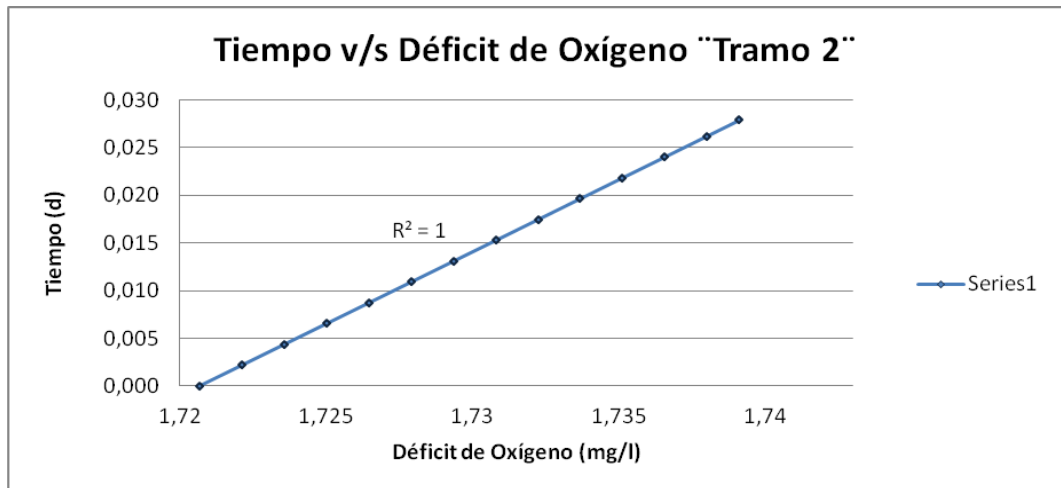


Figura 32: Simulación del Tiempo v/s Déficit de Oxígeno en el Tramo 2.
Fuente: Autora.

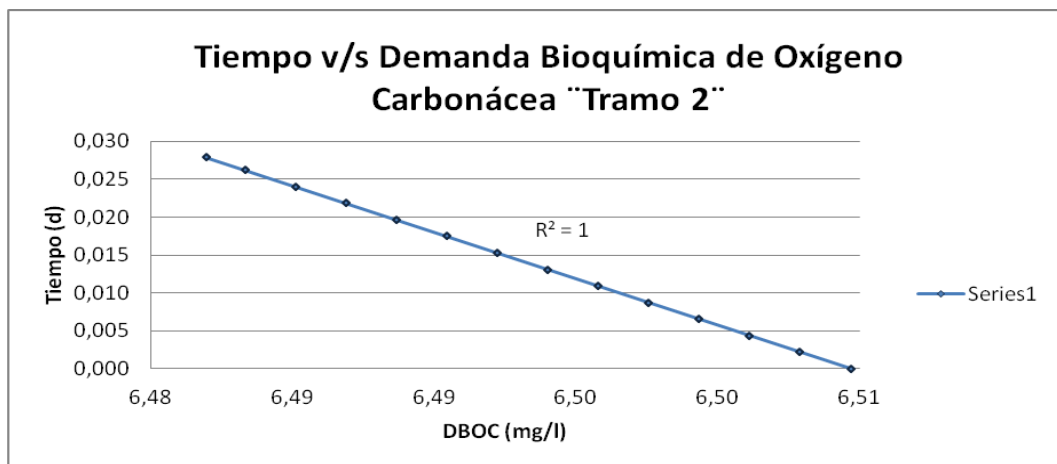


Figura 33: Simulación del Tiempo v/s Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea en el Tramo 2.
Fuente: Autora.

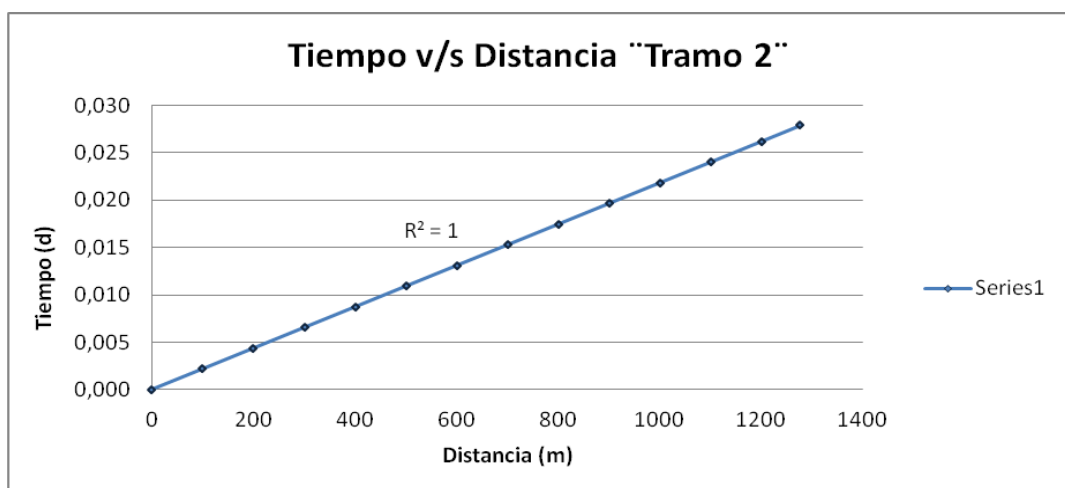


Figura 34: Simulación del Tiempo v/s Distancia en el Tramo 2.
Fuente: Autora.

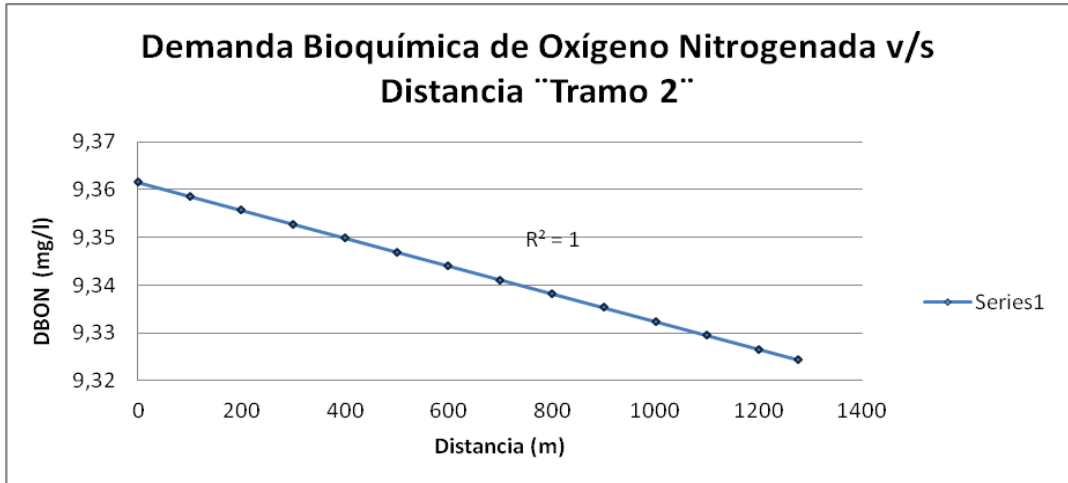


Figura 35: Simulación del Oxígeno Disuelto v/s Déficit de Oxígeno en el Tramo 2.
Fuente: Autora.

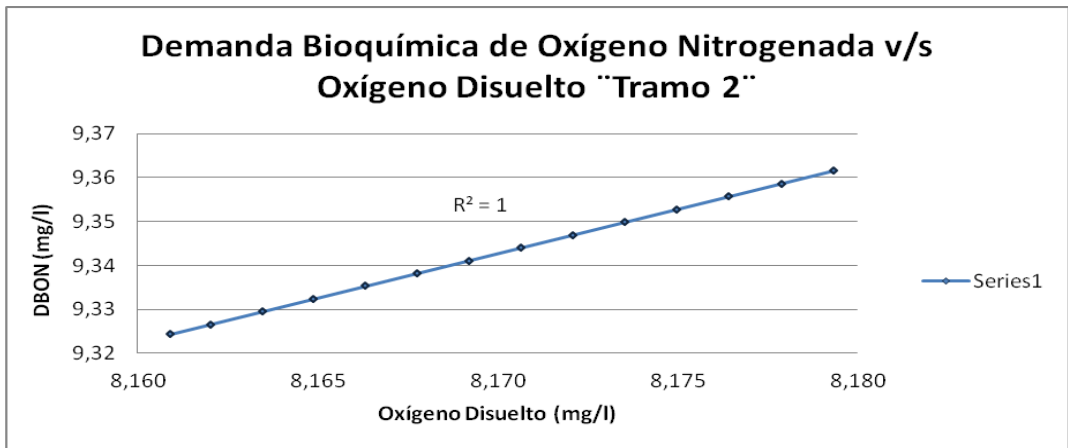


Figura 36: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada v/s Oxígeno Disuelto en el Tramo 2.
Fuente: Autora.

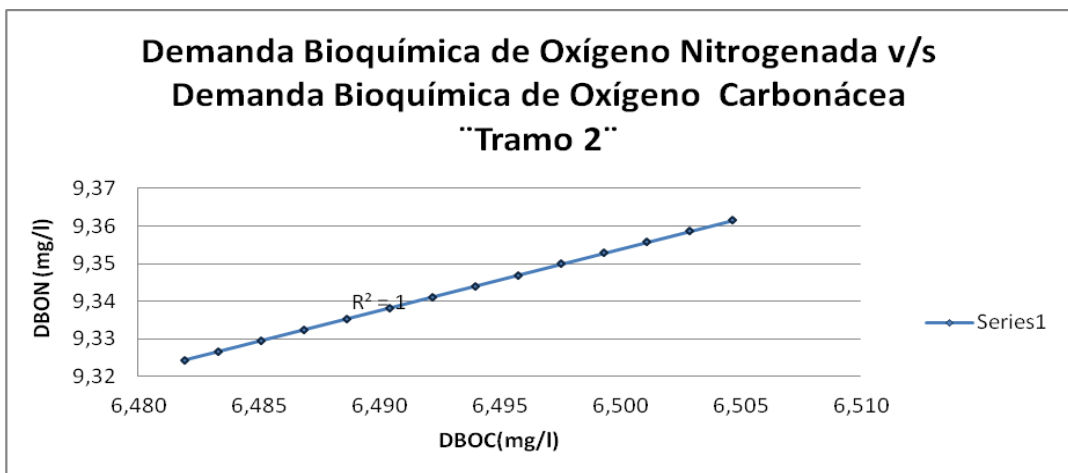


Figura 37: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada v/s Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea en el Tramo 2.
Fuente: Autora.

4.3.17. Matriz de Correlación

D (mg/l)	1				
OD (mg/l)	1	1			
DBOC (mg/l)	1	1	1		
DBON (mg/l)	1	1	1	1	
t (d)	1	1	1	1	1
	X (m)	D (mg/l)	OD (mg/l)	DBOC (mg/l)	DBON (mg/l)

correlación negativa
 correlación positiva

4.3.18. Verificación del Modelo

La simulación en el tramo 2 del OD en función de la distancia es:

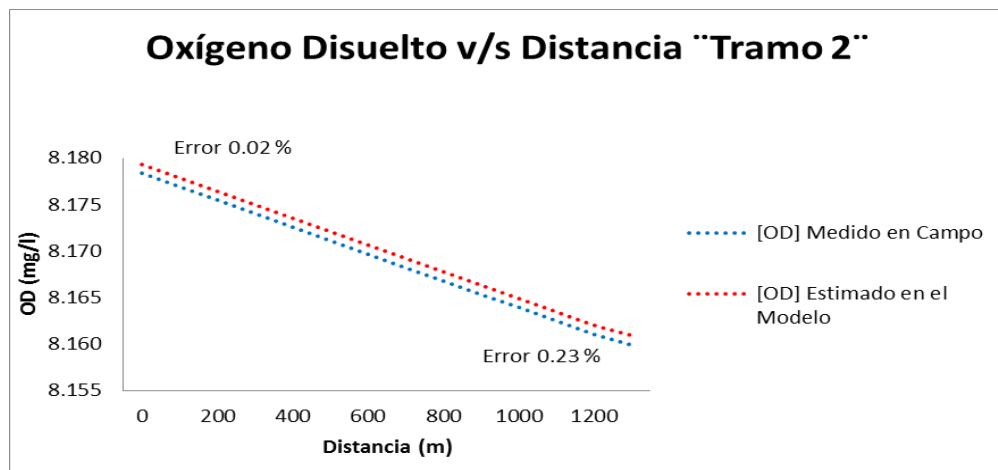


Figura 38: Simulación del Oxígeno Disuelto v/s Distancia en el Tramo 2 – Punzara.
Fuente: Autora.

La verificación en el Tramo 2 – Punzara es bastante buena con un error inicial de 0,02% y final de 0,23%, la concentración de Oxígeno Disuelto medido en campo es de 8,18 mg/l, mientras que estimado por el modelo es de 8,16 mg/l.

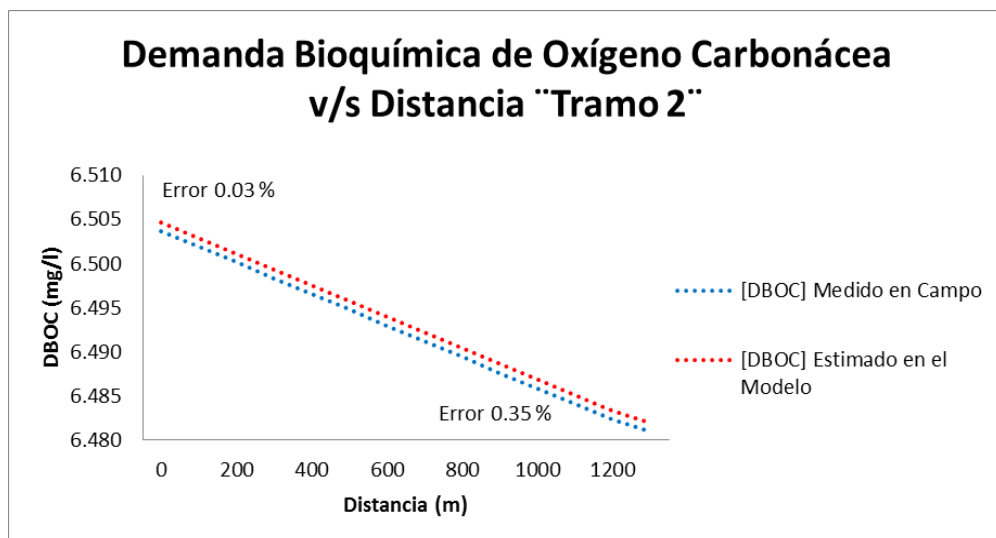


Figura 39: Simulación de la demanda bioquímica de oxígeno carbonácea v/s distancia en el tramo 2 – Punzara
Fuente: Autora.

Con respecto a la Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea en el tramo 2 se observa un error inicial de 0,03% y al final un error de 0,35%, la concentración medida en campo es de 6,50 mg/l y el estimado por el modelo es de 6.48 mg/l.

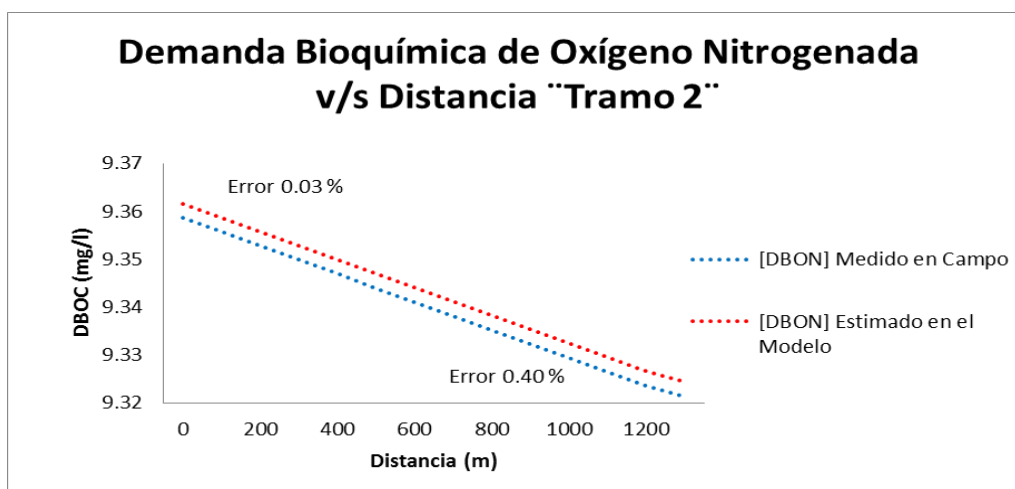


Figura 40: Simulación de la demanda bioquímica de oxígeno nitrogenada v/s distancia en el tramo 2 – Punzara.
Fuente: Autora.

La Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada tiene un error inicial de 0,03% y un final de 0,40%, la concentración medida en campo es de 9,40 mg/l y el estimado por el modelo de 9,32 mg/l.

4.3.18. Simulación del tramo 3 – Parque Lineal.

La simulación en el Tramo 3, se extiende desde el P3 ubicado en el Parque Lineal, hasta el P4 que se ubica en la Calle Catacocha; con una longitud de 938.36m.

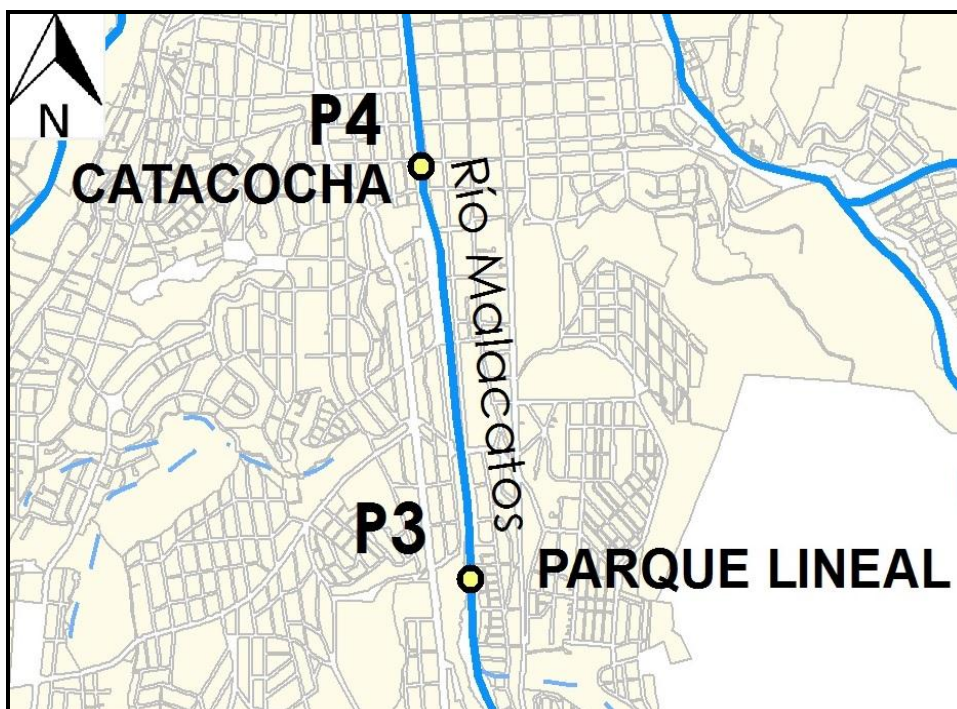


Figura 41: Tramo 3- Parque Lineal.
Fuente: Autora

4.3.19. Datos iniciales para el Modelo de Streeter & Phepls

Tabla 35. Datos del Tramo 3 – Parque Lineal

DATOS DEL TRAMO											
QR	QD	ODR	ODD	DBOCR	DBOCD	DBONR	DBOND	TR agua	TD agua	Velocidad	Profundidad
m3/s	m3/s	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	°C	°C	m/s	M
1,68	0,24	8,28	7,29	6,25	35,18	10,53	57,75	14,55	16,80	0,45	0,40

Fuente: La autora

Tabla 36. Balance de materia

Qo	1,91	m3/s
ODo	8,16	mg/l
DBOo	9,81	mg/l
To	14,8	°C
DBOn	16,3	mg/l

Fuente: La autora

4.3.20. Déficit de oxígeno disuelto - Do

$$D_o = O_s - OD_o$$

OS	10,1
Do =	1,9

Fuente: La autora

4.3.21. Cálculo de constantes de reacción en el tramo

Tabla 37. Factores de obtención de constantes cinéticas reales

Factores de obtención de constantes cinéticas reales	
ea	1,024
ed	1,047

Fuente: La autora

Tabla 38. Constantes cinéticas corregidas

Constante de reaireación ka		Constante de oxidación kd		Constante de nitrificación kn	
Owens y Gibbs					
Ka	Corrección ka por temperatura	Kd	Corrección kd por temperatura	Kn	Corrección kn por temperatura
0,132	0,112	0,17418	0,125	0,12977	0,07467158

Fuente: La autora

4.3.22. Perfiles de OD, DBOC, DBON

Longitud del tramo:

938,36 m.

4.3.23. Resultado del cálculo del modelo en el Tramo 3. Parque Lineal

Tabla 39. Modelación del OD, DBOC y DBON

MODELO						Validación		
X (m)	t (días)	D (mg/l)	OD (mg/l)	DBOC (mg/l)	DBON (mg/l)	Error OD %	Error DBOC %	Error DBON %
0	0,000	1,9402	8,1598	9,8077	16,3336	0,00	0,00	0,00
100	0,003	1,9428	8,1572	9,8048	16,3278	0,03	0,03	0,04
200	0,005	1,9455	8,1545	9,8018	16,3220	0,06	0,06	0,07
300	0,008	1,9481	8,1519	9,7988	16,3163	0,10	0,09	0,11
400	0,010	1,9507	8,1493	9,7959	16,3105	0,13	0,12	0,14
500	0,013	1,9534	8,1466	9,7929	16,3047	0,16	0,15	0,18

...Sigue

MODELO						Validación		
X (m)	t (días)	D (mg/l)	OD (mg/l)	DBOC (mg/l)	DBON (mg/l)	Error OD %	Error DBOC %	Error DBON %
600	0,015	1,9560	8,1440	9,7900	16,2989	0,19	0,18	0,21
700	0,018	1,9586	8,1414	9,7870	16,2931	0,23	0,21	0,25
800	0,021	1,9613	8,1387	9,7840	16,2873	0,26	0,24	0,28
900	0,023	1,9639	8,1361	9,7811	16,2816	0,29	0,27	0,32
938,36	0,024	1,9649	8,1351	9,7799	16,2793	0,30	0,28	0,33

Fuente: La autora

Esta modelación muestra el comportamiento del OD, DBOC y DBON en el Tramo 3, los valores obtenidos al final del tramo corresponderán a los datos iniciales de la siguiente modelación.

Tabla 40. Resultados de las condiciones críticas del modelo en el Tramo 3 – Parque Lineal

CONDICIONES CRÍTICAS					
tc (días)	Xc (m)	Dc (mg/l)	ODc (mg/l)	DBOc (mg/l)	DBON (mg/l)
9,616	373,87	5,680	4,420	3,164	5,269

Fuente: La autora

4.3.24. Calibración del Modelo

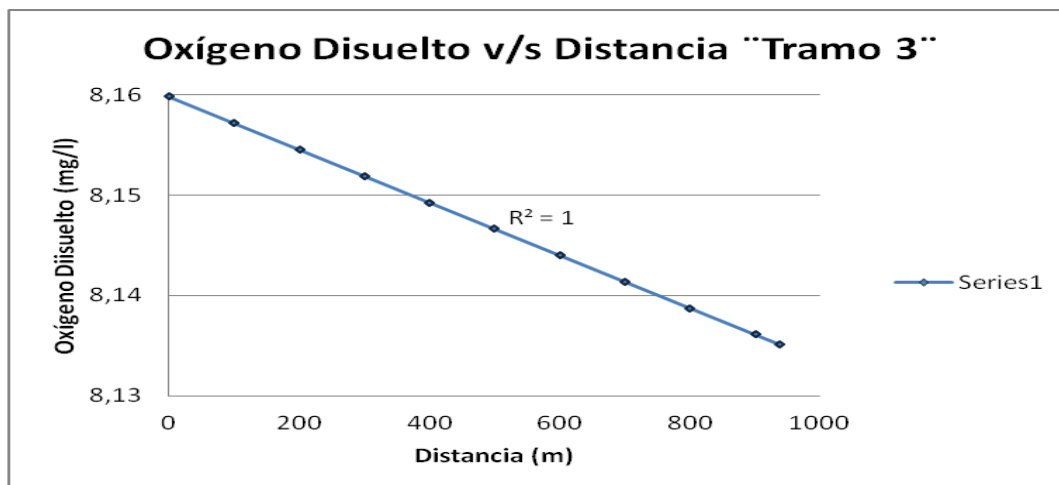


Figura 42: Simulación del Oxígeno Disuelto v/s Distancia en el Tramo 3.

Fuente: Autora.

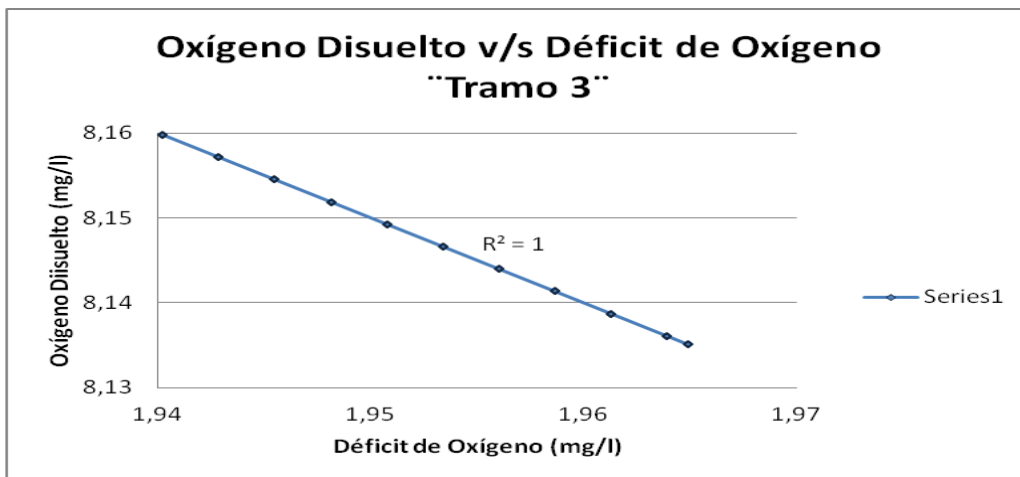


Figura 43: Simulación del Oxígeno Disuelto v/s Déficit de Oxígeno en el Tramo 3.
Fuente: Autora.

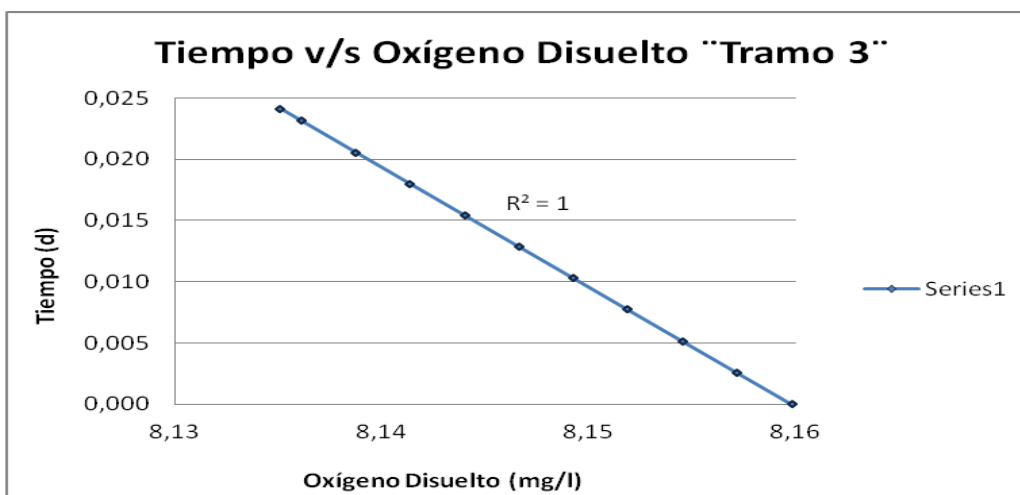


Figura 44: Simulación del Tiempo v/s Oxígeno Disuelto en el Tramo 3.
Fuente: Autora.

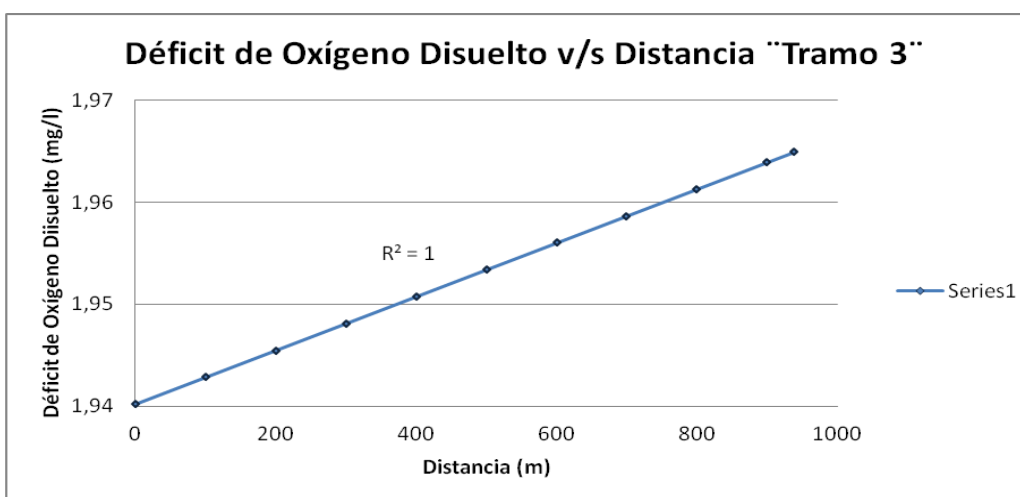


Figura 45: Simulación del Déficit de Oxígeno Disuelto v/s Distancia en el Tramo 3.
Fuente: Autora.

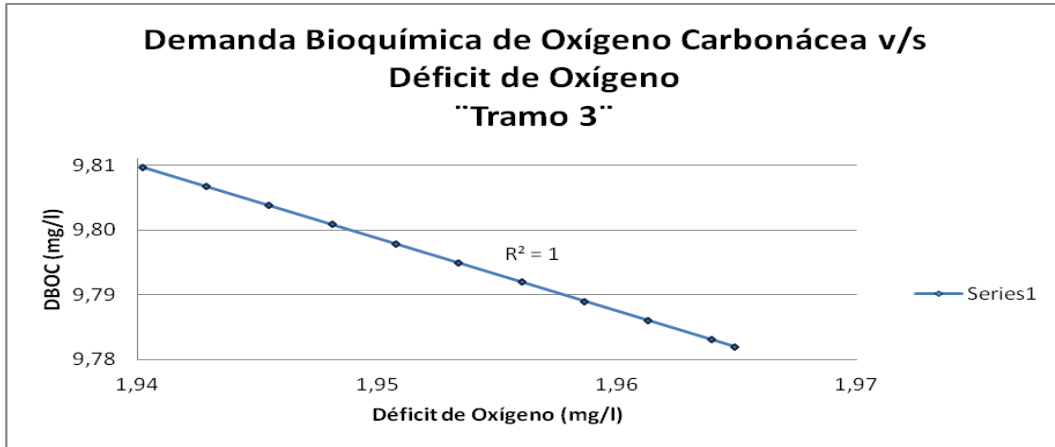


Figura 4647: Simulación de la Demanda Bioquímica Carbonácea v/s Déficit de Oxígeno en el Tramo 3.
Fuente: Autora.

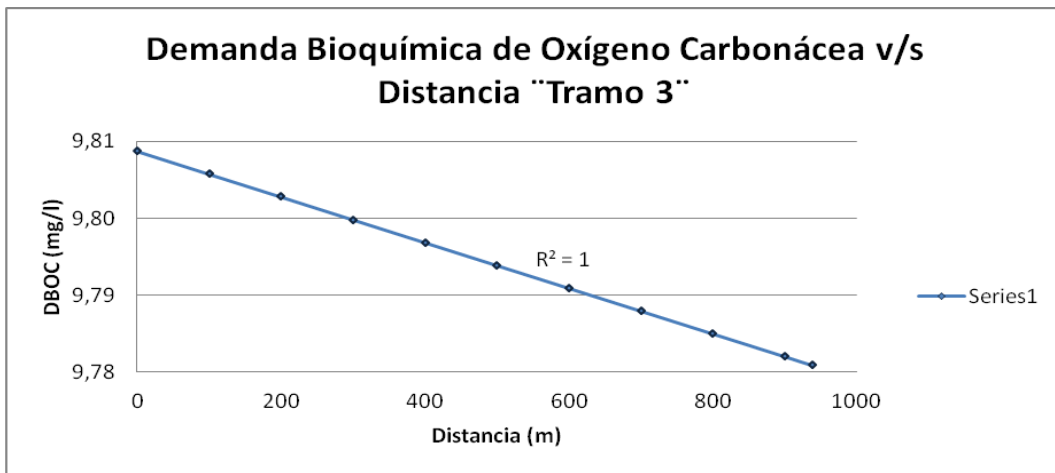


Figura 48: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea v/s Distancia en el Tramo 3.
Fuente: Autora.

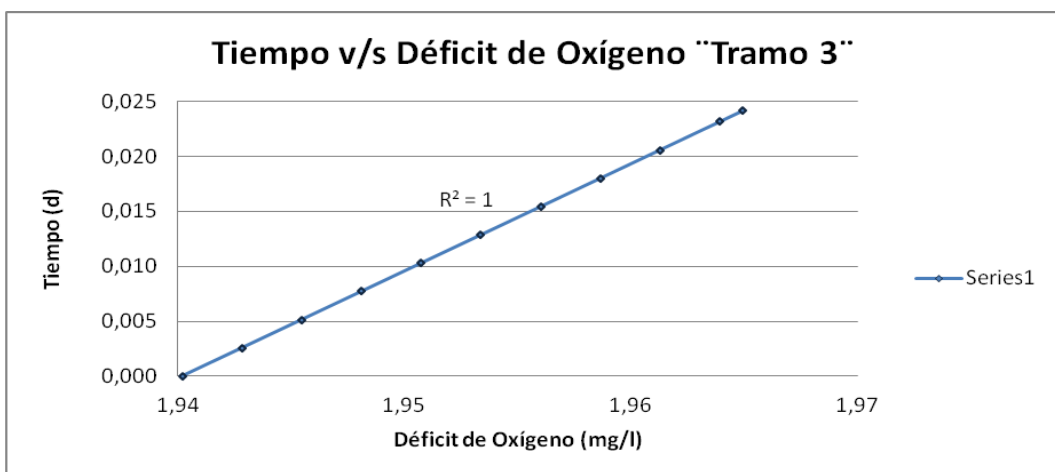


Figura 49: Simulación del Tiempo v/s Déficit de Oxígeno en el Tramo 3.
Fuente: Autora.

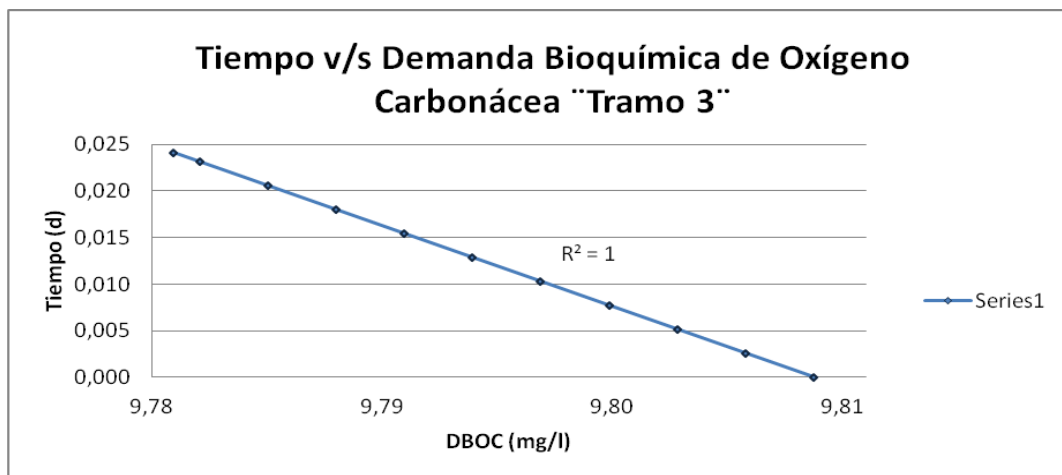


Figura 50: Simulación del Tiempo v/s Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea en el Tramo 3.
Fuente: Autora.

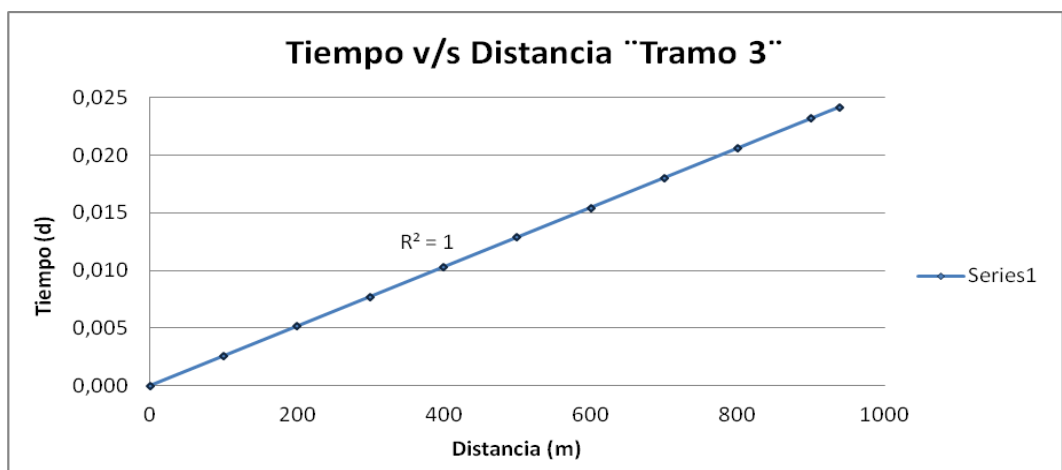


Figura 51: Simulación del Tiempo v/s Distancia en el Tramo 3.
Fuente: Autora.

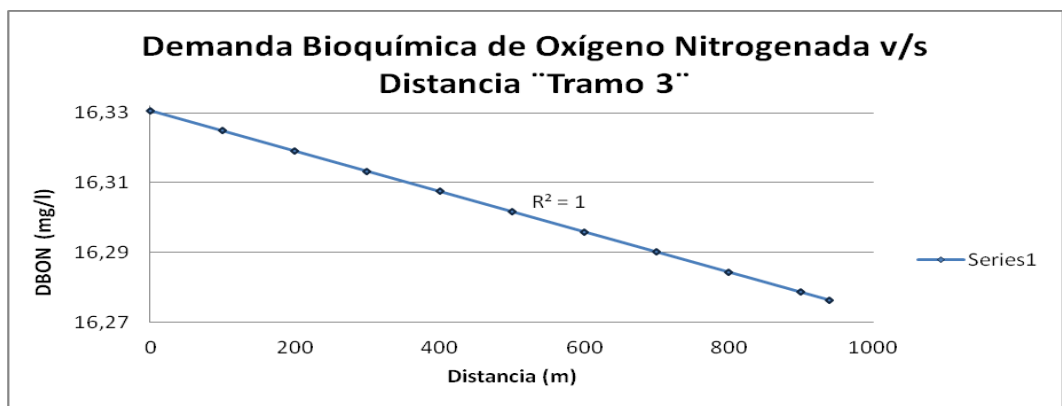


Figura 52: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada v/s Distancia en el Tramo 3.
Fuente: Autora.

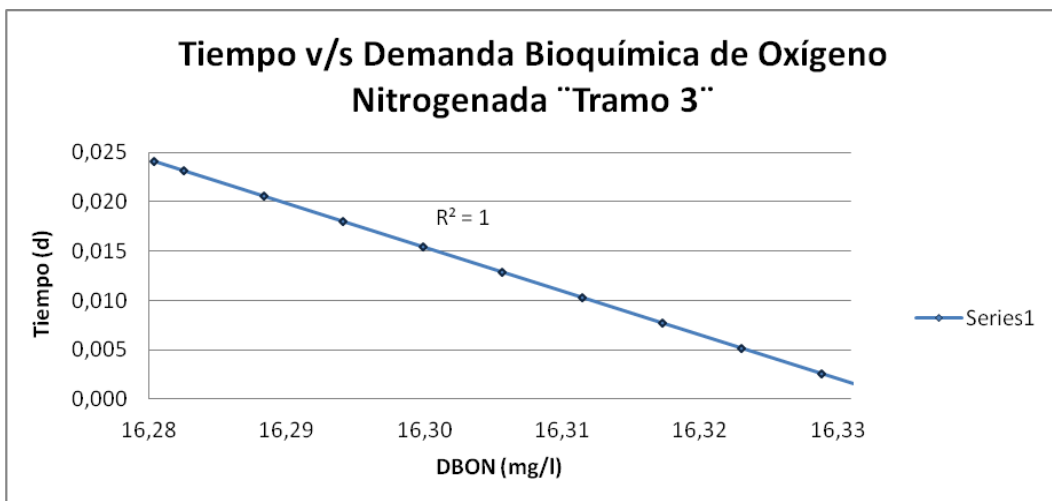


Figura 53: Simulación del Tiempo v/s Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada en el Tramo 3.
Fuente: Autora.

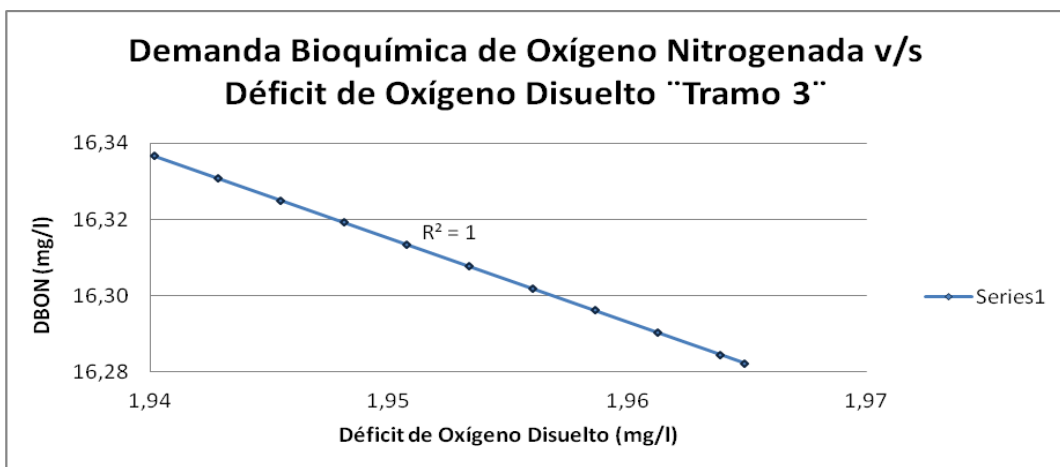


Figura 54: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada v/s Déficit de Oxígeno Disuelto en el Tramo 3.
Fuente: Autora.

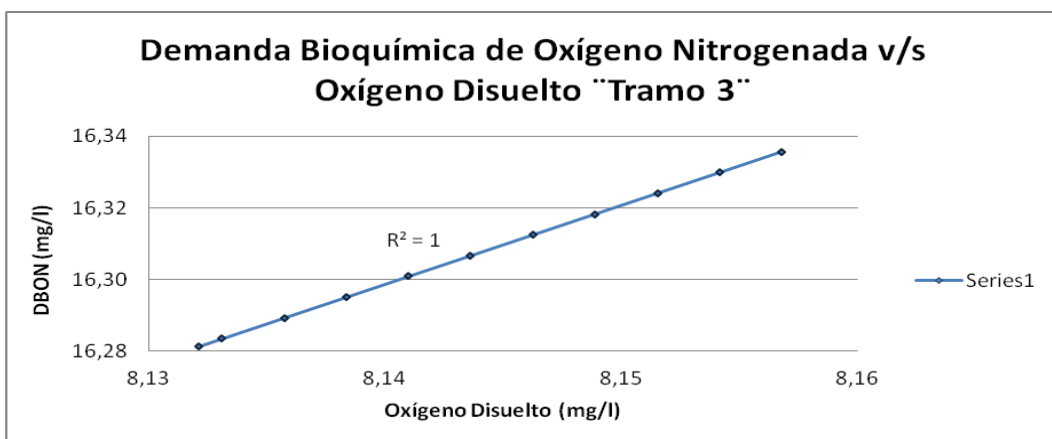


Figura 55: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada v/s Oxígeno Disuelto en el Tramo 3.
Fuente: Autora.

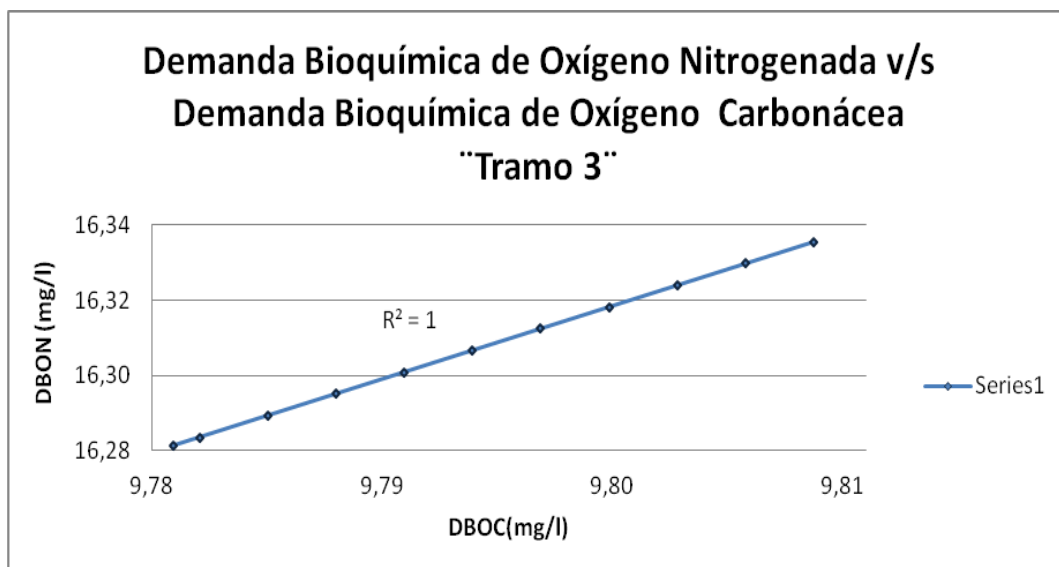


Figura 56: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada v/s Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea en el Tramo 3.
Fuente: Autora.

4.3.25. Matriz de Correlación

D (mg/l)	1				
OD (mg/l)	1	1			
DBOC (mg/l)	1	1	1		
DBON (mg/l)	1	1	1	1	
t (d)	1	1	1	1	1
	X (m)	D (mg/l)	OD (mg/l)	DBOC (mg/l)	DBON (mg/l)

■ correlación negativa
■ correlación positiva

4.3.26. Verificación del Modelo

Los resultados de la simulación del OD, DBOC, DBON v/s Distancia son:

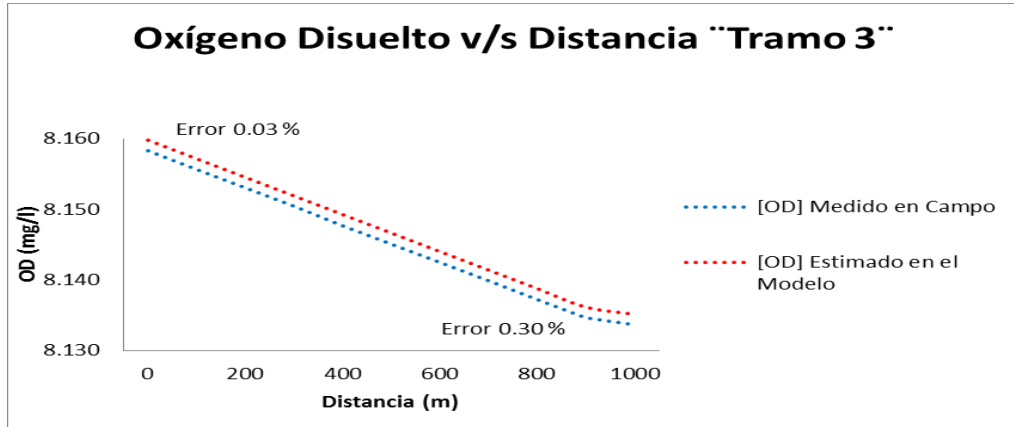


Figura 57: Simulación del oxígeno disuelto v/s distancia en el tramo 3 – Parque Lineal
Fuente: Autora.

