

**DEFINICIÓN DE OBJETIVOS DE CALIDAD DEL AGUA EN CORRIENTES
SUPERFICIALES, APLICADO A LOS VERTIMIENTOS GENERADOS POR
LA PRODUCCIÓN DE ALMIDÓN DE YUCA EN LA ZONA NORTE DEL
DEPARTAMENTO DEL CAUCA**

NILY JOHANNA BOLAÑOS LÓPEZ

FERNANDO BURBANO SAMBONÍ



**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA AMBIENTAL, GIIA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
POPAYÁN
2011**

**DEFINICIÓN DE OBJETIVOS DE CALIDAD DEL AGUA EN CORRIENTES
SUPERFICIALES, APLICADO A LOS VERTIMIENTOS GENERADOS POR
LA PRODUCCIÓN DE ALMIDÓN DE YUCA EN LA ZONA NORTE DEL
DEPARTAMENTO DEL CAUCA**

NILY JOHANNA BOLAÑOS LÓPEZ

FERNANDO BURBANO SAMBONÍ

EN MODALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR AL
TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL

Director
CARLOS CÉSAR CABEZAS CÓRDOBA
ING. QUÍMICO, M.Sc.

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA AMBIENTAL, GIIA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
POPAYÁN
2011**

Nota de aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Popayán, Cauca abril 8 de 2011

DEDICATORIA

A Dios.

Por permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida. Por los triunfos y los momentos difíciles que me han enseñado a valorarte cada día más.

A mi madre

Por el amor que siempre me ha brindado, por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, y la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien

A mi Padre.

Por haber infundido en mi el respeto y la responsabilidad; y se que desde el cielo fuiste mi guía e impulso para llegar hasta el final. Gracias por tu inmenso amor

A mis Hermanos

Por que siempre he contado con ellos para todo , gracias a la confianza que siempre nos hemos tenido; por el apoyo y amistad

A Fernando por su continuo apoyo e incondicional cariño durante el transcurso de mi carrera

A mis Familiares y amigos. Que con su compañía y cariño, colaboraron en la culminacion de este sueño.

Nily Johanna Bolaños López

Le dedico este trabajo a Dios todo poderoso por ser mi guía espiritual que me conduce siempre al camino del bien y del éxito; por darme la conformidad de tener a mis padres y hermanos con vida y salud solo el sabe lo importante que son ellos para mi.

A mis queridos padres por su apoyo, confianza , infinito amor y compresion durante el transcurso de mi vida .

A mis hermanos por su paciencia, motivación y ser fuente de inspiración para lograr este triunfo.

A Johanna Bolaños por su apoyo y compañía en cada etapa del camino recorrido juntos y tambien en aquellos momentos difíciles.

A todos mis familiares, amigos y compañeros que me ayudaron a que este sueño se hiciera realidad.

Fernando Burbano samboni

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este documento agradecen a:

Director de proyecto de grado Ing. Carlos Cesar Cabezas. Por su entrega y apoyo durante el proyecto.

Al Ing. Guillermo Chaux por su generosa colaboración.

A la CRC por permitirnos hacer parte del proyecto “ Definición de objetivos de Calidad para el Agua Aplicados a los Vertimientos Generados por la producción de Almidón de Yuca en los Municipios de su Jurisdicción”, al Ing Mauricio Aguirre y especialmente a la Ing. Astrid Eliana Reyes, por su colaboración y constante apoyo durante la ejecución de este estudio. A la Universidad del Cauca y a todo el grupo de docentes por su apoyo y orientación durante toda la carrera .

A nuestra familia por su paciencia y confianza en nosotros; Padres, Hermanos, y amigos por su apoyo. A todas las personas y compañeros que de una u otra manera estuvieron con nosotros durante todo el proceso Académico.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	14
1. OBJETIVOS	18
1.1 OBJETIVO GENERAL	18
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
2. MARCO DE REFERENCIA	19
2.1 GENERALIDADES	19
2.1.1 Zona de estudio.....	19
2.1.2 Climatología	20
2.2 MARCO TEÓRICO	21
2.2.1 Objetivos de calidad	22
3. DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA	31
3.1 METODOLOGÍA	31
3.2 DATOS Y RESULTADOS.....	32
3.2.1 Selección de corrientes	32
3.2.2 Reporte de rallanderías.....	33
3.2.3 Caracterización de la quebrada Tiembla.....	37
3.2.4 Modelación matemática de la quebrada Tiembla.....	51
4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	72
4.1 APLICACIÓN DE LA MODELACIÓN Y METAS DE REDUCCIÓN	72
4.1.1 FASE 1: Representación del OD para los tres escenarios	73
4.1.2 Fase 2 Representación de los escenarios con reducción de carga contaminante	76
4.2 CARGAS PERMISIBLES.....	79
4.3 ANÁLISIS DE LA MODELACIÓN	80
4.4 DEFINICIÓN DE OBJETIVOS DE CALIDAD.....	82
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	87
5.1 CONCLUSIONES	87
5.2 RECOMENDACIONES.....	88
BIBLIOGRAFÍA	90
ANEXOS	94

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. <i>Pasos claves de la metodología del Mesoca</i>	23
Tabla 2. <i>Valores de K_2 a 20°C</i>	27
Tabla 3. <i>Valores de k para la ecuación de Bosko</i>	28
Tabla 4. <i>Valores de K_1 a 20°C</i>	29
Tabla 5. <i>Ubicación geográfica de las rallanderías</i>	33
Tabla 6. <i>Datos de caudales</i>	34
Tabla 7. <i>Datos de carga contaminante</i>	34
Tabla 8. <i>Datos per cápita de carga contaminante y caudal</i>	35
Tabla 9. <i>Estadística de los datos per cápita</i>	35
Tabla 10. <i>Carga contaminante por tonelada de yuca.</i>	36
Tabla 11. <i>Proyección de caudales y cargas contaminantes</i>	36
Tabla 12. <i>Ubicación geográfica de los puntos de muestreo</i>	38
Tabla 13. <i>Datos de calidad para la campaña 1</i>	39
Tabla 14. <i>Datos de calidad de la campaña 2</i>	40
Tabla 15. <i>Descripción de los tramos estudiados de la quebrada Tiembla</i>	52
Tabla 16. <i>Datos de calidad de la campaña 2 realizada el 26 de agosto</i> ..	53
Tabla 17. <i>Valores de K_2 (constante de reaireación) por diferentes autores</i>	53
Tabla 18. <i>Valores de la constante de desoxigenación</i>	54
Tabla 19. <i>Valores obtenidos para diferentes parámetros en la campaña 1</i>	55
Tabla 20. <i>Valores obtenidos para diferentes parámetros en la campaña 2</i>	56
Tabla 21. <i>Valores de K_2 y K_d reportados por la literatura</i>	65
Tabla 22. <i>Constantes tomadas para la calibración</i>	66
Tabla 23. <i>Cargas máximas permisibles</i>	79
Tabla 24. <i>Definición de objetivos de calidad para el primer tramo</i>	83