La verificación del Tramo 3 – Parque Lineal, posee un error inicial de 0,03% y un error final de 0,30%, la concentración de Oxígeno Disuelto medido en campo es de 8.16 mg/l, mientras que estimado por el modelo es de 8.14 mg/l, se puede observar que el error al final del tramo de 0.30% entre los valores medidos en campo con los estimados en el modelo es pequeño, con lo cual se puede interpretar que al ser mínimo los resultados de la simulación presentan una alta confiabilidad.

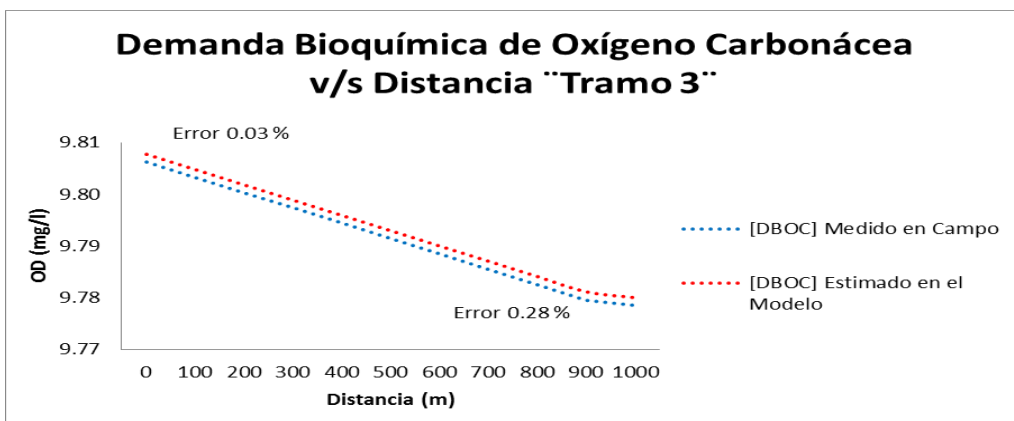


Figura 58: Simulación de la demanda bioquímica de oxígeno carbonácea v/s distancia en el tramo 3 – Parque Lineal.
Fuente: Autora.

La Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea posee un error inicial de 0,03% y final de 0,28% la concentración medida en campo es de 9,81 mg/l y la indicada por el modelo es de 9,78 mg/l.

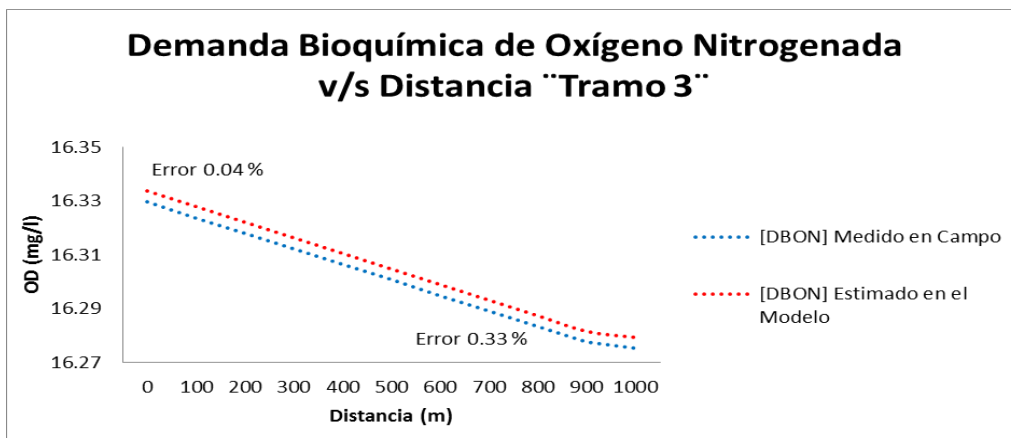


Figura 59: Simulación de la demanda bioquímica de oxígeno nitrogenada v/s distancia en el tramo 3 – Parque Lineal.

Fuente: Autora.

La Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada posee un error inicial de 0,04% y final de 0,33% la concentración medida en campo es de 16.3 mg/l y la indicada por el modelo es de 16.28 mg/l. La verificación de los tres parámetros analizados poseen un error final bajo, lo cual lleva a interpretar que los resultados son confiables.

4.3.27. Simulación del tramo 4 – Catacocha.

El Tramo 4 está conformado por los puntos P4 Catacocha y P5 Calle 10 de Agosto, posee una longitud de 827.6m.

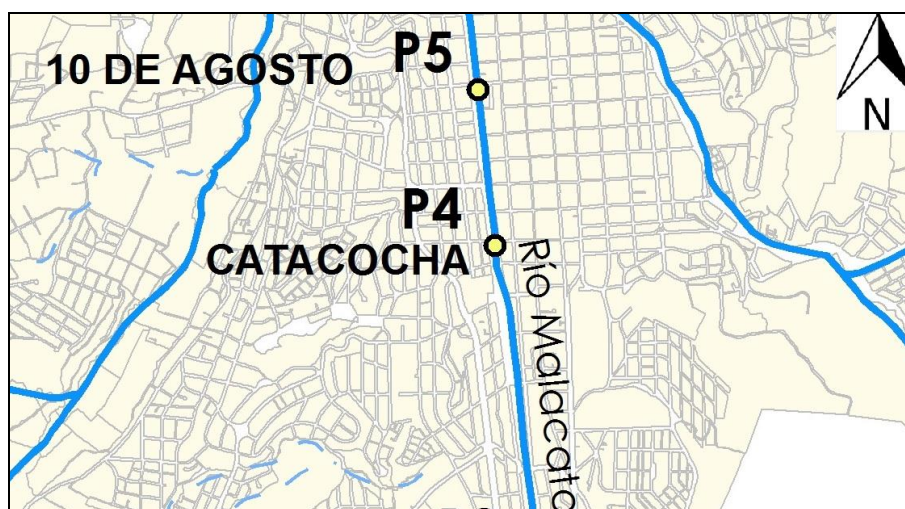


Figura 60: Tramo 4 - Catacocha.

Fuente: Autora

4.3.28. Datos iniciales para el Modelo de Streeter & Phepls

Tabla 41. Datos del Tramo 4 - Catacocha

DATOS DEL TRAMO											
QR	QD	ODR	ODD	DBOCR	DBOCD	DBONR	DBOND	TR agua	TD agua	Velocidad	Profundidad
m ³ /s	m ³ /s	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	°C	°C	m/s	m
1,36	0,060	6,91	6,37	18,25	23,70	31,75	44,40	16,18	19,68	0,30	0,28

Fuente: La autora

Tabla 42. Balance de materia

Q _o	1,42	m ³ /s
O _{Do}	6,89	mg/l
D _{Bo}	18,48	mg/l
T _o	16,3	°C
D _{Bo} n	32,3	mg/l

Fuente: La autora

4.3.29. Déficit de oxígeno disuelto - Do

$$Do = Os - ODo$$

OS	9,7
Do =	2,8

Fuente: La autora

4.3.30. Cálculo de constantes de reacción en el tramo

Tabla 43. Factores de obtención de constantes cinéticas reales

Factores de obtención de constantes cinéticas reales	
ea	1,024
ed	1,047

Fuente: La autora

Tabla 44. Constantes cinéticas corregidas

Constante de reaireación ka		Constante de oxidación kd		Constante de nitrificación kn	
Owens y Gibbs					
Ka	Corrección ka por temperatura	Kd	Corrección kd por temperatura	Kn	Corrección kn por temperatura
0,109	0,100	0,17418	0,147	0,19483	0,146796691

Fuente: La autora

4.3.31. Perfiles de OD, DBOC, DBON

Longitud del tramo:

827,6 m.

4.3.31.1. Resultado del cálculo del modelo en el Tramo 4. Calle Catacocha

Tabla 45. Modelación del OD, DBOC y DBON

MODELO						Validación		
X (m)	t (días)	D (mg/l)	OD (mg/l)	DBOC (mg/l)	DBON (mg/l)	Error OD %	Error DBOC %	Error DBON %
0	0,000	2,8104	6,8896	18,4782	32,2797	0,00	0,00	0,00
100	0,004	2,8198	6,8802	18,4677	32,2615	0,14	0,06	0,06
200	0,008	2,8292	6,8708	18,4573	32,2432	0,27	0,11	0,11
300	0,012	2,8386	6,8614	18,4468	32,2249	0,41	0,17	0,17
400	0,015	2,8480	6,8520	18,4363	32,2067	0,54	0,23	0,23
500	0,019	2,8573	6,8427	18,4259	32,1885	0,68	0,28	0,28
600	0,023	2,8667	6,8333	18,4154	32,1702	0,82	0,34	0,34
700	0,027	2,8760	6,8240	18,4050	32,1520	0,95	0,40	0,40
800	0,031	2,8853	6,8147	18,3945	32,1338	1,09	0,45	0,45
827,6	0,032	2,8879	6,8121	18,3916	32,1288	1,12	0,47	0,47

Fuente: La autora

La modelación en el Tramo 4 – Calle Catacocha nos muestra el comportamiento de los parámetros analizados a lo largo del tramo en una distancia de 827,6m, arrojando resultados de calidad buena con respecto a la normativa ecuatoriana.

Tabla 46. Resultados de las condiciones críticas del modelo en el Tramo 4 - Catacocha

CONDICIONES CRÍTICAS					
tc (días)	Xc (m)	Dc (mg/l)	ODc (mg/l)	DBOc (mg/l)	DBON (mg/l)
7,18042	186,116	9,4427	0,2572	6,4258	11,225

Fuente: La autora

4.3.32. Calibración del Modelo

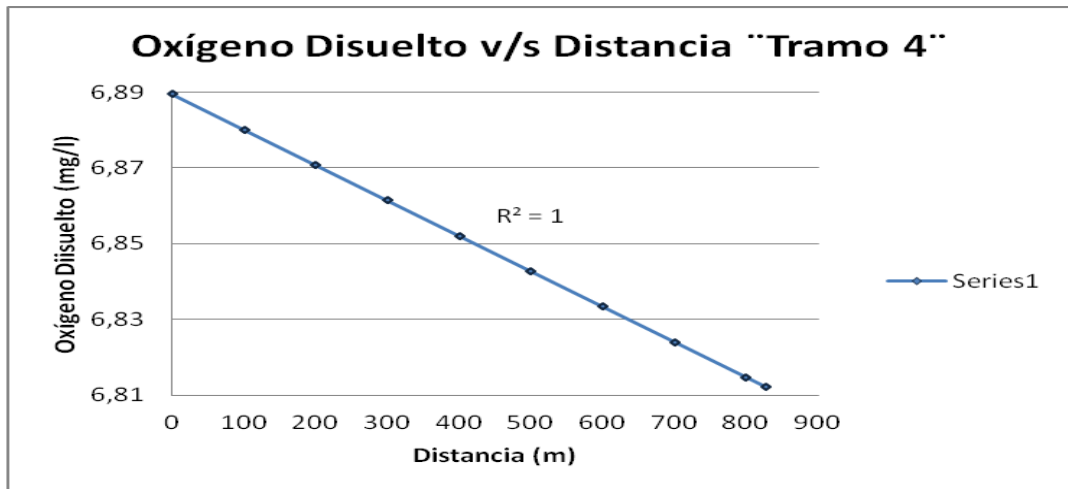


Figura 61: Simulación del Oxígeno Disuelto v/s Distancia en el Tramo 4.
Fuente: Autora.

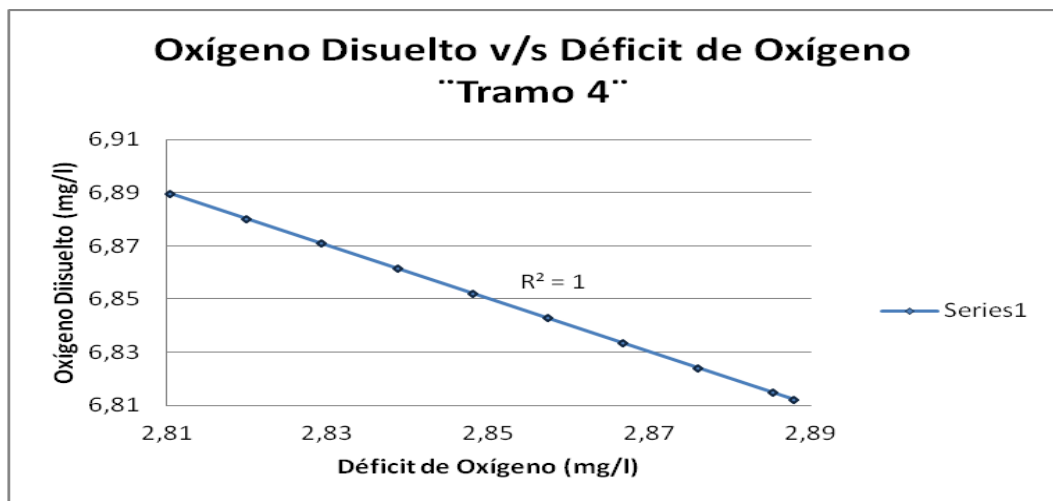


Figura 62: Simulación del Oxígeno Disuelto v/s Déficit de Oxígeno en el Tramo 4.
Fuente: Autora.

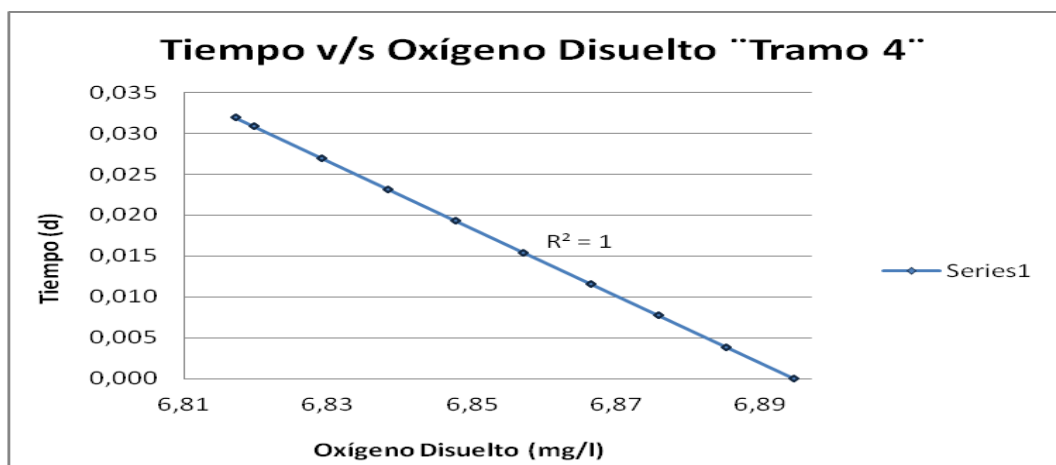


Figura 63: Simulación del Tiempo v/s Oxígeno Disuelto en el Tramo 4.
Fuente: Autora.

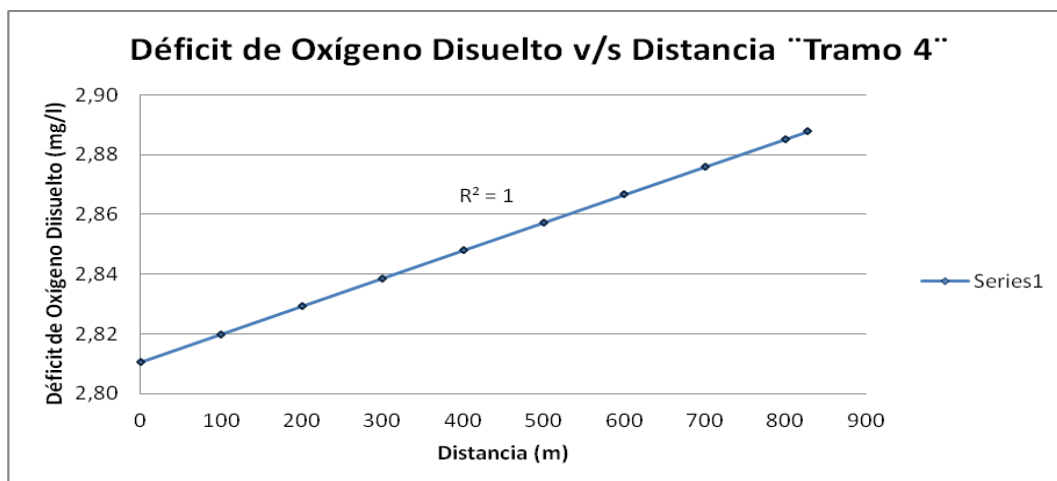


Figura 64: Simulación del Déficit de Oxígeno Disuelto v/s Distancia en el Tramo 4.
Fuente: Autora.

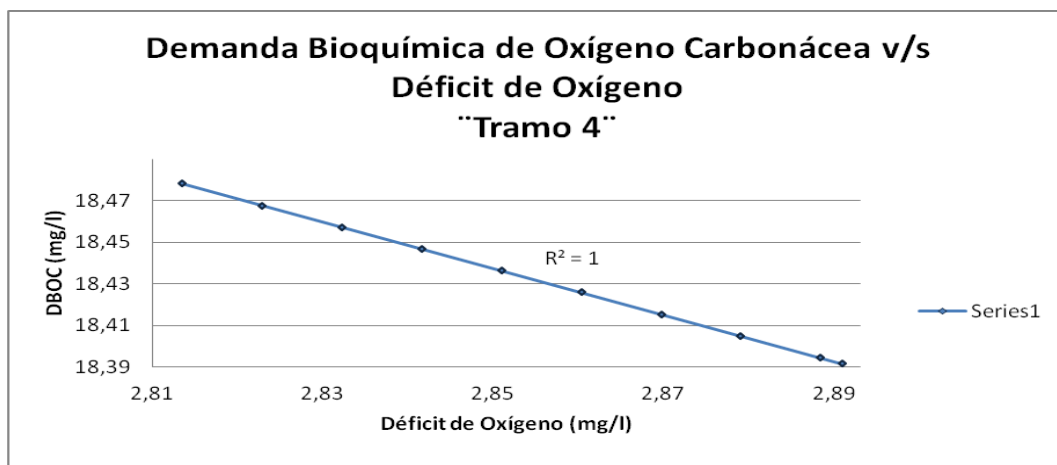


Figura 65: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea v/s Déficit de Oxígeno en el Tramo 4.
Fuente: Autora.

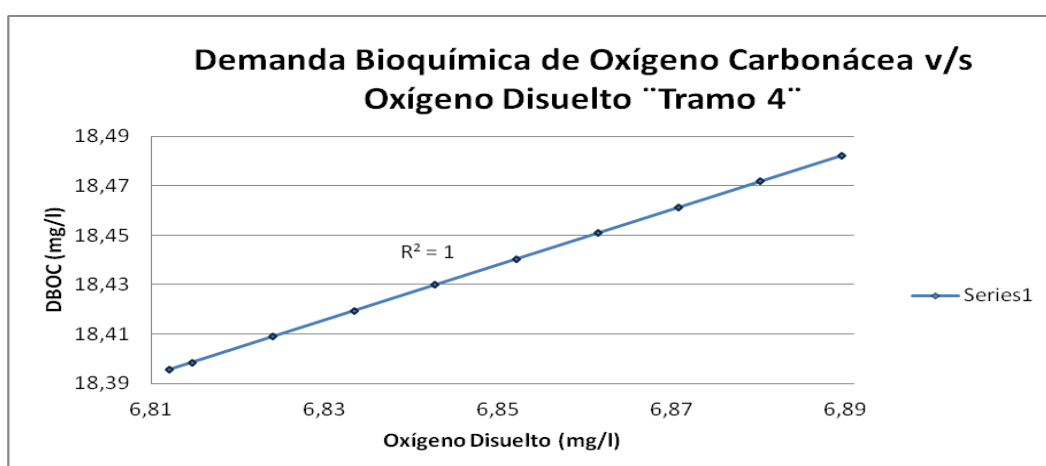


Figura 66: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea v/s Oxígeno Disuelto en el Tramo 4.
Fuente: Autora.

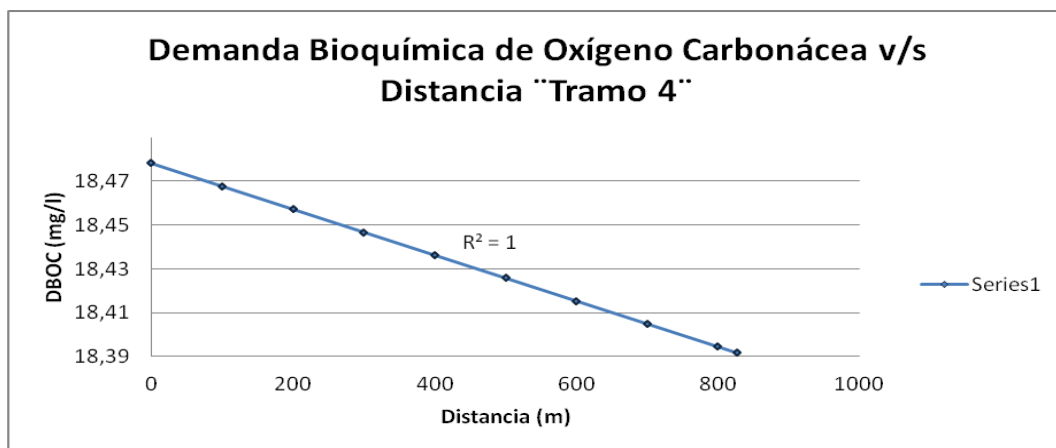


Figura 67: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea v/s Distancia en el Tramo 4.
Fuente: Autora.

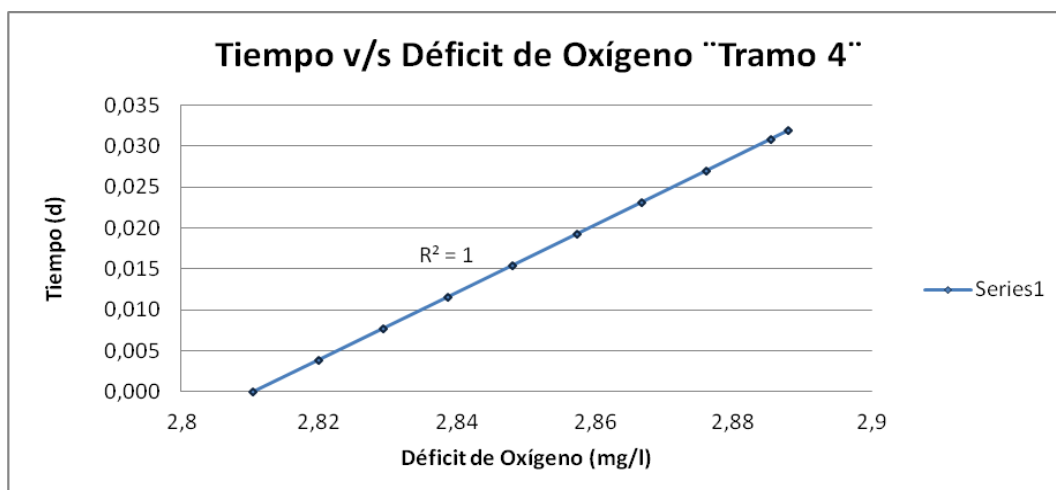


Figura 68: Simulación del Tiempo v/s Déficit de Oxígeno en el Tramo 4.
Fuente: Autora.

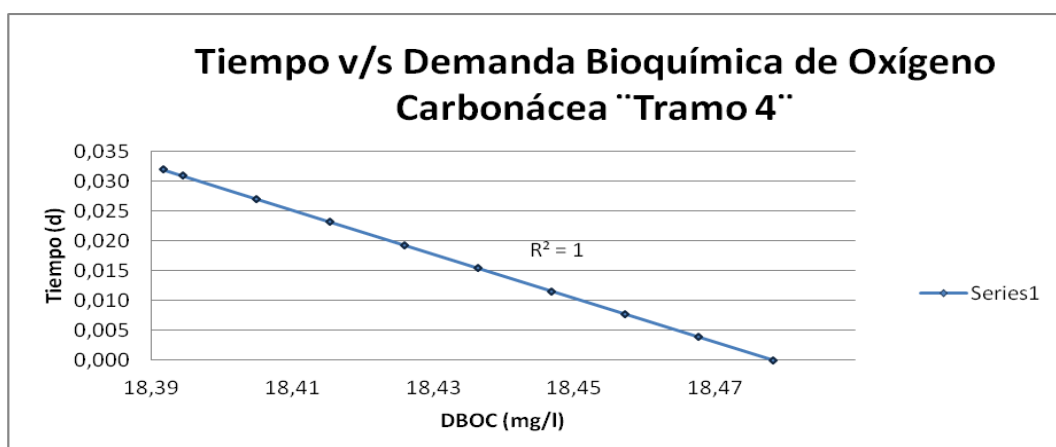


Figura 69: Simulación del Tiempo v/s Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea en el Tramo 4.
Fuente: Autora.

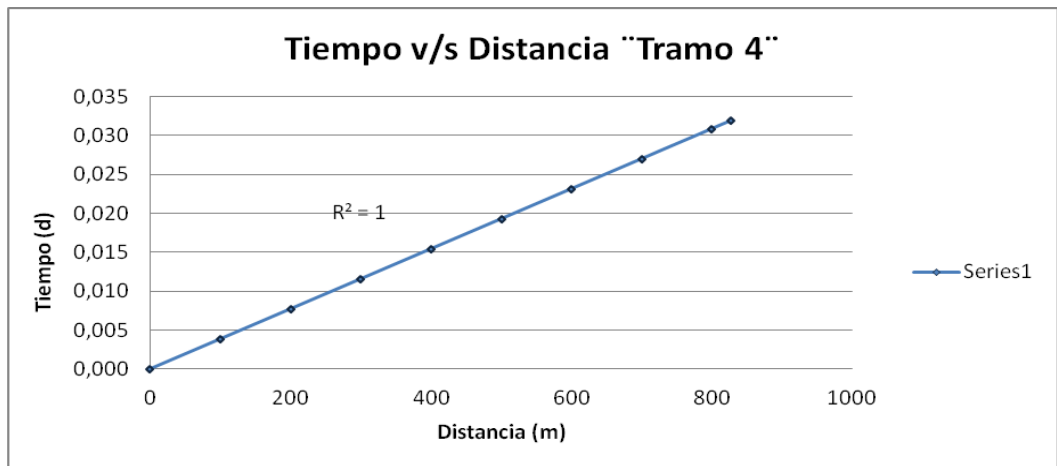


Figura 70: Simulación del Tiempo v/s Distancia en el Tramo 4.
Fuente: Autora.

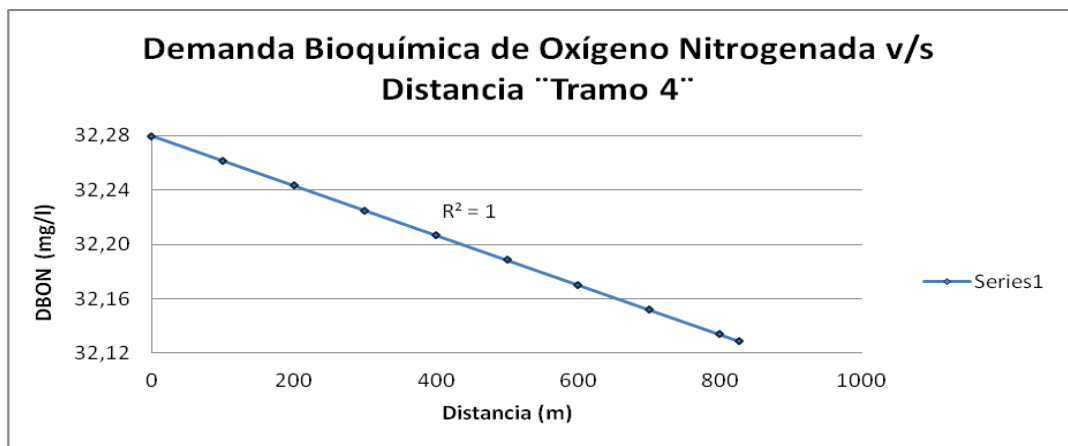


Figura 71: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada v/s Distancia en el Tramo 4.
Fuente: Autora.

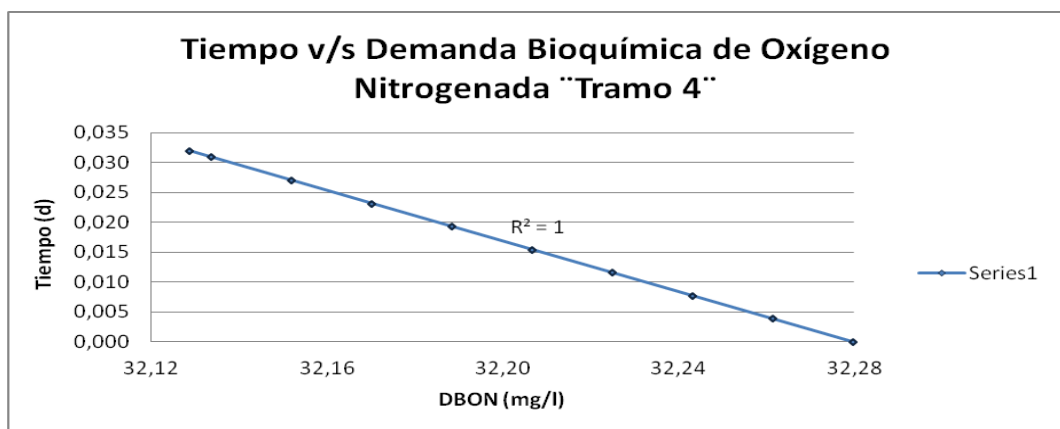


Figura 72: Simulación del Tiempo v/s Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada en el Tramo 4.
Fuente: Autora.

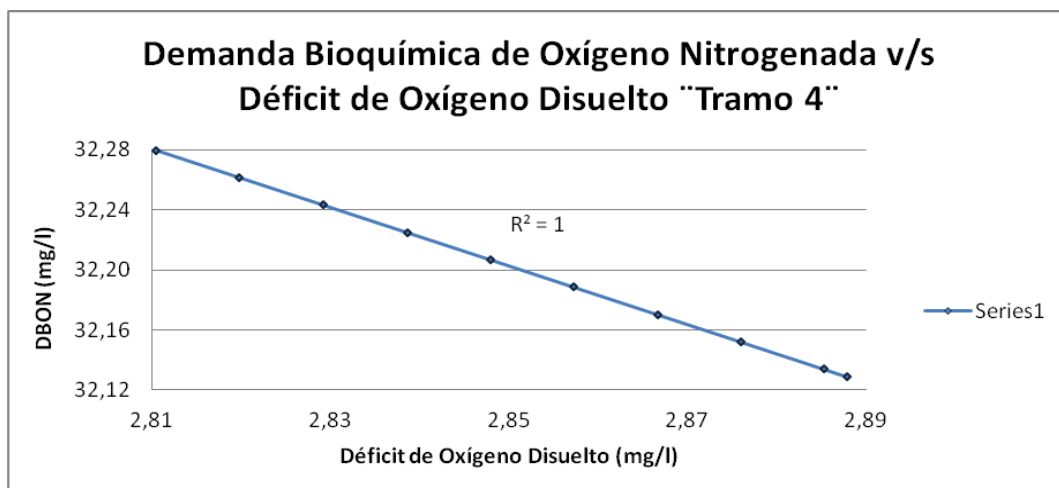


Figura 73: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada v/s Déficit de Oxígeno Disuelto en el Tramo 4.

Fuente: Autora.

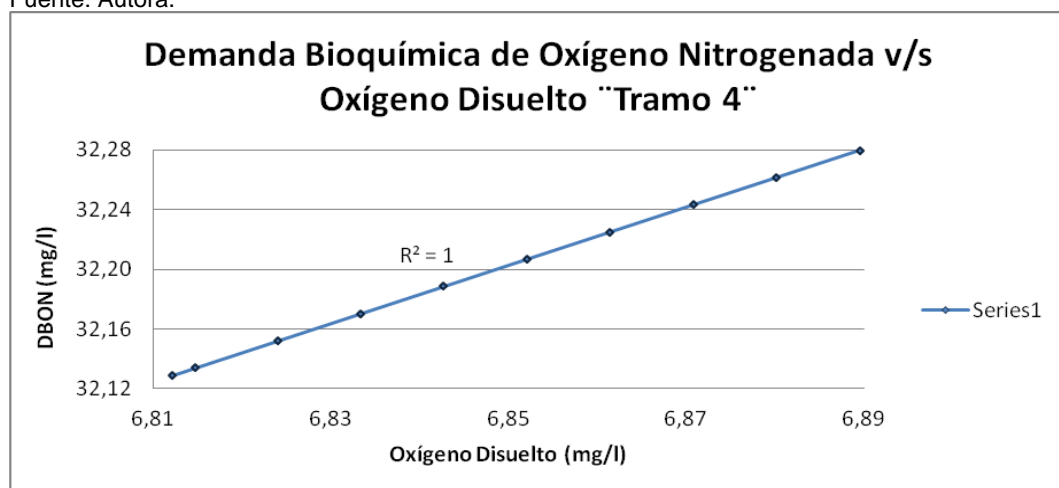


Figura 74: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada v/s Oxígeno Disuelto en el Tramo 4.

Fuente: Autora.

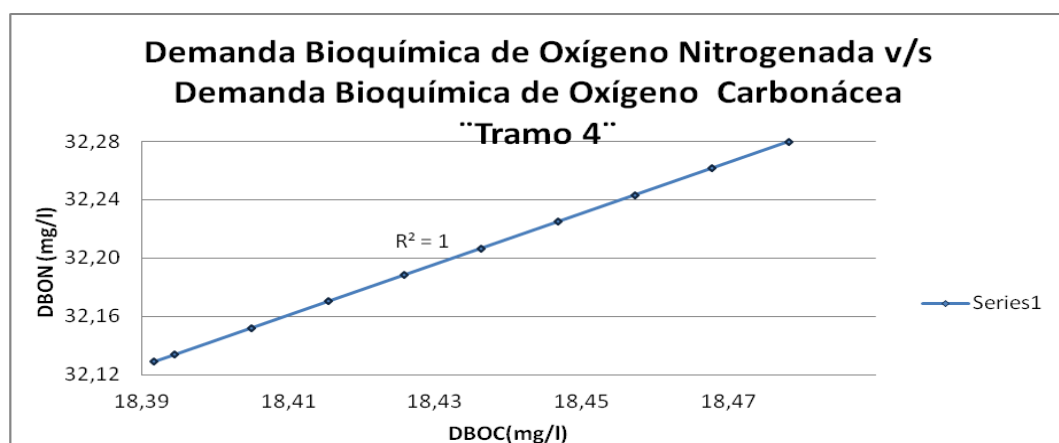


Figura 75: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada v/s Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea en el Tramo 4.

Fuente: Autora.

4.3.33. Matriz de Correlación

D (mg/l)	1	1			
OD (mg/l)	1	1	1		
DBOC (mg/l)	1	1	1	1	
DBON (mg/l)	1	1	1	1	1
t (d)	1	1	1	1	1
	X (m)	D (mg/l)	OD (mg/l)	DBOC (mg/l)	DBON (mg/l)

correlación negativa
 correlación positiva

4.3.34. Verificación del Modelo

Las simulaciones del OD, DBOC y DBON en función de la distancia son:

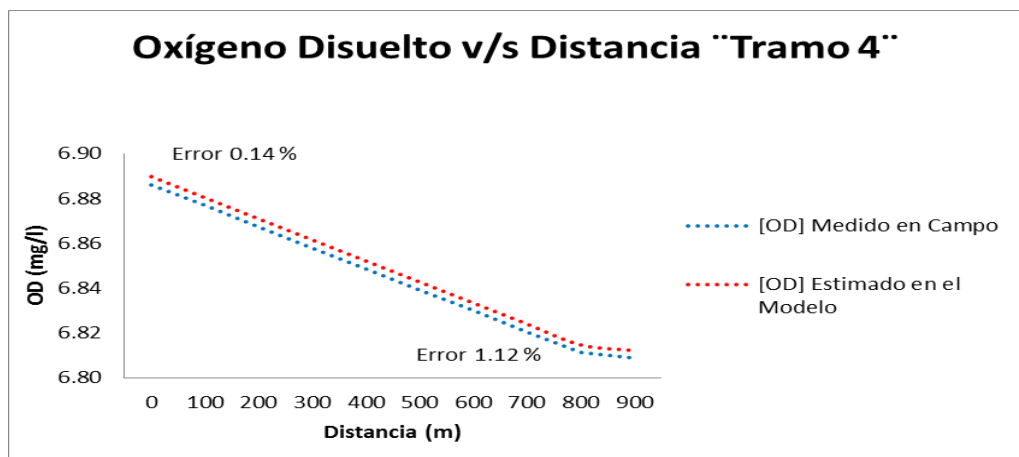


Figura 76: Simulación del oxígeno disuelto v/s distancia en el tramo 4 – Catacocha.
Fuente: Autora

La verificación del Tramo 4 – Catacocha, se tiene un error inicial de 0,14% y un error final de 1,14%, la concentración de Oxígeno Disuelto medido en campo es de 6,89 mg/l, mientras que el estimado por el modelo es de 6,81 mg/l.

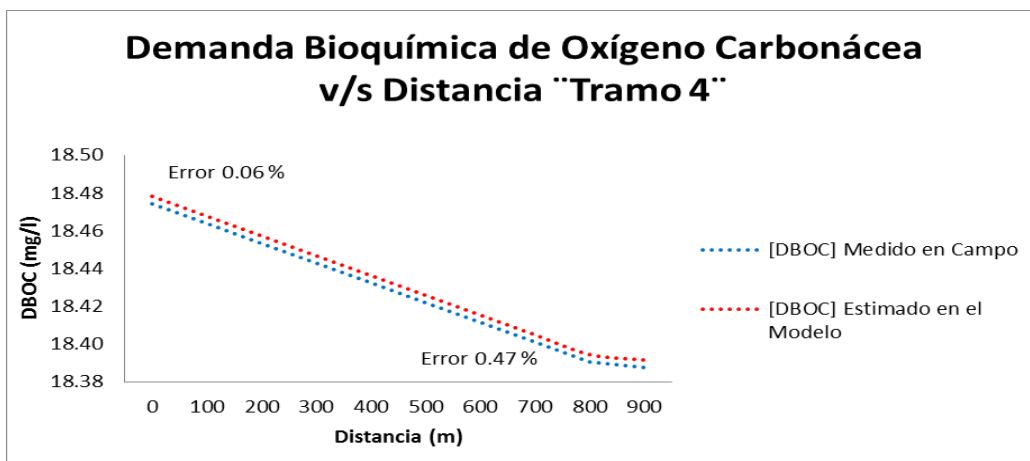


Figura 77: Simulación de la demanda bioquímica de oxígeno carbonácea v/s distancia en el tramo 4 – Catacocha.
Fuente: Autora.

En la figura 76, se puede analizar los resultados obtenidos en el campo con los del modelo y se muestra la variación porcentual inicial de 0,06% y final de 0,47%, la concentración medida en el campo es de 18,48 mg/l y la estimada por el modelo es de 18,39 mg/l.

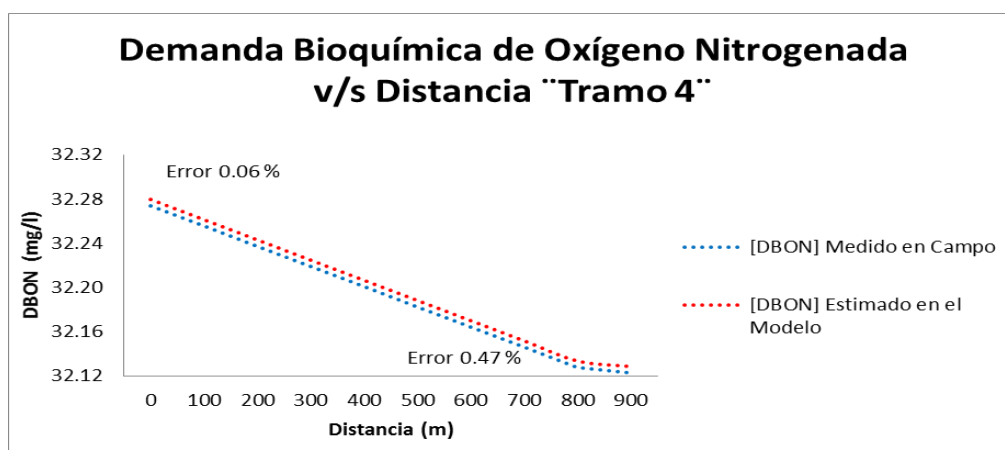


Figura 78: Simulación de la demanda bioquímica de oxígeno nitrogenada v/s distancia en el tramo 4 – Catacocha
Fuente: Autora.

La Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada posee un error inicial de 0,06% y final de 0,47% la concentración medida en campo es de 32,3 mg/l y la indicada por el modelo es de 32,13 mg/l.

4.3.35. Simulación del tramo 5 – Calle 10 de Agosto.

El Tramo 5 se encuentra conformado por los puntos P5 Calle 10 de Agosto y P6 Mayorista, con una distancia de 1132.44m.

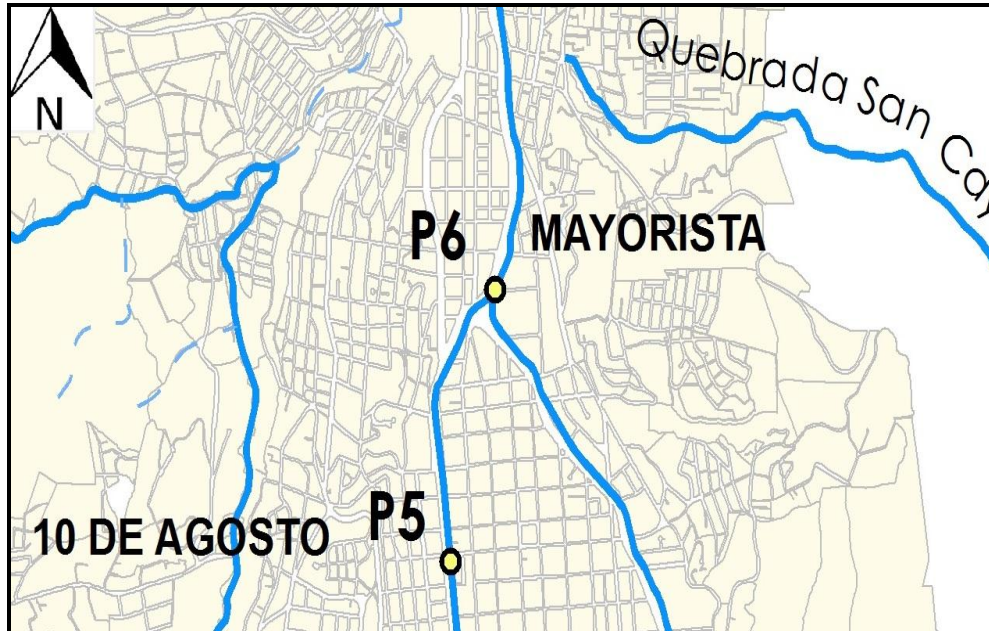


Figura 79: Tramo 5 – Calle 10 de Agosto.
Fuente: Autora

4.3.36. Datos iniciales para el Modelo de Streeter & Phepls

Tabla 47. Modelación del OD, DBOC y DBON

DATOS DEL TRAMO											
QR	QD	ODR	ODD	DBOCR	DBOCD	DBONR	DBOND	TR agua	TD agua	Velocidad	Profundidad
m ³ /s	m ³ /s	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	°C	°C	m/s	m
1,38	0,01	7,87	8,08	7,50	10,88	14,75	23,00	14,53	14,48	0,40	0,28

Fuente: La autora

Tabla 48. Balance de materia

Qo	1,39	m ³ /s
ODo	7,87	mg/l
DBOo	7,51	mg/l
To	14,5	°C
DBOn	14,8	mg/l

Fuente: La autora

4.3.37. Déficit de oxígeno disuelto - Do

$$Do = Os - ODo$$

OS	10,1
Do =	2,2

Fuente: La autora

4.3.38. Cálculo de constantes de reacción en el tramo

Tabla 49. Factores de obtención de constantes cinéticas reales

Factores de obtención de constantes cinéticas reales	
θ_a	1,024
θ_d	1,047

Fuente: La autora

Tabla 50. Constantes cinéticas corregidas

Constante de reaeración ka		Constante de oxidación kd		Constante de nitrificación kn	
Owens y Gibbs					
Ka	Corrección ka por temperatura	Kd	Corrección kd por temperatura	Kn	Corrección kn por temperatura
0,132	0,116	0,174	0,135	0,266	0,175

Fuente: La autora

4.3.39. Perfiles de OD, DBOC, DBON

Longitud del tramo:

1132,44 m.

4.3.39.1. Resultado del cálculo del modelo en el Tramo 5. Calle 10 de Agosto

Tabla 51. Modelación del OD, DBOC y DBON

MODELO						Validación		
X (m)	t (días)	D (mg/l)	OD (mg/l)	DBOC (mg/l)	DBON (mg/l)	Error OD %	Error DBOC %	Error DBON %
0	0,000	2,2291	7,8709	7,5149	14,7864	0,00	0,00	0,00
100	0,003	2,2313	7,8687	7,5119	14,7789	0,03	0,04	0,05
200	0,006	2,2335	7,8665	7,5090	14,7715	0,06	0,08	0,10
300	0,009	2,2357	7,8643	7,5061	14,7640	0,08	0,12	0,15

....Sigue

MODELO						Validación		
X (m)	t (días)	D (mg/l)	OD (mg/l)	DBOC (mg/l)	DBON (mg/l)	Error OD %	Error DBOC %	Error DBON %
400	0,012	2,2378	7,8622	7,5031	14,7565	0,11	0,16	0,20
500	0,014	2,2400	7,8600	7,5002	14,7491	0,14	0,20	0,25
600	0,017	2,2422	7,8578	7,4972	14,7416	0,17	0,23	0,30
700	0,020	2,2444	7,8556	7,4943	14,7342	0,19	0,27	0,35
800	0,023	2,2466	7,8534	7,4914	14,7268	0,22	0,31	0,40
900	0,026	2,2488	7,8512	7,4884	14,7193	0,25	0,35	0,45
1000	0,029	2,2509	7,8491	7,4855	14,7119	0,28	0,39	0,50
1100	0,032	2,2531	7,8469	7,4826	14,7045	0,31	0,43	0,55
1132,44	0,033	2,2538	7,8462	7,4816	14,7020	0,31	0,44	0,57

Fuente: La autora

Esta modelación muestra el comportamiento del OD, DBOC y DBON en el Tramo 5, los valores obtenidos al final del tramo corresponderán a los datos iniciales de la modelación en el Tramo 6.

Tabla 52. Resultados de las condiciones críticas del modelo en el Tramo 5 – Calle 10 de Agosto

CONDICIONES CRÍTICAS					
tc (días)	Xc (m)	Dc (mg/l)	ODc (mg/l)	DBOC (mg/l)	DBON (mg/l)
5,814	200,925	3,982	6,118	3,419	6,728

Fuente: La autora

4.3.40. Calibración del Modelo

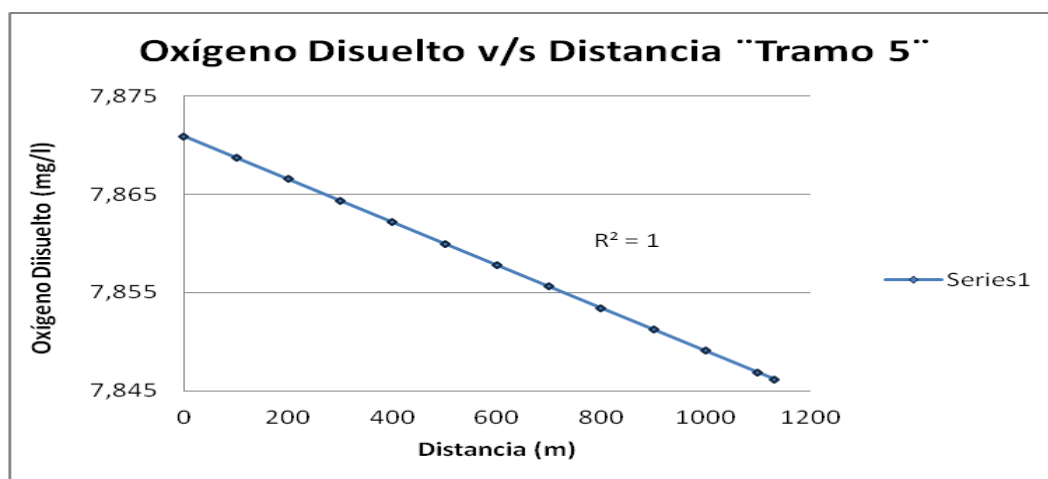


Figura 80: Simulación del Oxígeno Disuelto v/s Distancia en el Tramo 5.
Fuente: Autora.