Tabla 25. *Definición de objetivo de calidad para el segundo tramo* 84

Tabla 26. *Definición de objetivo de calidad para el tercer tramo*..... 85

Tabla 27. *Definición de objetivo de calidad para el cuarto tramo*..... 86

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación quebrada Tiembla	19
Figura 2. <i>Ubicación de las rallanderías que vierten a la quebrada Tiembla.</i>	33
Figura 3. <i>Puntos de muestreo sobre la quebrada Tiembla</i>	37
Figura 4. Variación del OD a lo largo de la quebrada	42
Figura 5. <i>Comportamiento de la DBO₅ a lo largo de la quebrada</i>	44
Figura 6. <i>Comportamiento de los SST a lo largo de la quebrada</i>	46
Figura 7. Comportamiento de la temperatura en la quebrada Tiembla	48
Figura 8. Variación del pH a lo largo de la quebrada Tiembla	50
Figura 9. <i>Carga permisible de DBO₅</i>	57
Figura 10. <i>Comportamiento del oxígeno disuelto</i>	58
Figura 11. <i>Representación del OD mediante el modelo de Streeter y Phelps</i>	63
Figura 12. <i>Representación de la DBO₅ mediante el modelo de Streeter y Phelps</i>	64
Figura 13. <i>Calibración del OD mediante el modelo Streeter y phelps</i>	67
Figura 14. <i>Calibración de la DBO₅ mediante el modelo de Streeter y Phelps</i>	68
Figura 15. Resultado del OD para los escenarios 1, 2 y 3.....	73
Figura 16. <i>Resultado de la DBO₅ para los escenarios 1, 2 y 3</i>	74
Figura 17. <i>Resultados del OD de los escenarios 1, 2 y 3 con reducción de cargas</i>	76
Figura 18. <i>Resultados del DBO₅ de los escenarios 1, 2 y 3 con reducción de cargas</i>	77
Figura 19. <i>Comportamiento de conductividad en la quebrada Tiembla</i> . 102	
Figura 20. Comportamiento de la turbiedad en la quebrada Tiembla	104
Figura 21. Variación de la DQO a lo largo de la quebrada	106

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. Encuesta realizada a los rallanderos	94
ANEXO B. Reporte de resultados – Muestras de agua campaña 1.....	96
ANEXO C. Reporte de resultados – Muestra de agua campaña 2	97
ANEXO D. Reporte de resultados – Muestra de agua rallanderías	100
ANEXO E. Datos estación pluviométrica - Mondomo	101
ANEXO F. Comportamiento del parámetro de conductividad.....	102
ANEXO G. Comportamiento del parámetro de turbiedad	104
ANEXO H. Comportamiento del parámetro de DQO	106
ANEXO I. (CD) Modelación; metodología Mesoca y modelo Streeter y Phelps.....	108

LISTA DE SIGLAS Y ABREVIATURAS

AAC:	Autoridad Ambiental Competente
ARD:	Agua residual doméstica
CRC:	Corporación Autónoma del Cauca
E.S.P:	Empresa de Servicios Públicos
EMQUILICHAO:	Empresas municipales de Santander de Quilichao
MAVDT:	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial
MESOCA:	Metodología establecida para Objetivos de Calidad
PORH:	Plan de Ordenamiento del recurso Hidrográfico
PSMV:	Plan de Saneamiento y manejo de Vertimientos
UC:	Universidad del Cauca
IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales

Parámetros de calidad

Co:	Color
Cond:	Conductividad
DBO:	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO:	Demanda Química de Oxígeno
OD:	Oxígeno Disuelto
pH:	Potencial de Hidrógeno
SST:	Sólidos Suspendidos Totales
T:	Temperatura
Turb:	Turbiedad

Parámetros del modelo Streeter y Phelps

Cp:	Carga permisible
D:	Déficit de oxígeno disuelto
Do:	Déficit de OD inicial
K ₂ :	Tasa de reoxigenación
K _d :	Tasa de desoxigenación
Lo:	DBO última
Kr:	Tasa de remoción de DBO ₅

Unidades de medida

cm:	Centímetro
CN:	Relación Cobertura Suelo

d:	Día
h:	Hora
H:	Profundidad del río
Ha:	Hectárea
Kg:	Kilogramo
Km:	Kilómetro
L:	Litro
m:	Metro
m ² :	Metros cuadrados
m ³ :	Metro cúbico
mg:	Miligramo
mm:	Milímetros
°C:	Grados centígrados
P:	Precipitación total
Pe:	Precipitación efectiva
Q:	Caudal
s:	Segundo
t:	Tiempo
Ton:	Tonelada
V:	Velocidad

Abreviaturas

min:	Mínimo
prom:	Promedio
max:	Máximo

RESUMEN

De acuerdo con lo establecido en el artículo 6° del Decreto 3440 de 2004 que modifica el decreto 3100 de 2003; corresponde a las autoridades ambientales establecer objetivos de calidad como uno de los requisitos previos al proceso de concertación de metas de reducción de cargas contaminantes; por lo tanto, la Autoridad Ambiental del Cauca (CRC), en cumplimiento de estos decretos y en convenio con la Universidad del Cauca realizó el presente trabajo el cual estuvo enfocado en determinar objetivos de calidad a la quebrada Tiembla, afectada principalmente por vertimientos industriales generados por las rallanderías ubicadas en el corregimiento de Mondomo.