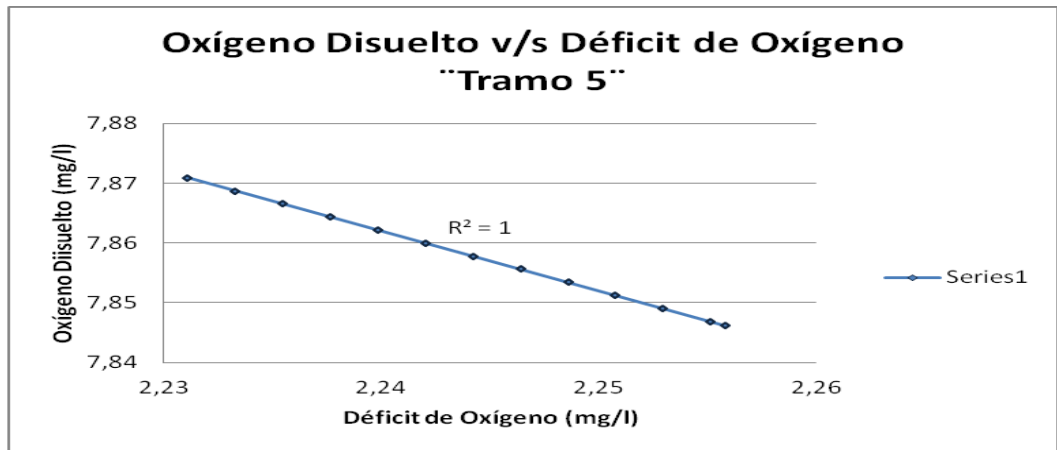


Figura 81: Simulación del Oxígeno Disuelto v/s Déficit de Oxígeno en el Tramo 5.
Fuente: Autora.

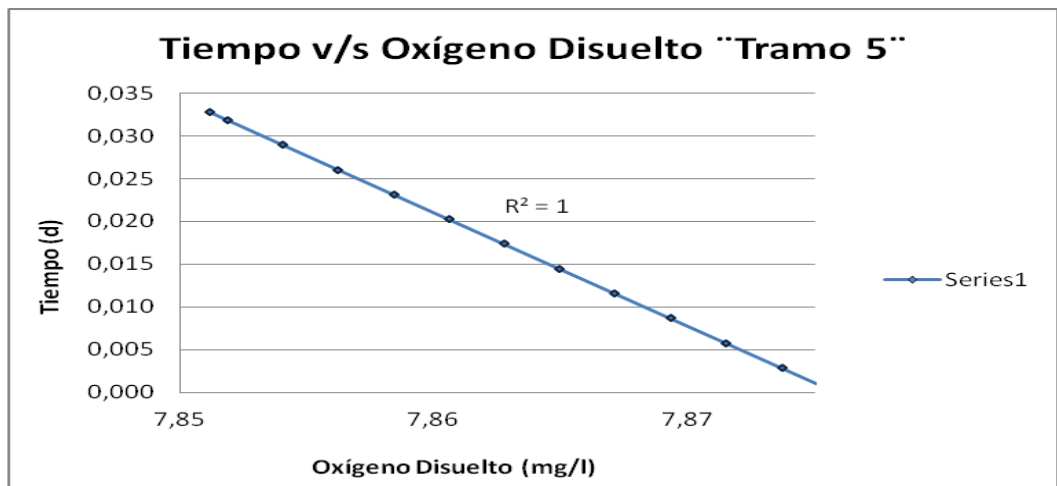


Figura 82: Simulación del Tiempo v/s Oxígeno Disuelto en el Tramo 5.
Fuente: Autora.

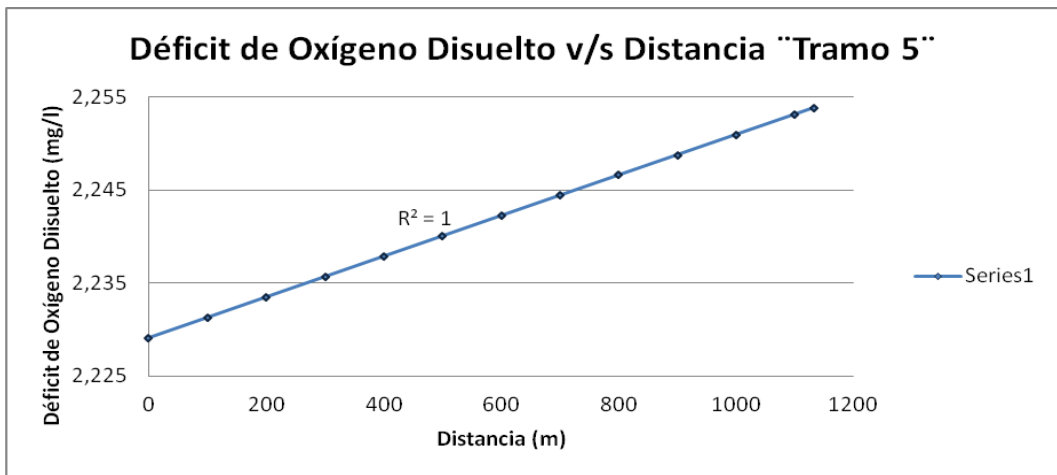


Figura 83: Simulación del Déficit de Oxígeno Disuelto v/s Distancia en el Tramo 5.
Fuente: Autora.

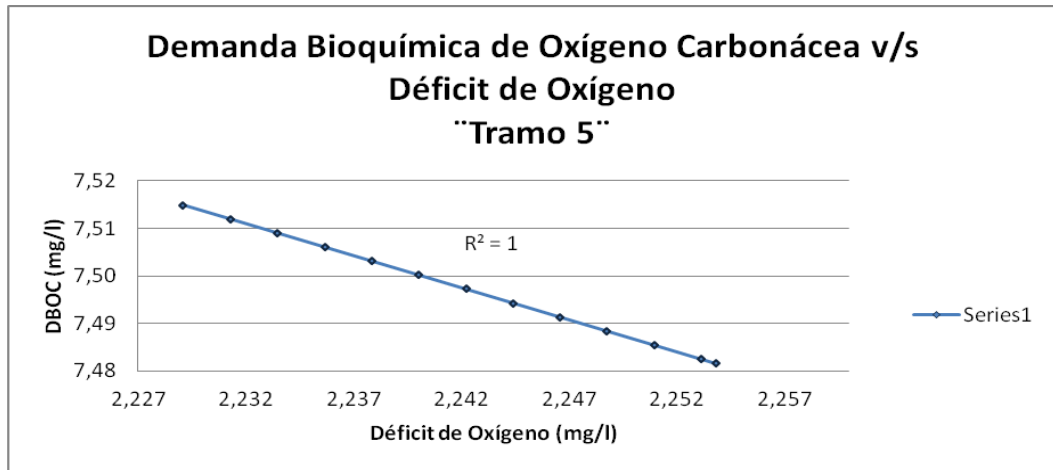


Figura 84: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea v/s Déficit de Oxígeno en el Tramo 5.
Fuente: Autora.

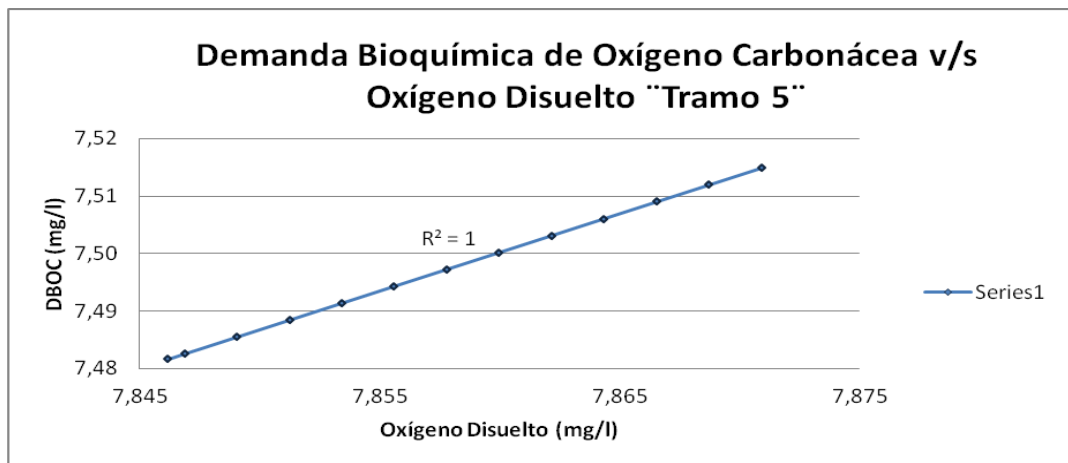


Figura 85: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea v/s Oxígeno Disuelto en el Tramo 5.
Fuente: Autora.

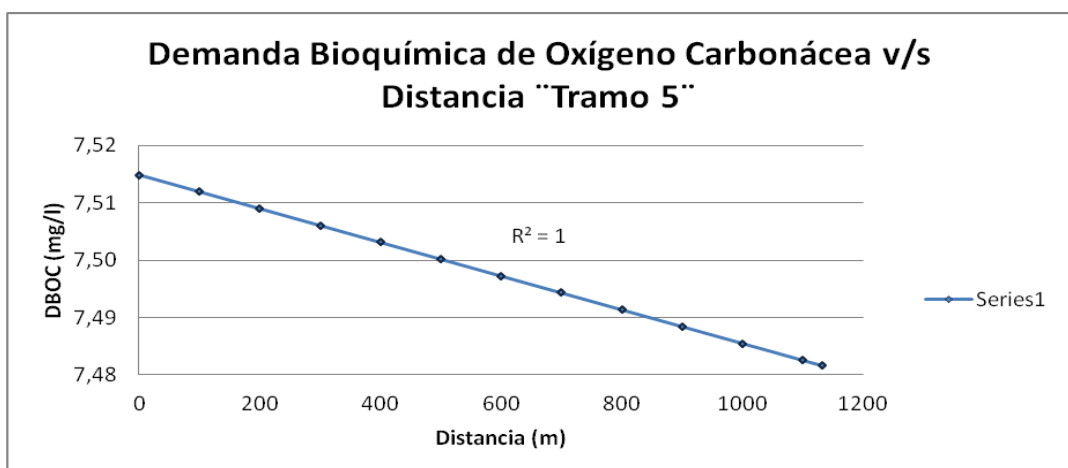


Figura 86: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea v/s Distancia en el Tramo 5.
Fuente: Autora.

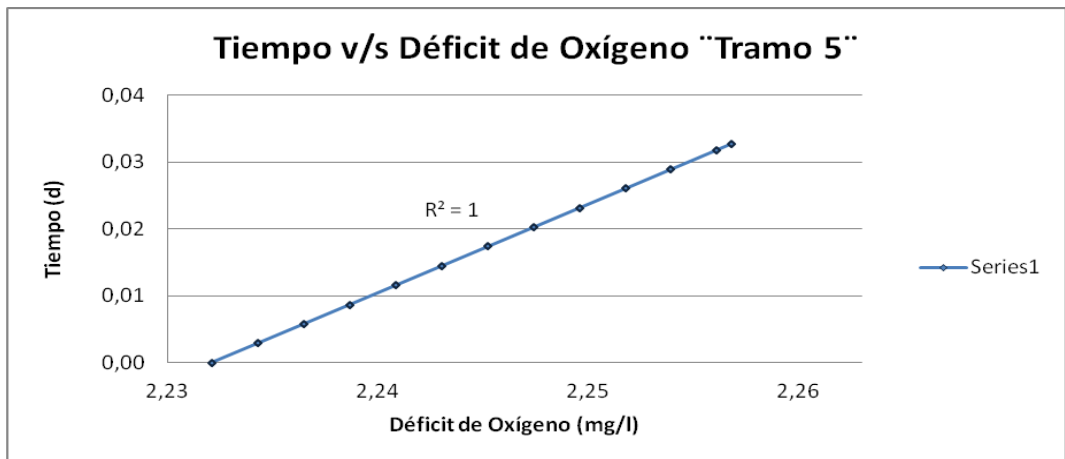


Figura 87: Simulación del Tiempo v/s Déficit de Oxígeno en el Tramo 5.
Fuente: Autora.

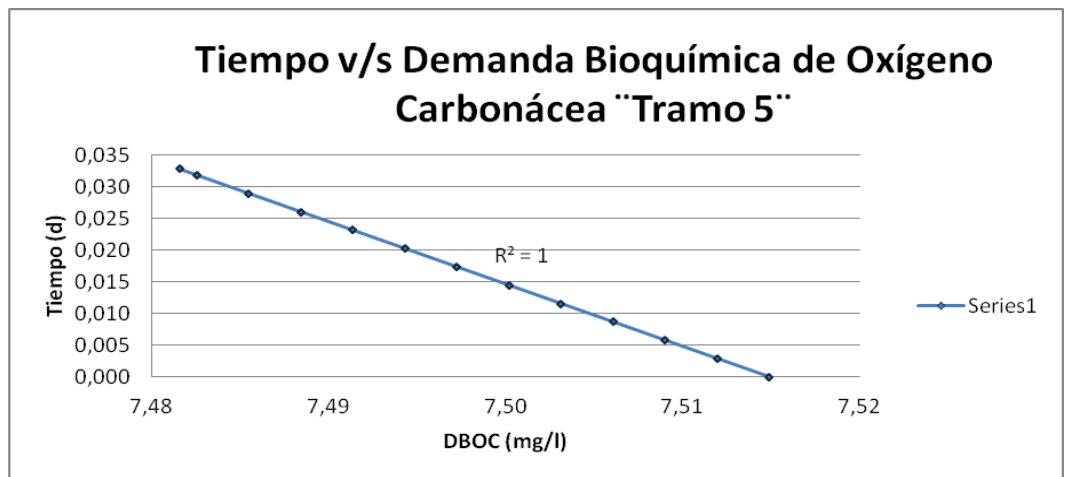


Figura 88: Simulación del Tiempo v/s Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea en el Tramo 5.
Fuente: Autora.

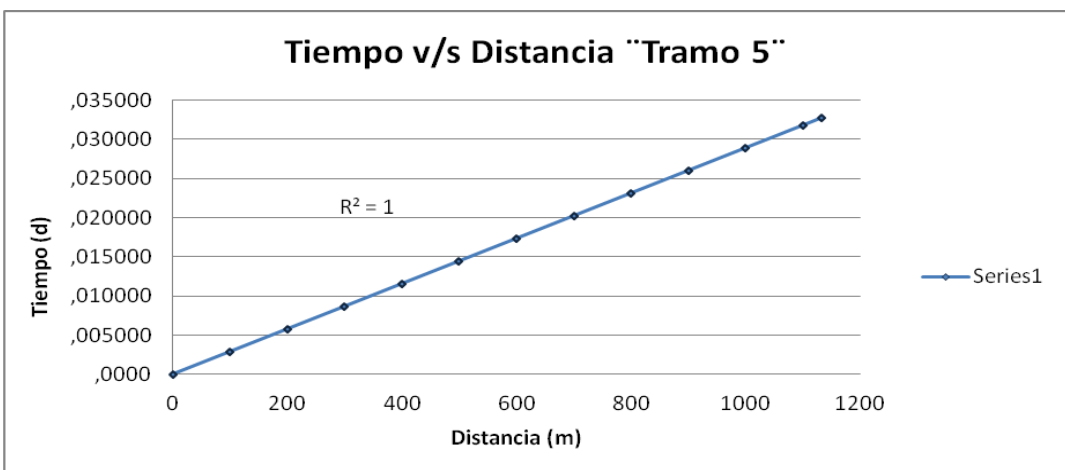


Figura 89: Simulación del Tiempo v/s Distancia en el Tramo 5.
Fuente: Autora.

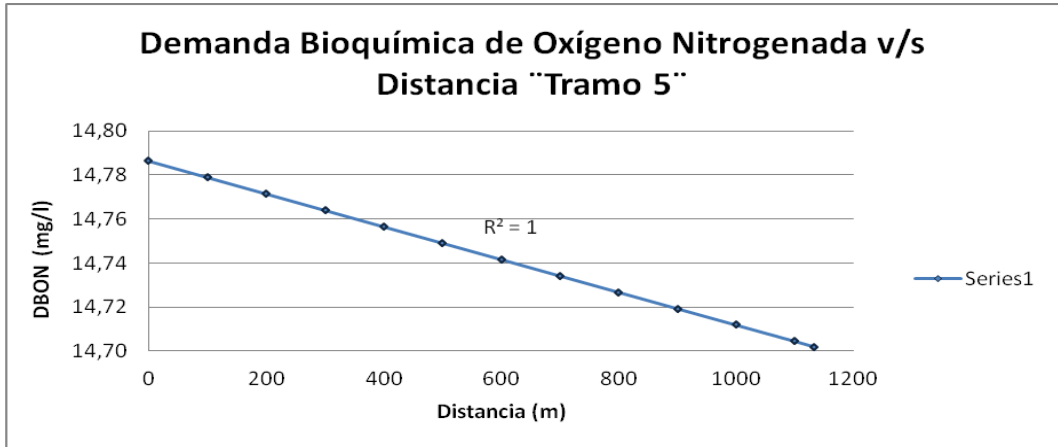


Figura 90: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada v/s Distancia en el Tramo 5.

Fuente: Autora.

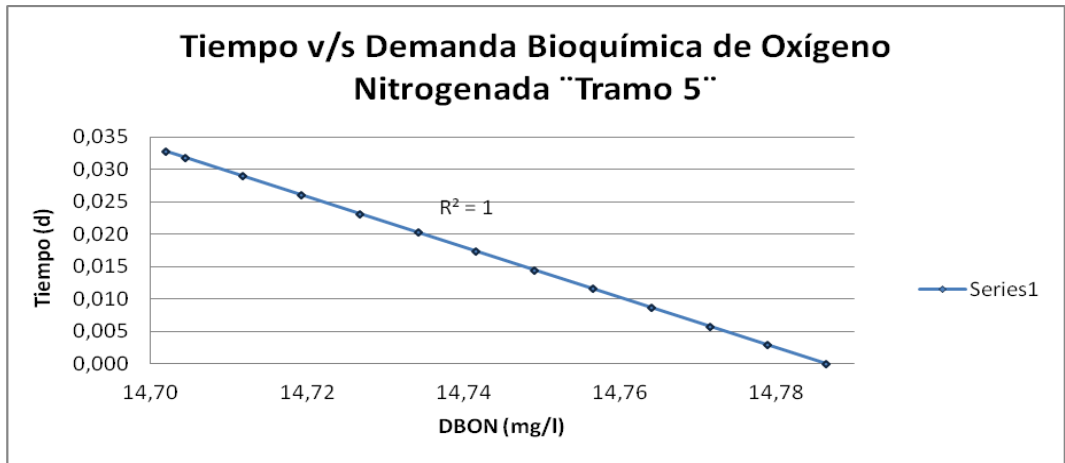


Figura 91: Simulación del Tiempo v/s Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada en el Tramo 5.

Fuente: Autora.

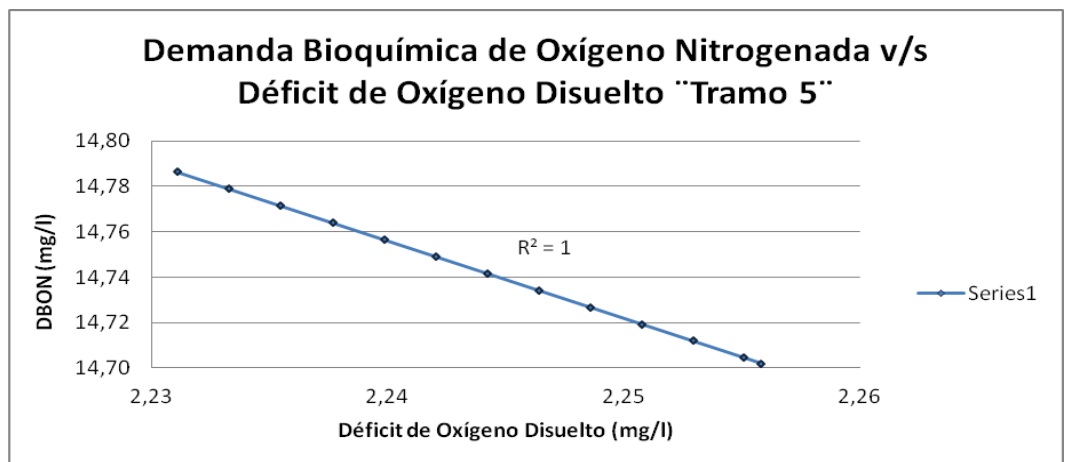


Figura 92: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada v/s Déficit de Oxígeno Disuelto en el Tramo 5.

Fuente: Autora.

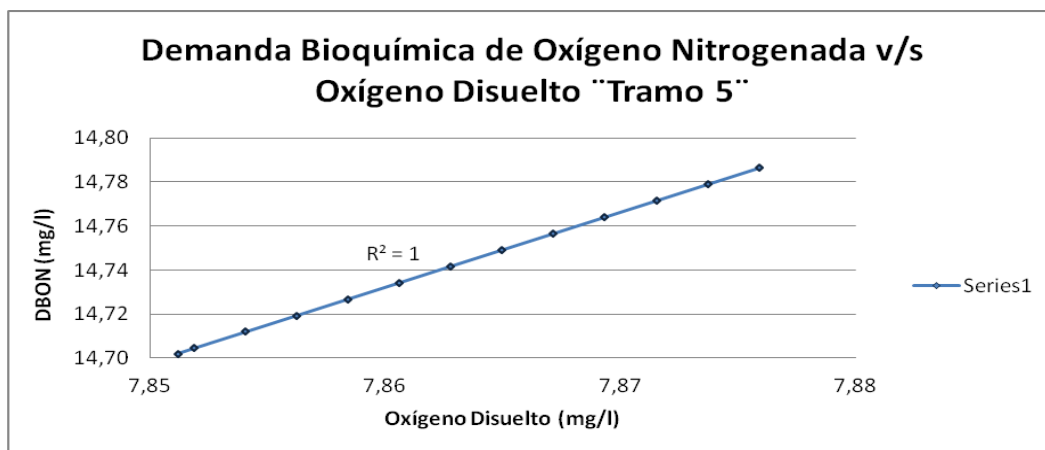


Figura 93: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada v/s Oxígeno Disuelto en el Tramo 5.
Fuente: Autora.

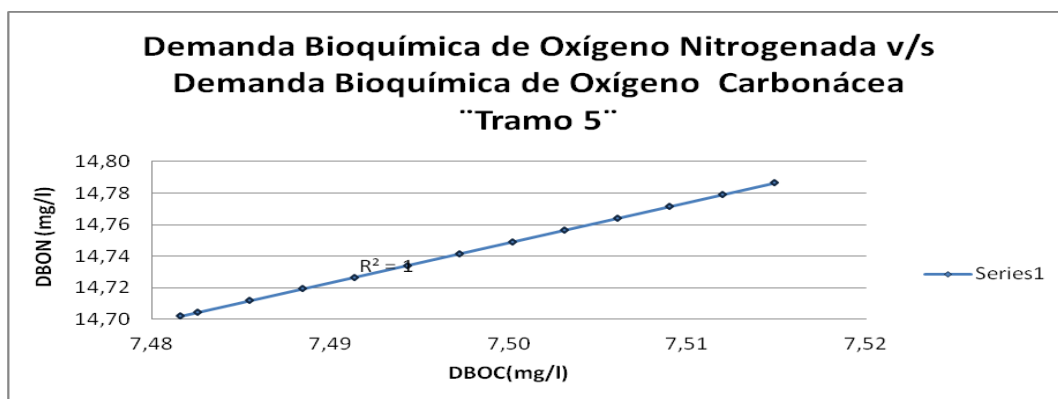


Figura 94: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada v/s Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea en el Tramo 5.
Fuente: Autora.

4.3.41. Matriz de Correlación

D (mg/l)	1	1			
OD (mg/l)	1	1	1		
DBOC (mg/l)	1	1	1	1	
DBON (mg/l)	1	1	1	1	1
t (d)	1	1	1	1	1
	X (m)	D (mg/l)	OD (mg/l)	DBOC (mg/l)	DBON (mg/l)

correlación negativa
 correlación positiva

4.3.42. Verificación del modelo.

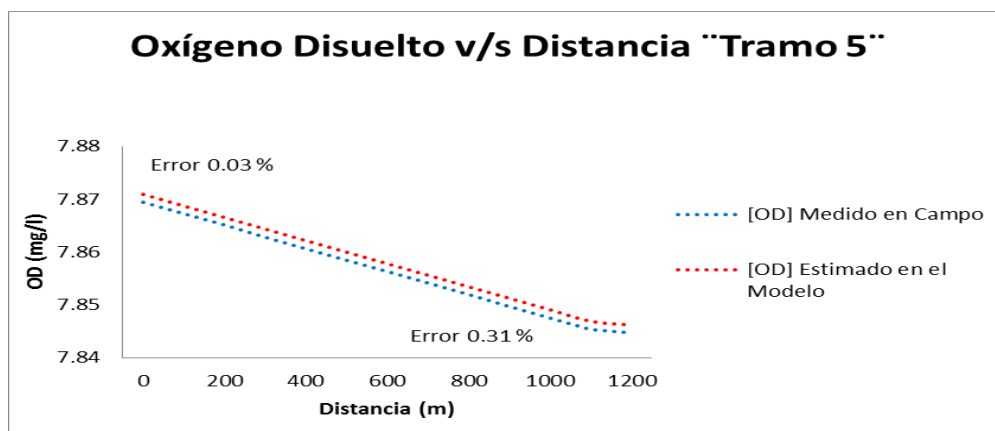


Figura 95: Simulación del Oxígeno Disuelto v/s Distancia en el Tramo 5 – Calle 10 de Agosto.
Fuente: Autora.

El error que presenta el tramo 5- Calle 10 de Agosto, es de 0,03% en el inicio y el final es de 0,31%, lo que corrobora que se tiene una validación de la modelación buena.

Las concentraciones en el tramo reflejan esta situación que el oxígeno disuelto medido en el campo es de 7,87 mg/l y la obtenida por el modelo es de 7,85mg/l.

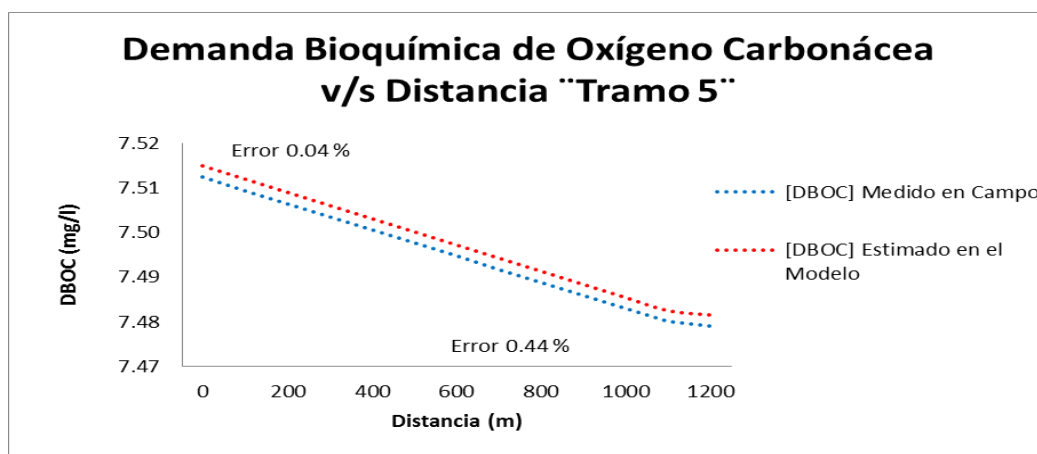


Figura 96: Simulación de la demanda bioquímica de oxígeno carbonácea v/s distancia en el tramo 5 – Calle 10 de Agosto.
Fuente: Autora.

La Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea posee un error inicial de 0,04% y final de 0,44% la concentración medida en campo es de 7,51 mg/l y la indicada por el modelo es de 7,48 mg/l.

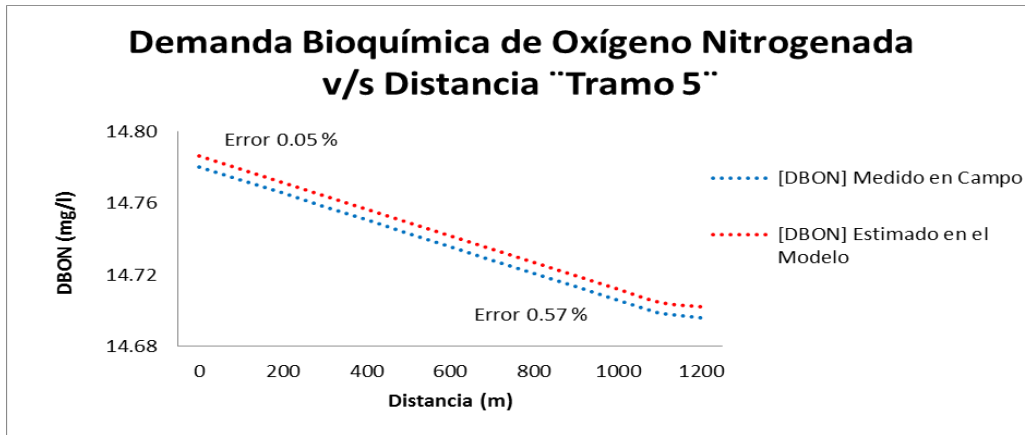


Figura 97: Simulación de la demanda bioquímica de oxígeno nitrogenada v/s distancia en el tramo 5 – calle 10 de Agosto.
Fuente: Autora.

La Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada posee un error inicial de 0,05% y final de 0,57% la concentración medida en campo es de 14,80 mg/l y la indicada por el modelo es de 14,70 mg/l.

4.3.43. Simulación del tramo 6 –Sector Mayorista.

El Tramo 6 está conformado por los puntos P6 Mayorista y P7 Terminal, con una distancia de 1496.1m.

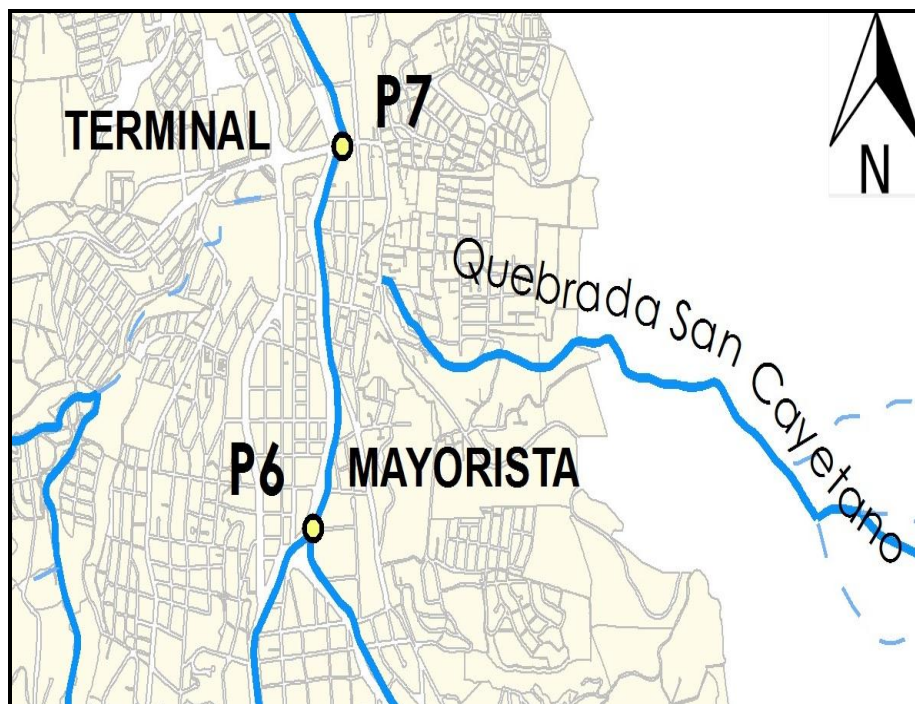


Figura 98: Tramo 6 – Sector Mayorista.
Fuente: Autora

4.3.43.1. Datos iniciales para el Modelo de Streeter & Phepls

Tabla 53. Datos del Tramo 6 – Sector Mayorista

DATOS DEL TRAMO											
QR	QD	ODR	ODD	DBOCR	DBOCD	DBONR	DBOND	TR agua	TD agua	Velocidad	Profundidad
m ³ /s	m ³ /s	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	°C	°C	m/s	m
1,77	0,37	7,03	7,14	14,75	22,58	27,75	34,50	16,40	15,88	0,50	0,38

Fuente: La autora

Tabla 54. Balance de materia

Qo	2,14	m ³ /s
ODo	7,04	mg/l
DBOo	16,10	mg/l
To	16,3	°C
DBOn	28,9	mg/l

Fuente: La autora

4.3.44. Déficit de oxígeno disuelto - Do

Usando la ecuación 4.13 y la Tabla 26. Oxígeno Disuelto en función de la temperatura

$$D_o = O_s - OD_o$$

OS	9,7
Do =	2,7

Fuente: La autora

4.3.45. Cálculo de constantes de reacción en el tramo

Tabla 55. Factores de obtención de constantes cinéticas reales

Factores de obtención de constantes cinéticas reales	
ea	1,024
ed	1,047

Fuente: La autora

Tabla 56. Constantes cinéticas corregidas

Constante de reaireación ka		Constante de oxidación kd		Constante de nitrificación kn	
Owens y Gibbs				kn	
Ka	Corrección ka por temperatura	Kd	Corrección kd por temperatura	Kn	Corrección kn por temperatura
0,087	0,080	0,153	0,129	0,189	0,142

Fuente: La autora

4.3.46. Perfiles de OD, DBOC, DBON

Longitud del tramo:

1496,05 m.

4.3.46.1. Resultado del cálculo del modelo en el Tramo 6. Sector Mayorista

Tabla 57. Modelación del OD, DBOC y DBON

MODELO						Validación		
X (m)	t (días)	D (mg/l)	OD (mg/l)	DBOC (mg/l)	DBON (mg/l)	Error OD %	Error DBOC %	Error DBON %
0	0,0000	2,6556	7,0444	16,0964	28,9114	0,00	0,00	0,00
100	0,0023	2,6599	7,0401	16,0916	28,9019	0,06	0,03	0,03
200	0,0046	2,6643	7,0357	16,0868	28,8924	0,12	0,06	0,07
300	0,0069	2,6686	7,0314	16,0820	28,8829	0,18	0,09	0,10
400	0,0093	2,6728	7,0272	16,0772	28,8734	0,24	0,12	0,13
500	0,0116	2,6771	7,0229	16,0724	28,8639	0,31	0,15	0,16
600	0,0139	2,6814	7,0186	16,0676	28,8544	0,37	0,18	0,20
700	0,0162	2,6857	7,0143	16,0628	28,8449	0,43	0,21	0,23
800	0,0185	2,6900	7,0100	16,0580	28,8355	0,49	0,24	0,26
900	0,0208	2,6943	7,0057	16,0533	28,8260	0,55	0,27	0,30
1000	0,0231	2,6986	7,0014	16,0485	28,8165	0,61	0,30	0,33
1100	0,0255	2,7029	6,9971	16,0437	28,8070	0,67	0,33	0,36
1200	0,0278	2,7072	6,9928	16,0389	28,7976	0,73	0,36	0,39
1300	0,0301	2,7114	6,9886	16,0341	28,7881	0,79	0,39	0,43
1400	0,0324	2,7157	6,9843	16,0293	28,7786	0,85	0,42	0,46
1496,05	0,0346	2,7198	6,9802	16,0248	28,7695	0,91	0,44	0,49

Fuente: La autora

Esta modelación muestra el comportamiento del OD, DBOC y DBON en el Tramo 6, los valores obtenidos al final del tramo corresponderán a los datos iniciales de la siguiente modelación.

Tabla 58. Resultados de las condiciones críticas del modelo en el Tramo 6 – Sector Mayorista

CONDICIONES CRÍTICAS					
tc (días)	Xc (m)	Dc (mg/l)	ODc (mg/l)	DBOc (mg/l)	DBON (mg/l)
8,512	367.707	8,648	1,052	5,379	9,661

Fuente: La autora

4.3.47. Calibración del Modelo

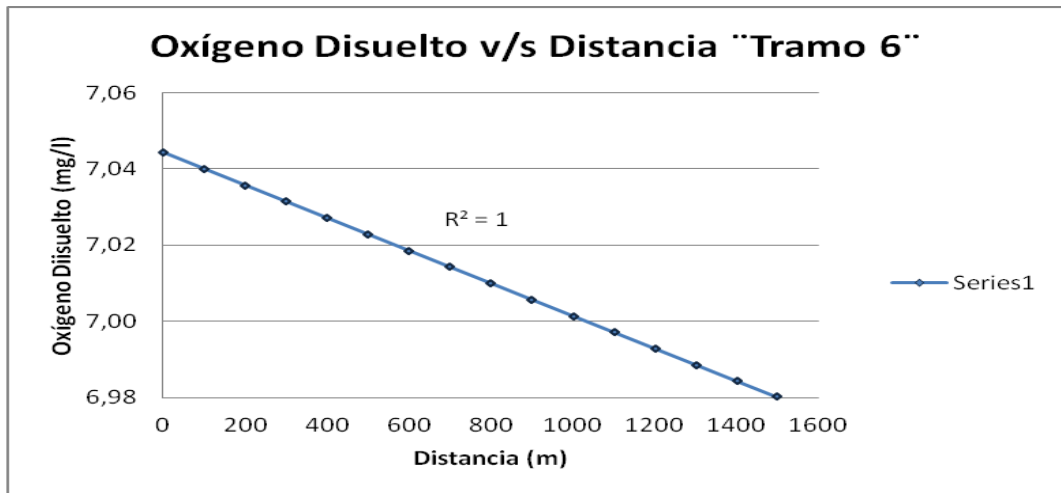


Figura 99: Simulación del Oxígeno Disuelto v/s Distancia en el Tramo 6.
Fuente: Autora.

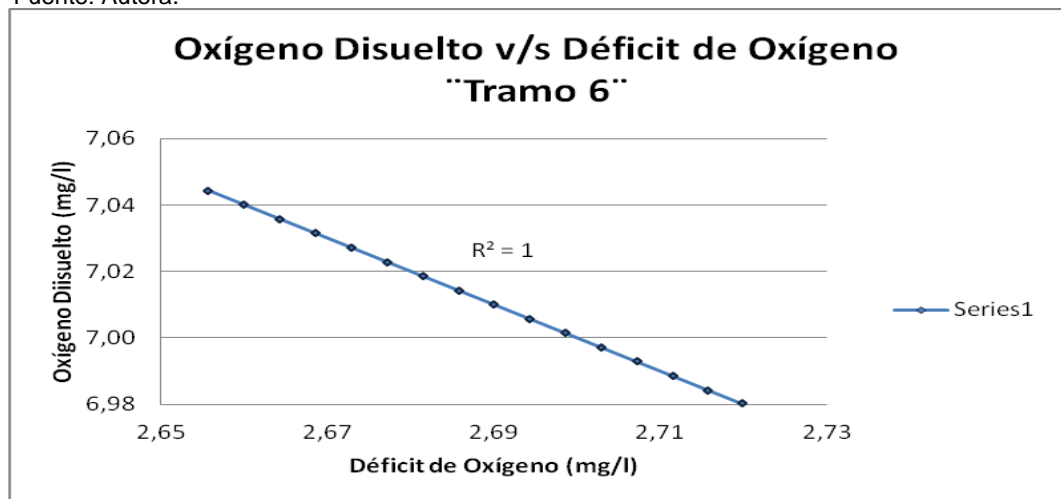


Figura 100: Simulación del Oxígeno Disuelto v/s Déficit de Oxígeno en el Tramo 6.
Fuente: Autora.

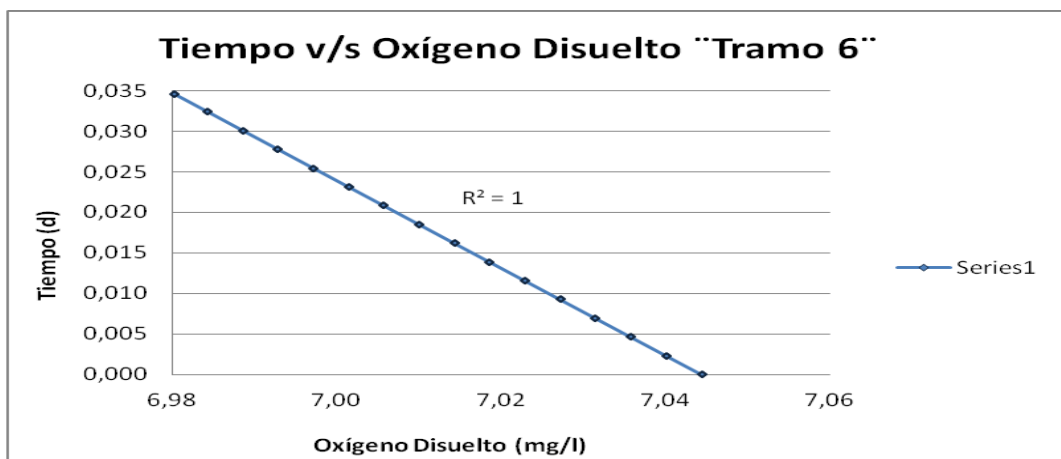


Figura 101: Simulación del Tiempo v/s Oxígeno Disuelto en el Tramo 6.
Fuente: Autora.

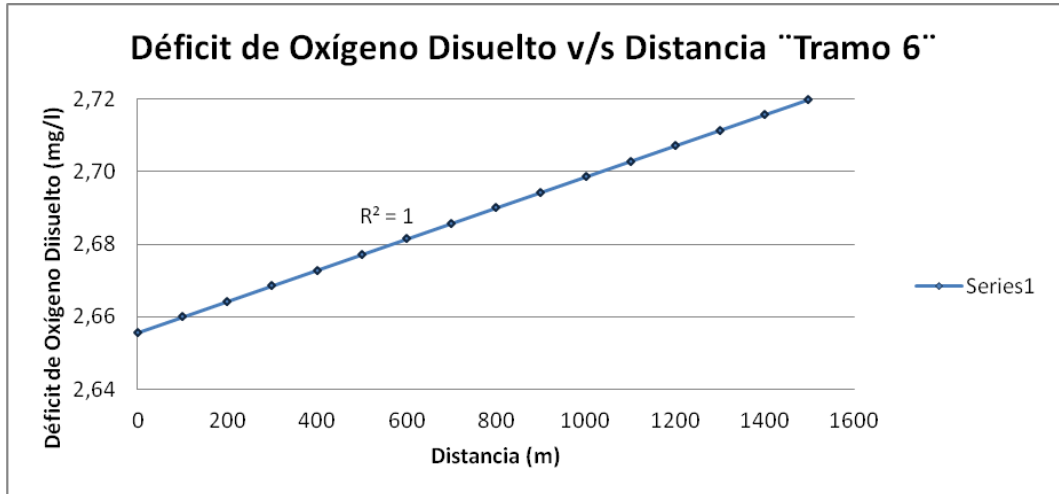


Figura 102: Simulación del Déficit de Oxígeno Disuelto v/s Distancia en el Tramo 6.
Fuente: Autora.

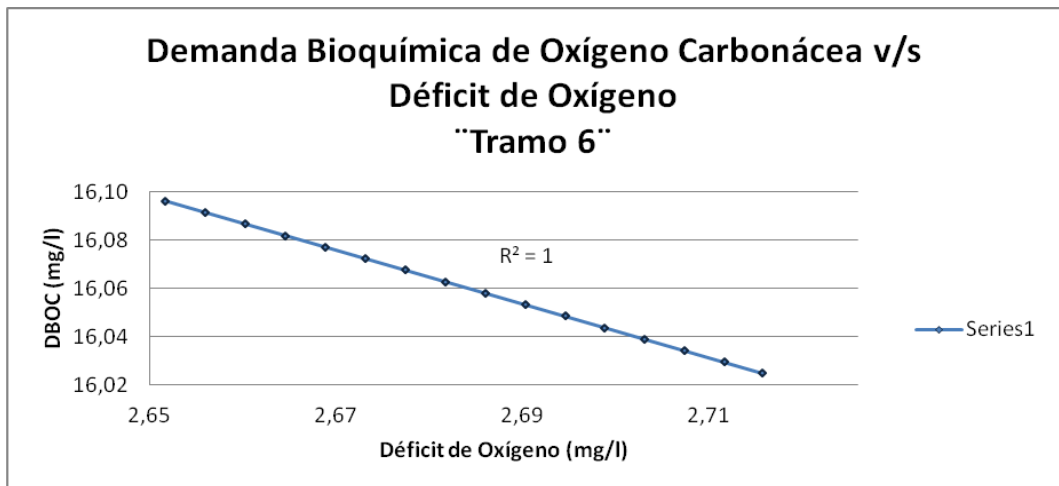


Figura 103: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea v/s Déficit de Oxígeno en el Tramo 6.
Fuente: Autora.

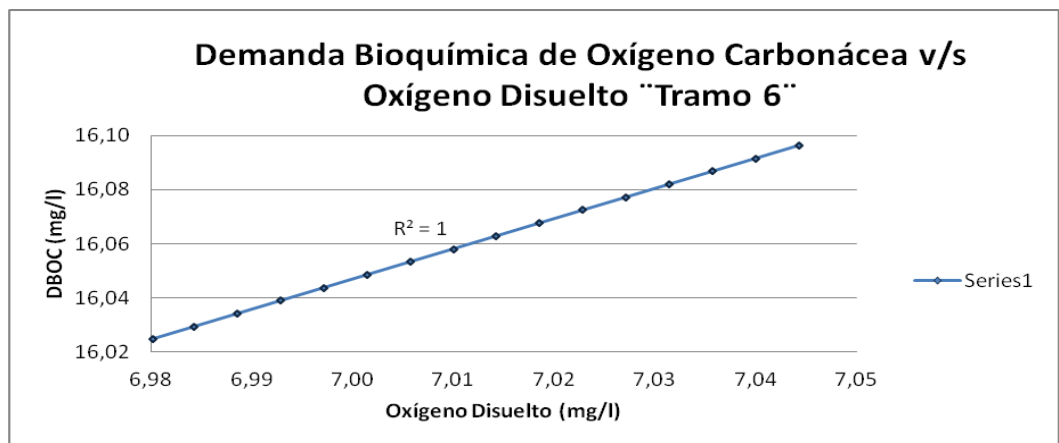


Figura 104: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea v/s Oxígeno Disuelto en el Tramo 6.
Fuente: Autora.

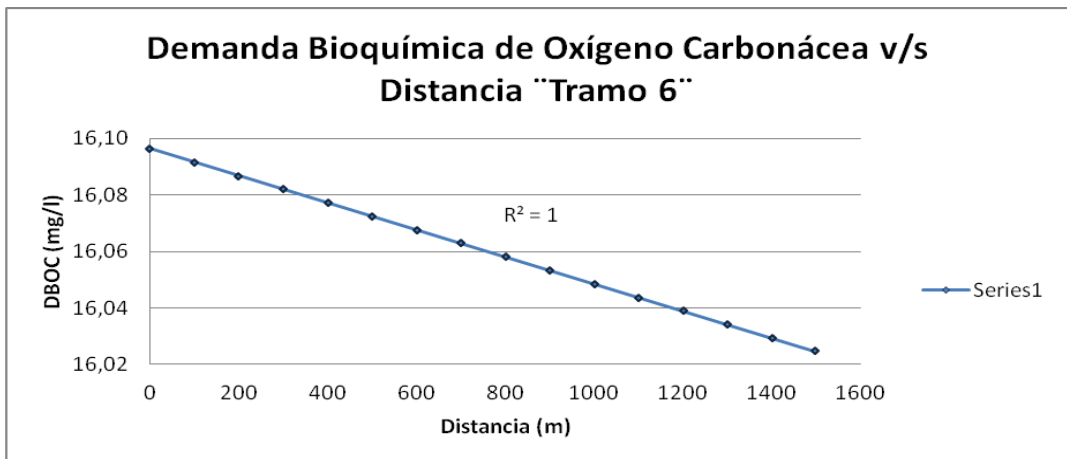


Figura 105: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea v/s Distancia en el Tramo 6.
Fuente: Autora.

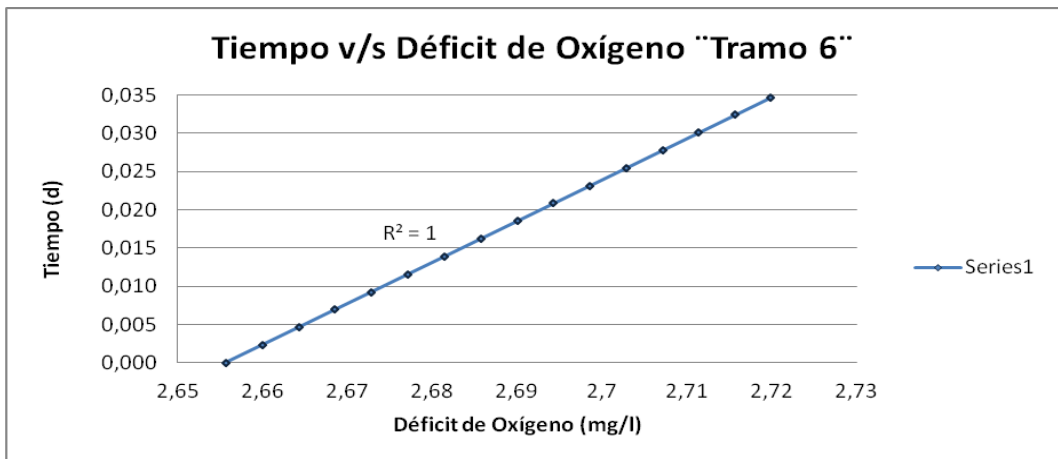


Figura 106: Simulación del Tiempo v/s Déficit de Oxígeno en el Tramo 6.
Fuente: Autora.

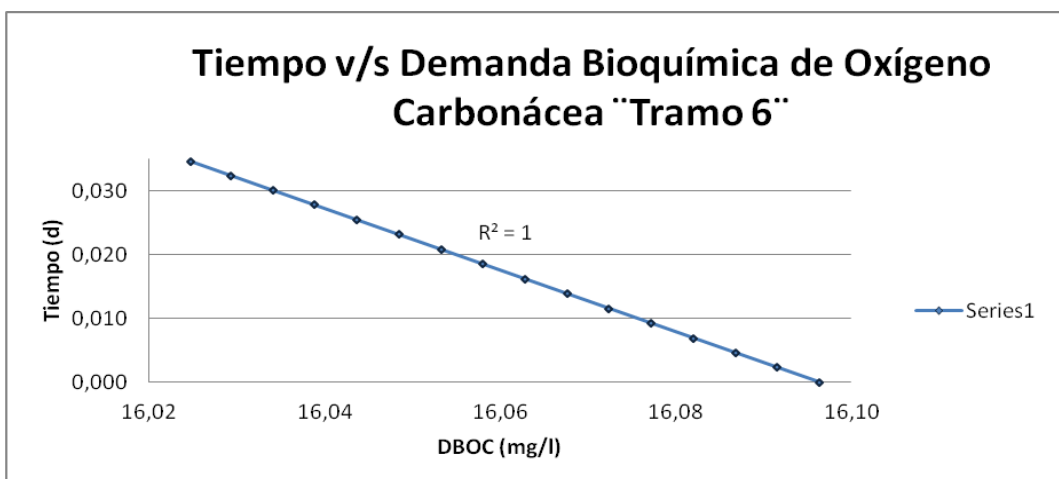


Figura 107: Simulación del Tiempo v/s Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea en el Tramo 6.
Fuente: Autora.

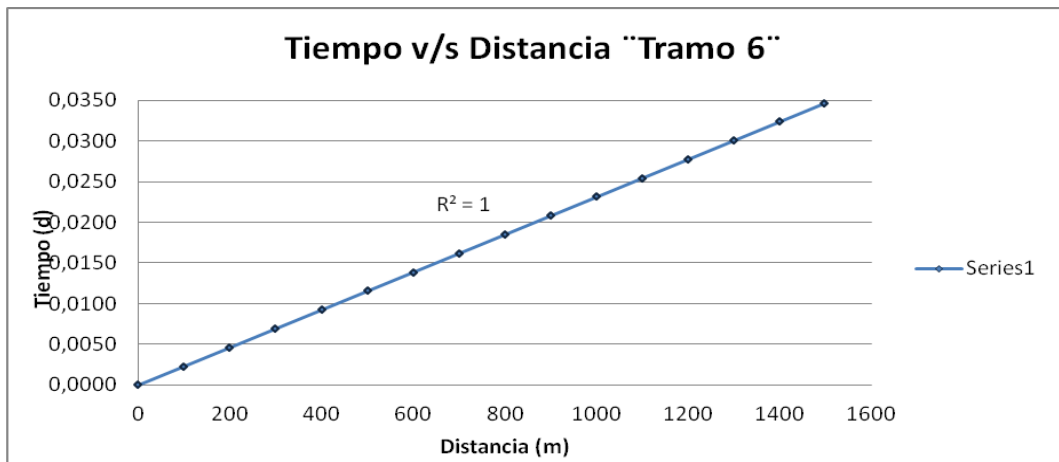


Figura 108: Simulación del Tiempo v/s Distancia en el Tramo 6.
Fuente: Autora.

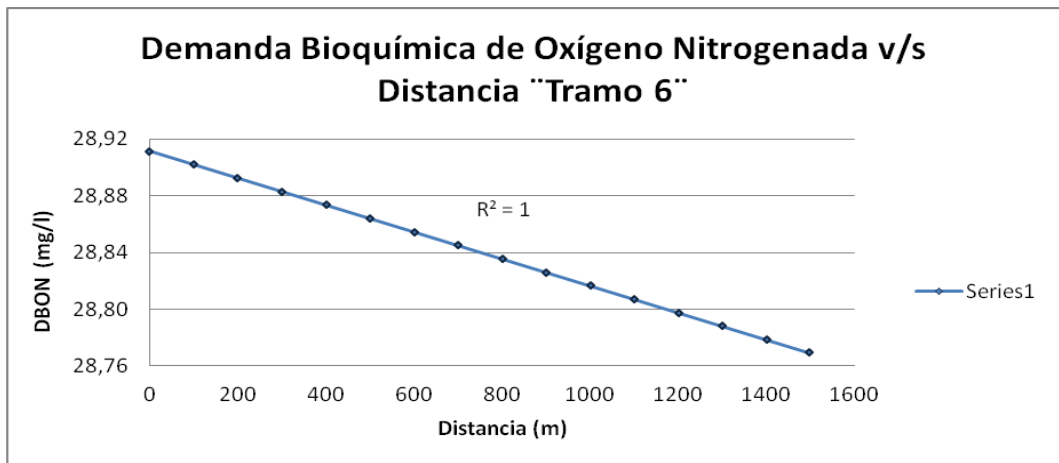


Figura 109: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada v/s Distancia en el Tramo 6.
Fuente: Autora.

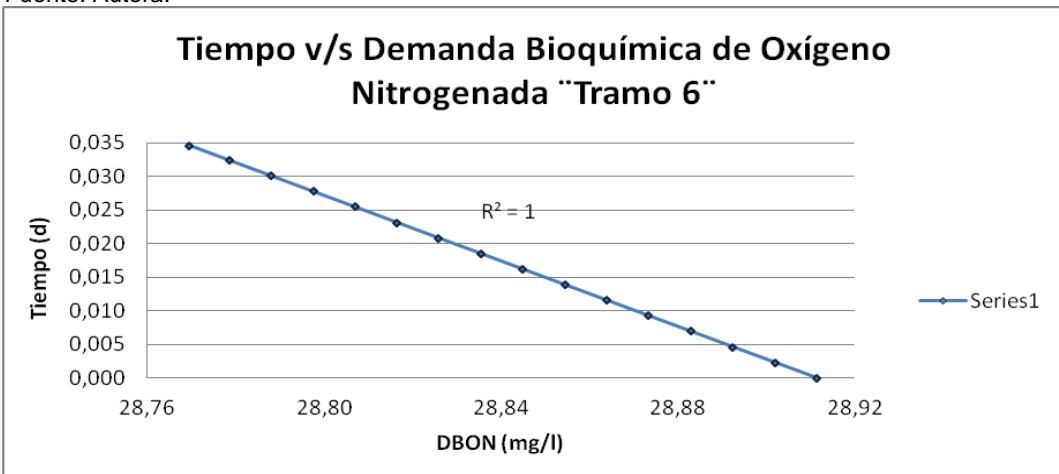


Figura 110: Simulación del Tiempo v/s Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada en el Tramo 6.
Fuente: Autora.

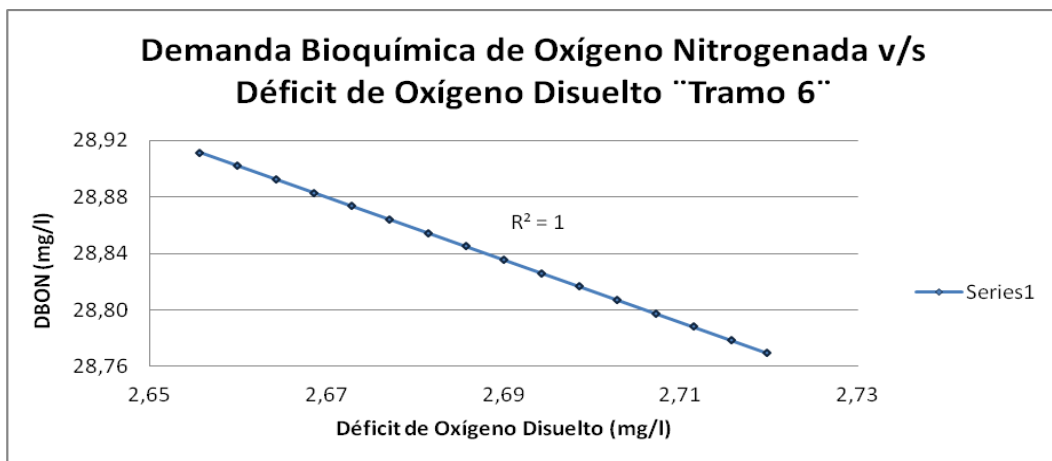


Figura 111: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada v/s Déficit de Oxígeno en el Tramo 6.
Fuente: Autora.

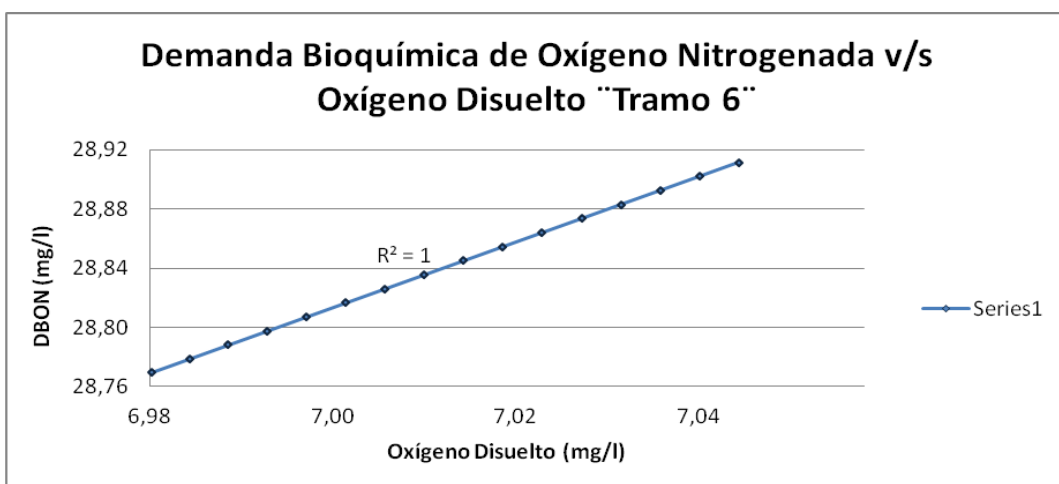


Figura 112: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada v/s Oxígeno Disuelto en el Tramo 6.
Fuente: Autora.

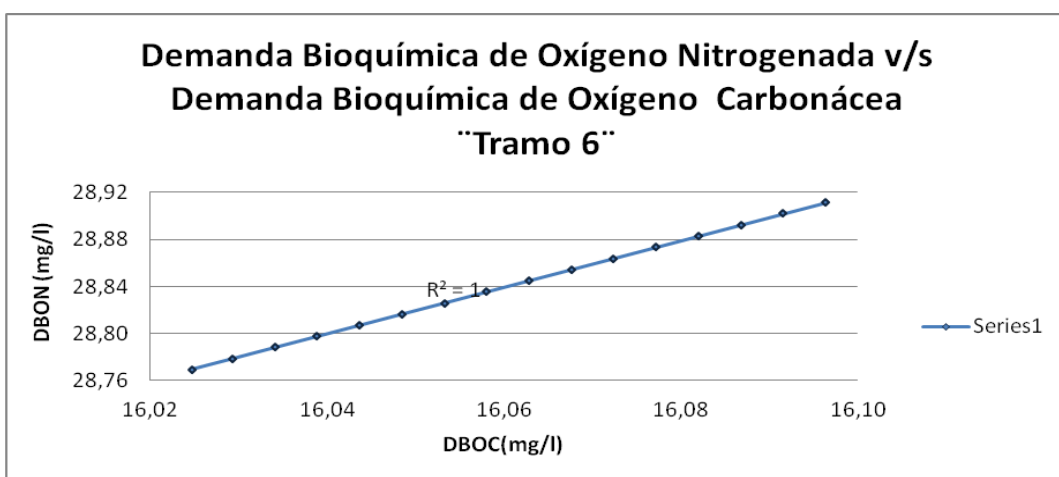




Figura 113: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada v/s Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea en el Tramo 6.
Fuente: Autora.

4.3.48. Matriz de Correlación

D (mg/l)	1	1			
OD (mg/l)	1	1	1		
DBOC (mg/l)	1	1	1	1	
DBON (mg/l)	1	1	1	1	1
t (d)	1	1	1	1	1
	X (m)	D (mg/l)	OD (mg/l)	DBOC (mg/l)	DBON (mg/l)

 correlación negativa
 correlación positiva

4.3.49. Verificación del modelo.

Las simulaciones del OD, DBOC, DBON del Tramo 6 son:

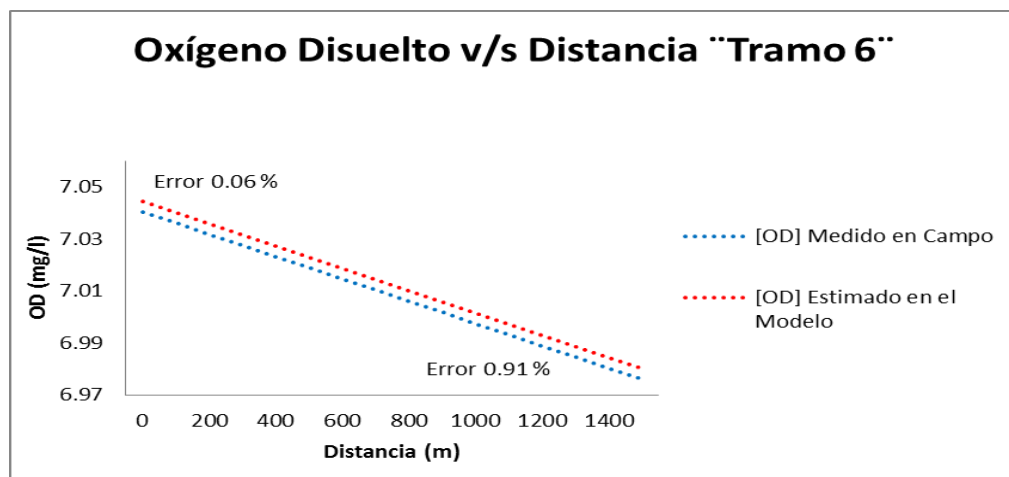


Figura 114: Simulación del oxígeno disuelto v/s distancia en el tramo 6 – Sector Mayorista.
Fuente: Autora

Para la simulación del Tramo 6 – Mayorista, se ha desarrollado el modelo Streeter-Phelps, el cual nos muestra el comportamiento del oxígeno disuelto en función de la distancia. En la verificación del modelo, se obtiene un error inicial de 0,06% y al final del tramo 0,91%, lo cual corrobora que el error es mínimo, por tanto los resultados son confiables.

La concentración de oxígeno disuelto medida en campo es de 7,04 mg/l, mientras que la concentración estimado por el modelo es de 6,98 mg/l.

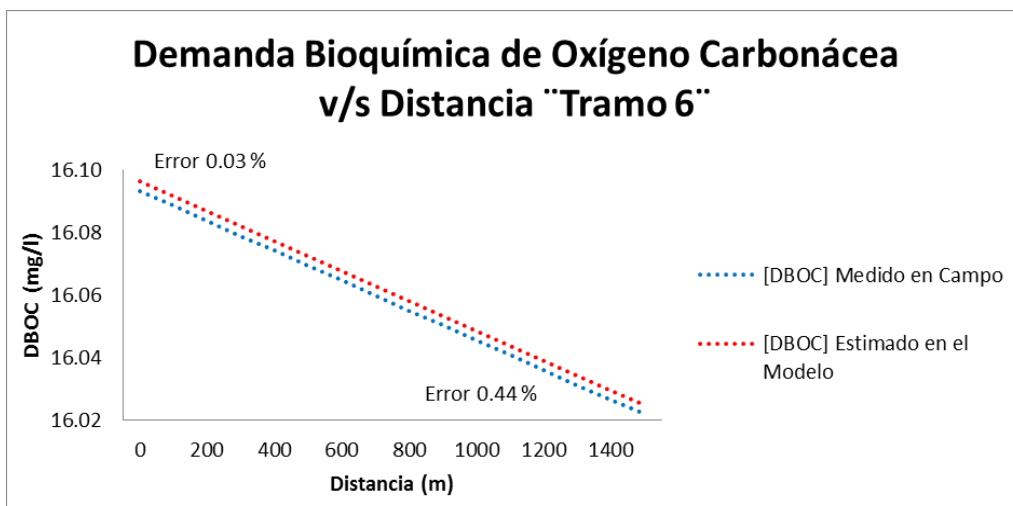


Figura 115: Simulación de la demanda bioquímica de oxígeno carbonácea v/s distancia en el tramo 6 – Sector Mayorista.

Fuente: Autora.

La demanda bioquímica de Oxígeno Carbonácea en el tramo 6 posee un error inicial de 0,03% y un error final de 0,44%, la concentración medida en campo es de 16,10 mg/l y la estimada por el modelo de 16,02 mg/l.

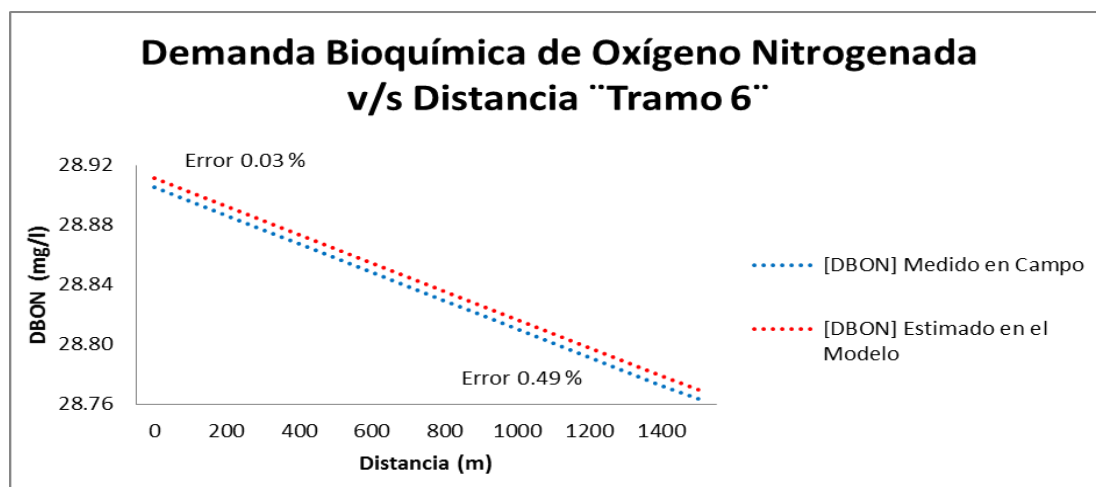


Figura 116: Simulación de la demanda bioquímica de oxígeno nitrogenada v/s distancia en el tramo 6 – Sector Mayorista.

Fuente: Autora.

La demanda bioquímica de Oxígeno Nitrogenada en el tramo 6 posee un error inicial de 0,03% y un error final de 0,49%, la concentración medida en campo es de 28,90 mg/l y la estimada por el modelo de 28,77 mg/l.

4.3.50. Simulación del tramo 7 – Terminal.

La simulación en el Tramo 7, se extiende desde el P7 ubicado en el Terminal, hasta el P8 que se ubica en el Río Jipiro; con una longitud de 1059.3m.



Figura 117: Tramo 7 – Terminal.
Fuente: Autora

4.3.51. Datos iniciales para el Modelo de Streeter & Phepls

Tabla 59. Datos de entrada del Tramo 7 - Terminal

DATOS DEL TRAMO											
QR	QD	ODR	ODD	DBO CR	DBOCD	DBONR	DBOND	TR agua	TD agua	Velocidad	Profundidad
m ³ /s	m ³ /s	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	°C	°C	m/s	m
1,99	0,43	7,80	4,85	7,40	35,75	15,50	73,00	15,23	18,03	0,45	0,38

Fuente: Autora.

Tabla 60. Balance de materia

Qo	2,42	m ³ /s
ODo	7,28	mg/l
DBOo	12,42	mg/l
To	15,7	°C
DBOn	25,7	mg/l

Fuente: Autora.

4.3.52. Déficit de oxígeno disuelto - Do usando la ecuación 4.15 y la Tabla 13.
Oxígeno Disuelto en función de la temperatura

$$D_o = O_s - OD_o$$

OS	9,9
Do =	2,6

Fuente: Autora.

4.3.53. Cálculo de constantes de reacción en el tramo

Tabla 61. Balance de materia

Factores de obtención de constantes cinéticas reales	
ea	1,024
ed	1,047

Fuente: Autora.

Tabla 62. Constantes cinéticas corregidas

Constante de reaireación ka		Constante de oxidación kd		Constante de nitrificación kn	
Owens y Gibbs					
Ka	Corrección ka por temperatura	Kd	Corrección kd por temperatura	Kn	Corrección kn por temperatura
0,081	0,074	0,153	0,125	0,137	0,098

Fuente: Autora.

4.3.54. Perfiles de OD, DBOC, DBON

Longitud del tramo:

1059,3 m.

4.3.54.1. Resultado del cálculo del modelo en el Tramo 7. Terminal Terrestre.

Tabla 63. Modelación del OD, DBOC y DBON

MODELO						Validación		
X (m)	t (días)	D (mg/l)	OD (mg/l)	DBOC (mg/l)	DBON (mg/l)	Error OD %	Error DBOC %	Error DBON %
0	0,000	2,6249	7,2751	12,4163	25,6742	0,00	0,00	0,00
100	0,003	2,6284	7,2716	12,4123	25,6677	0,05	0,03	0,03
200	0,005	2,6319	7,2681	12,4083	25,6612	0,10	0,06	0,05
300	0,008	2,6354	7,2646	12,4043	25,6547	0,14	0,10	0,08
400	0,010	2,6389	7,2611	12,4003	25,6482	0,19	0,13	0,10
500	0,013	2,6424	7,2576	12,3963	25,6417	0,24	0,16	0,13
600	0,015	2,6459	7,2541	12,3923	25,6352	0,29	0,19	0,15
700	0,018	2,6494	7,2506	12,3883	25,6287	0,34	0,23	0,18
800	0,021	2,6529	7,2471	12,3843	25,6222	0,38	0,26	0,20
900	0,023	2,6564	7,2436	12,3804	25,6157	0,43	0,29	0,23
1000	0,026	2,6599	7,2401	12,3764	25,6092	0,48	0,32	0,25
1059,3	0,027	2,6619	7,2381	12,3740	25,6054	0,51	0,34	0,27

Fuente: Autora.

Esta modelación muestra el comportamiento del OD, DBOC y DBON en el Tramo 7, los valores obtenidos al final del tramo 1059,3 m corresponderán a los datos iniciales de la siguiente modelación.

Tabla 64. Resultados de las condiciones críticas del modelo en el Tramo 7 – Terminal terrestre

CONDICIONES CRÍTICAS					
tc (días)	Xc (m)	Dc (mg/l)	ODc (mg/l)	DBOC (mg/l)	DBON (mg/l)
8,673	337,006	7,130	2,770	4,187	8,658

Fuente: Autora.

4.3.55. Calibración del Modelo

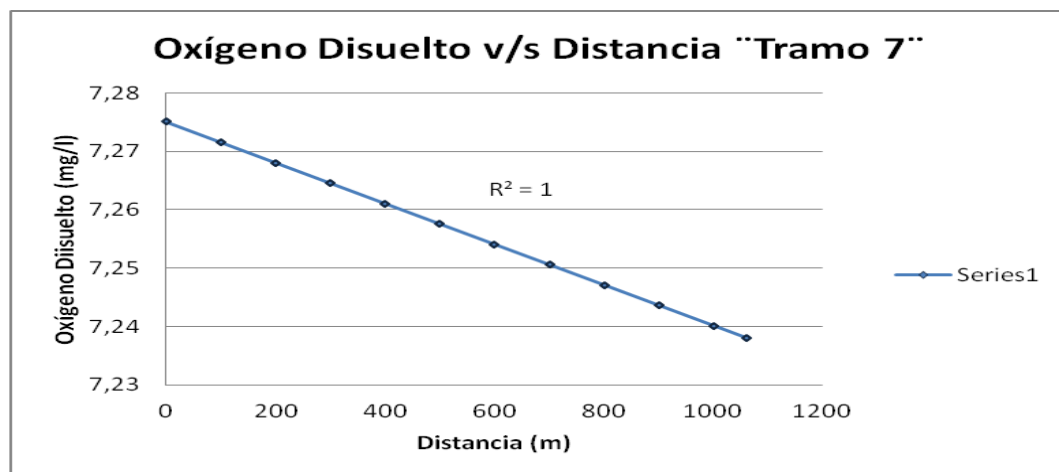


Figura 118: Simulación del Oxígeno Disuelto v/s Distancia en el Tramo 7.

Fuente: Autora.

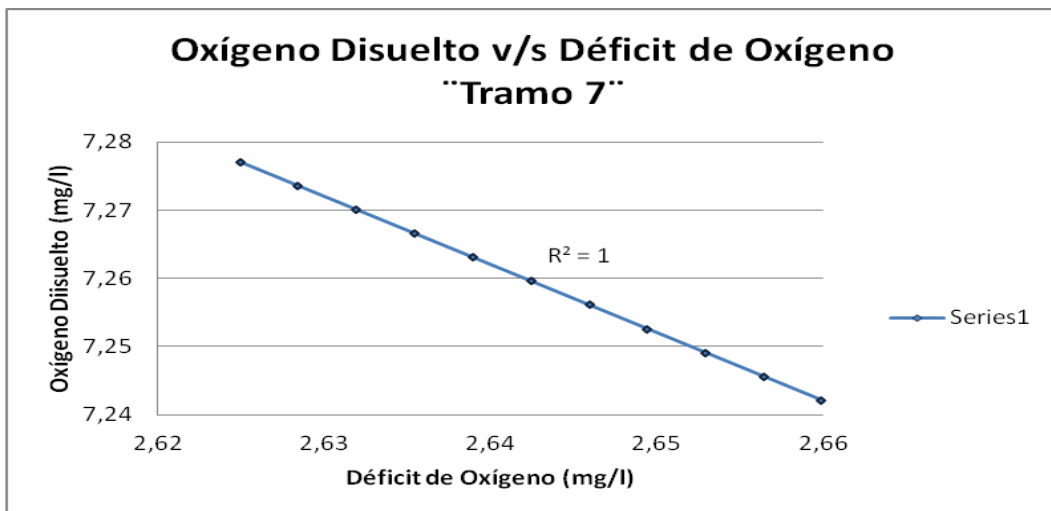


Figura 119: Simulación del Oxígeno Disuelto v/s Déficit de Oxígeno en el Tramo 7.
Fuente: Autora.

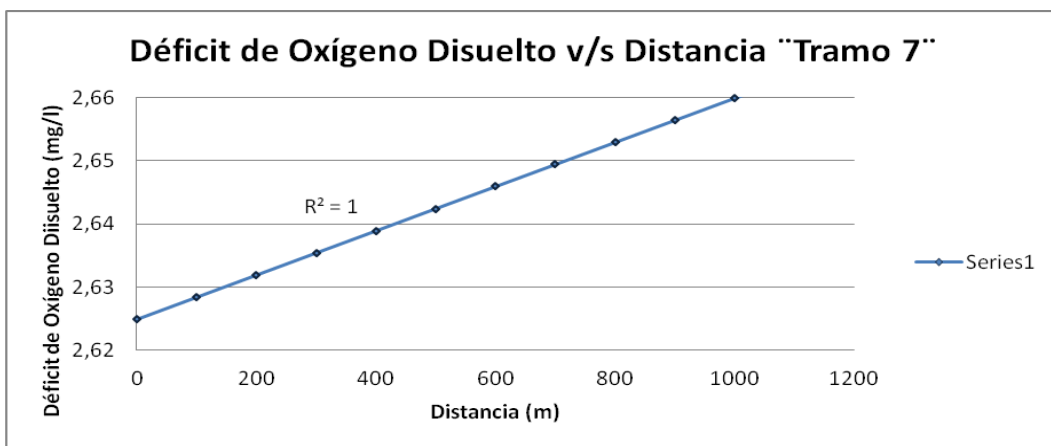


Figura 120: Simulación del Déficit de Oxígeno v/s Distancia en el Tramo 7.
Fuente: Autora.

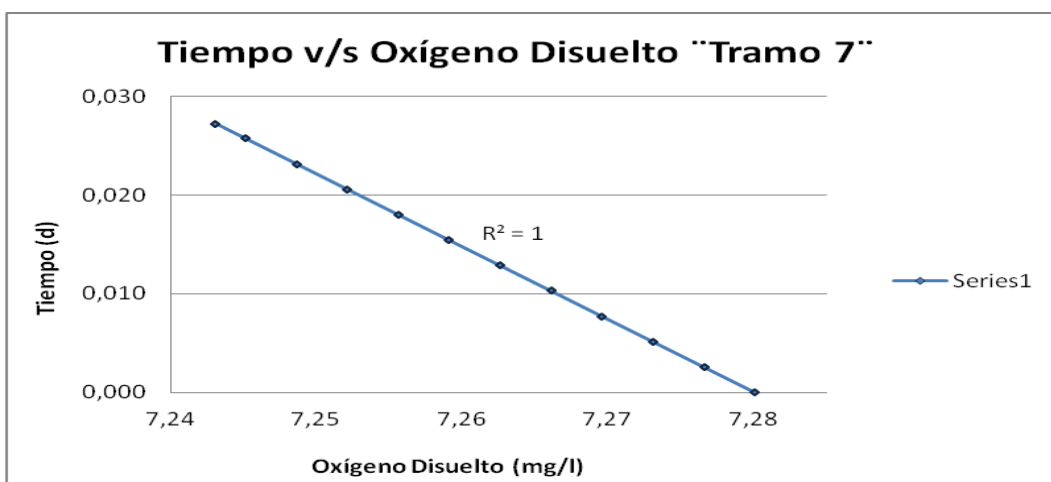


Figura 121: Simulación del Tiempo v/s Oxígeno Disuelto en el Tramo 7.
Fuente: Autora.

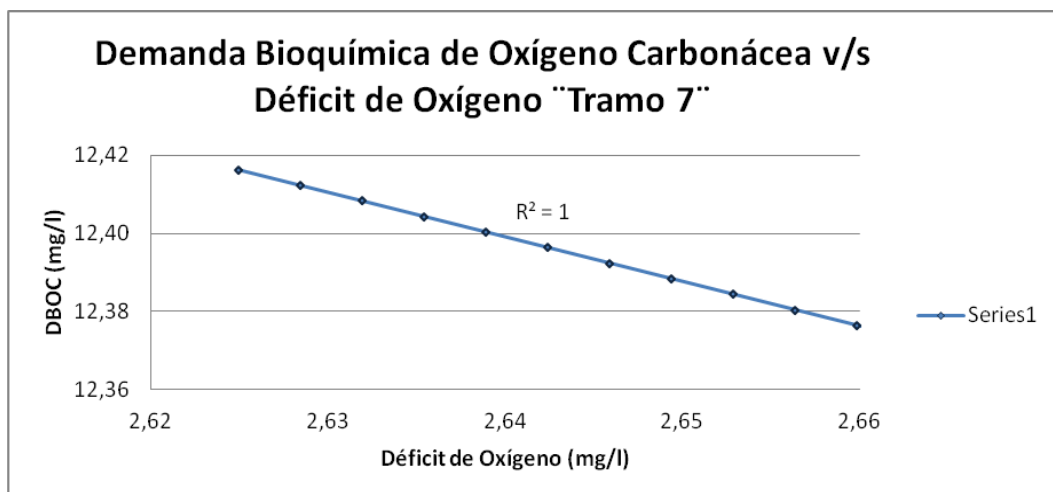


Figura 122: Simulación del Oxígeno Disuelto v/s Déficit de Oxígeno en el Tramo 7.
Fuente: Autora

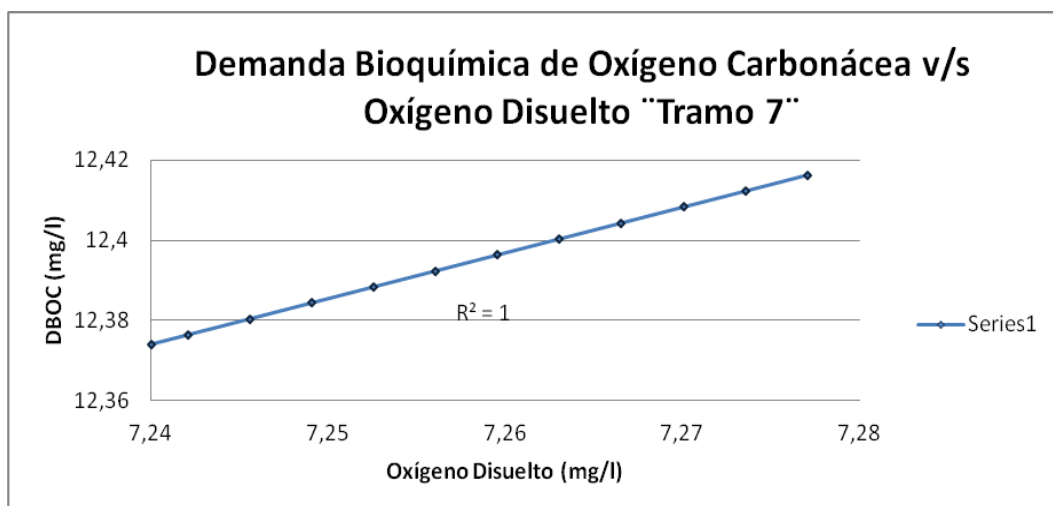


Figura 123: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea v/s Oxígeno Disuelto en el Tramo 7.
Fuente: Autora

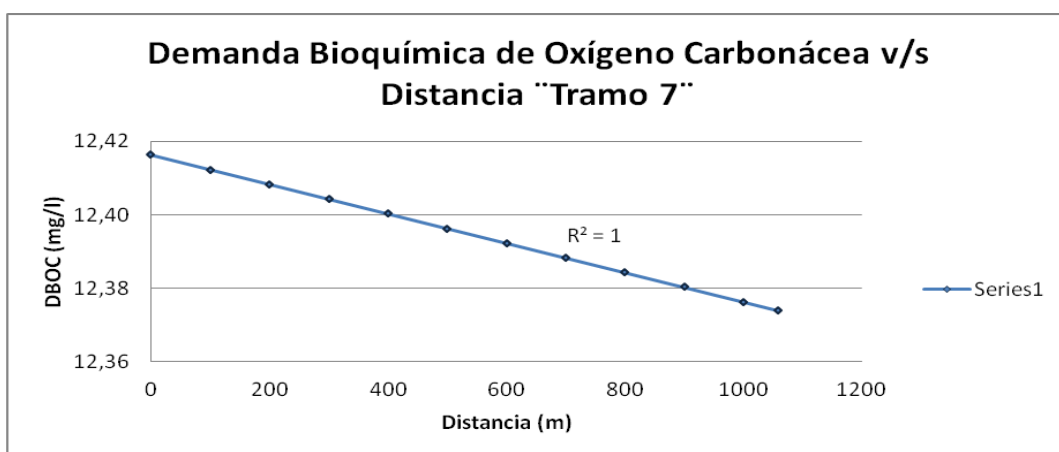


Figura 124: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea v/s Distancia en el Tramo 7.
Fuente: Autora

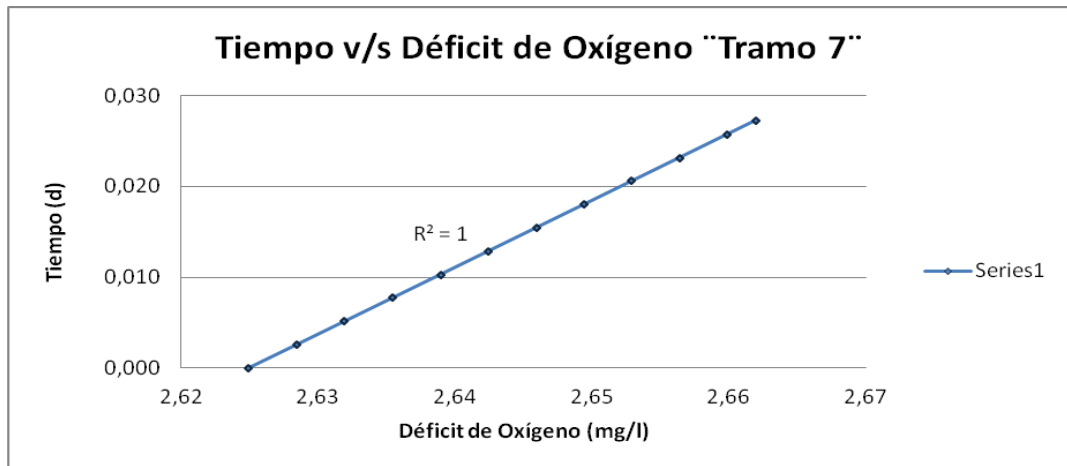


Figura 125: Simulación del Tiempo v/s Déficit de Oxígeno en el Tramo 7.
Fuente: Autora

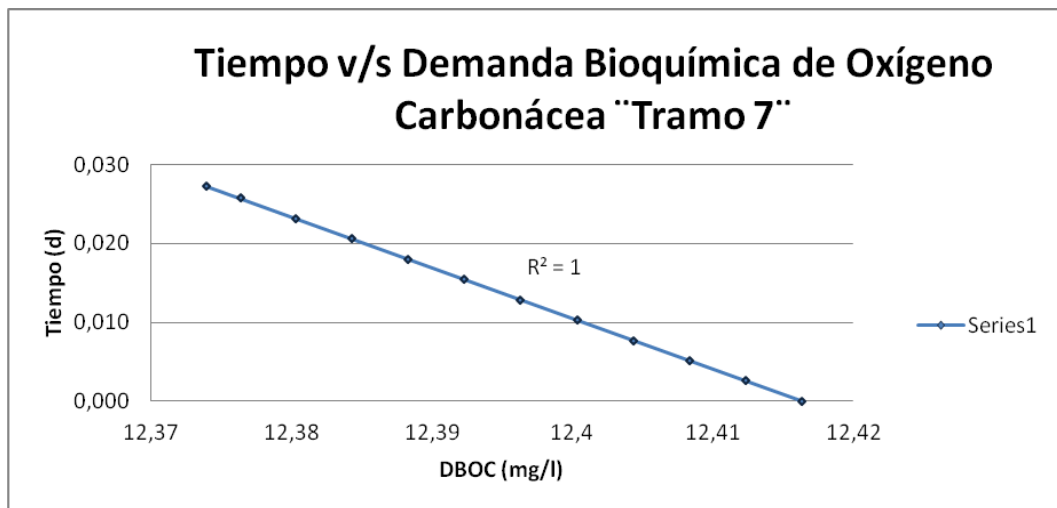


Figura 126: Simulación del Tiempo v/s Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea en el Tramo 7.
Fuente: Autora

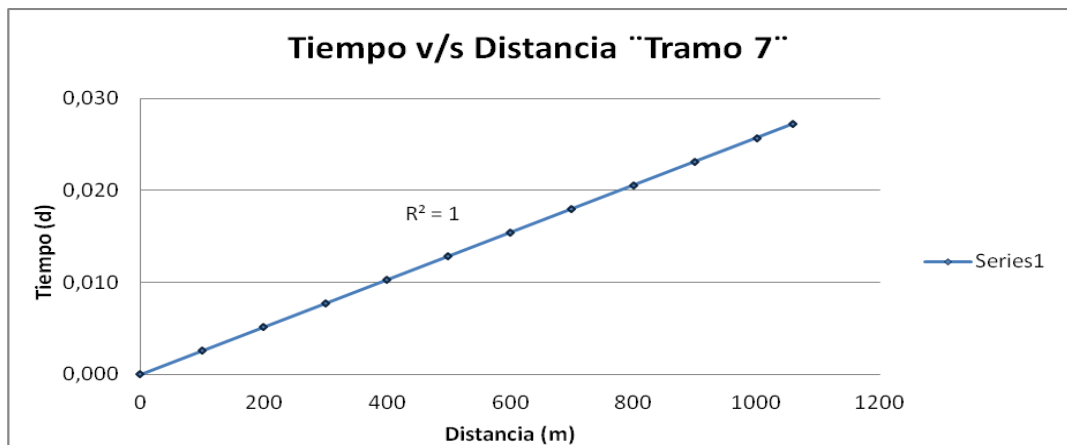


Figura 127: Simulación del Tiempo v/s Distancia en el Tramo 7.
Fuente: Autora

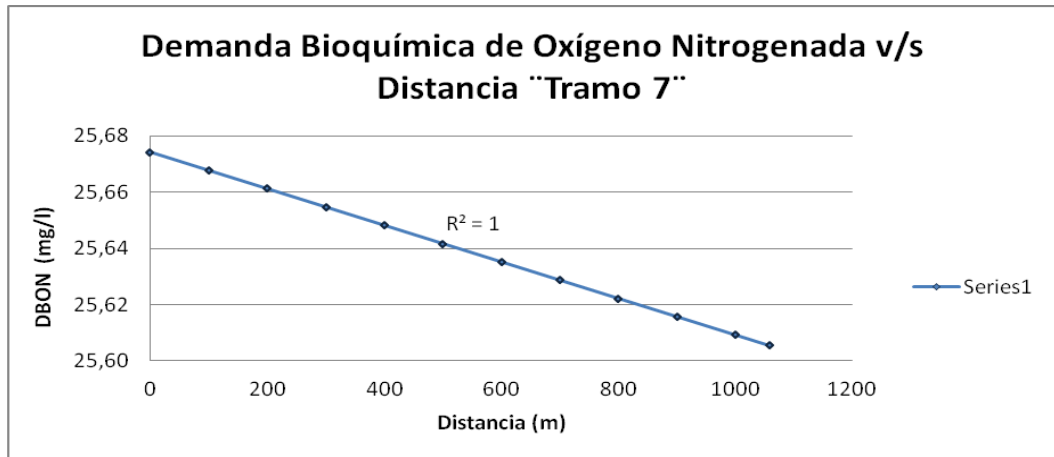


Figura 1287: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada v/s Distancia en el Tramo 7.
Fuente: Autora

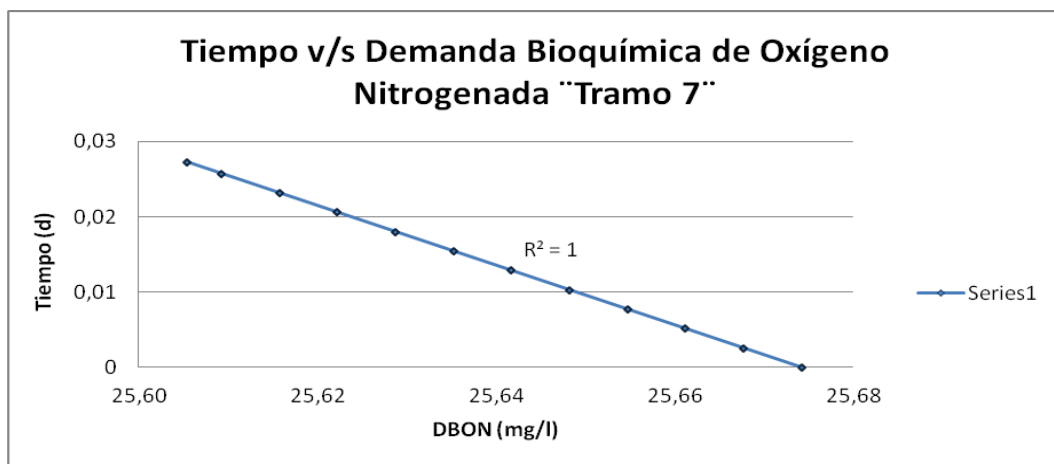


Figura 129: Simulación del Tiempo v/s Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada en el Tramo 7.
Fuente: Autora

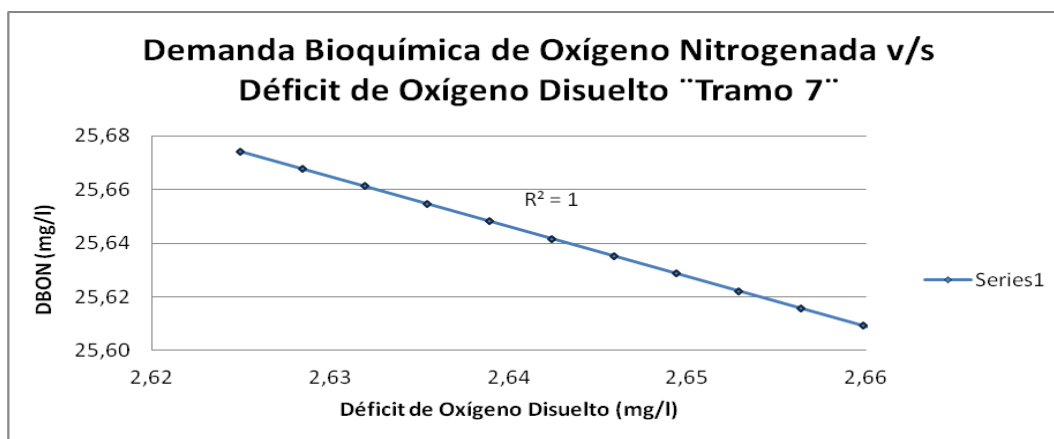


Figura 130: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada v/s Déficit de Oxígeno Disuelto en el Tramo 7.
Fuente: Autora

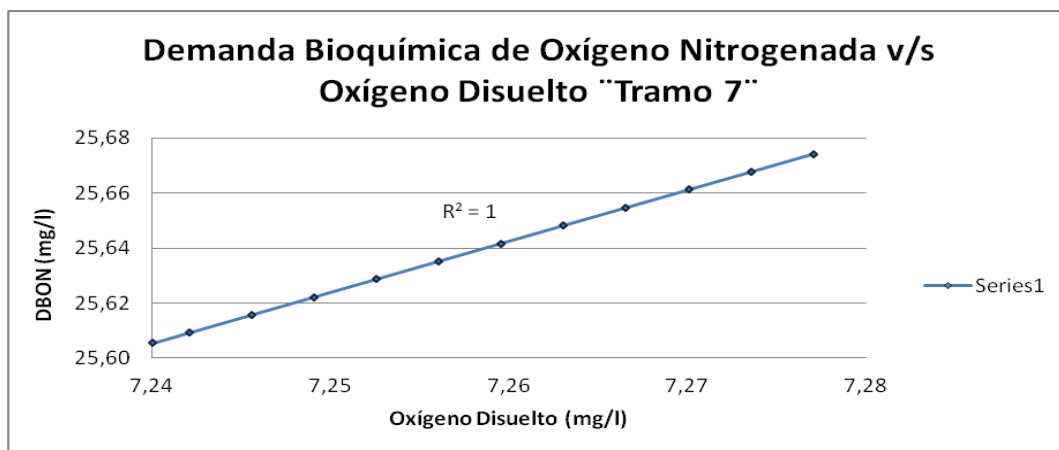


Figura 131: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada v/s Oxígeno Disuelto en el Tramo 7.
Fuente: Autora

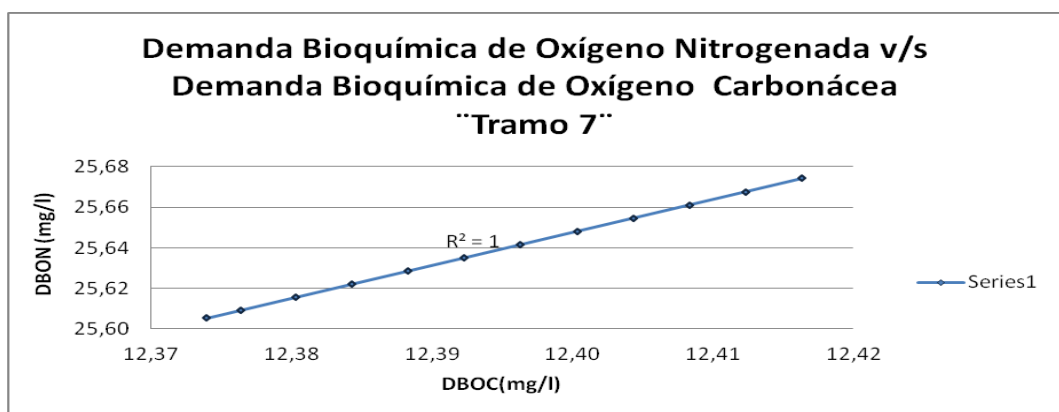


Figura 132: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada v/s Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea en el Tramo 7.
Fuente: Autora

4.3.56. Matriz de Correlación

D (mg/l)	1	1			
OD (mg/l)	1	1	1		
DBOC (mg/l)	1	1	1	1	
DBON (mg/l)	1	1	1	1	1
t (d)	1	1	1	1	1
	X (m)	D (mg/l)	OD (mg/l)	DBOC (mg/l)	DBON (mg/l)

■ correlación negativa
■ correlación positiva

4.3.57. Verificación del modelo.

Las simulaciones del OD, DBOC y DBON del tramo 7 son:

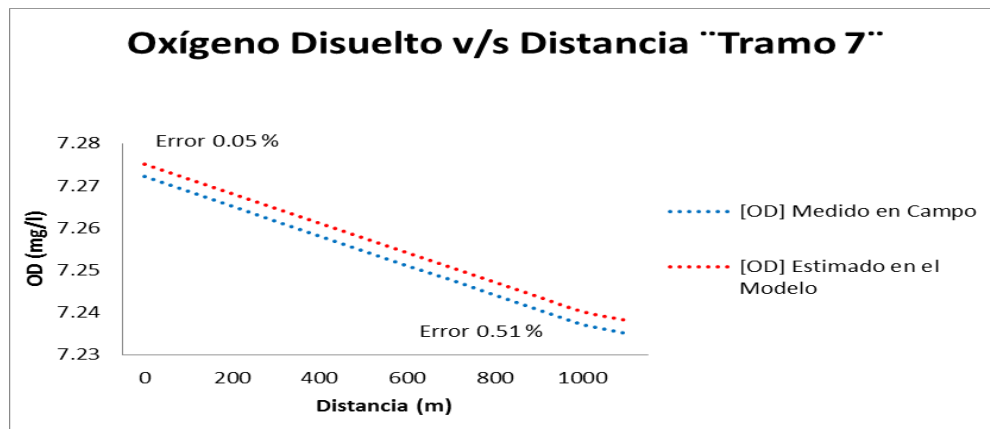


Figura 133: Simulación del Oxígeno Disuelto v/s Distancia en el Tramo 7 – Terminal.
Fuente: Autora.