Los objetivos de calidad definidos para la quebrada Tiembla se desarrollaron teniendo en cuenta los requerimientos de la metodología Mesoca establecida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y el modelo de disminución de oxígeno basado en las ecuaciones de Streeter y Phelps; los cuales se realizaron a partir de una serie de monitoreos de calidad de agua de la fuente receptora y los vertimientos generados por las rallanderías, con el fin de conocer el estado de la quebrada y el grado de afectación que estos le generan para determinar la capacidad máxima de carga orgánica que puede soportar la corriente, y mantener condiciones aceptables de calidad reglamentadas por la normatividad colombiana mediante el decreto 1594 de 1984; basada en la simulación de reducción de carga contaminante en condiciones críticas de la fuente.

Con base en los resultados obtenidos se puede decir que la quebrada presenta poca asimilación de los contaminantes ya que para condiciones mínimas de caudal esta no es capaz de soportar los vertimientos que le llegan; y para un caudal medio es necesario se implementen medidas de reducción del 30 y 95 % del total de carga vertida en los dos últimos tramos de la corriente para mantener un total de carga de 374 y 41 kg/día ya que es la capacidad máxima permisible que soporta la quebrada.

INTRODUCCIÓN

En Colombia a causa de la presión que han venido ejerciendo las diferentes actividades antrópicas sobre el recurso hídrico mediante el uso irracional y la contaminación progresiva, se han generado cambios importantes en materia de regulación de la calidad de los cuerpos de agua receptores de efluentes contaminantes, con el fin de permitir el control, manejo y sostenimiento de las fuentes hídricas.

La Corporación Autónoma Regional del Cauca, en cumplimiento de los decretos 3100 de 2003, 3440 de 2004 y Resolución 1433 de 2004 del Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, ha realizado la identificación de vertimientos y diagnóstico de la calidad ambiental de las diferentes fuentes hídricas, con el propósito de definir los objetivos de calidad de las corrientes superficiales receptoras de vertimientos de los municipios ubicados en el área de su jurisdicción, mediante resolución 0845 de 2006. De esta manera el presente trabajo se ha orientado a la definición de los objetivos de calidad en los cuerpos de agua receptores de vertimientos producto de la extracción de almidón de yuca de las rallanderías de la zona norte del departamento del Cauca, las cuales procesan entre 5 y 12,5 ton/semana (CRC, 2005). La extracción del almidón fresco de yuca consiste en una serie de operaciones por vía húmeda (Alarcón et al., 1996), y se requieren 10,2 m³ de agua para el procesamiento de una tonelada de yuca en pequeñas rallanderías, y se obtienen 234 kg de producto final, 1,740 kg de residuos sólidos y 8,907 kg de residuos líquidos, (Marmolejo *et al.*, 2008), generando gran carga contaminante que afecta de manera negativa las fuentes hídricas receptoras de los vertimientos.

En el norte del Cauca se descargan diariamente 100 Kg de DQO/tonelada de yuca procesada a los cuerpos receptores (Colin *et al.*, 2007). De ahí la importancia de definir objetivos de calidad que permitan fortalecer el control de los vertimientos mediante instrumentos económicos reconocidos como tasa retributiva establecida por la Ley 99 de 1993 en el artículo 42 y reglamentada en el Decreto 901 de 1997, que permite realizar el cobro por la utilización directa del agua como receptor de vertimientos puntuales, el cual tiene como objetivo reducir a un menor costo las descargas totales de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) y Sólidos Suspendidos Totales (SST), hasta lograr las metas de reducción preestablecidas para cada cuenca y generar fuentes de ingreso complementarias para financiar actividades e inversiones relacionadas al control de la contaminación hídrica.

Para determinar objetivos de calidad en la zona de estudio se realizaron visitas de campo obteniendo mediante encuestas (ver anexo A) datos de producción y por muestreos datos de calidad (ver anexos B, C y D) de las fuentes receptoras de los vertimientos y de las rallanderías, los cuales fueron analizados por medio de la metodología Simplificada Para el Establecimiento de Objetivos de Calidad (MESOCA) expedida por el Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, además de un modelo basado en las ecuaciones de Streeter y Phelps que ya ha sido utilizado por la Corporación en un estudio realizado entre ésta y la Universidad del Cauca a las descargas industriales que tienen como fuente receptora el Río Palo. El fin del modelo es predecir el efecto de la carga contaminante sobre el oxígeno disuelto de las fuentes hídricas receptoras de los vertimientos de rallanderías; y de esta manera lograr un control de vertimientos mediante la aplicación de instrumentos económicos como la tasa retributiva.

JUSTIFICACIÓN

En cualquier región del país los ríos son de vital importancia en las diferentes actividades que realiza el hombre, y las fuentes hídricas objeto de estudio en el norte del Departamento son destinadas a diferentes usos, por lo tanto se vuelven susceptibles a sufrir un deterioro progresivo a causa del mal manejo al cual han sido sometidas.

Para lograr que las inversiones en el control de la contaminación de los recursos hídricos generen los resultados esperados en el mejoramiento de la calidad de vida de las comunidades, se requiere una visión sistémica del problema por parte de la Autoridad Ambiental Competente (AAC) en este caso la Corporación Autónoma Regional del Cauca CRC, mediante la ordenación y planificación del recurso hídrico teniendo en cuenta dos características indisolubles como cantidad y calidad ambiental, en la cual el agua sea administrada como un recurso limitado de múltiples usos y las soluciones sean formuladas bajo criterios apropiados de asignación y protección, considerando la cuenca como unidad de planeamiento (Galvis *et al.*, 2005).

El trabajo se realizó en el norte del Departamento, más exactamente en las rallanderías que descargan sus aguas residuales a la quebrada "Tiembra", con el fin de establecer la carga contaminante que estas vierten a la microcuenca; apoyados mediante el modelo matemático de Streeter y Phelps, ya que este permite predecir en el caso de las descargas de material orgánico biodegradable su efecto sobre la concentración de oxígeno disuelto. Con los resultados obtenidos se facilitó la información a la autoridad regional encargada de administrar los recursos naturales renovables; en este caso la CRC, para que implementen las medidas correctivas con el fin de disminuir las cargas, debido a que la mayoría de estas no poseen la infraestructura necesaria para el tratamiento de sus vertimientos en el proceso de extracción de almidón de yuca (Chaux Y Vergara 2005).

Por lo anterior, cualquier proyecto o acción que se realice para los cuerpos de agua en el departamento del Cauca debería de registrarse mediante el marco de objetivos de calidad establecidos a partir de un procedimiento estratégico de planeación, debido a que estos son condición preliminar para el desarrollo del proceso de reducción de cargas contaminantes, y se pueden utilizar como base para la implementación de tasas retributivas por vertimientos líquidos, además son la guía para el desarrollo de los planes de saneamiento y manejo de vertimientos

(PSMV), según lo establecido por el decreto 3100 de 2003 y la resolución 1433 del 2004. Por lo tanto los usuarios de las fuentes receptoras tendrían la posibilidad de escoger entre invertir en sistemas de tratamiento de aguas residuales o pagar tasas por la contaminación causada a los cuerpos de agua.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar objetivos de calidad ambiental para corrientes de agua receptoras de vertimientos generados por la producción de almidón de yuca en las rallanderías del norte del departamento del Cauca.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Seleccionar las corrientes representativas para la determinación de los objetivos de calidad.
- ✓ Realizar inventario de rallanderías, caudales y proyección de cargas contaminantes que generan los vertimientos
- ✓ Determinar la caracterización fisicoquímica de los cuerpos receptores de aguas generadas por la extracción de almidón de yuca en el norte del departamento del Cauca.
- ✓ Determinar la capacidad de asimilación de carga contaminante de las corrientes de agua receptoras de vertimientos a través de modelación matemática.
- ✓ Determinar cargas máximas permisibles para cada tramo de río evaluado y generar metas de reducción.