La verificación del Tramo 7 – Terminal, se tiene un error inicial de 0,05% y un error final de 0,51%, la concentración de Oxígeno Disuelto medido en campo es de 7,28 mg/l, mientras que el estimado por el modelo es de 7,24 mg/l.

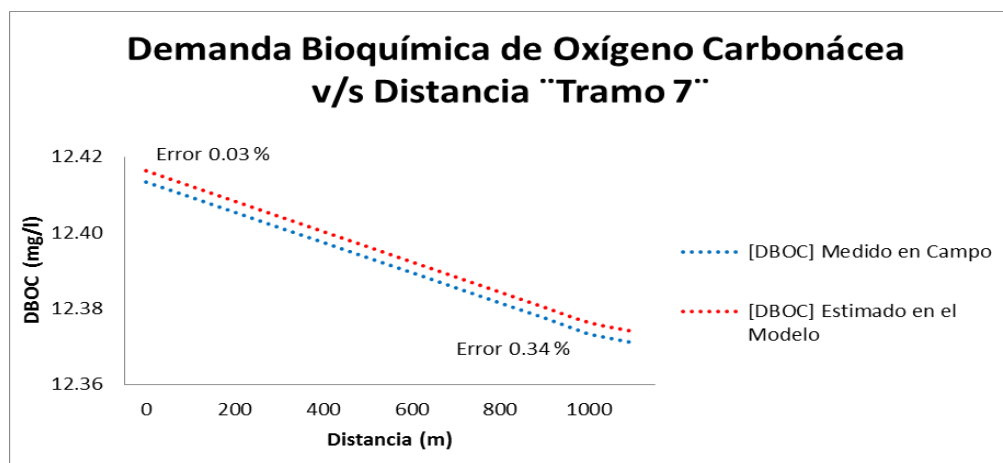


Figura 134: Simulación de la demanda bioquímica de oxígeno carbonácea v/s distancia en el tramo 7 – Termina
Fuente: Autora.

En la figura 133, se puede analizar los resultados obtenidos en el campo con los del modelo y se muestra la variación porcentual inicial de 0,03% y final de 0,34%, la concentración medida en el campo es de 12,42 mg/l y la estimada por el modelo es de 12,37 mg/l.

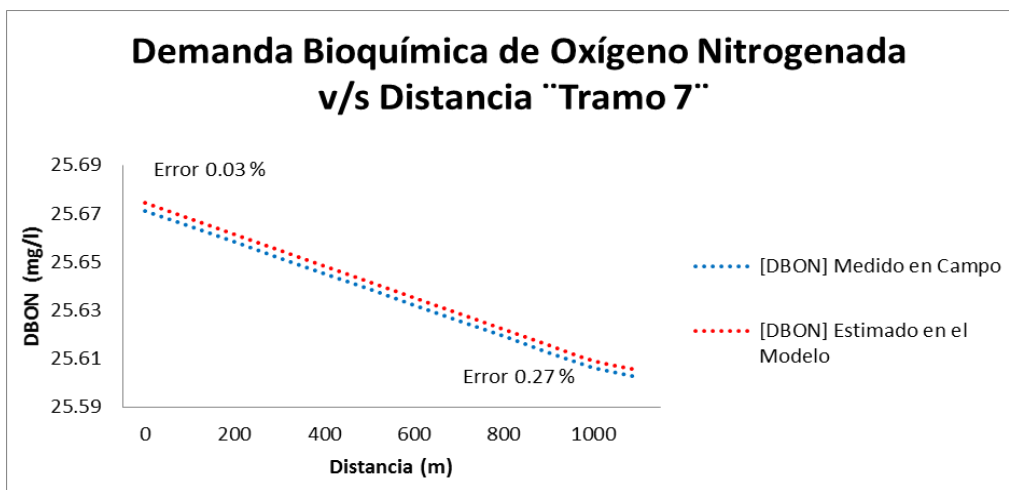


Figura 135: Simulación de la demanda bioquímica de oxígeno nitrogenada v/s distancia en el tramo 7 – Terminal.
Fuente: Autora.

La Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada posee un error inicial de 0,03% y final de 0,27% la concentración medida en campo es de 25,70 mg/l y la indicada por el modelo es de 25,60 mg/l.

4.3.58. Simulación del tramo 8 – Río Jipiro.

El Tramo 8 está conformado por los puntos P8 Río Jipiro y P9 Colector, posee una longitud de 3367.6m

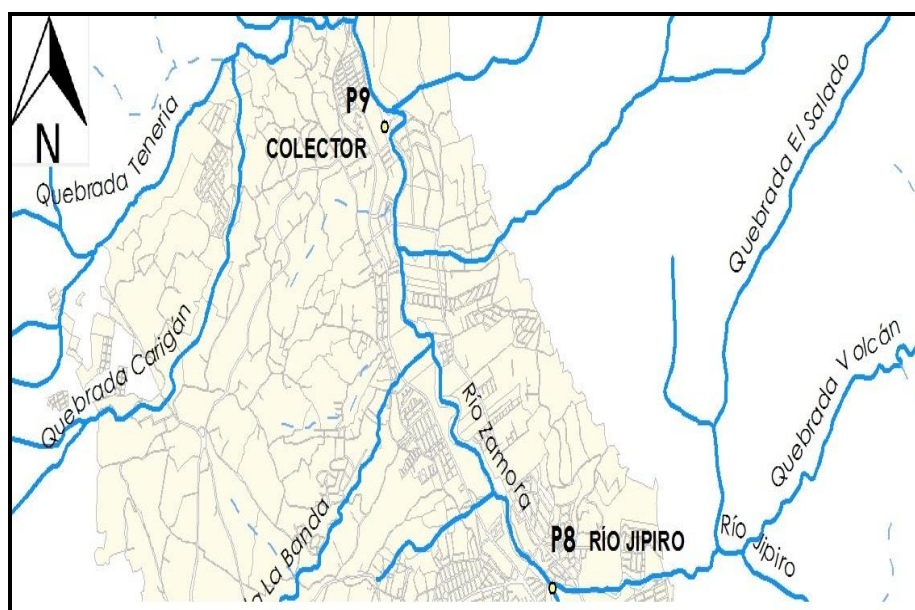


Figura 136: Tramo 8 – Río Jipiro.
Fuente: Autora

4.3.59. Datos iniciales para el Modelo de Streeter & Phepls

Tabla 65. Datos del Tramo 8 – Río Jipiro

DATOS DEL TRAMO											
Q _R	Q _D	OD _R	OD _D	DBOC _R	DBOC _D	DBON _R	DBON _D	T _R agua	T _D agua	Velocidad	Profundidad
m ³ /s	m ³ /s	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	°C	°C	m/s	m
1,76	0,51	7,34	8,07	9,25	8,38	17,20	19,45	15,88	16,28	0,35	0,20

Fuente: Autora.

Tabla 66. Balance de materia

Q _o	2,27	m ³ /s
OD _o	7,51	mg/l
DBO _o	9,05	mg/l
T _o	16,0	°C
DBO _n	17,7	mg/l

Fuente: Autora.

4.3.60. Déficit de oxígeno disuelto - Do

Usando la ecuación 4.13 y la Tabla 26. Oxígeno Disuelto en función de la temperatura

$$D_o = O_s - OD_o$$

O _s	9,9
D _o =	2,4

Fuente: Autora.

4.3.61. Cálculo de constantes de reacción en el tramo

Tabla 67. Factores de obtención de constantes cinéticas reales

Factores de obtención de constantes cinéticas reales	
ea	1,024
ed	1,047

Fuente: Autora.

Tabla 68. Resultados de las condiciones críticas del modelo en el Tramo 8 – Río Jipiro

Constante de reaireación ka		Constante de oxidación kd		Constante de nitrificación kn	
Owens y Gibbs					
Ka	Corrección ka por temperatura	Kd	Corrección kd por temperatura	Kn	Corrección kn por temperatura
0,226	0,205	0,202	0,167	0,192	0,141

Fuente: Autora.

4.3.62. Perfiles de OD, DBOC, DBON

Longitud del tramo:

3367,62 m.

4.3.62.1. Resultado del cálculo del modelo en el Tramo 8 - Río Jipiro

Tabla 69. Modelación del OD, DBOC y DBON

MODELO						Validación		
X (m)	t (días)	D (mg/l)	OD (mg/l)	DBOC (mg/l)	DBON (mg/l)	Error OD %	Error DBOC %	Error DBON %
0	0,000	2,3947	7,5053	9,0526	17,7077	0,00	0,00	0,00
100	0,003	2,3981	7,5019	9,0476	17,6994	0,05	0,06	0,05
200	0,007	2,4015	7,4985	9,0425	17,6912	0,09	0,11	0,09
300	0,010	2,4049	7,4951	9,0375	17,6830	0,14	0,17	0,14
400	0,013	2,4082	7,4918	9,0325	17,6748	0,18	0,22	0,19
500	0,017	2,4116	7,4884	9,0275	17,6666	0,22	0,28	0,23
600	0,020	2,4150	7,4850	9,0225	17,6583	0,27	0,33	0,28
700	0,023	2,4183	7,4817	9,0175	17,6501	0,31	0,39	0,32
800	0,026	2,4217	7,4783	9,0126	17,6419	0,36	0,44	0,37
900	0,030	2,4250	7,4750	9,0076	17,6337	0,40	0,50	0,42
1000	0,033	2,4284	7,4716	9,0026	17,6255	0,45	0,55	0,46
1100	0,036	2,4317	7,4683	8,9976	17,6173	0,49	0,61	0,51
1200	0,040	2,4350	7,4650	8,9926	17,6092	0,54	0,66	0,56
1300	0,043	2,4384	7,4616	8,9876	17,6010	0,58	0,72	0,60
1400	0,046	2,4417	7,4583	8,9827	17,5928	0,63	0,77	0,65
1500	0,050	2,4450	7,4550	8,9777	17,5846	0,67	0,83	0,70
1600	0,053	2,4483	7,4517	8,9727	17,5764	0,71	0,88	0,74
1700	0,056	2,4516	7,4484	8,9677	17,5683	0,76	0,94	0,79
1800	0,060	2,4549	7,4451	8,9628	17,5601	0,80	0,99	0,83

...Sigue

MODELO						Validación		
X (m)	t (días)	D (mg/l)	OD (mg/l)	DBOC (mg/l)	DBON (mg/l)	Error OD %	Error DBOC %	Error DBON %
1900	0,063	2,4582	7,4418	8,9578	17,5519	0,85	1,05	0,88
2000	0,066	2,4615	7,4385	8,9529	17,5438	0,89	1,10	0,93
2100	0,069	2,4648	7,4352	8,9479	17,5356	0,93	1,16	0,97
2200	0,073	2,4681	7,4319	8,9429	17,5275	0,98	1,21	1,02
2300	0,076	2,4713	7,4287	8,9380	17,5193	1,02	1,27	1,06
2400	0,079	2,4746	7,4254	8,9330	17,5112	1,06	1,32	1,11
2500	0,083	2,4779	7,4221	8,9281	17,5030	1,11	1,37	1,16
2600	0,086	2,4811	7,4189	8,9232	17,4949	1,15	1,43	1,20
2700	0,089	2,4844	7,4156	8,9182	17,4868	1,19	1,48	1,25
2800	0,093	2,4876	7,4124	8,9133	17,4786	1,24	1,54	1,29
2900	0,096	2,4909	7,4091	8,9083	17,4705	1,28	1,59	1,34
3000	0,099	2,4941	7,4059	8,9034	17,4624	1,32	1,65	1,39
3100	0,103	2,4974	7,4026	8,8985	17,4543	1,37	1,70	1,43
3200	0,106	2,5006	7,3994	8,8936	17,4462	1,41	1,76	1,48
3300	0,109	2,5038	7,3962	8,8886	17,4381	1,45	1,81	1,52
3367,62	0,111	2,5060	7,3940	8,8853	17,4326	1,48	1,85	1,55

Fuente: Autora.

Esta modelación muestra el comportamiento del OD, DBOC y DBON en el Tramo 8, los valores obtenidos al final del tramo corresponderán a los datos iniciales de la modelación en el tramo 9.

Tabla 70. Resultados de las condiciones críticas del modelo en el Tramo 8 – Río Jipiro

CONDICIONES CRÍTICAS					
tc (días)	Xc (m)	Dc (mg/l)	ODc (mg/l)	DBOc (mg/l)	DBON (mg/l)
3,758	113,640	3,939	5,961	4,824	9,437

Fuente: Autora.

4.3.63. Calibración del Modelo

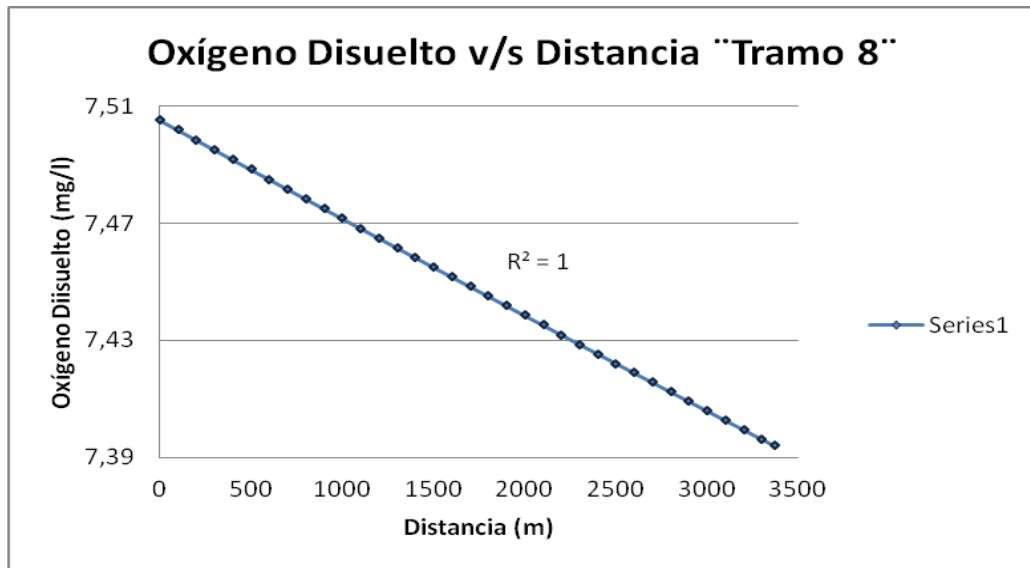


Figura 137: Simulación del Oxígeno Disuelto v/s Distancia en el Tramo 8.
Fuente: Autora

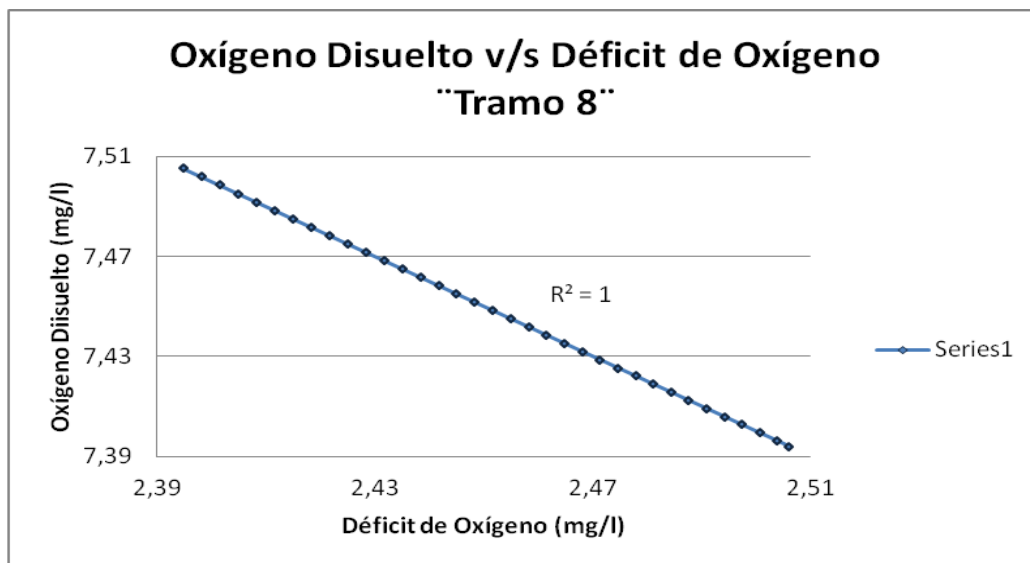


Figura 138: Simulación del Oxígeno Disuelto v/s Déficit de Oxígeno en el Tramo 8.
Fuente: Autora

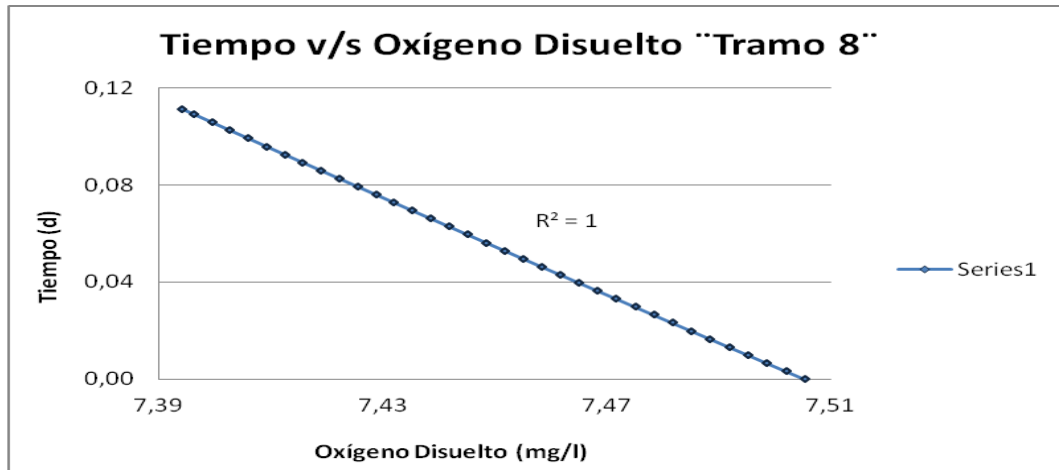


Figura 139: Simulación del Oxígeno Disuelto v/s Distancia en el Tramo 8.
Fuente: Autora

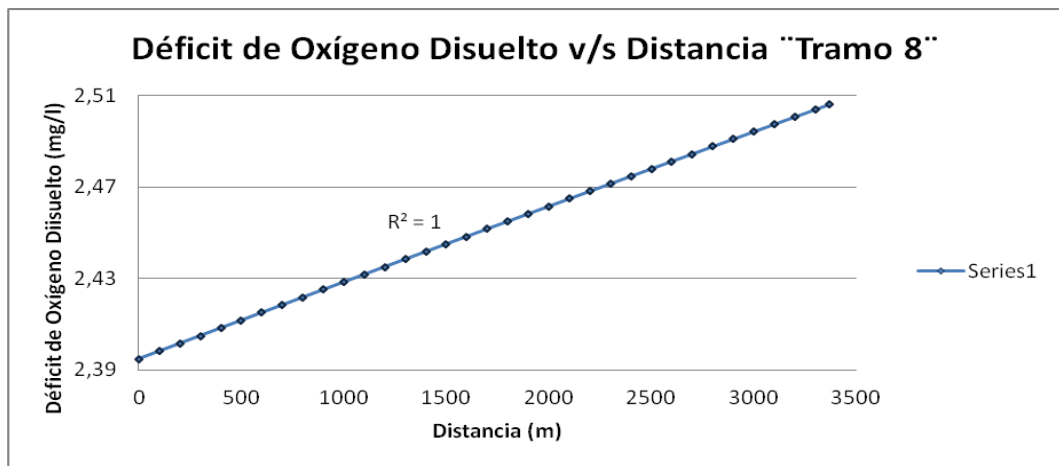


Figura 1409: Simulación del Déficit de Oxígeno Disuelto v/s Distancia en el Tramo 8.
Fuente: Autora

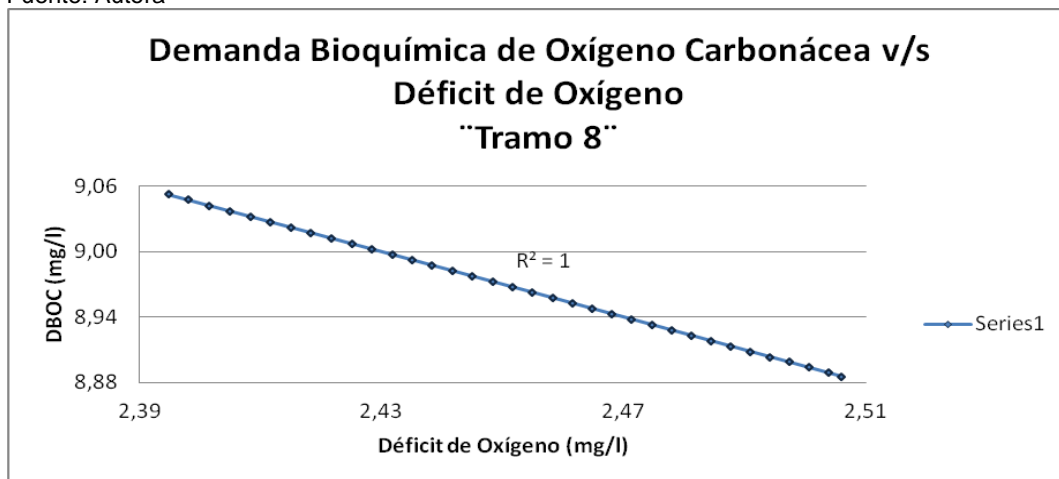


Figura 141: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea v/s Déficit de Oxígeno en el Tramo 8.
Fuente: Autora

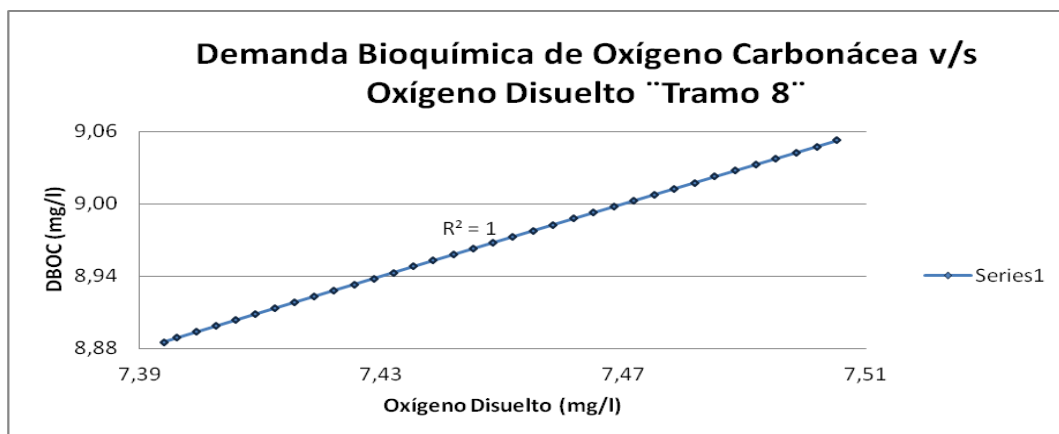


Figura 142: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea v/s Oxígeno Disuelto en el Tramo 8.
Fuente: Autora

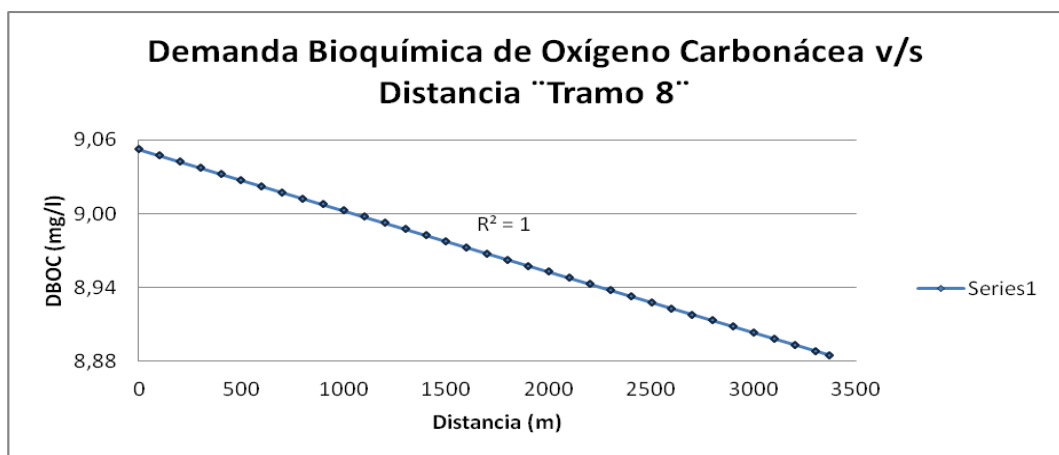


Figura 143: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea v/s Distancia en el Tramo 8.
Fuente: Autora

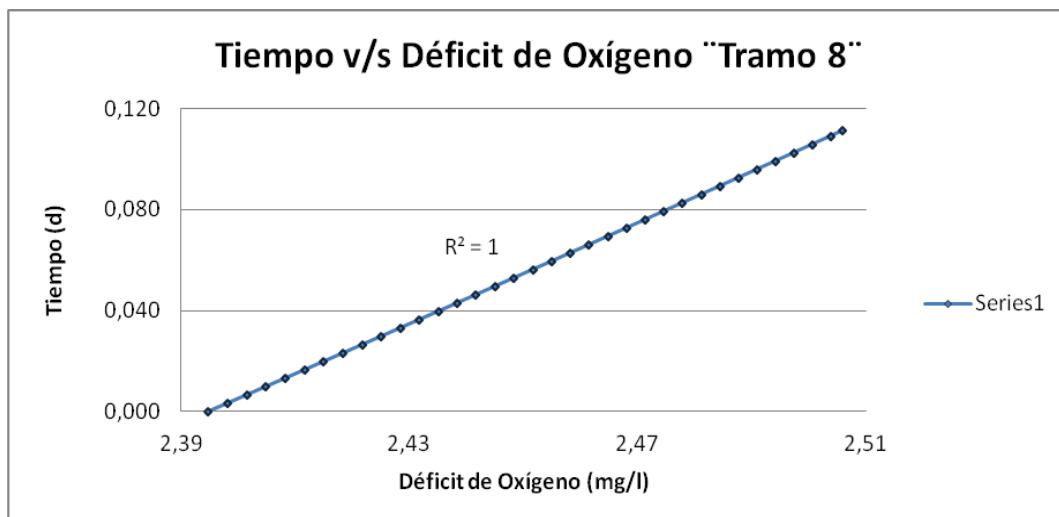


Figura 144: Simulación del Tiempo v/s Déficit de Oxígeno en el Tramo 8.
Fuente: Autora

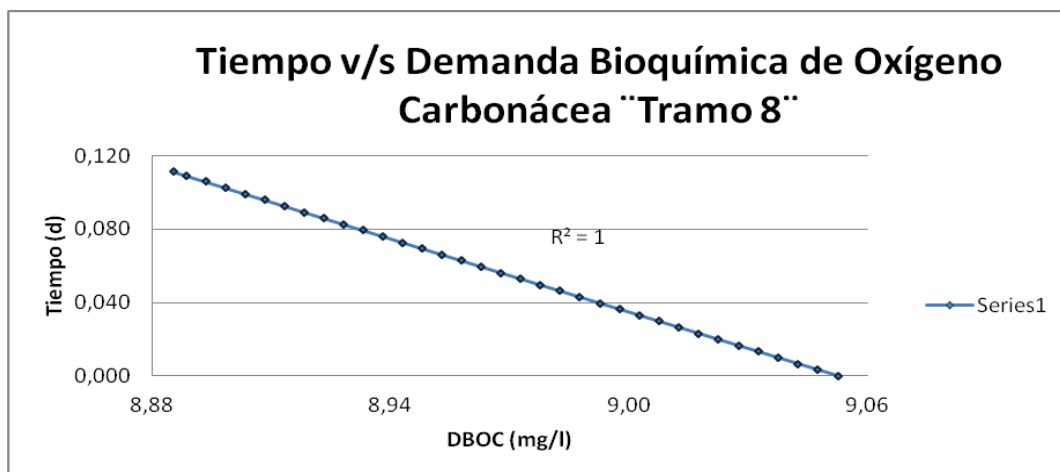


Figura 145 Simulación del Tiempo v/s Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea en el Tramo 8.
Fuente: Autora

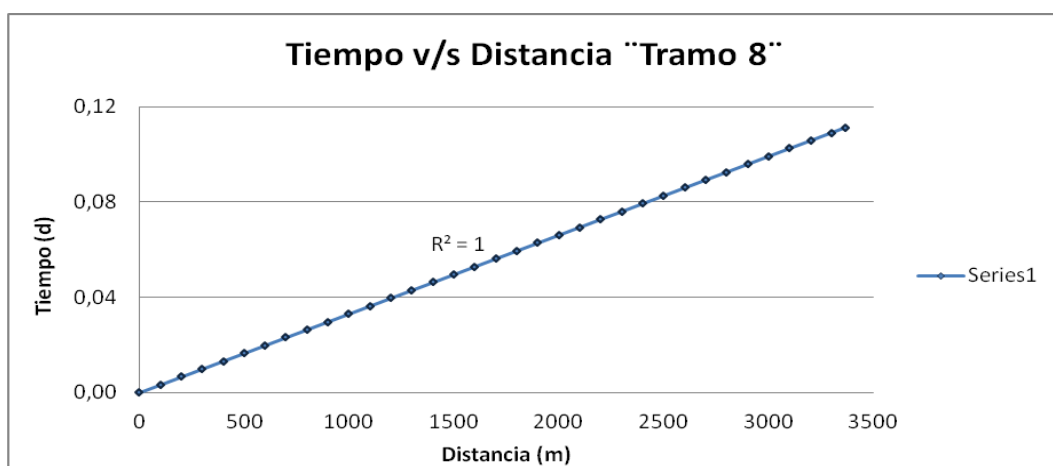


Figura 146: Simulación del Tiempo v/s Distancia en el Tramo 8.
Fuente: Autora

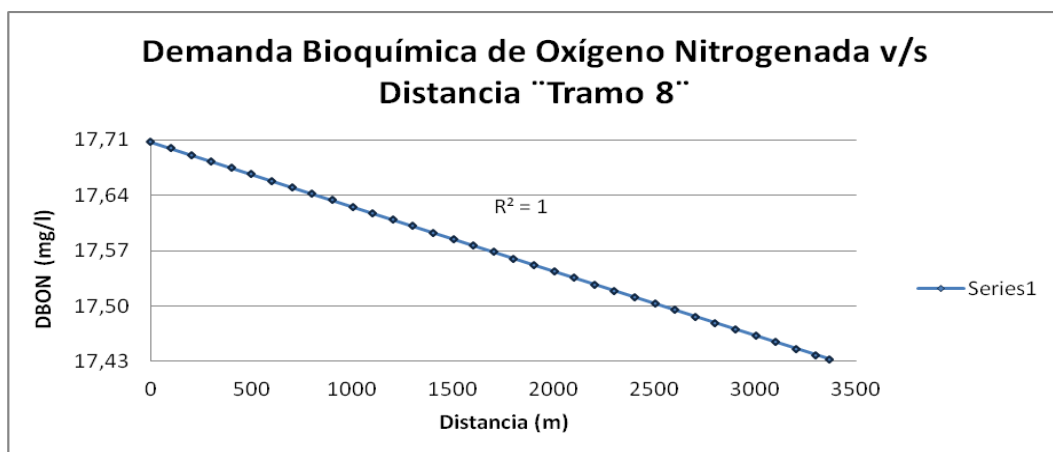


Figura 147: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada v/s Distancia en el Tramo 8.
Fuente: Autora

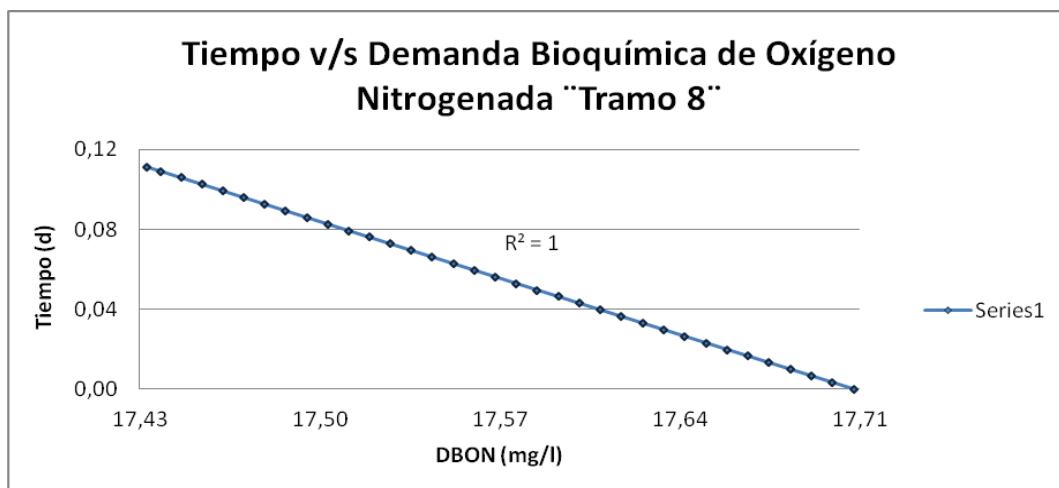


Figura 148: Simulación del Tiempo v/s Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada en el Tramo 8.
Fuente: Autora

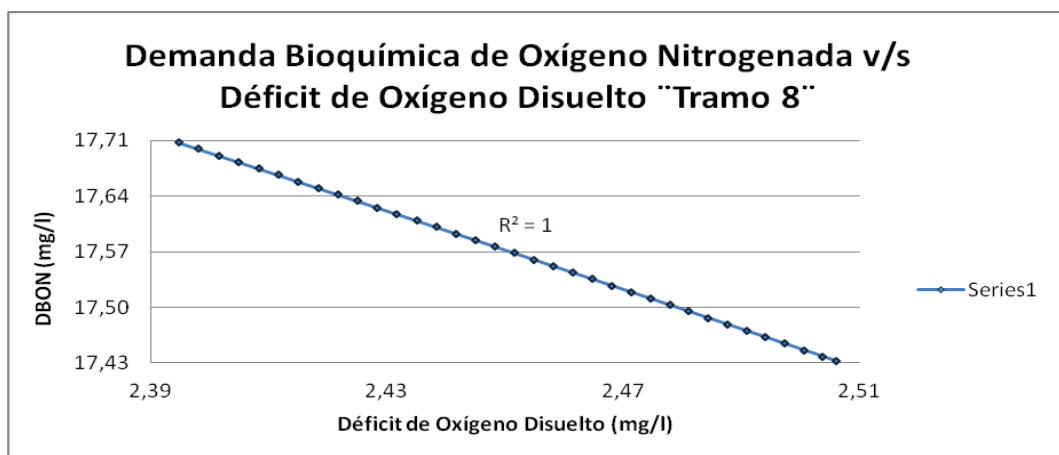


Figura 149: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada v/s Déficit de Oxígeno Disuelto en el Tramo 8.
Fuente: Autora

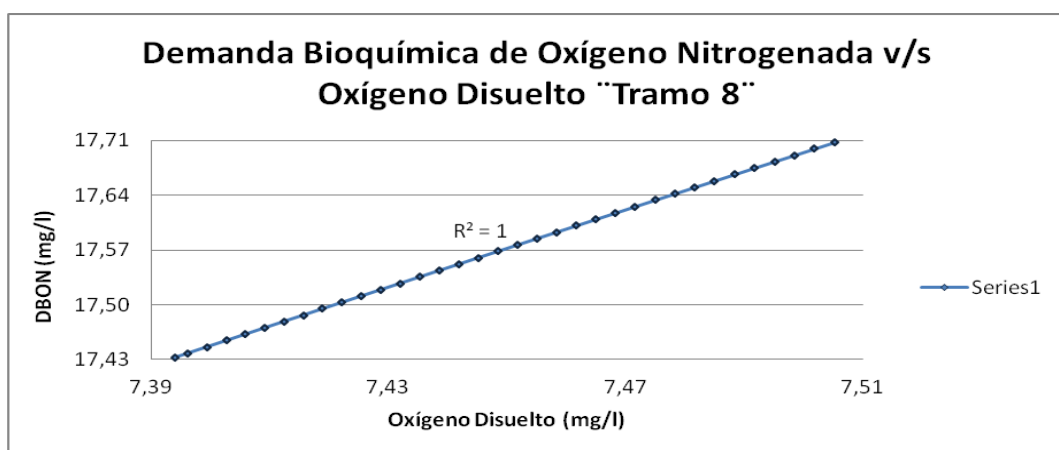


Figura 15049: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada v/s Oxígeno Disuelto en el Tramo 8.
Fuente: Autora

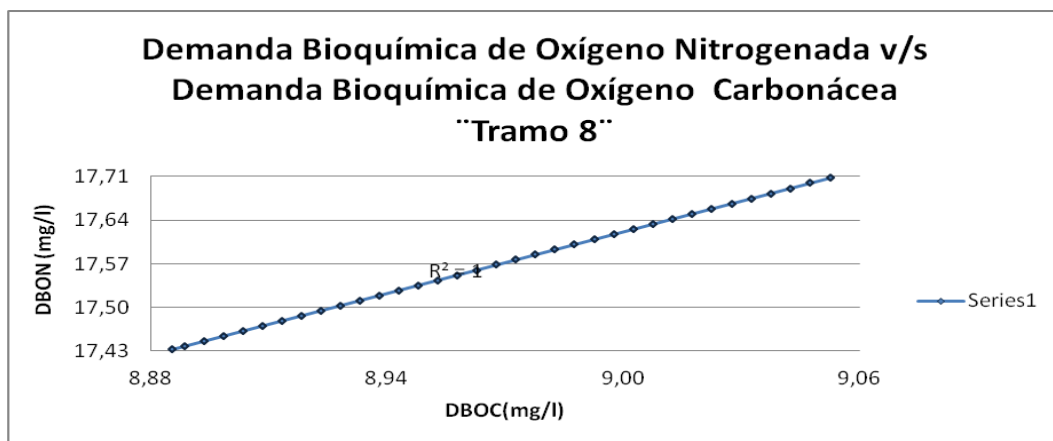


Figura 151: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada v/s Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea en el Tramo 8.

Fuente: Autora

4.3.64. Matriz de Correlación

D (mg/l)	1	1			
OD (mg/l)	1	1	1		
DBOC (mg/l)				1	
DBON (mg/l)				1	1
t (d)				1	1
	X (m)	D (mg/l)	OD (mg/l)	DBOC (mg/l)	DBON (mg/l)

■ correlación negativa
■ correlación positiva

4.3.65. Verificación del modelo.

Los resultados de la simulación del OD, DBOC y DBON del Tramo 8 son:

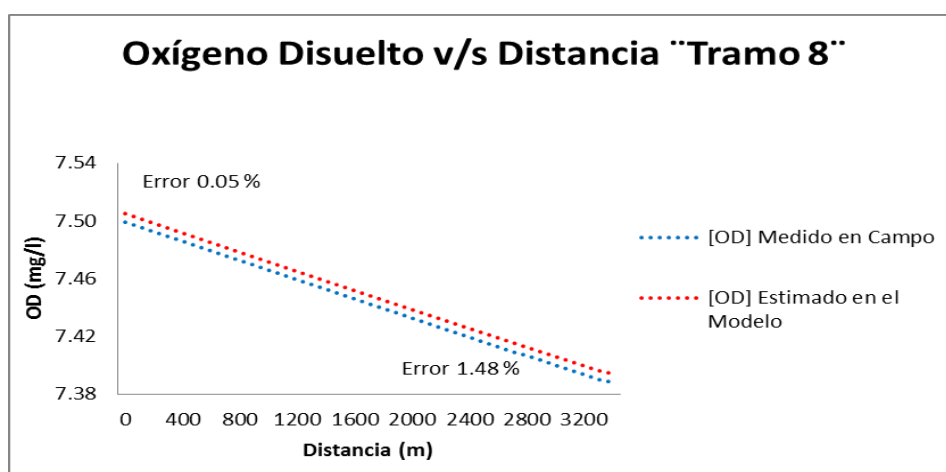


Figura 152: Simulación del oxígeno disuelto v/s distancia en el tramo 8 – Río Jipiro.

Fuente: Autora.

La verificación del Tramo 8 – Río Jipiro, se tiene un error inicial de 0,05% y un error final de 1,48%, la concentración de Oxígeno Disuelto medido en campo es de 7,51 mg/l, mientras que el estimado por el modelo es de 7,39 mg/l.

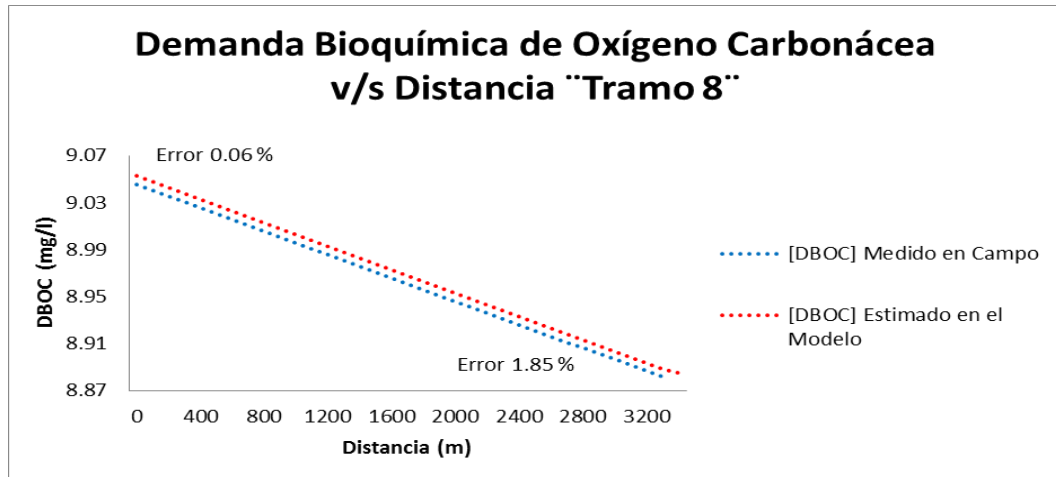


Figura 153: Simulación de la demanda bioquímica de oxígeno carbonácea v/s distancia en el tramo 8 – río Jipiro.
Fuente: Autora.

Los resultados obtenidos en el campo para la Demanda bioquímica de Oxígeno Carbonácea es de 9,05 mg/l y la estimada por el modelo es de 8,89 mg/l.

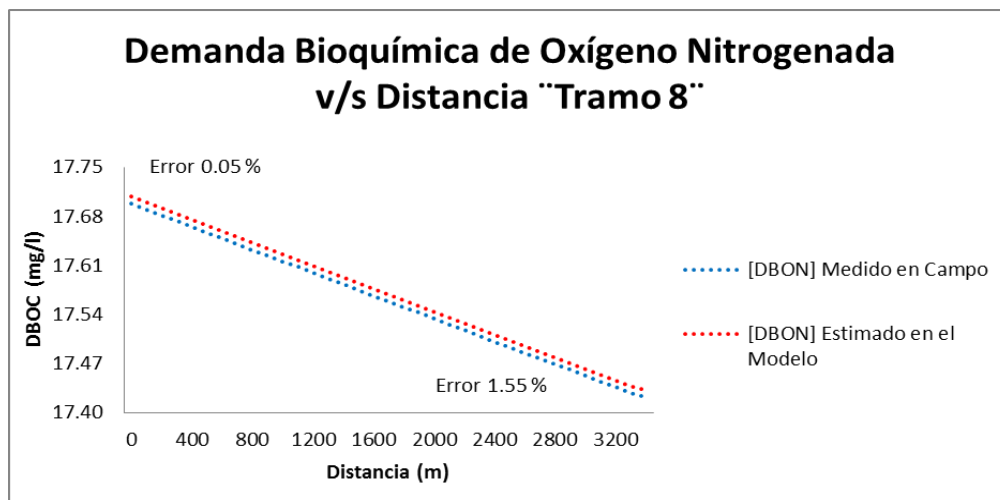


Figura 154: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada v/s Distancia en el Tramo 8 – Río Jipiro.
Fuente: Autora.

La Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada posee un error inicial de 0,05% y final de 1,55% la concentración medida en campo es de 17,70 mg/l y la indicada por el modelo es de 17,43 mg/l.

4.3.66. Simulación del tramo 9 – Colector.

La simulación en el Tramo 9 se extiende desde el P9 ubicado en el Colector Marginal de la ciudad de Loja hasta el PF que se ubica a una distancia de 2000m.

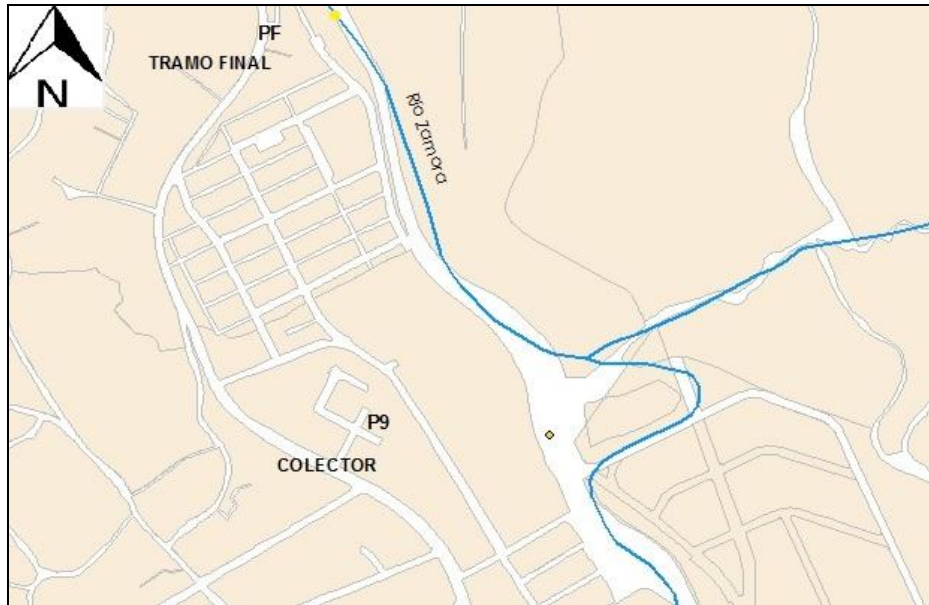


Figura 155: Tramo 9 – Colector.
Fuente: Autora

4.3.67. Datos iniciales para el Modelo de Streeter & Phepls

Tabla 71. Datos del Tramo 9 – Colector

DATOS DEL TRAMO											
QR	QD	ODR	ODD	DBO CR	DBOCD	DBONR	DBOND	TR agua	TD agua	Velocidad	Profundidad
m ³ /s	m ³ /s	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	°C	°C	m/s	m
2,13	1,65	6,69	2,78	5,63	60,18	12,43	108,75	17,23	18,10	0,65	0,26

Fuente: Autora.

Tabla 72. Balance de materia

Qo	3,77	m ³ /s
ODo	4,98	mg/l
DBOo	29,44	mg/l
To	17,6	°C
DBOn	54,5	mg/l

Fuente: Autora.

4.3.68. Déficit de oxígeno disuelto - Do

Usando la ecuación 4.13 y la Tabla 26. Oxígeno Disuelto en función de la temperatura

$$D_o = O_s - OD_o$$

OS	9,6
Do =	4,6

Fuente: Autora.

4.3.69. Cálculo de constantes de reacción en el tramo

Tabla 73. Factores de obtención de constantes cinéticas reales

Factores de obtención de constantes cinéticas reales	
ea	1,024
ed	1,047

Fuente: Autora.

Tabla 74. Constantes cinéticas corregidas

Constante de reaireación ka		Constante de oxidación kd		Constante de nitrificación kn	
Owens y Gibbs					
Ka	Corrección ka por temperatura	Kd	Corrección kd por temperatura	Kn	Corrección kn por temperatura
0,210	0,199	0,180	0,161	0,098	0,081

Fuente: Autora.

4.3.70. Perfiles de OD, DBOC, DBON

Longitud del tramo: 2000 m

4.3.70.1. Resultado del cálculo del modelo en el Tramo 9. Colector

Tabla 75. Modelación del OD, DBOC y DBON

MODELO						Validación		
X (m)	t (días)	D (mg/l)	OD (mg/l)	DBOC (mg/l)	DBON (mg/l)	Error OD %	Error DBOC %	Error DBON %
0	0,000	4,6182	4,9818	29,4416	54,4806	0,00	0,00	0,00
100	0,002	4,6250	4,9750	29,4331	54,4727	0,14	0,03	0,01
200	0,004	4,6318	4,9682	29,4247	54,4648	0,27	0,06	0,03

...Sigue

MODELO						Validación		
X (m)	t (días)	D (mg/l)	OD (mg/l)	DBOC (mg/l)	DBON (mg/l)	Error OD %	Error DBOC %	Error DBON %
300	0,005	4,6386	4,9614	29,4163	54,4569	0,41	0,09	0,04
400	0,007	4,6454	4,9546	29,4078	54,4491	0,55	0,11	0,06
500	0,009	4,6522	4,9478	29,3994	54,4412	0,68	0,14	0,07
600	0,011	4,6590	4,9410	29,3909	54,4333	0,82	0,17	0,09
700	0,012	4,6658	4,9342	29,3825	54,4254	0,96	0,20	0,10
800	0,014	4,6726	4,9274	29,3741	54,4176	1,09	0,23	0,12
900	0,016	4,6793	4,9207	29,3657	54,4097	1,23	0,26	0,13
1000	0,018	4,6861	4,9139	29,3572	54,4018	1,36	0,29	0,14
1100	0,020	4,6929	4,9071	29,3488	54,3939	1,50	0,32	0,16
1200	0,021	4,6996	4,9004	29,3404	54,3861	1,63	0,34	0,17
1300	0,023	4,7064	4,8936	29,3320	54,3782	1,77	0,37	0,19
1400	0,025	4,7131	4,8869	29,3235	54,3703	1,91	0,40	0,20
1500	0,027	4,7199	4,8801	29,3151	54,3625	2,04	0,43	0,22
1600	0,028	4,7266	4,8734	29,3067	54,3546	2,18	0,46	0,23
1700	0,030	4,7333	4,8667	29,2983	54,3467	2,31	0,49	0,25
1800	0,032	4,7401	4,8599	29,2899	54,3389	2,45	0,52	0,26
1900	0,034	4,7468	4,8532	29,2815	54,3310	2,58	0,54	0,27
2000	0,036	4,7535	4,8465	29,2731	54,3231	2,72	0,57	0,29

Fuente: Autora.

Esta modelación muestra los valores finales del estudio de los parámetros: OD, DBOC y DBON en el Tramo 9, estos resultados servirán para la toma de decisiones en el manejo y diagnóstico adecuado del río.

Tabla 76. Resultados de las condiciones críticas del modelo en el Tramo 9 - Colector

CONDICIONES CRÍTICAS					
tc (días)	Xc (m)	Dc (mg/l)	ODc (mg/l)	DBOc (mg/l)	DBON (mg/l)
4,586	257,574	11,402	1,802	14,059	26,017

Fuente: Autora.

4.3.71. Calibración del Modelo

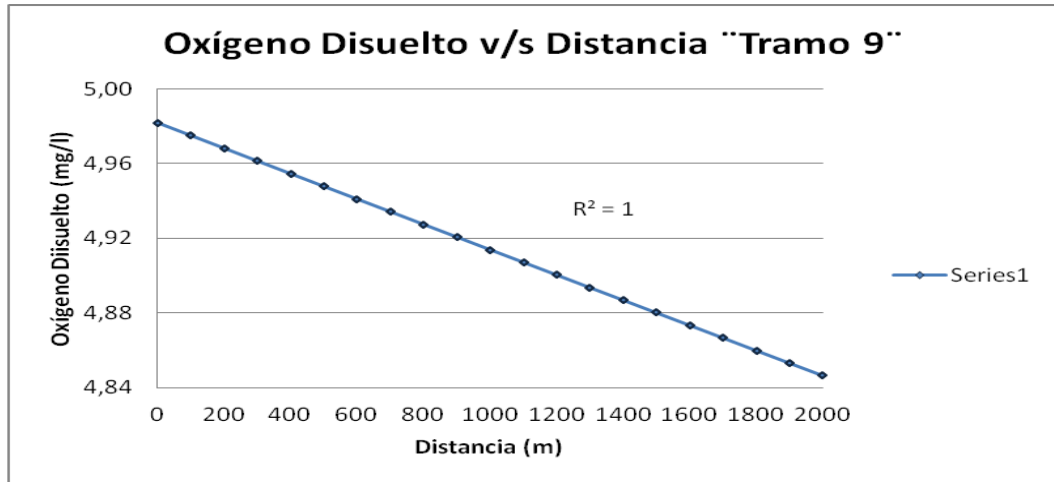


Figura 156: Simulación del Oxígeno Disuelto v/s Distancia en el Tramo 9.
Fuente: Autora

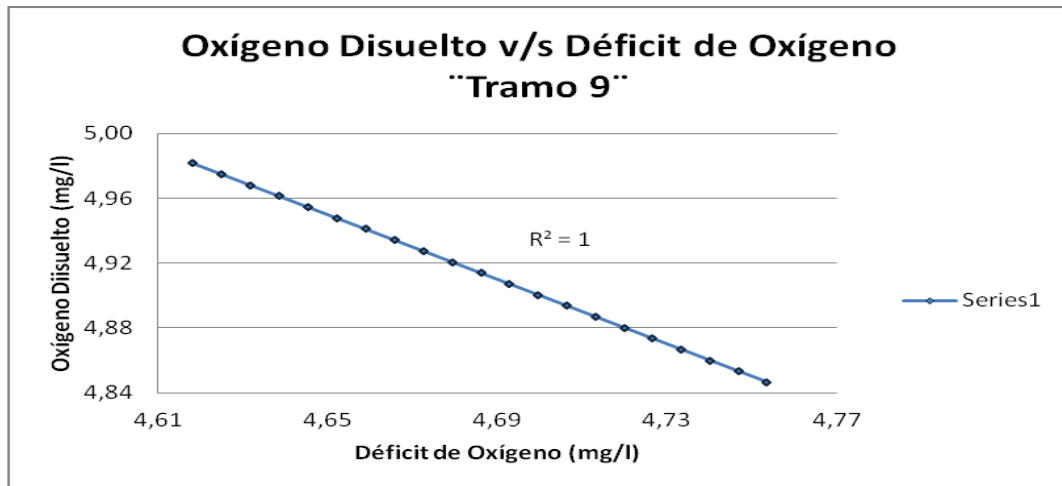


Figura 157: Simulación del Oxígeno Disuelto v/s Déficit de Oxígeno en el Tramo 9.
Fuente: Autora

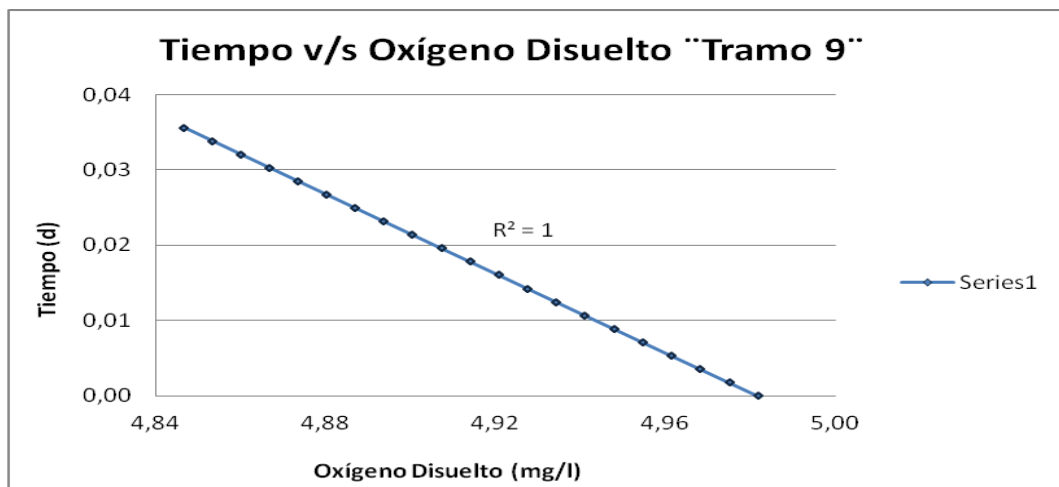


Figura 158: Simulación del Tiempo v/s Oxígeno Disuelto en el Tramo 9.
Fuente: Autora

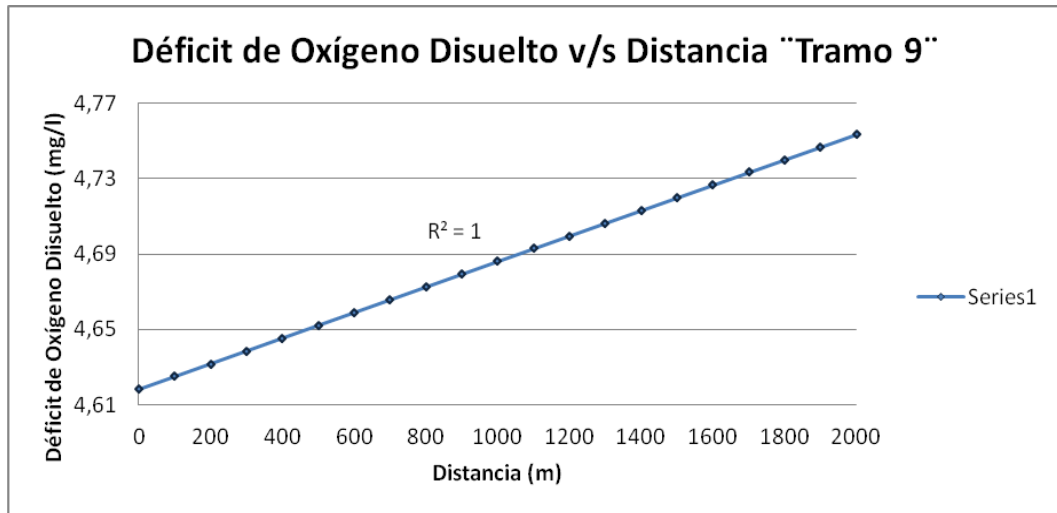


Figura 159: Simulación del Oxígeno Disuelto v/s Déficit de Oxígeno en el Tramo 9.
Fuente: Autora

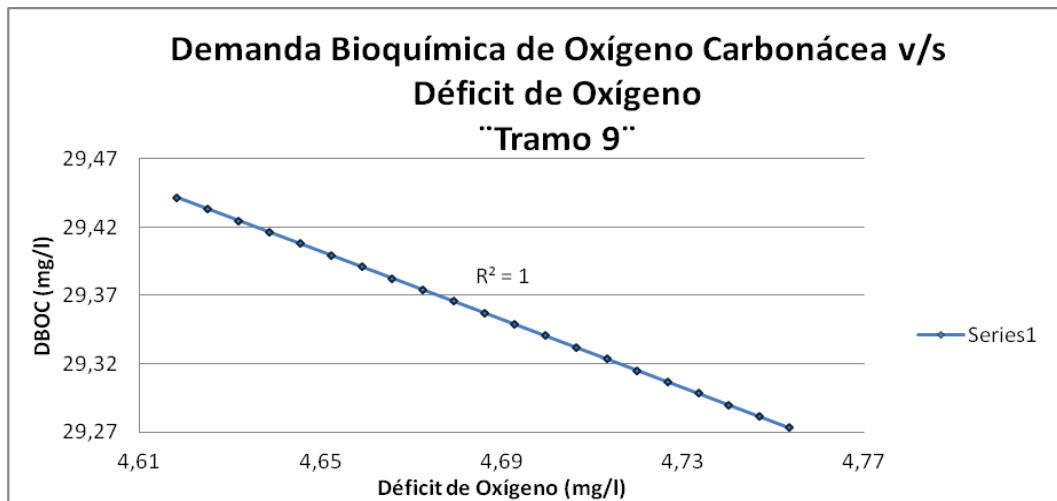


Figura 16059: Simulación del Oxígeno Disuelto v/s Déficit de Oxígeno en el Tramo 9.
Fuente: Autora

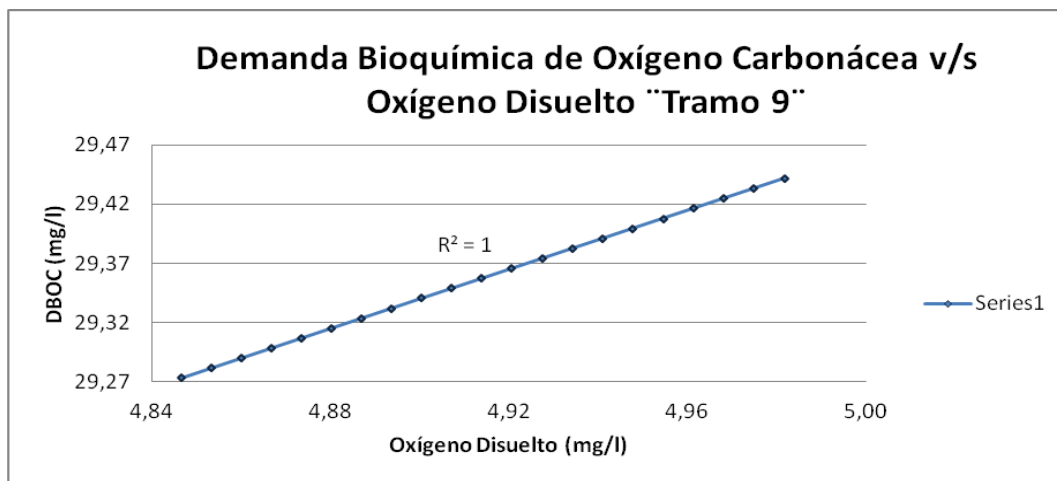


Figura 161: Simulación del Oxígeno Disuelto v/s Déficit de Oxígeno en el Tramo 9.
Fuente: Autora

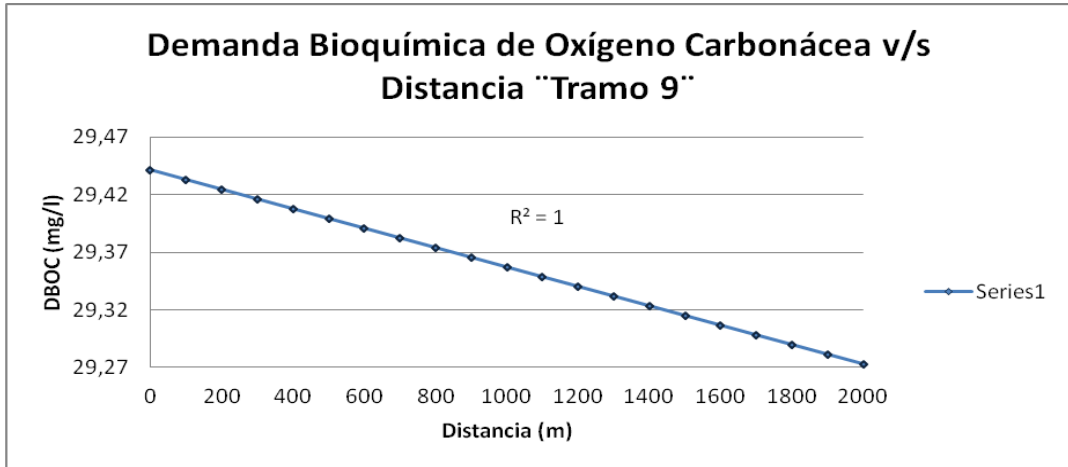


Figura 162: Simulación del Oxígeno Disuelto v/s Déficit de Oxígeno en el Tramo 9.
Fuente: Autora

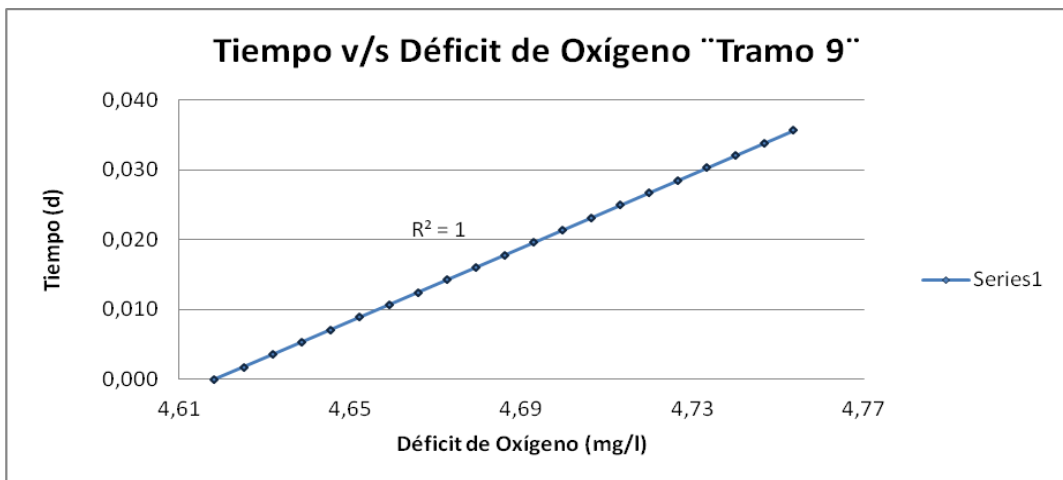


Figura 163: Simulación del Oxígeno Disuelto v/s Déficit de Oxígeno en el Tramo 9.
Fuente: Autora

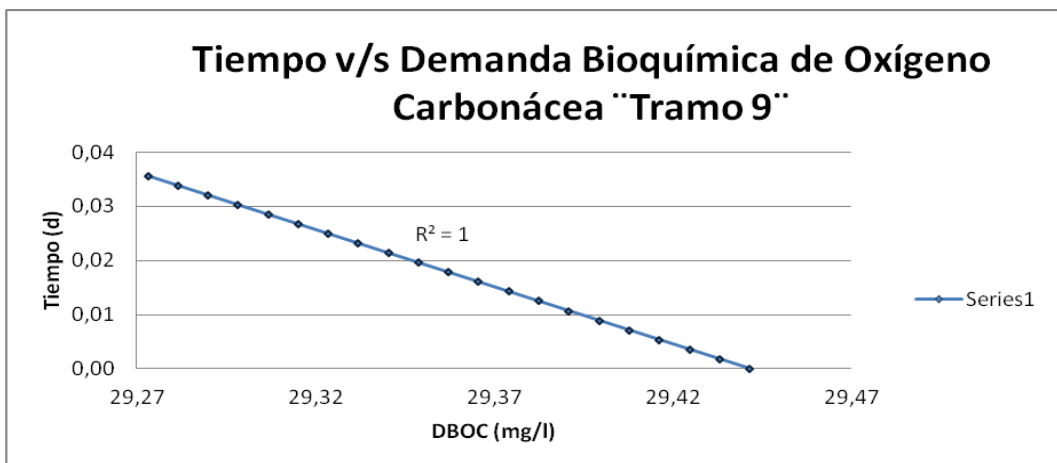


Figura 164: Simulación del Tiempo v/s Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea en el Tramo 9.
Fuente: Autora

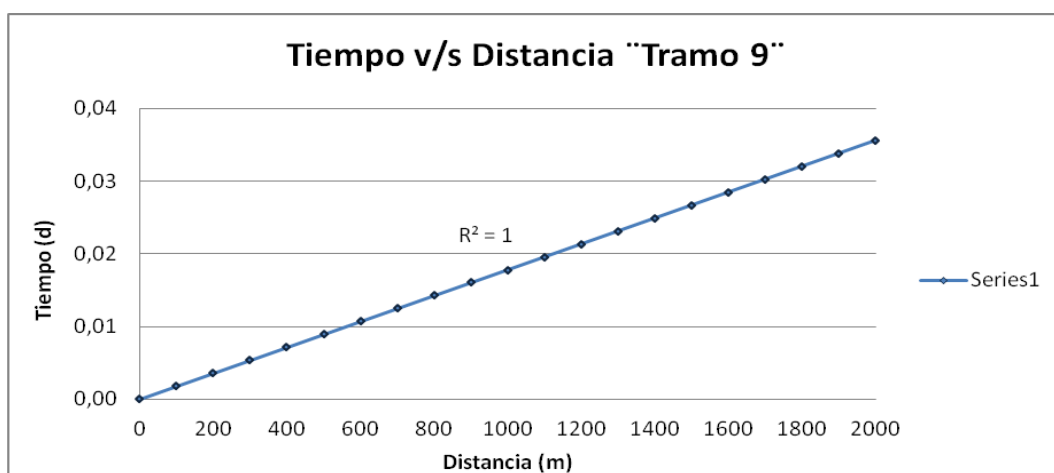


Figura 165: Simulación del Tiempo v/s Distancia en el Tramo 9.
Fuente: Autora

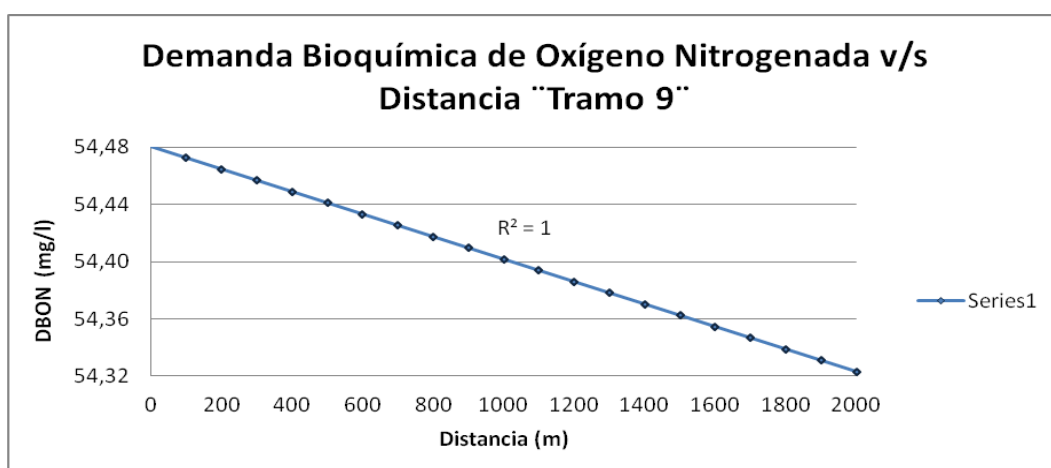


Figura 166: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada v/s Distancia en el Tramo 9.
Fuente: Autora

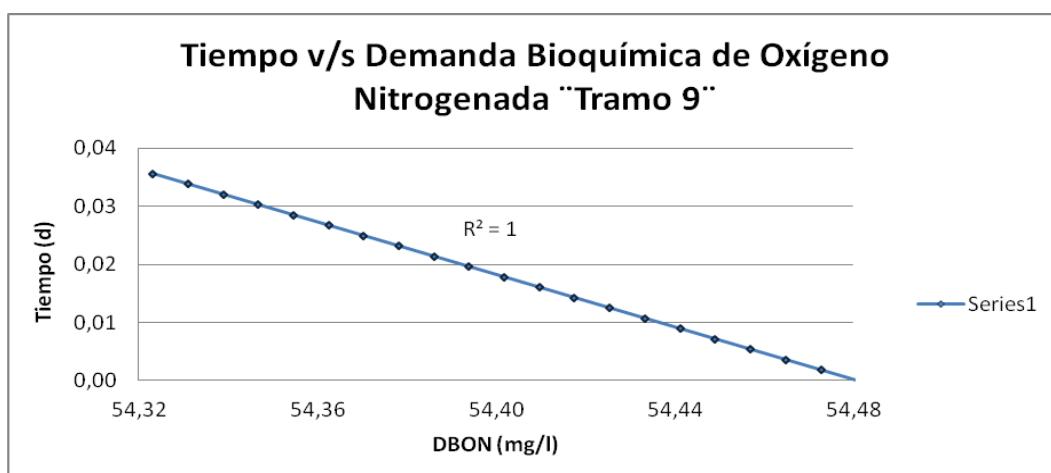


Figura 167: Simulación del Tiempo v/s Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada en el Tramo 9.
Fuente: Autora

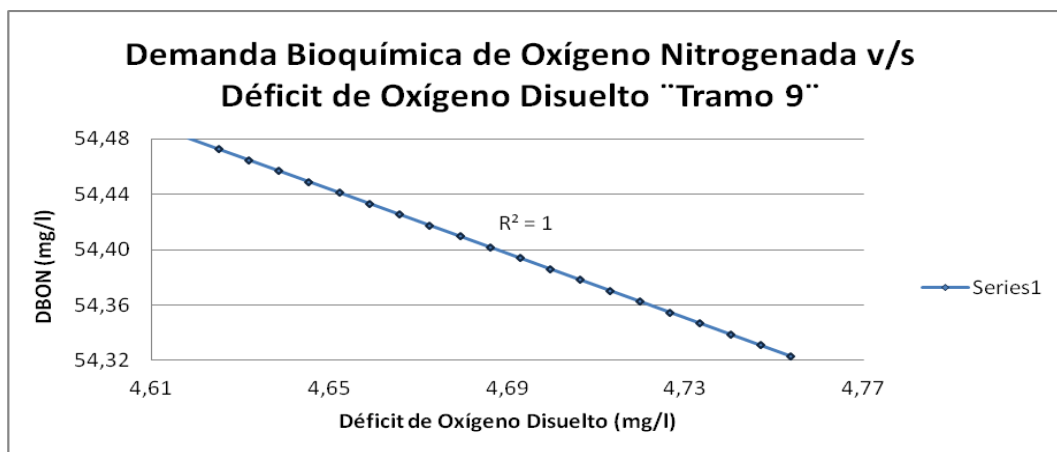


Figura 168: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada v/s Déficit de Oxígeno en el Tramo 9.
Fuente: Autora

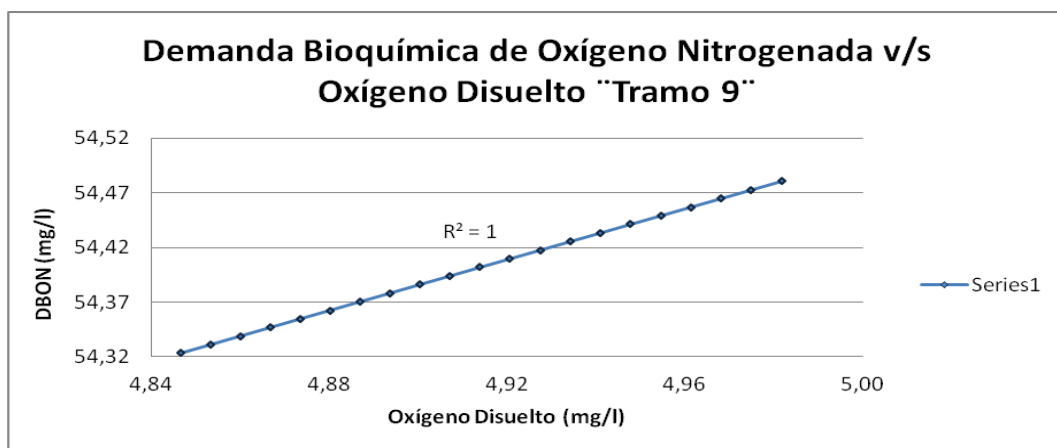


Figura 169: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada v/s Oxígeno Disuelto en el Tramo 9.
Fuente: Autora

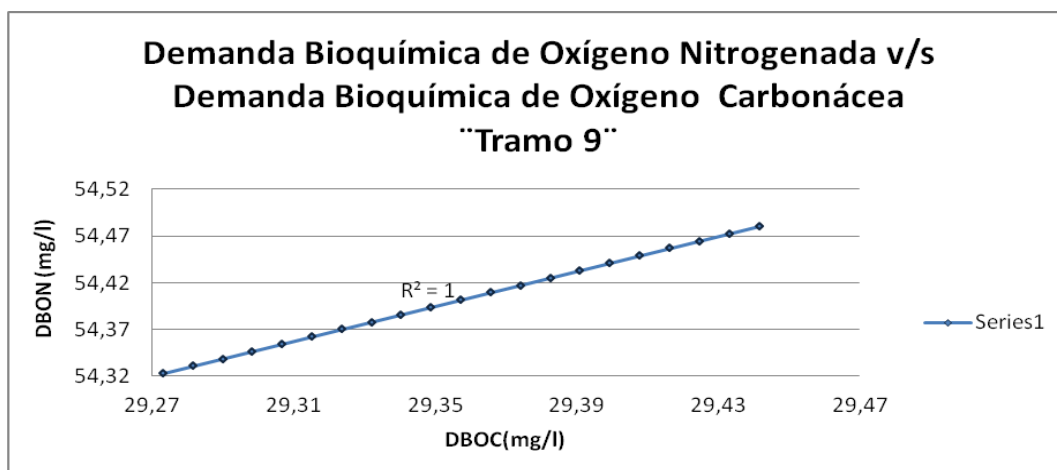


Figura 17069: Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada v/s Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea en el Tramo 9.
Fuente: Autora

4.3.72. Matriz de Correlación

D (mg/l)	1				
OD (mg/l)	1	1			
DBOC (mg/l)	1	1	1		
DBON (mg/l)	1	1	1	1	
t (d)	1	1	1	1	1
	X (m)	D (mg/l)	OD (mg/l)	DBOC (mg/l)	DBON (mg/l)

correlación negativa
 correlación positiva

4.3.73. Verificación del modelo.

Los resultados de la simulación del OD, DBOC y DBON en función de la distancia se presentan a continuación:

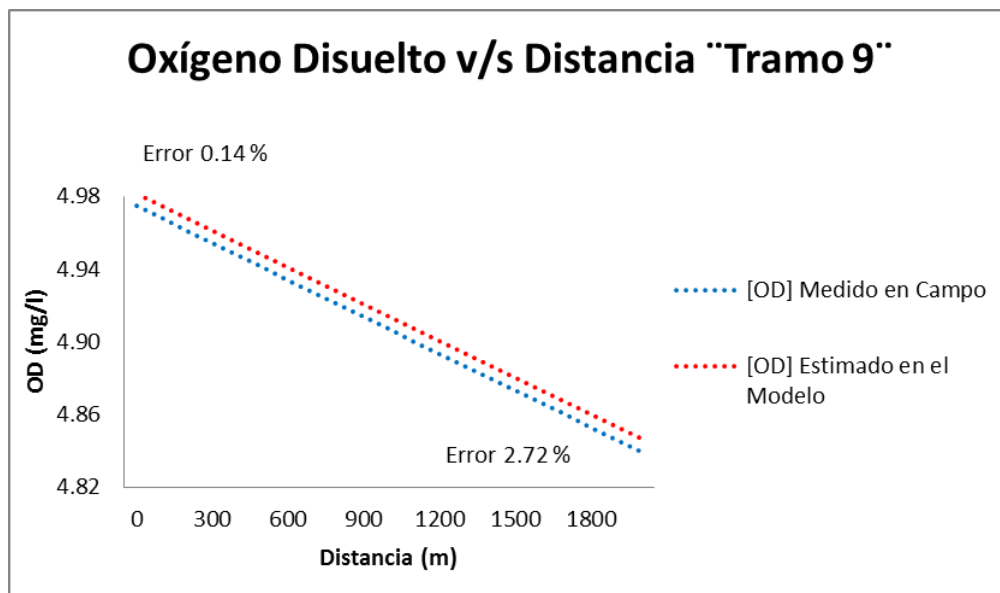


Figura 171: Simulación del Oxígeno Disuelto v/s Distancia en el Tramo 9 – Colector
Fuente: Autora.

Para la simulación del Tramo 9 – Colector, se ha desarrollado el modelo Streeter-Phelps, el cual nos muestra el comportamiento del oxígeno disuelto en función de la distancia.

En la verificación del modelo para este tramo los resultados obtenidos se encuentran expresados en términos de porcentajes de error, lo que indica cuanto es la diferencia de decaimiento de las concentraciones en el cauce, se obtiene un error inicial de 0,14% y al final del tramo 2.72%, con lo cual se corrobora que el error obtenido de los valores medidos en el campo con los estimados por el modelo es mínimo, por tanto se puede interpretar que los resultados son confiables.

La concentración de oxígeno disuelto medida en campo es de 4.98 mg/l, mientras que la concentración estimado por el modelo es de 4.85 mg/l.

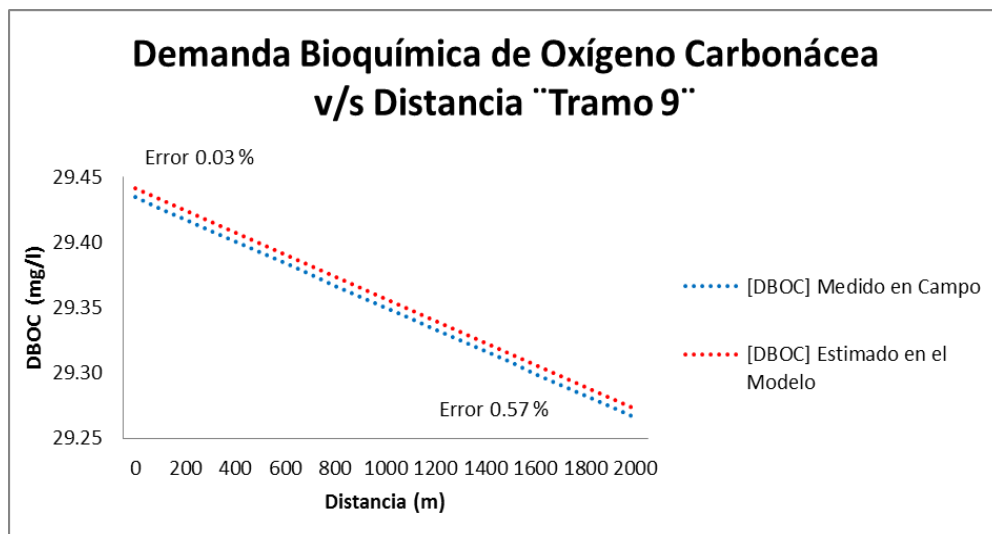


Figura 172: Simulación de la demanda bioquímica de oxígeno carbonácea v/s distancia en el tramo 9 – Colector
Fuente: Autora.

La demanda bioquímica de Oxígeno Carbonácea en el tramo 9 posee un error inicial de 0,03% y un error final de 0,57%, la concentración medida en campo es de 29,44 mg/l y la estimada por el modelo de 29,27 mg/l.

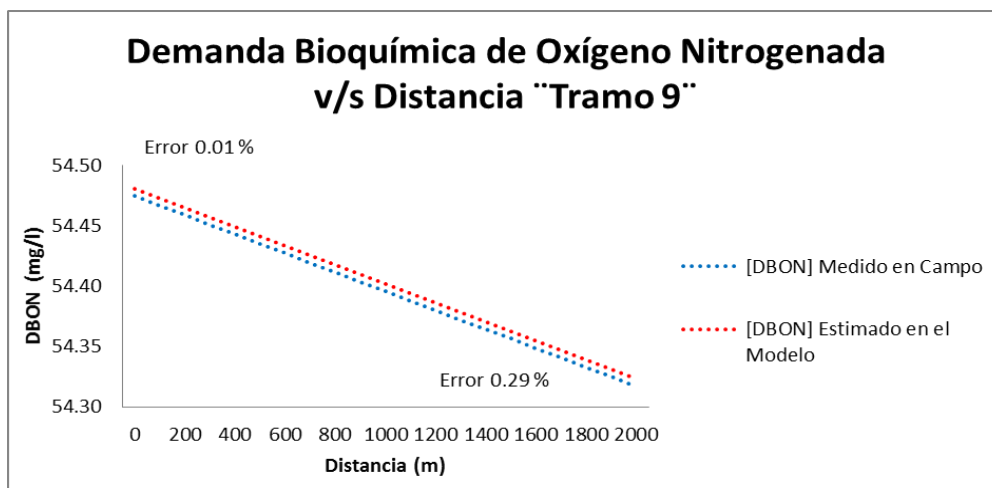


Figura 173: Simulación de la demanda bioquímica de oxígeno nitrogenada v/s distancia en el tramo 9 – Colector.

Fuente: Autora.

La demanda bioquímica de Oxígeno Nitrogenada en este tramo posee un error inicial de 0,01% y un error final de 0,29%, la concentración medida en campo es de 54,50 mg/l y la estimada por el modelo de 54,32 mg/l, se puede observar que la diferencia es mínima entre los valores medidos en campo con los del modelo, lo cual lleva a interpretar que los resultados son correctos y de alta confiabilidad.

CAPÍTULO V

5. Modelación utilizando el software WASP 7.

5.1. Software WASP 7.

El software WASP es un programa de simulación de análisis de la Calidad del Agua, desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental (EPA), como mejora del programa WASP de U.S. Army Corps of Engineers (USACE) (Engineers, 1775).

En el periodo comprendido entre los años 1980 y mediados de 1990, en Estados Unidos la EPA emitió las versiones 4 y 5 del software WASP con módulos actualizados de calidad del agua, vínculos de transporte y versiones iniciales de pre-y post procesadores (Guano Avila & Velasteguí Carrillo, 2014).

Actualmente la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos trabaja con la versión 7 del software WASP según la última actualización del 15 de noviembre de 2013 (Agency, 2014).

WASP es uno de los modelos de calidad del agua más utilizado en los Estados Unidos y en todo el mundo, debido a la capacidad de manejar múltiples tipos de contaminantes que se han aplicado ampliamente en el desarrollo de Cargas Diarias Máximas Totales (TMDL), simula el movimiento y la interacción de los contaminantes en el agua, está suplementado por dos sub-modelos cinéticos para simular la contaminación convencional (relacionada con el oxígeno disuelto, DBO, nutrientes y eutrofización) y la contaminación por tóxicos (relacionada con químicos orgánicos, metales y sedimento). La conexión de ambos modelos subcinéticos con los programas de WASP da respectivamente los modelos EUTRO y TOXI (Group, 2005).

WASP tiene capacidades de vinculación con modelos hidrodinámicos y de las cuencas hidrográficas que permite un análisis de varios años en diversas condiciones meteorológicas y ambientales, se ha aplicado a los principales estuarios de la Florida, donde se vinculó con un modelo hidrodinámico y de cuencas simulando 12 años continuos para ayudar a la EPA de EE.UU. en el desarrollo de criterios de nutrientes numéricos. Otros ejemplos de su uso son: la eutrofización de Tampa Bay, FL; fósforo carga al Lago Okeechobee, FL; eutrofización del río Neuse Estuario, NC; eutrofización del río Coosa y Embalses, AL; La contaminación por PCB de los Grandes Lagos, la eutrofización del estuario del Potomac, la contaminación kepone del estuario del río James, la contaminación orgánica volátil del

Estuario de Delaware, y la contaminación por metales pesados de la Deep River, Carolina del Norte y el mercurio en el río Savannah (Agency, 2014).

5.2. Aplicación del software WASP 7.

El software WASP 7 permite predecir e interpretar los resultados de la modelación de la calidad del agua de los estados naturales, así como también de la contaminación provocada por el hombre, es por ello que se decidió utilizar este software para modelar el Oxígeno Disuelto, la Demanda Bioquímica Carbonácea y Nitrogenada de los tramos que conforman la subcuenca del Río Malacatos.

Dentro de los parámetros iniciales que se deben establecer son: la fecha y hora de inicio así como también la de finalización de la modelación, luego se ingresa la información acerca de la geometría del cauce como: profundidad, longitud, ancho, pendiente, etc., y de las concentraciones de los parámetros a modelar con sus constantes cinéticas, para luego conectar los tramos desde el P1 hasta el PF del estudio y correr la simulación.

5.3. Resultados de la modelación en el software WASP 7.

La modelación en el software WASP 7 nos ha permitido conocer como es el comportamiento de los parámetros analizados a lo largo del cauce de la subcuenca del Río Malacatos, a continuación se presentan las siguientes modelaciones:

Tabla 77. Resumen de resultados del software WASP 7.

	TIEMPO	OD (mg/l)	DBOC (mg/l)	DBON (mg/l)
1	JULIO - 2013	0.5	18.5	2.0
2	AGOSTO - 2013	2	17.4	3.2
3	SEPTIEMBRE - 2013	4.1	16.6	4.1
4	OCTUBRE - 2013	4.2	15.3	5.3
5	NOVIEMBRE - 2013	6	14.1	6.5
6	DICIEMBRE - 2013	8.2	14.0	7.7
7	ENERO - 2014	8.5	13.7	8.3
8	FEBRERO - 2014	10	11.3	9.7
9	MARZO - 2014	11	9.1	10.5
10	ABRIL - 2014	11.6	8.8	11.0
11	MAYO - 2014	11.8	6.4	12.4

...Sigue

	TIEMPO	OD (mg/l)	DBOC (mg/l)	DBON (mg/l)
12	JUNIO - 2014	12.0	5.6	13.7
13	JULIO - 2014	12.08	4.8	14.2
13	AGOSTO - 2014	12.08	4.8	14.2
13	SEPTIEMBRE - 2014	12.08	4.8	14.2

Fuente: La autora

5.3.1. Simulación del Oxígeno Disuelto de los nueve puntos muestreados en el software WASP 7.

La modelación del Oxígeno Disuelto en los nueve tramos de estudio se ha realizado en el periodo de julio 2013 a septiembre 2014.

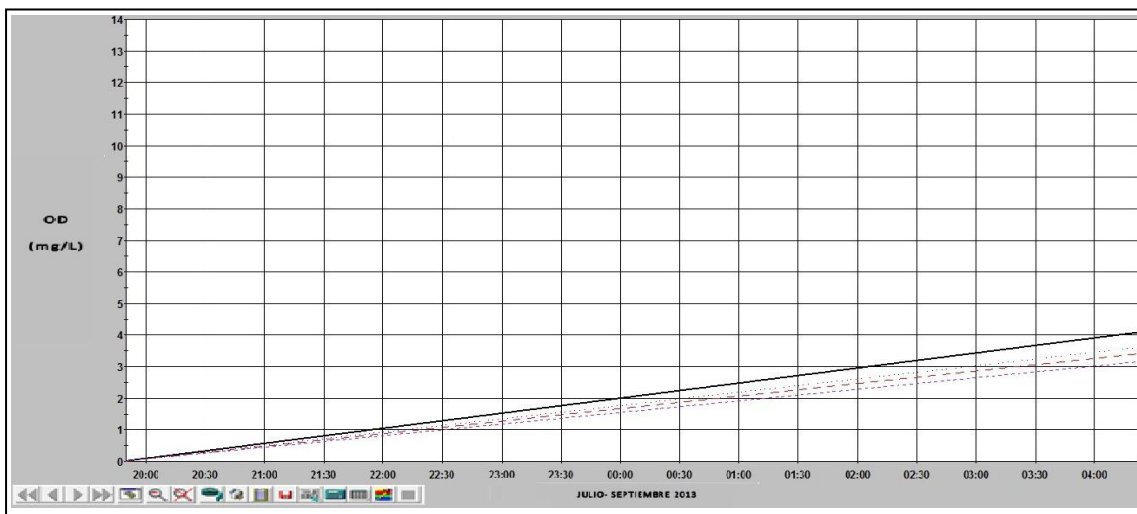


Figura 174: Simulación del oxígeno disuelto v/s tiempo en el software WASP 7
Tramo inicial
Fuente: Autora.

La figura 173 muestra la modelación del oxígeno disuelto de los nueve puntos de la red de monitoreo, en esta se observa el crecimiento de la concentración del parámetro analizado desde 0 mg/l hasta 4mg/l en el periodo de julio a septiembre del 2013.

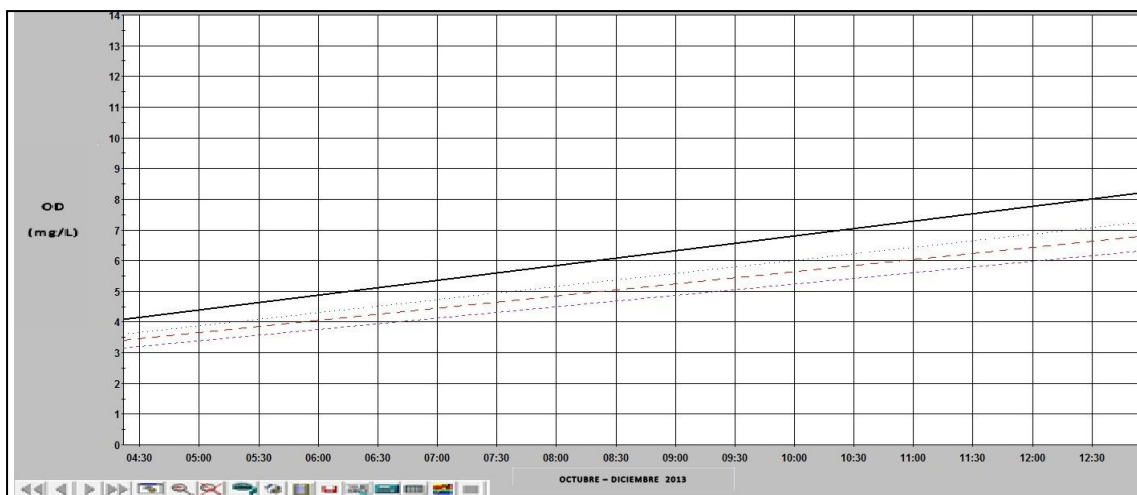


Figura 175: Simulación del oxígeno disuelto v/s tiempo en el software WASP 7.- Tramo medio 1.
Fuente: Autora.

En la figura 174 continua el crecimiento del oxígeno disuelto desde 4mg/l hasta 8mg/l durante el periodo octubre - diciembre 2013.

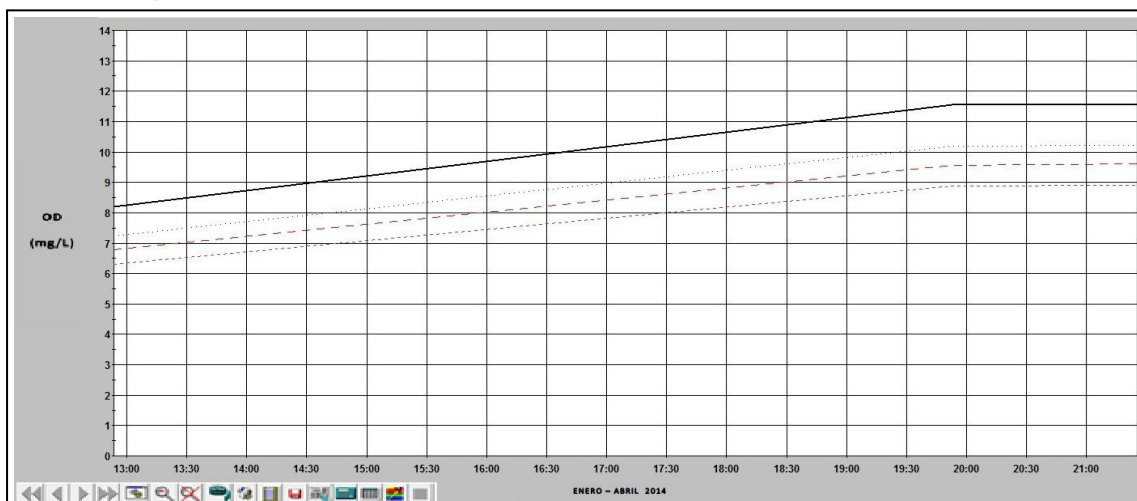


Figura 176: Simulación del oxígeno disuelto v/s tiempo en el software WASP 7.
Tramo medio 2.
Fuente: Autora.

Desde el mes de enero hasta abril del 2014 existe un incremento desde 8mg/l hasta 11.8mg/l tal como se muestra en la figura 175.

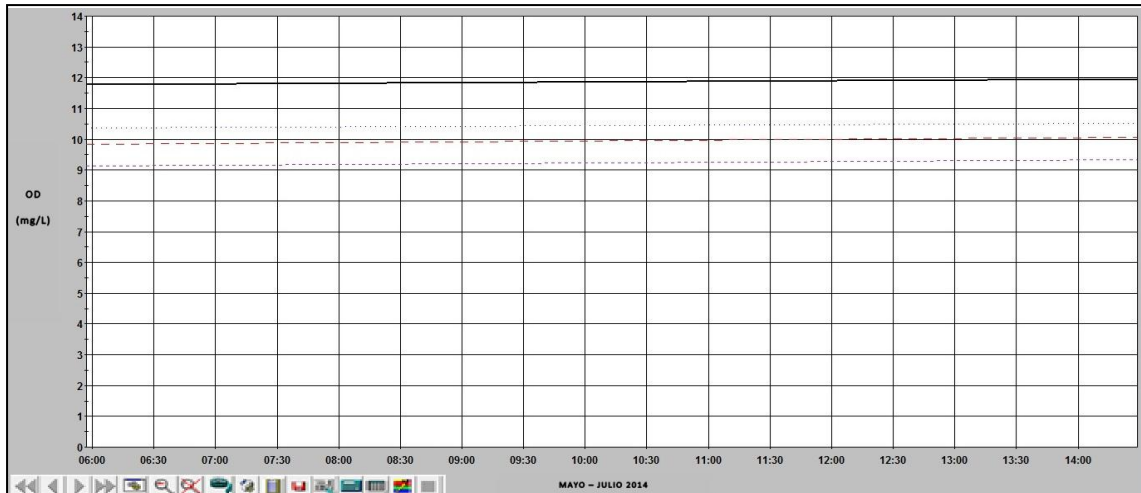


Figura 177: Simulación del oxígeno disuelto v/s tiempo en el software WASP 7.
Tramo medio 3.
Fuente: Autora.

Durante los meses de mayo a julio del 2014 se observa que la concentración de oxígeno disuelto empieza a estabilizarse en los nueve tramos de la red de monitoreo, iniciando en 11.8mg/l hasta 12mg/l tal como se muestra en la figura 176.

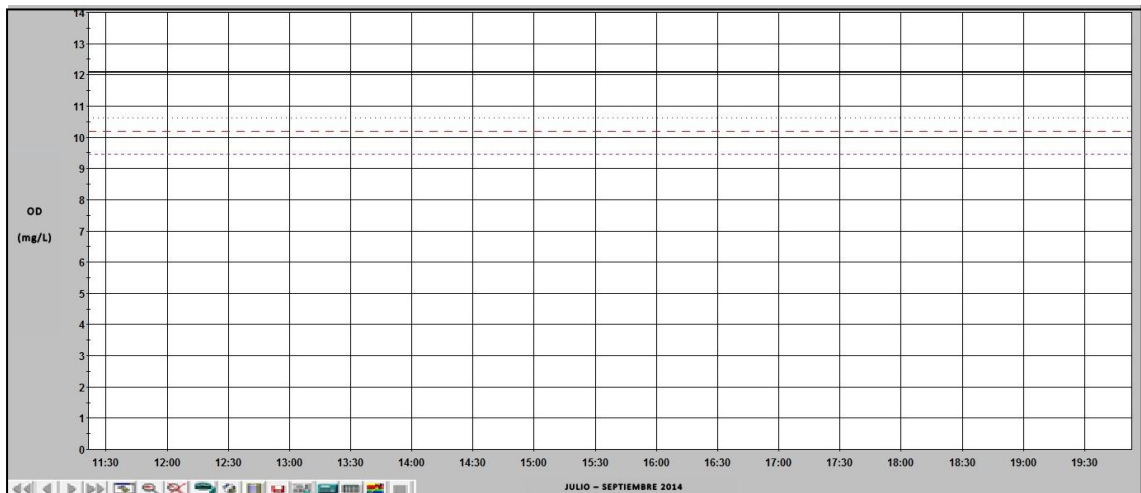


Figura 178: Simulación del oxígeno disuelto v/s tiempo en el software WASP 7.
Tramo final.
Fuente: Autora.

Como se muestra en la figura 177 la concentración de oxígeno disuelto es de 12.08mg/l manteniéndose estable desde julio a septiembre del 2014

De la figura 173 a la figura 177 nos muestra el comportamiento del oxígeno disuelto a lo largo del cauce, el tramo inicial alcanza una concentración de 4 mg/l, aumentando a 8 mg/l, continua creciendo la concentración de OD en 11.8 mg/l en el segundo tramo y finalmente se llega a un punto de estabilización de 12.08mg/l. Esta simulación nos lleva a interpretar que las concentraciones mínima y máxima del OD en los tramos de estudio comparados con las determinados en Excel 2013 son cercanas, lo cual verifica que el modelo desarrollado muestra resultados confiables.

En relación a los límites máximos permisibles que indica el Texto Unificado de Legislación Ambiental (TULAS) Libro VI para Preservación de Flora y Fauna en aguas dulces los resultados de oxígeno disuelto obtenidos mediante el software WASP 7. se encuentran dentro los límites ya que estos son mayores a 6mg/l de acuerdo a la norma.

La modelación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea en los nueve tramos de estudio, se presenta en las siguientes figuras:

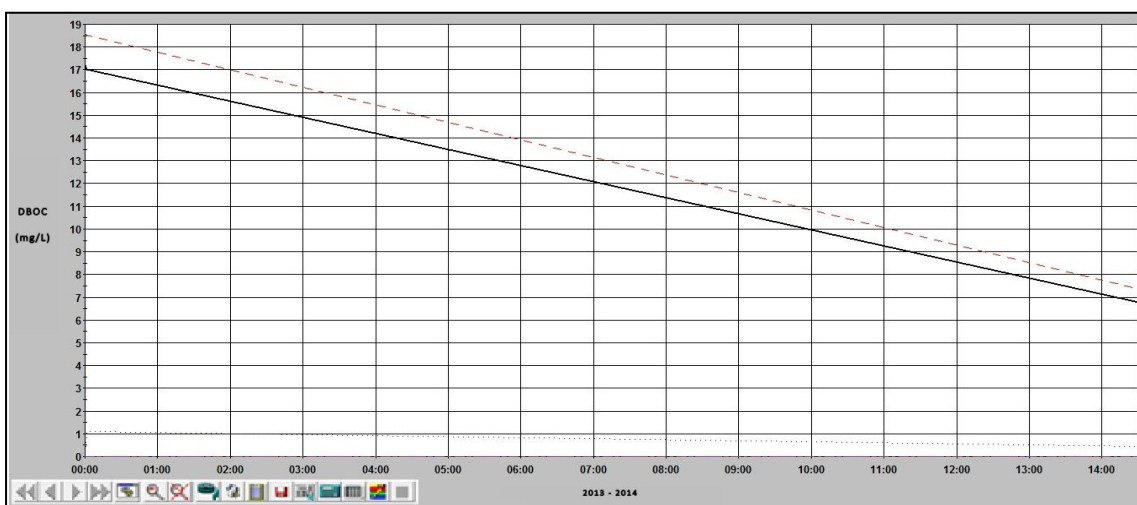


Figura 179 Simulación de la demanda bioquímica de oxígeno carbonácea v/s tiempo en el software WASP 7 – Tramo inicial.
Fuente: Autora.

Durante el periodo de modelación 2013 – 2014 la demanda bioquímica de oxígeno carbonácea decrece desde 18.6 mg/l hasta 6.8mg/l en la figura 178.

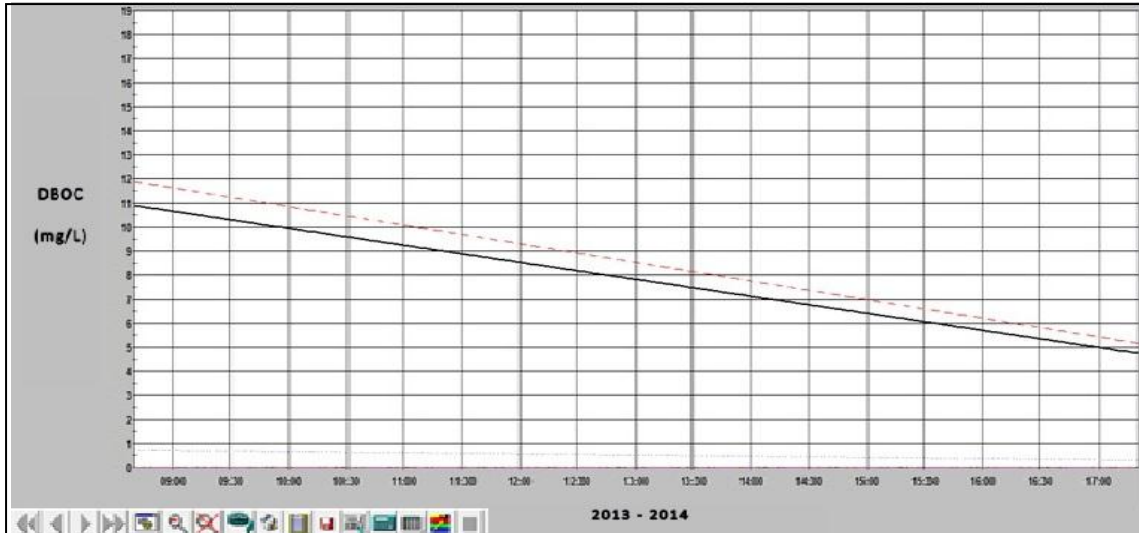


Figura 1809: Simulación de la demanda bioquímica de oxígeno carbonácea v/s tiempo en el software WASP 7.4
Fuente: Autora.

En la figura 179 continúa decreciendo la concentración de la demanda bioquímica de oxígeno desde 11mg/l hasta 4.4mg/l.

En esta simulación se puede observar el comportamiento de la DBOC a lo largo del cauce, teniendo una concentración máxima de 18.6 mg/l y una mínima de 4.4 mg/l, realizando una comparación con el modelo determinado en Excel 2013 y los resultados obtenidos en el software estos son similares lo que da un alto grado de confiabilidad.

Con respecto a la normativa ecuatoriana la demanda bioquímica de oxígeno carbonácea indica que el límite máximo permisible es no mayor a 100mg/l por tanto los resultados determinados a través del software WASP 7. se encuentran dentro de los límites establecidos.

La modelación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada en los nueve tramos de estudio es:

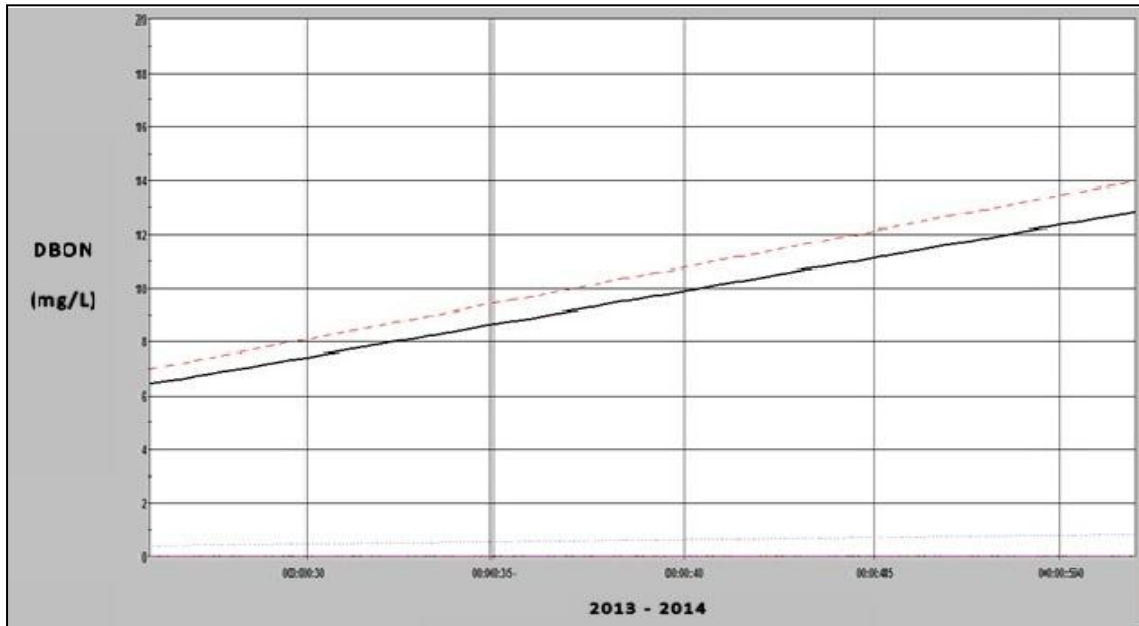


Figura 181: Simulación de la demanda bioquímica de oxígeno nitrogenada v/s tiempo en el software WASP 7.

Fuente: Autora.

En la figura 180 se puede apreciar la simulación realizada para la Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada teniendo concentraciones que van desde 7 mg/l a 14 mg/l, los resultados obtenidos en esta simulación son similares a los modelados en la herramienta de Microsoft Excel 2013, lo cual lleva a interpretar que las modelaciones tanto del Excel como las ejecutadas por el software son correctas. Además estos resultados se encuentran dentro de los límites máximos permisibles que indica la normativa ya que no superan 100mg/l que indica la normativa ecuatoriana.

CAPÍTULO VI

6. Análisis de resultados.

El modelo de Streeter & Phelps permite modelar y predecir el comportamiento de los parámetros de calidad de agua como Oxígeno Disuelto, Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea y Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada a lo largo del Río Malacatos.

Para realizar la primera modelación en Microsoft Excel 2013 del punto Dos Puentes Quebrada Mónica se ha considerado el cauce como un reactor flujo pistón, el cual recibe el aporte de la descarga. Y para conocer los cambios que se producen en el cauce principal se realiza el balance de masa, los cuales serán considerados como la carga de salida que servirá de condicionante para el cálculo del siguiente tramo.

También se utilizó constantes cinéticas de primer orden para la estimación de DBOC y DBON, es decir que la tasa de reacción es proporcional a la cantidad de materia orgánica oxidable por parte de los organismos activos biológicamente, en cualquier tiempo (UCLM, 2003).

Para la estimación de las constantes cinéticas de primer orden que se utilizaron en el modelo, se realizó una calibración a priori, usando los valores de literatura (teóricos y experimentales), que corresponden con la situación específica del sistema en estudio.

Tanto para k_a , k_d y k_n se consideró el efecto de la temperatura, con la finalidad de corregir cada una de las constantes a la temperatura del medio (20°C). En cada una de las simulaciones se obtuvieron distintas constantes que representaban el escenario actual.

Para aplicar el modelo de Streeter & Phelps se analizó los datos de campo de oxígeno disuelto (OD) de las nueve estaciones muestreadas y se observó que el punto Dos Puentes-Quebrada Mónica posee la mayor concentración de oxígeno disuelto la cual es de 8.49 mg/l, mientras que los puntos Punzara, Parque Lineal, Catacocha, 10 de Agosto, Mayorista, Terminal y Jipiro poseen concentraciones de 8.26, 8.28, 6.91, 7.87, 7.03, 7.80, 7.34 mg/l respectivamente, la menor concentración se da en el punto Colector cuya concentración es de 6.69mg/l. De los nueve tramos analizados a lo largo del río Malacatos se determinó que el promedio de concentración de OD es de 7.63mg/l. Todos los resultados obtenidos en el análisis del OD se encuentran dentro de los límites máximos permisibles establecidos en el Texto Unificado de Legislación Ambiental TULAS, Libro VI para Preservación de Flora y

Fauna en agua dulce, ya que estos no deben ser menor a 6mg/l, en tal virtud las condiciones de calidad de agua son buenas.

Dentro del análisis de la demanda bioquímica de oxígeno carbonácea se determinó que las concentraciones varían en los tramos, siendo la mayor concentración en el punto Catacocha con un resultado de 18.25mg/l y la menor concentración se da en el punto Dos Puentes-Quebrada Mónica cuya concentración es de 3.75mg/l, con respecto a los puntos Punzara, Parque Lineal, 10 de Agosto, Mayorista, Terminal, Jipiro y Colector poseen concentraciones de 5.25, 6.25, 7.50, 14.75, 7.40, 9.25, 5.63 respectivamente. El promedio de DBOC en el río Malacatos es de 6.69mg/l. Con estos resultados se ha concluido que la calidad de agua en el cauce principal es estable ya no supera los 100mg/l que indica la normativa ecuatoriana.

Con respecto a la demanda bioquímica de oxígeno nitrogenada los resultados obtenidos indican que la mayor concentración se encuentra en el punto Catacocha con un valor de 31.75mg/l, mientras que la menor concentración se halla en el punto Punzara con 7.38mg/l, los puntos Dos Puentes-Quebrada Mónica, Parque Lineal, 10 de Agosto, Mayorista, Terminal, Jipiro y Colector poseen resultados de 7.88, 10.53, 14.75, 27.75, 15.50, 17.20, y 12.43 respectivamente. La DBON posee un promedio de 16.13mg/l en el río Malacatos. Los resultados obtenidos indican que no existe alteración de la calidad de agua, ya que no supera los 100 mg/l que indica el Texto Unificado de Legislación Ambiental TULAS, Libro VI para Preservación de Flora y Fauna en agua dulce.

Con la estimación del modelo Streeter & Phelps, se comprobó las condiciones actuales en las que se encuentra cada punto de muestreo, y se realizó la estimación de las concentraciones de OD, DBOC, DBON.

Como se observa en la figura 170. Simulación del Oxígeno Disuelto v/s Distancia en el Tramo 9 – Colector el OD presenta el mayor error porcentual con 2.72%, en la figura 22. Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea v/s Distancia en el tramo Dos Puentes-Quebrada Mónica con lo que respecta a DBOC el porcentaje es de 2.10% y en la figura 153 Simulación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada v/s Distancia en el tramo Jipiro, la DBON presenta el mayor porcentaje con un resultado de 1.55%. El resultado de estos tres puntos analizados indica que existe una gran remoción de

contaminación debido a las condiciones morfológicas de los tramos analizados en el río Malacatos.

Es importante indicar que la baja solubilidad del oxígeno es uno de los factores limitantes en la capacidad de autopurificación de las aguas naturales, de allí se presentan la necesidad de efectuar tratamiento de las aguas residuales domésticas, antes de descargarlas a las corrientes receptoras. Asimismo, la velocidad de un cuerpo de agua puede afectar significativamente su capacidad para asimilar y transportar contaminantes (UCLM, 2003). Y al existir una mayor velocidad del flujo de agua la dispersión del contaminante sería mayor. Por lo tanto, se puede señalar que la capacidad de autodepuración del río Malacatos es elevada ya que posee un gran volumen de caudal de 1.43 m^3 y velocidad media de 0.45 m/s que permiten mantener las condiciones de calidad de agua en el cauce.

En lo que respecta a la modelación a través del software WASP 7 los resultados de OD indican que durante el periodo Julio 2013 – Septiembre 2014 las concentraciones varían desde 0 mg/l hasta 12.08 mg/l , punto en el cual las concentraciones de este parámetros se estabilizan, asimismo del análisis realizado a la DBOC se determinan que las concentraciones varían entre 18.6 a 4.4 mg/l y los resultados obtenidos en DBON se encuentran entre 7 mg/l a 14 mg/l . Obteniendo estos resultados se concluye que la calidad de agua del río Malacatos presenta buenas condiciones, debido a que superan los 6 mg/l de OD, y es menor a 100 mg/l de DBOC y DBON, los cuales son los límites máximos permisibles establecidos en el Texto Unificado de Legislación Ambiental TULAS, Libro VI para Preservación de Flora y Fauna en agua dulce.

Finalmente el modelo de Streeter & Phelps permite generar ecuaciones de acuerdo a la morfología del cauce y concentraciones de los parámetros físico-químicos analizados, con este procedimiento se ha establecido un estudio minucioso de la calidad de agua del río Malacatos, ya que se ha realizado la modelación por tramos considerando las principales descargas de aguas residuales que se vierten en el cauce. Asimismo mediante el software WASP 7 se pudo predecir el comportamiento de los tres parámetros analizados, basándose en las condiciones morfológicas de la subcuenca del río Malacatos; los resultados obtenidos a través de estos dos procesos de modelación indican un alto grado de confiabilidad debido a la similitud que existe entre ellos.

CONCLUSIONES

- La modelación y simulación de los parámetros: OD, DBOC y DBON de la subcuenca del Río Malacatos, tramo comprendido desde el Sector de los Dos Puentes hasta el Sector de Sauces Norte mediante el modelo de Streeter & Phelps ha permitido determinar y evaluar la calidad de agua que posee este río.
- La simulación mediante el software WASP 7 de los parámetros que se analizaron a lo largo del cauce de la subcuenca del Río Malacatos, ha permitido interpretar de forma clara como es el comportamiento y la interacción de estos parámetros de calidad de agua cuando en éste se vierten fuentes de contaminantes de tipo puntual, como es el caso de las descargas residuales.
- La calibración y verificación del modelo muestran que los resultados de estas simulaciones poseen un valor de R^2 que oscila entre 0.99 y 1, lo que permite concluir que el grado de asociación entre variables tiene una alta confiabilidad de la modelación.
- Con los resultados de los parámetros modelados en Excel 2013 y en el software WASP 7 se concluye que el estado de calidad que presenta el agua es contaminado, y basándonos en el estudio "Monitoreo de la calidad del agua del Río Malacatos, tramo comprendido desde los Dos Puentes hasta el sector de Sauces Norte" el método IQA-MC presenta un índice de calidad del agua de 47 lo que indica que se encuentra contaminada.
- Los resultados de los análisis de las descargas de aguas residuales provenientes del sector oriental u occidental de la ciudad que vierten en el tramo de estudio presentan valores de OD bajos y de DBOC y DBON altos comparados con los resultados de las muestras tomadas directamente del río, lo que lleva a concluir que las descargas directas de aguas residuales son las principales causantes de la mala calidad de agua que presenta la subcuenca.
- El tramo 9 –Colector es el punto con mayor grado de contaminación, en este se recolectan las aguas servidas de la ciudad, es por ello que presenta bajos niveles de

oxígeno disuelto y altos niveles de demanda bioquímica de oxígeno carbonácea y nitrogenada.

- Esta modelación y simulación permitirán interpretar los resultados con la finalidad de tomar la mejor decisión para el manejo y restauración de este recurso.

BIBLIOGRAFÍA

1. Agency, E.P.(16 de 5 de 2014). *EPA*. Obtenido de <http://water.epa.gov/scitech/datait/models/>.
2. Ambiente, M. d. (2002). *Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS)*.
3. Bosko. (1996). *Calidad de Agua en ríos – Autodepuración*.
4. Celorio, M. L. (2011). *DESARROLLO E INTEGRACIÓN DE MODELOS NUMÉRICOS DE CALIDAD DEL AGUA EN UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA*. Santander.
5. Chapra, S. C. (1997). *SURFACE WATER-QUALITY MODELING*. United States of America: McGraw-Hill Companies, Inc.
6. Chapra, S., & Pelletier. (2003). *A Modeling Framework for Simulating River and Stream Water Quality. Documentation and Users Manual Civil and Environmental Engineering Dept, Tufts University, Medford, MA*.
7. Courchaine. (1980). *Comparación de Métodos de estimación de la tasa de nitrificación de ríos de montaña. Caso de estudio rio Subachoque, Colombia*.
8. Espinoza, J. C. (2005). *MODELO DE SIMULACION PARA LA CALIDAD DE AGUA EN UN RIO*. Edición 1ª
9. Group, S. S. (2005). *Copyright © 2005 Scientific Software Group*. Obtenido de <http://www.scisoftware.com/>
10. Guano Avila, M. E., & Velasteguí Carrillo, V. A. (Septiembre de 2014). *MANUAL BÁSICO PARA LA MODELACIÓN NUMÉRICA DE LA CALIDAD DEL AGUA EN RIOS: PROGRAMA COMPUTACIONAL HEC-RAS VERSIÓN 4.0. EJEMPLO DE APLICACIÓN A UN TRAMO DEL RÍO MACHÁNGARA DENTRO DE LA ZONA DE INFLUENCIA DE LA CIUDAD DE QUITO*. Quito, Ecuador .
11. Jodar, M., & Castillo, J. M. (1998). *EL AGUA. Consejería de Educación y Ciencia*. Obtenido de <http://www.manueljodar.com/pua/pua6.htm>
12. Kiely. (1999). *Ingeniería Ambiental*. Edición 1ª.
13. Laureano, J. S. (s.f.). *Evaluación de la Calidad del Agua del Río San Juan en el Estado de Nuevo León. 2002*. Nuevo León, México .
14. Legarreta, M. G. (2001). *EL AGUA (Vol. 5ta. Edición)*. (C. d. Selección, Ed.) México: Ediciones PRELUDIO.

15. McCarthy, G. (28 de febrero de 2014). *United States Environmental Protection Agency* . Obtenido de Gina McCarthy
16. McDonnell, W. a. (1979). Metodología para la definición de la longitud de influencia de vertimientos sobre corrientes de agua superficial
17. Medina, M. E., & Riascos, M. A. (2009). Determinación de la calidad del agua del río Malacatos mediante fauna bentónica como bioindicadora y alternativas de mitigación de la contaminación. 2009. Loja, Loja, Ecuador.
18. Metcalf & Hedi. (1995) "Ingeniería sanitaria. Tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales". 3a Edición Mc. Graw Hill. México, 1485 pp.
19. Meybeck, M. E. (1996). *Monitoring - A Practical Guide to the Design and Implementation of Freshwater Quality Studies and Monitoring Programmes*. UNEP/WHO.
20. Miguel Martín Moneris, Paula Marzal Doménech. (1999). *Modelación de la calidad del agua* . Valencia : Universidad Politécnica de Valencia.
21. Mitchel, M., Stapp, W., & Bixby. (1991). Manual de campo de proyecto del río. Una guía para monitorear la calidad del agua en el río Bravo. *Segunda*, 200. México.
22. Naciones Unidas. (2009). *El agua, una responsabilidad compartida*. Bruselas : Green Facts-Bruselas.
23. Nemerow. (1974). Aguas Residuales, Centro de Investigación y Desarrollo, obtenido de cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/residuales.pdf
24. Quintero, H. A. (14 de Julio de 2008). MODELACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA EN CORRIENTES NATURALES MEDIANTE SISTEMA NO LINEALES ACOPLADOS. 14. Colombia.
25. Ramirez, C. A. (2011). *CALIDAD DEL AGUA - Evaluación y diagnóstico*. Medellín, Colombia: Ediciones de la U.
26. Riascos, J., Diaz, D., Beltran, L., & Gutiérrez, F. (Junio de 2012). DYNAMICAL MODEL TO ESTIMATE CARRYING CAPACITY IN RESERVOIRS WITH FISH FARMING. *Revista U.D.C.A. Actualidad y Divulgación Científica*, 15(1), págs. 135-145.
27. Trento, A. E. (2001). Reseña Sobre Modelos Unidireccionales de Calidad de Aguas en Rios. *RBRH- Revista Brasileira de Recursos Hídricos.*, Sexto, 175-183.
28. UCLM. (2003). Físico-química de las aguas naturales, Disponible en <http://www.uclm.es/users/higueras/mam/MAM3.htm>

29. Vásquez, F. A. (2013). *Determinación de los parámetros físicos, químicos y biológicos de un cuerpo de agua*. Trujillo - Perú: Moglia SRL.
30. Vega, F. J. (2009). *Desarrollo y Aplicación de un Índice de Calidad de Agua para ríos en Puerto Rico*. Puerto Rico.
31. Wastewater., S. M. (2005). American Public Health Association.
32. WRI (2000). *Pilot analysis of global ecosystems: freshwater systems*.

ANEXOS

ANEXO 1

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

PUNTOS DEL RÍO

QUEBRADA MÓNICA

Prueba de Kolmogorov-Smirnov:

Oxígeno Disuelto (mg/l)
8.52
8.41
8.91
8.13

Distribución: Normal

Estadísticas descriptivas:

Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
8.13	8.91	8.493	0.323

Los datos están dentro del 98.00%.

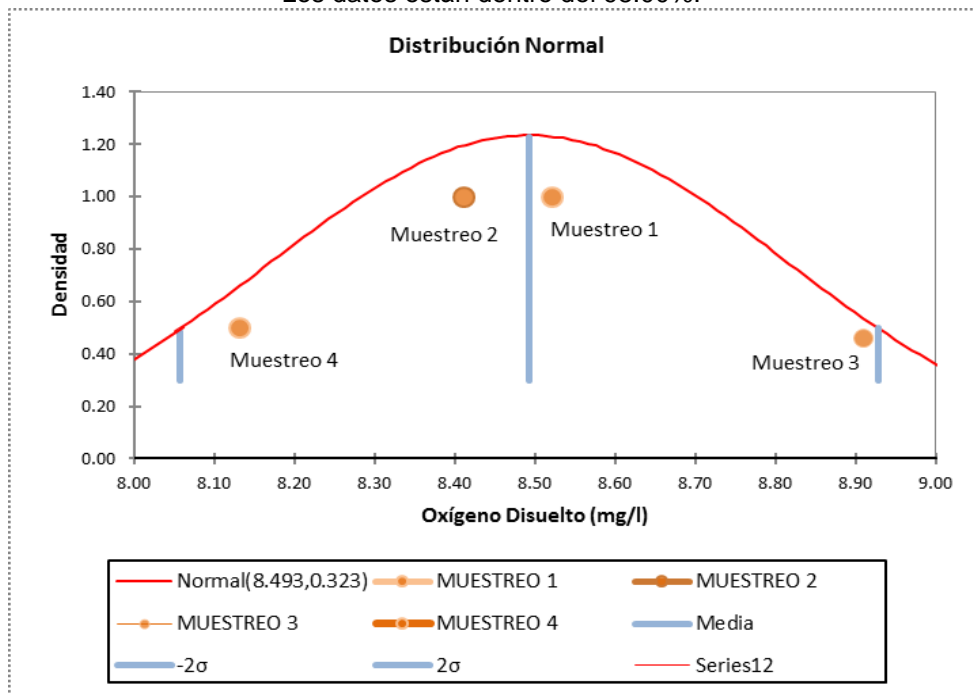


Figura 182: Análisis Estadístico del Oxígeno Disuelto.

Fuente: Autora

D	0,383
p-valor	0,942
alfa	0,05

Interpretación de la prueba:

El riesgo de rechazar la hipótesis nula cuando es verdadera, es de 98.00%.

QUEBRADA MÓNICA

Prueba de Kolmogorov-Smirnov:

DBON (mg/l)
8,00
6,50
7,00
10,00

Distribución: Normal

Estadísticas descriptivas:

Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
6,50	10,00	7,88	1,55

Los datos están dentro del 97.83%.

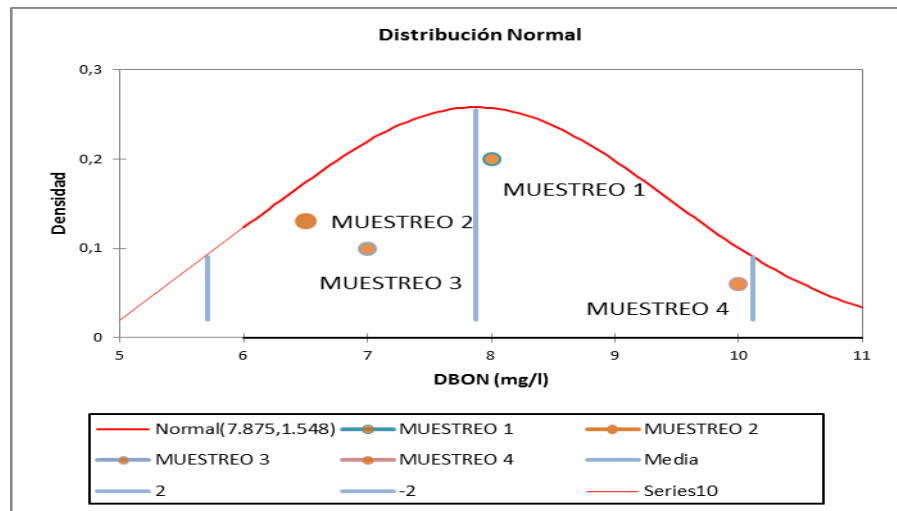


Figura 183: Análisis Estadístico de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada.

Fuente: Autora

D	0,218
p-valor	0,978
alfa	0,05

Interpretación de la prueba:

El riesgo de rechazar la hipótesis nula H0 cuando es verdadera, es de 97.83%.

PUNZARA

Prueba de Kolmogorov-Smirnov:

DBOC (mg/l)
4,00
9,00
2,00
6,00

Distribución: Normal

Estadísticas descriptivas:

Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
2,00	9,00	5,25	2,99

Los datos están dentro del 99.96%

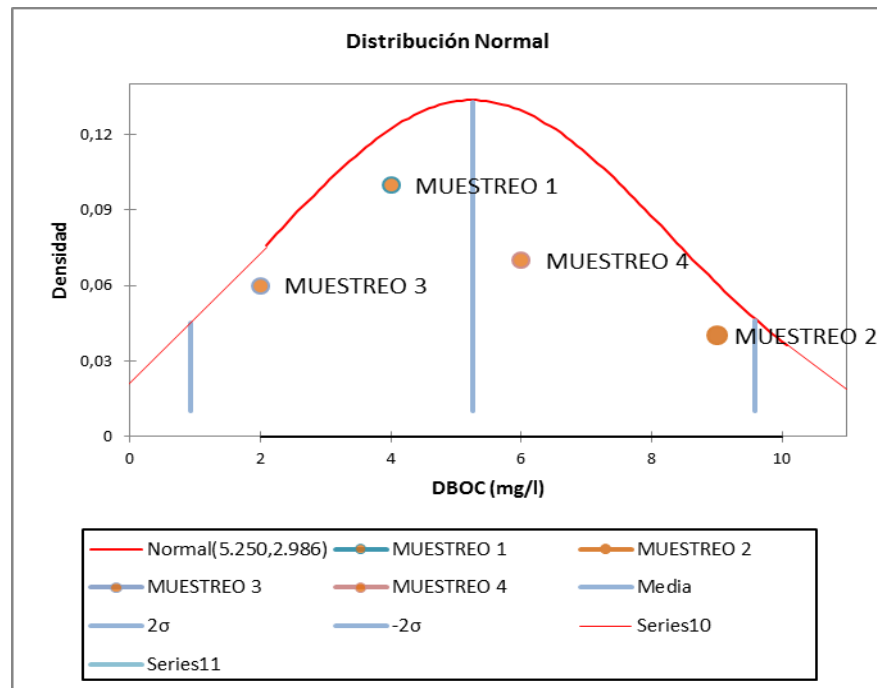


Figura 184: Análisis Estadístico de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea.

Fuente: Autora

D	0,162
p-valor	1,000
alfa	0,05

Interpretación de la prueba:

El riesgo de rechazar la hipótesis nula H0 cuando es verdadera es de 99.96%.

PUNZARA

Prueba de Kolmogorov-Smirnov:

DBON (mg/l)
7,50
11,00
3,00
8,00

Distribución: Normal

Estadísticas descriptivas:

Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
3,00	11,00	7,38	3,30

Los datos están dentro del 89.37%.

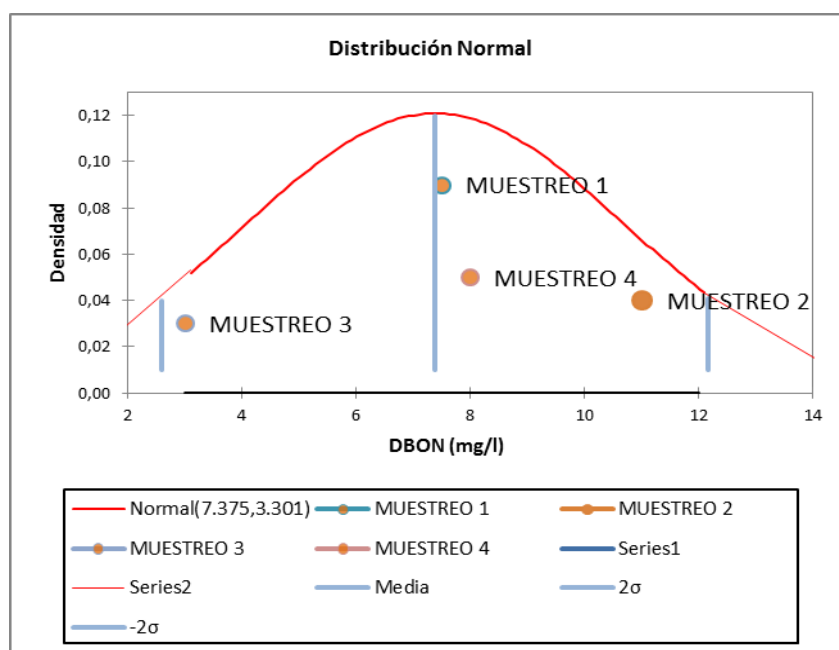


Figura 185: Análisis Estadístico de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada.

Fuente: Autora

D	0,265
p-valor	0,894
alfa	0,05

Interpretación de la prueba:

El riesgo de rechazar la hipótesis nula H0 cuando es verdadera es de 89.37%.

PARQUE LINEAL

Prueba de Kolmogorov-Smirnov:

Oxígeno Disuelto (mg/l)
8,02
7,96
8,99
8,16

Distribución: Normal

Estadísticas descriptivas:

Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
7,96	8,99	8,28	0,48

Los datos están dentro del 90.49%.

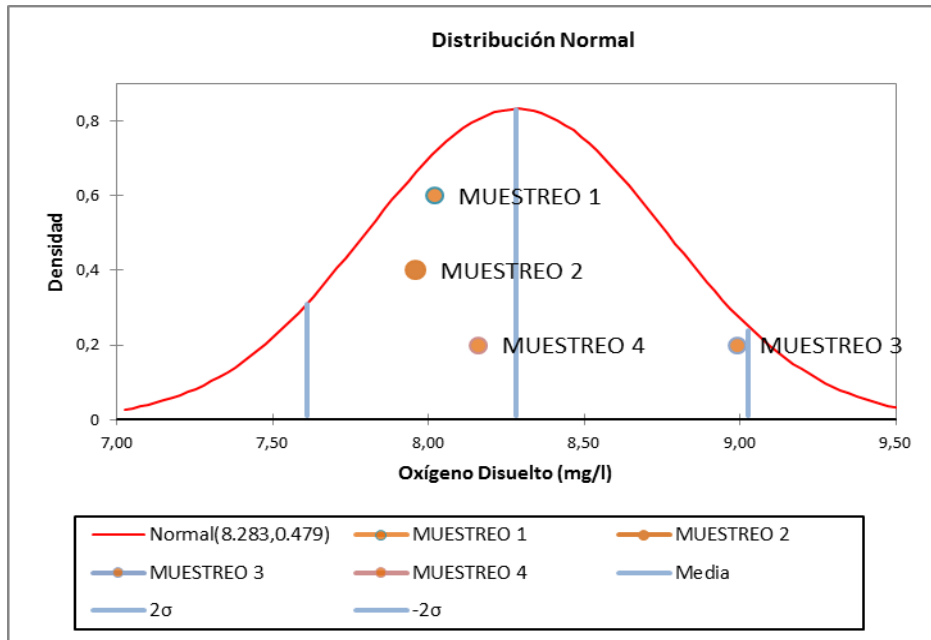


Figura 186: Análisis Estadístico del Oxígeno Disuelto.
Fuente: Autora

D	0,351
p-valor	0,605
alfa	0,05

Interpretación de la prueba:

El riesgo de rechazar la hipótesis nula H_0 cuando es verdadera, es de 90.49%.

PARQUE LINEAL

Prueba de Kolmogorov-Smirnov:

DBOC (mg/l)
8,00
6,00
4,00
7,00

Distribución: Normal

Estadísticas descriptivas:

Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
4,00	8,00	6,25	1,71

Los datos están dentro del 99.50%.

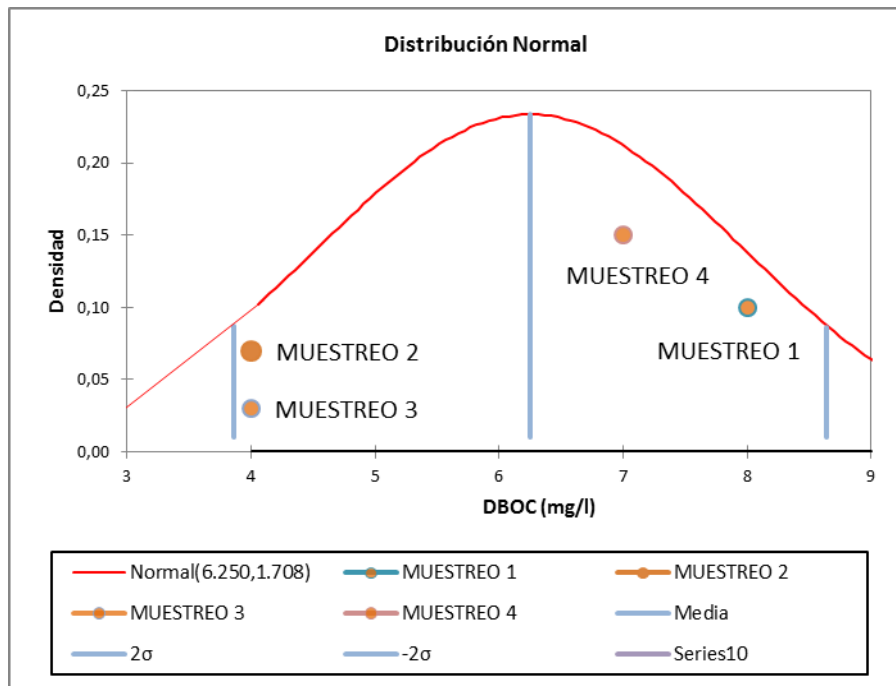


Figura 187: Análisis Estadístico de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea.

Fuente: Autora

D	0,192
p-valor	0,995
alfa	0,05

Interpretación de la prueba:

El riesgo de rechazar la hipótesis nula H0 cuando es verdadera, es de 99.50%.

PARQUE LINEAL

Prueba de Kolmogorov-Smirnov:

DBON (mg/l)
17,90
7,20
6,00
11,00

Distribución: Normal

Estadísticas descriptivas:

Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
6,00	17,90	10,53	5,36

Los datos están dentro del 96.01%.

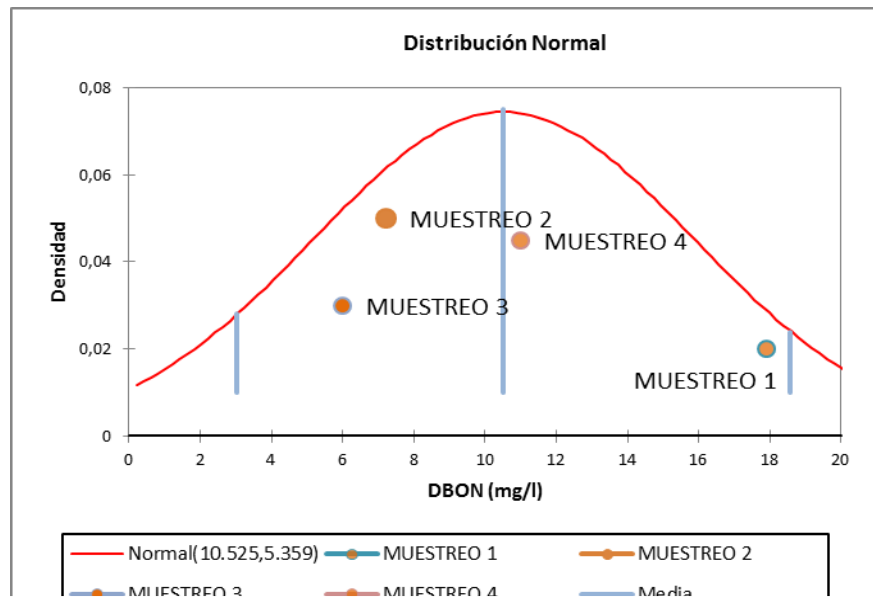


Figura 188: Análisis Estadístico de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada.

Fuente: Autora

D	0,233
p-valor	0,960
alfa	0,05

Interpretación de la prueba:

El riesgo de rechazar la hipótesis nula H_0 cuando es verdadera, es de 96.01%.

CATACocha

Prueba de Kolmogorov-Smirnov:

Oxígeno Disuelto (mg/l)
5,84
5,65
8,40
7,76

Distribución: Normal

Estadísticas descriptivas:

Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
5,65	8,40	6,91	1,38

Los datos están dentro del 94.54%.

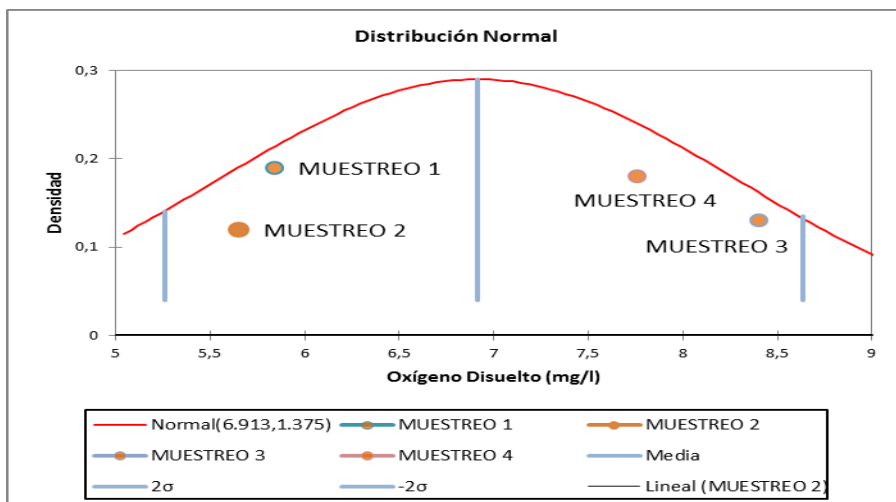


Figura 189: Análisis Estadístico del Oxígeno Disuelto.
Fuente: Autora

D	0,282
p-valor	0,845
alfa	0,05

Interpretación de la prueba:

El riesgo de rechazar la hipótesis nula H0 cuando es verdadera es de 94.54%.

CATACUCHA

Prueba de Kolmogorov-Smirnov:

DBOC (mg/l)
23,00
22,00
9,00
19,00

Distribución: Normal

Estadísticas descriptivas:

Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
9,00	23,00	18,25	6,40

Los datos están dentro del 98.93%.

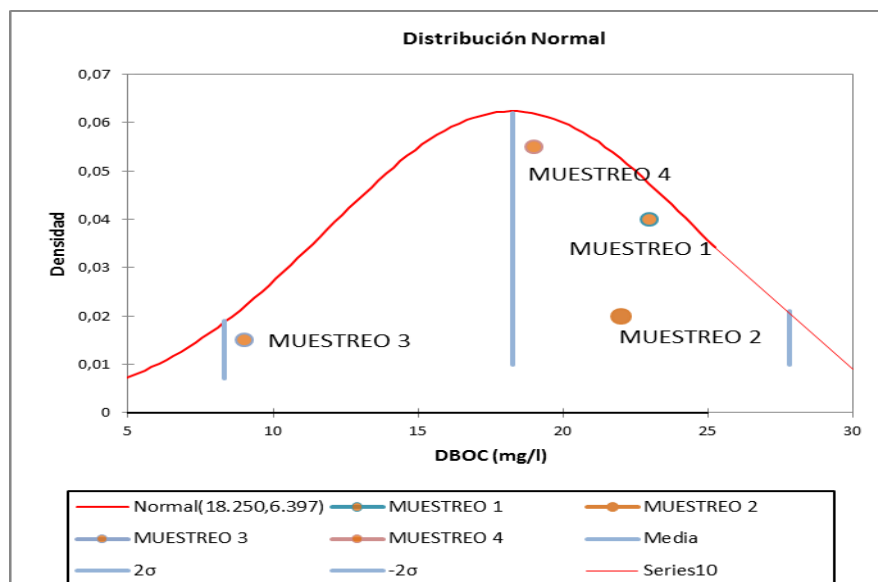


Figura 190: Análisis Estadístico de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea.
Fuente: Autora

D	0,297
p-valor	0,799
alfa	0,05

Interpretación de la prueba:

El riesgo de rechazar la hipótesis nula H0 cuando es verdadera, es de 98.93%.

CATACOA

Prueba de Kolmogorov-Smirnov:

DBON (mg/l)
56,00
26,00
11,00
34,00

Distribución: Normal

Estadísticas descriptivas:

Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
11,00	56,00	31,75	18,77

Los datos están dentro del 99.03%.

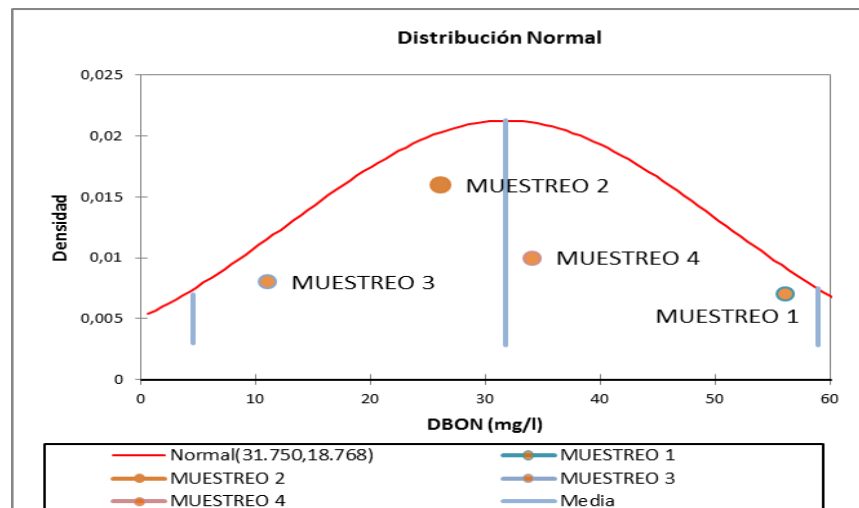


Figura 191: Análisis Estadístico de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada.

Fuente: Autora

p-valor	0,990
alfa	0,05

Interpretación de la prueba:

El riesgo de rechazar la hipótesis nula H0 cuando es verdadera, es de 99.03%.

10 DE AGOSTO

Prueba de Kolmogorov-Smirnov:

Oxígeno Disuelto (mg/l)
6,64
8,50
8,28
8,06

Distribución: Normal

Estadísticas descriptivas:

Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
6,64	8,50	7,87	0,84

Los datos están dentro del 83.99%.

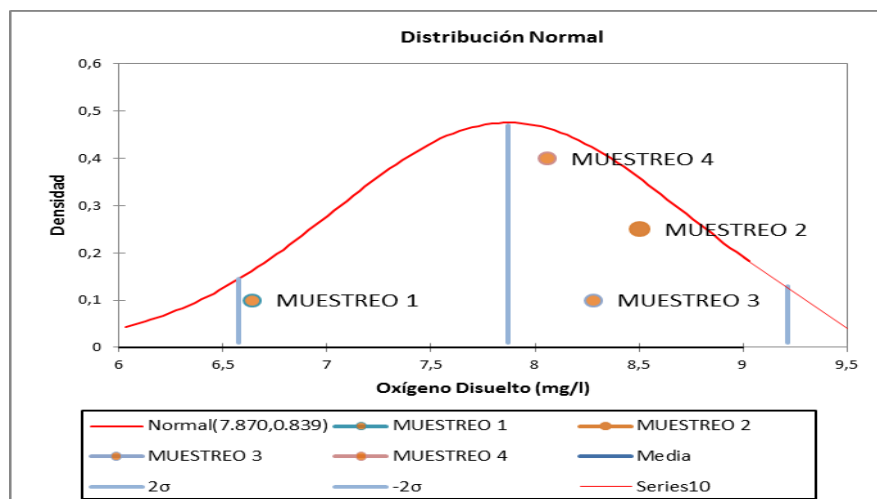


Figura 192: Análisis Estadístico del Oxígeno Disuelto.
Fuente: Autora

D	0,340
p-valor	0,647
alfa	0,05

Interpretación de la prueba:

El riesgo de rechazar la hipótesis nula H0 cuando es verdadera, es de 83.99%.

10 DE AGOSTO

Prueba de Kolmogorov-Smirnov:

DBOC (mg/l)
12,00
3,00
7,00
8,00

Distribución: Normal

Estadísticas descriptivas:

Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
3,00	12,00	7,50	3,70

Los datos están dentro del 99.33%.

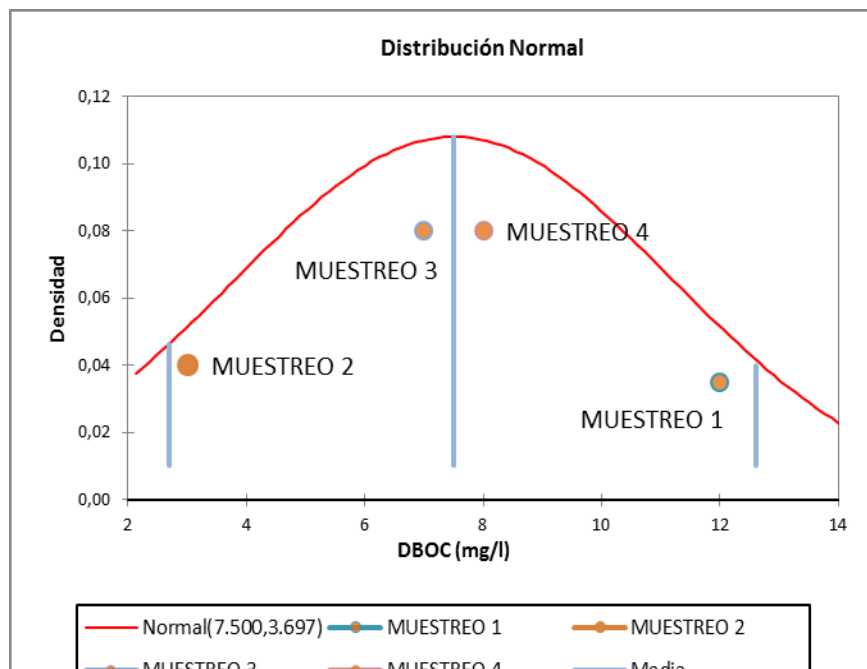


Figura 193: Análisis Estadístico de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea.

Fuente: Autora

D	0,196
p-valor	0,993
alfa	0,05

Interpretación de la prueba:

El riesgo de rechazar la hipótesis nula H_0 cuando es verdadera, es de 99.33%.

10 DE AGOSTO

Prueba de Kolmogorov-Smirnov:

DBON (mg/l)
31,00
4,00
8,00
16,00

Distribución: Normal

Estadísticas descriptivas:

Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
4,00	31,00	14,75	11,93

Los datos están dentro del 98.16%.

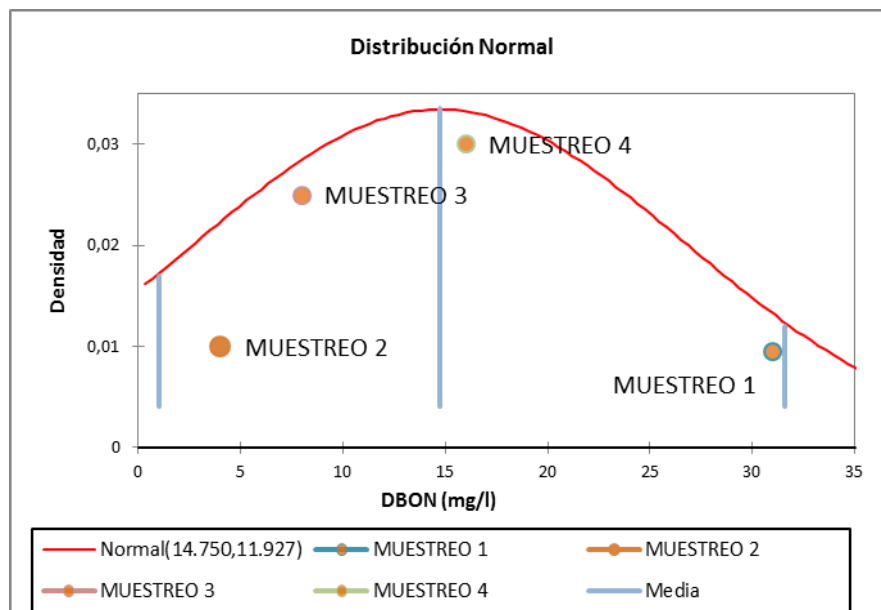


Figura 194: Análisis Estadístico de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada.

Fuente: Autora

D	0,214
p-valor	0,982
alfa	0,05

Interpretación de la prueba:

El riesgo de rechazar la hipótesis nula H_0 cuando es verdadera, es de 98.16%.

10 DE AGOSTO

Prueba de Kolmogorov-Smirnov:

Caudal (m³/s)
0,94
1,35
1,40
1,84

Distribución: Normal

Estadísticas descriptivas:

Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
0,94	1,84	1,38	0,37

Los datos están dentro del 96.11%.

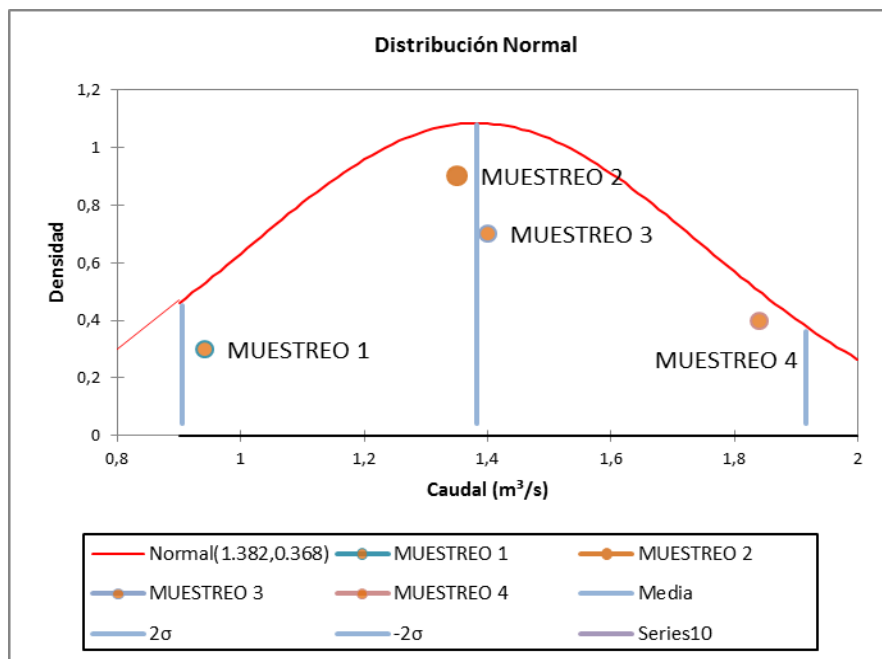


Figura 195: Análisis Estadístico del Caudal.
Fuente: Autora

D	0,232
p-valor	0,961
alfa	0,05

Interpretación de la prueba:

El riesgo de rechazar la hipótesis nula H_0 cuando es verdadera es de 96.11%.

MAYORISTA

Prueba de Kolmogorov-Smirnov:

Oxígeno Disuelto (mg/l)
5,93
6,08
8,32
7,77

Distribución: Normal

Estadísticas descriptivas:

Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
5,93	8,32	7,03	1,20

Los datos están dentro del 83.88%.

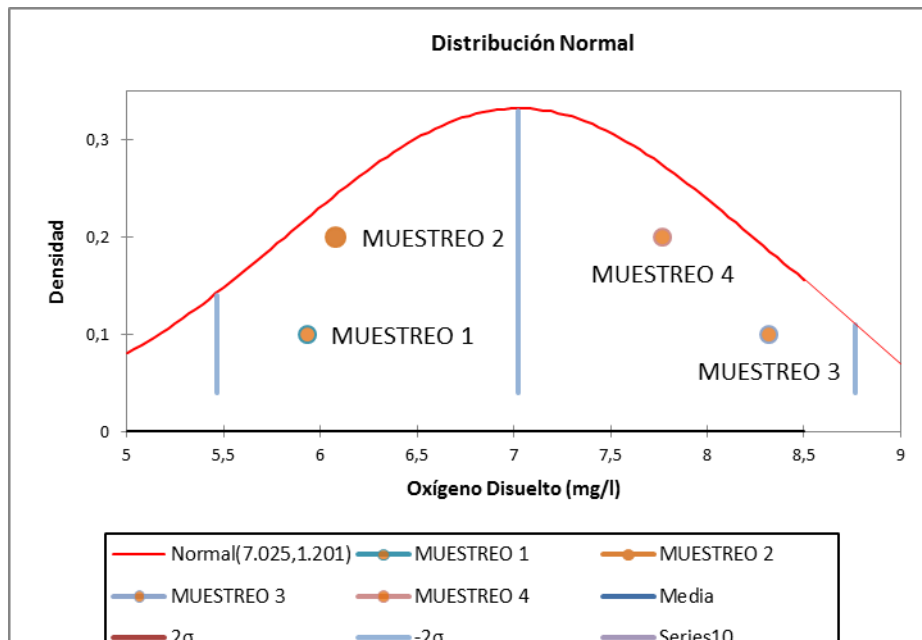


Figura 196: Análisis Estadístico del Oxígeno Disuelto.
Fuente: Autora

χ^2	0,207
p-valor	0,839
alfa	0,05

Interpretación de la prueba:

El riesgo de rechazar la hipótesis nula H_0 cuando es verdadera, es de 83.88%.

MAYORISTA

Prueba de Kolmogorov-Smirnov:

DBOC (mg/l)
22,00
10,00
12,00
15,00

Distribución: Normal

Estadísticas descriptivas:

Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
10,00	22,00	14,75	5,25

Los datos están dentro del 96.23%.

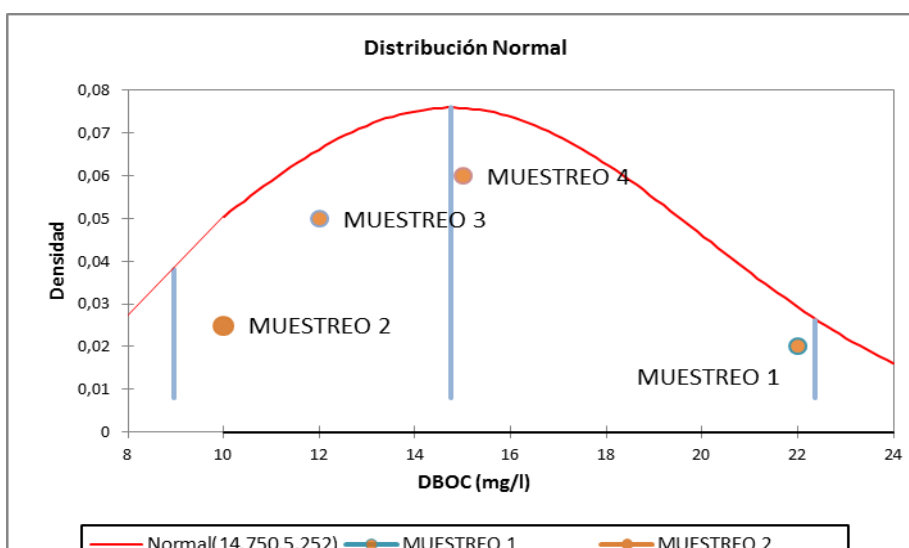


Figura 197: Análisis Estadístico de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea.

Fuente: Autora

El riesgo de rechazar la hipótesis nula H0 cuando es verdadera, es de 96.23%.

D	0,231
p-valor	0,962
alfa	0,05

Interpretación de la prueba

MAYORISTA

Prueba de Kolmogorov-Smirnov:

DBON (mg/l)
57,00
12,00
14,00
28,00

Distribución: Normal

Estadísticas descriptivas:

Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
12,00	57,00	27,75	20,76

Los datos están dentro del 93.68%.

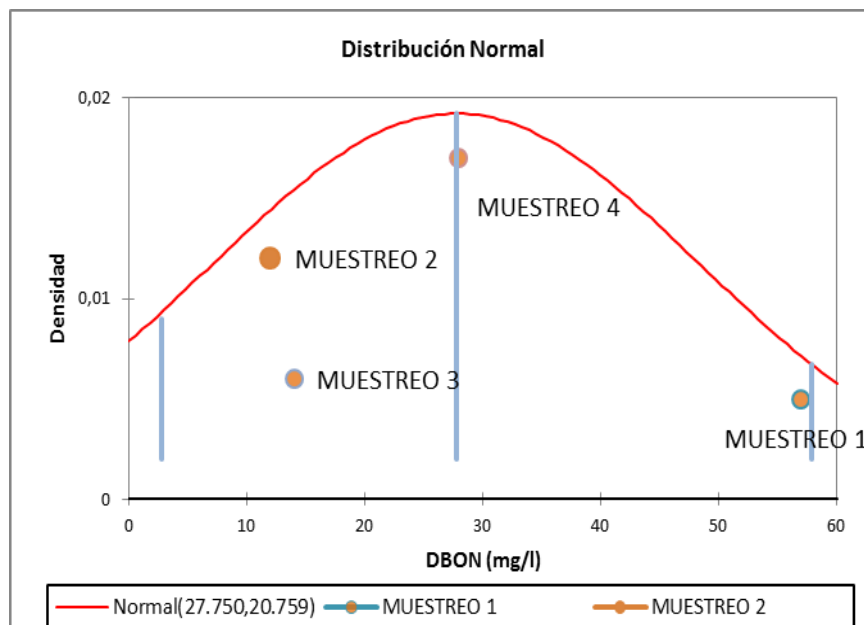


Figura 198: Análisis Estadístico de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada.

Fuente: Autora

D	0,246
p-valor	0,937
alfa	0,05

Interpretación de la prueba:

El riesgo de rechazar la hipótesis nula H_0 cuando es verdadera, es de 93.68%.

TERMINAL

Prueba de Kolmogorov-Smirnov:

Oxígeno Disuelto (mg/l)
6,89
8,45
8,14
7,71

Distribución: Normal

Estadísticas descriptivas:

Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
6,89	8,45	7,80	0,68

Los datos están dentro del 99.22%.

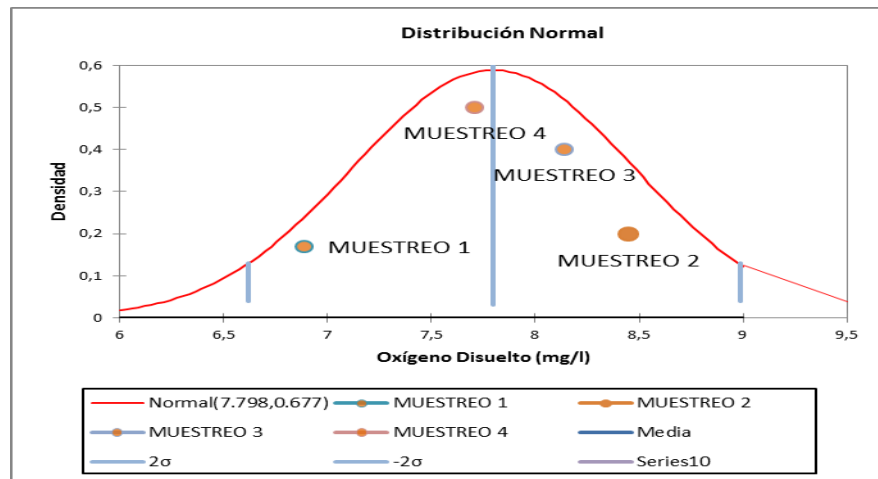


Figura 199: Análisis Estadístico del Oxígeno Disuelto.
Fuente: Autora

D	0,199
p-valor	0,992
alfa	0,05

Interpretación de la prueba:

El riesgo de rechazar la hipótesis nula H0 cuando es verdadera es de 99.22%.

TERMINAL

Prueba de Kolmogorov-Smirnov:

DBOC (mg/l)
15,00
2,60
4,00
8,00

Distribución: Normal

Estadísticas descriptivas:

Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
2,60	15,00	7,40	5,56

Los datos están dentro del 96.44%.

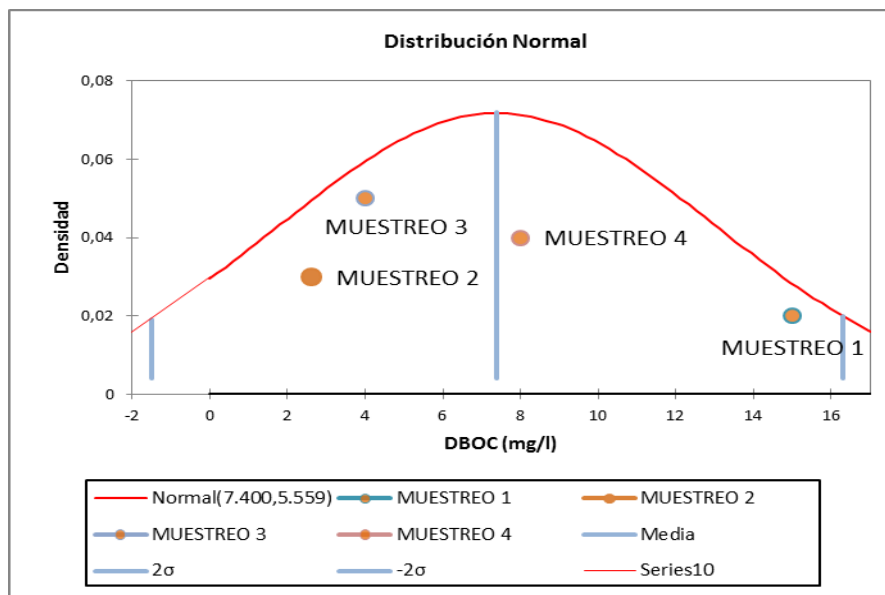


Figura 200: Análisis Estadístico de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea.
Fuente: Autora

D	0,230
p-valor	0,964
alfa	0,05

Interpretación de la prueba:

El riesgo de rechazar la hipótesis nula H0 cuando es verdadera es de 96.44%.

TERMINAL

Prueba de Kolmogorov-Smirnov:

DBON (mg/l)
36,80
3,20
5,00
17,00

Distribución: Normal

Estadísticas descriptivas:

Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
3,20	36,80	15,50	15,46

Los datos están dentro del 92.60%.

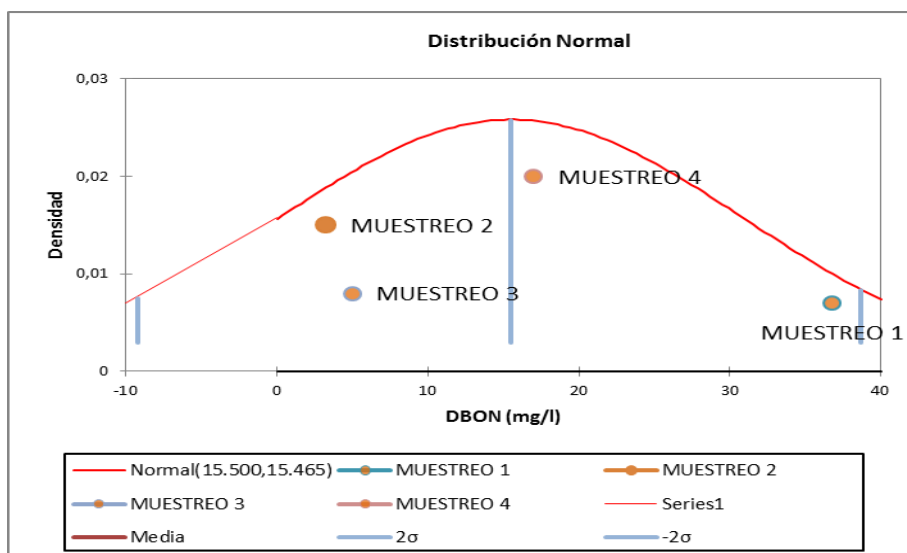


Figura 201: Análisis Estadístico de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada.
Fuente: Autora

D	0,251
p-valor	0,926
alfa	0,05

Interpretación de la prueba:

El riesgo de rechazar la hipótesis nula H_0 cuando es verdadera, es de 92.60%.

RÍO JIPIRO

Prueba de Kolmogorov-Smirnov:

Oxígeno Disuelto (mg/l)
5,78
8,22
7,69
7,67

Distribución: Normal

Estadísticas descriptivas:

Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
5,78	8,22	7,34	1,07

Los datos están dentro del 83.28%.

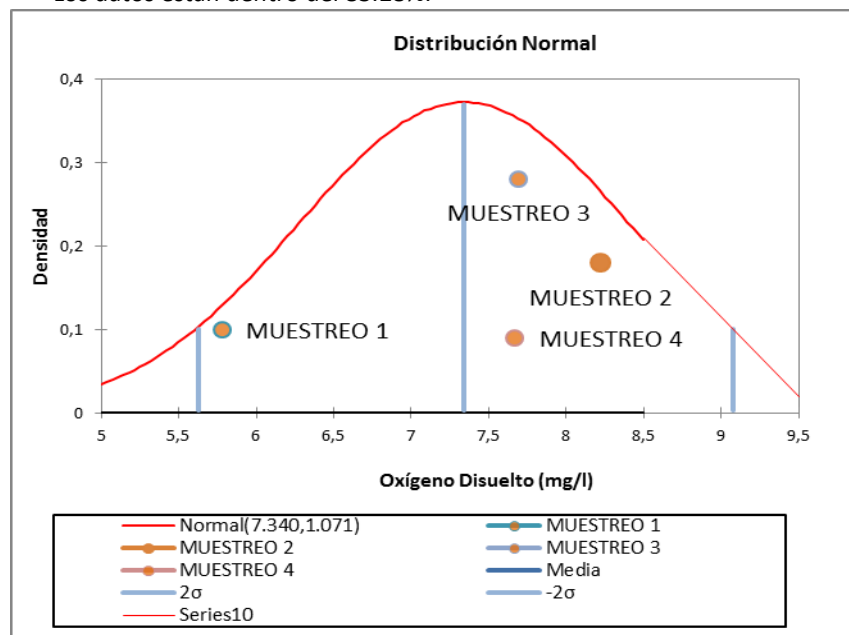


Figura 202: Análisis Estadístico del Oxígeno Disuelto.
Fuente: Autora

D	0,371
p-valor	0,533
alfa	0,05

Interpretación de la prueba:

El riesgo de rechazar la hipótesis nula H0 cuando es verdadera, es de 83.28%.

RÍO JIPIRO

Prueba de Kolmogorov-Smirnov:

DBOC (mg/l)
16,00
6,00
5,00
10,00

Distribución: Normal

Estadísticas descriptivas:

Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
5,00	16,00	9,25	4,99

Los datos están dentro del 94.36%.

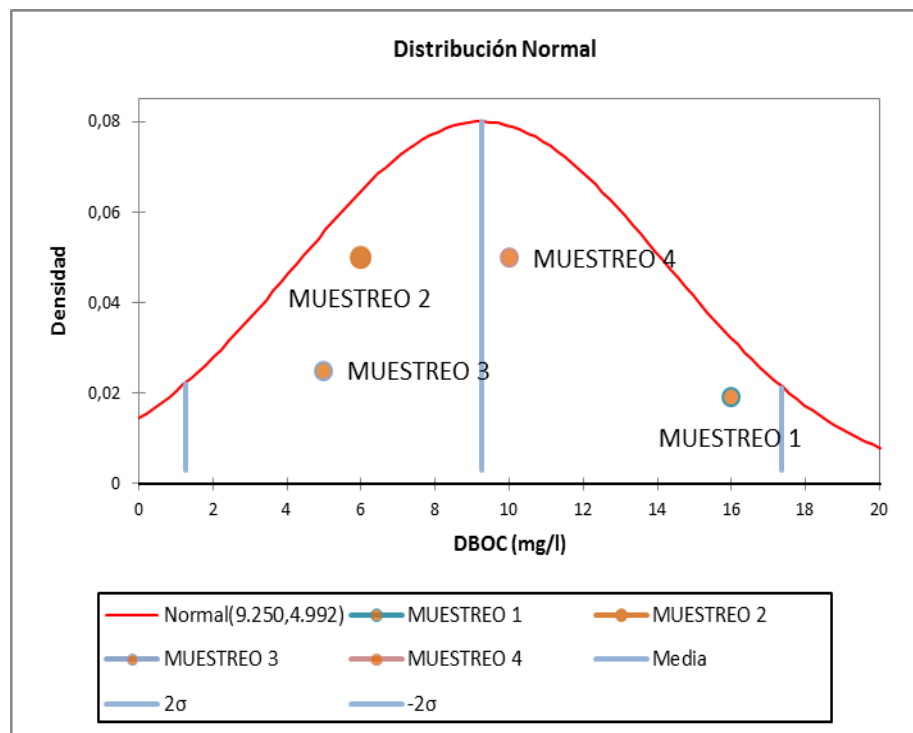


Figura 203: Análisis Estadístico de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea.

Fuente: Autora

D	0,253
p-valor	0,829
alfa	0,05

Interpretación de la prueba:

El riesgo de rechazar la hipótesis nula H_0 cuando es verdadera es de 94.36%.

COLECTOR

Prueba de Kolmogorov-Smirnov:

Oxígeno Disuelto (mg/l)
5,48
7,98
7,31
5,99

Distribución: Normal

Estadísticas descriptivas:

Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
5,48	7,98	6,69	1,16

Los datos están dentro del 96.68%.

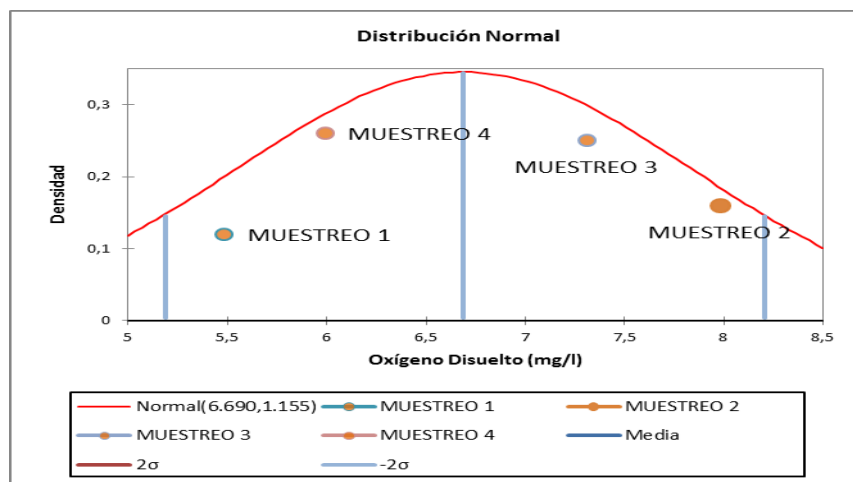


Figura 204: Análisis Estadístico del Oxígeno Disuelto.
Fuente: Autora

D	0,228
p-valor	0,967
alfa	0,05

Interpretación de la prueba:

El riesgo de rechazar la hipótesis nula H_0 cuando es verdadera, es de 96.68%.

COLECTOR

Prueba de Kolmogorov-Smirnov:

DBOC (mg/l)
9,50
4,00
3,00
6,00

Distribución: Normal

Estadísticas descriptivas:

Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
3,00	9,50	5,63	2,87

Los datos están dentro del 98.15%.

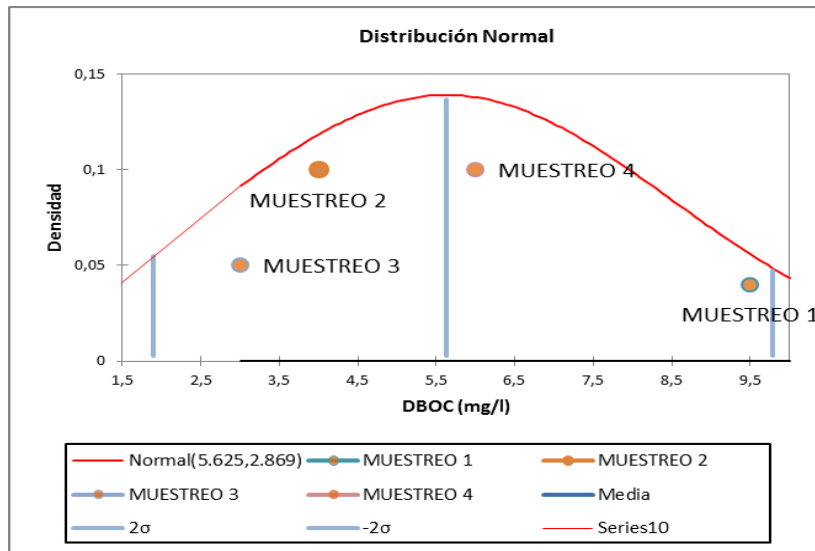


Figura 205: Análisis Estadístico de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea.

Fuente: Autora

D	0,214
p-valor	0,981
alfa	0,05

Interpretación de la prueba:

El riesgo de rechazar la hipótesis nula H0 cuando es verdadera, es de 98.15%.

COLECTOR

Prueba de Kolmogorov-Smirnov:

DBON (mg/l)
22,70
5,00
8,00
14,00

Distribución: Normal

Estadísticas descriptivas:

Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
5,00	22,70	12,43	7,81

Los datos están dentro del 98.13%.

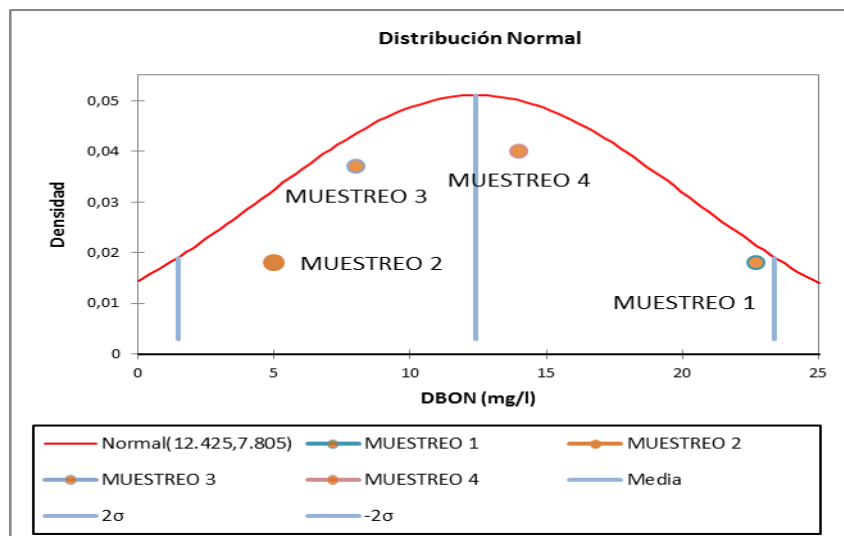


Figura 206: Análisis Estadístico de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada.
Fuente: Autora

D	0,215
p-valor	0,981
alfa	0,05

Interpretación de la prueba:

El riesgo de rechazar la hipótesis nula H0 cuando es verdadera es de 98.13%.

Interpretación de la prueba:

ANEXO 2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

PUNTOS DE DESCARGA

QUEBRADA MÓNICA

Prueba de Kolmogorov-Smirnov:

Oxígeno Disuelto (mg/l)
7,95
8,23
8,95
8,04

Distribución: Normal

Estadísticas descriptivas:

Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
7,95	8,95	8,29	0,45

Los datos están dentro del 97.17%.

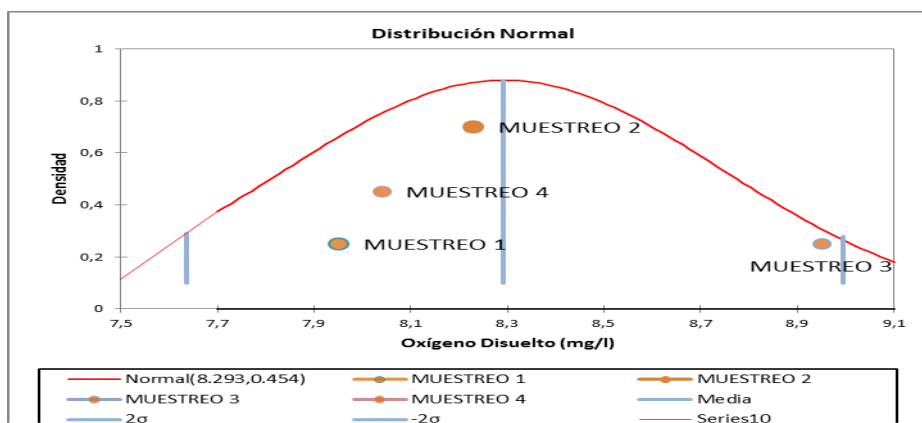


Figura 207: Análisis Estadístico del Oxígeno Disuelto.

Fuente: Autora

D	0,305
p-valor	0,772
alfa	0,05

Interpretación de la prueba:

El riesgo de rechazar la hipótesis nula

H0 cuando es verdadera, es de

97.17%.

QUEBRADA MÓNICA

Prueba de Kolmogorov-Smirnov:

DBOC (mg/l)
3,42
7,00
8,00
7,00

Distribución: Normal

Estadísticas descriptivas:

Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
3,42	8,00	6,36	2,01

Los datos están dentro del 91.65%.

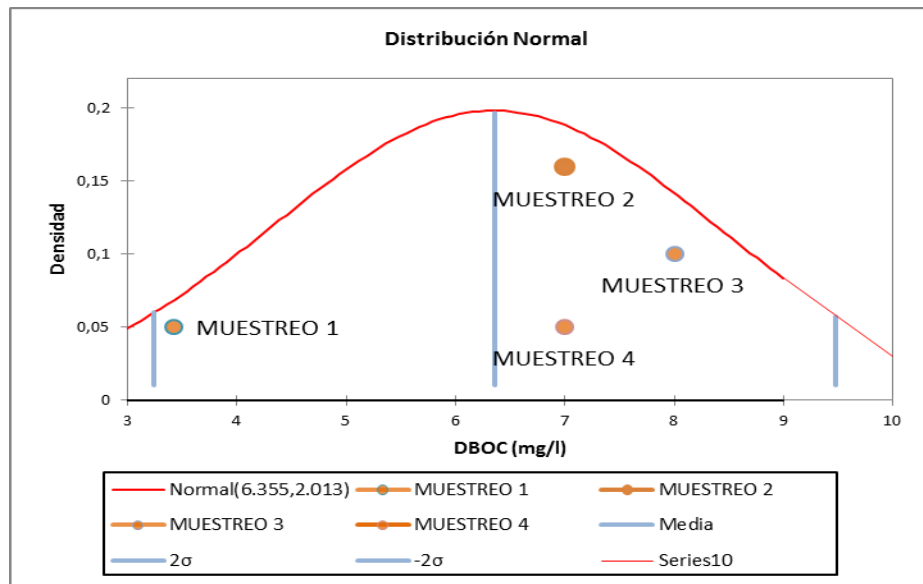


Figura 208: Análisis Estadístico de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea.

Fuente: Autora

D	0,376
p-valor	0,517
alfa	0,05

Interpretación de la prueba:

El riesgo de rechazar la hipótesis nula H_0 cuando es verdadera, es de 91.65%.

QUEBRADA MÓNICA

Prueba de Kolmogorov-Smirnov:

DBON (mg/l)
7,00
13,00
11,00
12,00

Distribución: Normal

Estadísticas descriptivas:

Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
7,00	13,00	10,75	2,63

Los datos están dentro del 82.79%.

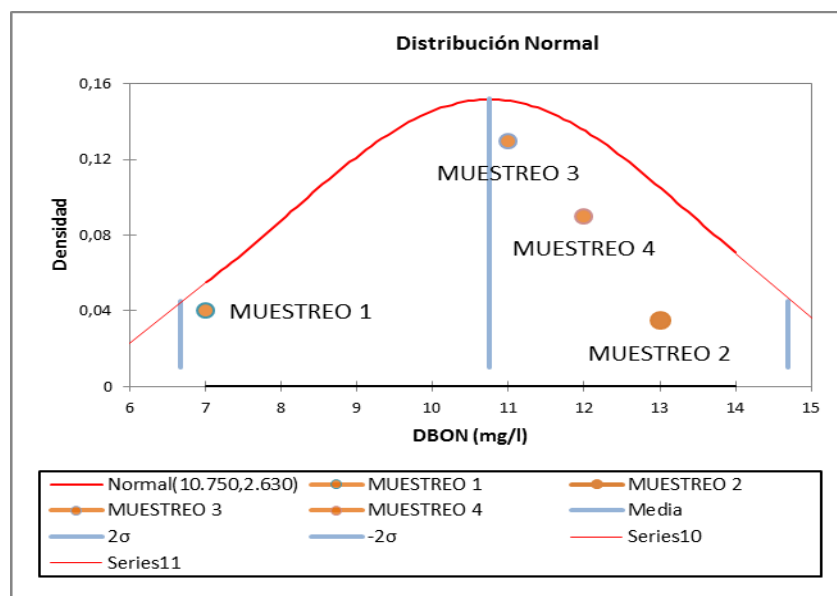


Figura 209: Análisis Estadístico de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada.

Fuente: Autora

D	0,288
p-valor	0,828
alfa	0,05

Interpretación de la prueba:

El riesgo de rechazar la hipótesis nula H_0 cuando es verdadera, es de 82.79%.

PUNZARA

Prueba de Kolmogorov-Smirnov:

Oxígeno Disuelto (mg/l)
7,76
6,75
7,39
7,57

Distribución: Normal

Estadísticas descriptivas:

Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
6,75	7,76	7,37	0,44

Los datos están dentro del 87.94%.

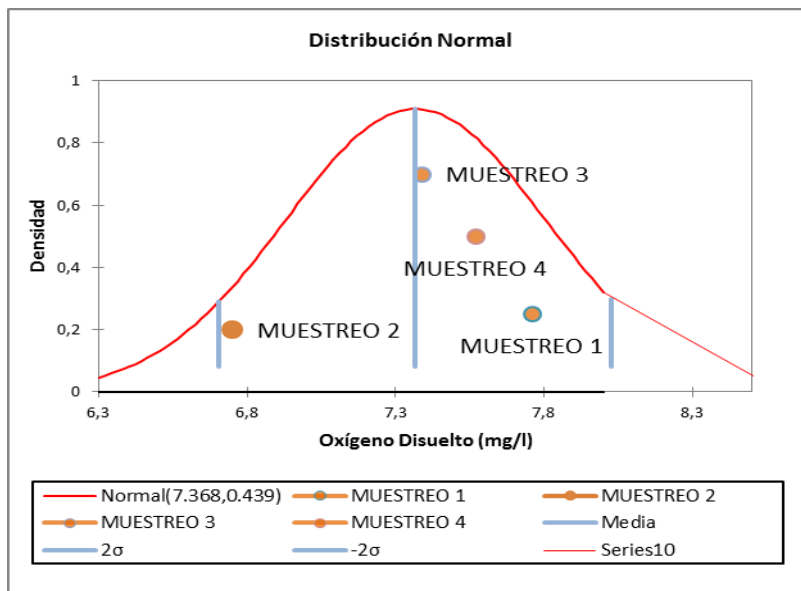


Figura 210: Análisis Estadístico del Oxígeno Disuelto.
Fuente: Autora

D	0,270
p-valor	0,879
alfa	0,05

Interpretación de la prueba:

El riesgo de rechazar la hipótesis nula H0 cuando es verdadera, es de 87.94%.

PUNZARA

Prueba de Kolmogorov-Smirnov:

DBOC (mg/l)
9,00
17,00
30,00
19,00

Distribución: Normal

Estadísticas descriptivas:

Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
9,00	30,00	18,75	8,66

Los datos están dentro del 95.07%.

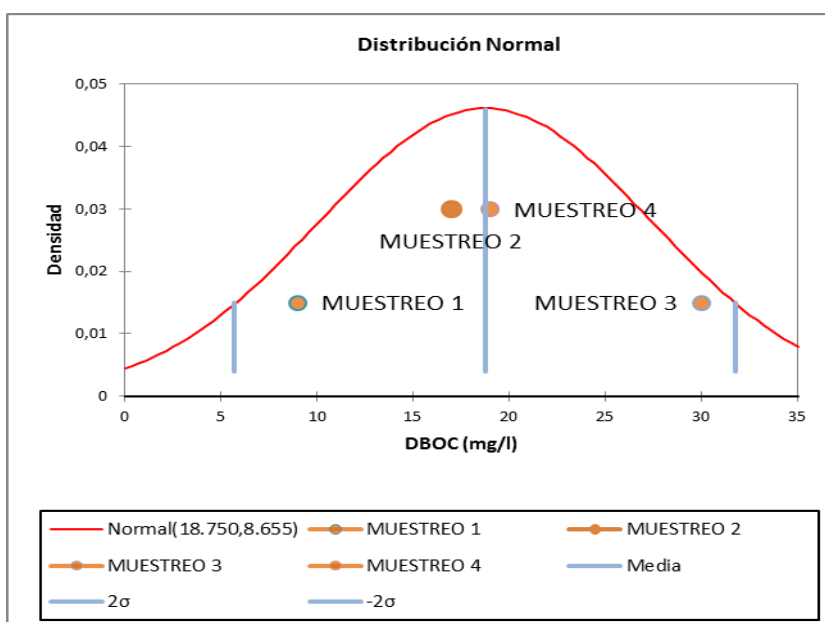


Figura 211: Análisis Estadístico de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Carbonácea.
Fuente: Autora

D	0,238
p-valor	0,951
alfa	0,05

Interpretación de la prueba:

El riesgo de rechazar la hipótesis nula H_0 cuando es verdadera es de 95.07%.

PUNZARA

Prueba de Kolmogorov-Smirnov:

DBON (mg/l)
14,00
21,00
49,00
31,00

Distribución: Normal

Estadísticas descriptivas:

Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
14,00	49,00	28,75	15,20

Los datos están dentro del 99.38%.

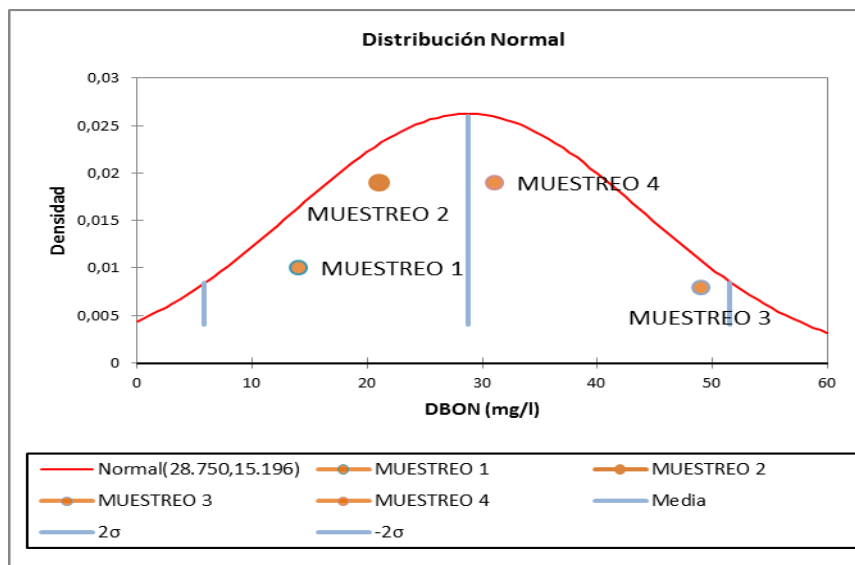


Figura 212: Análisis Estadístico de la Demanda Bioquímica de Oxígeno Nitrogenada.

Fuente: Autora

D	0,195
p-valor	0,994
alfa	0,05

Interpretación de la prueba:

El riesgo de rechazar la hipótesis nula H0 cuando es verdadera es de 99.38%.