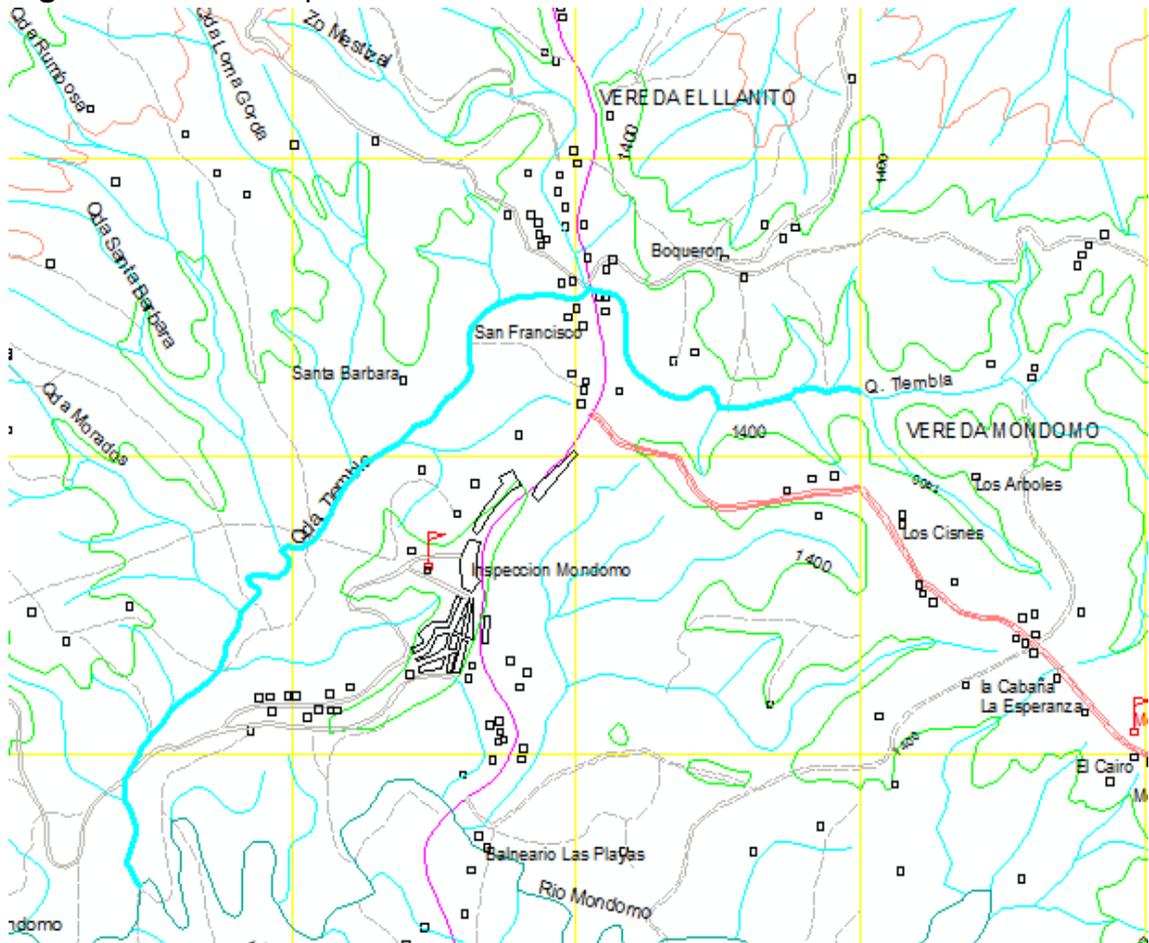
2. MARCO DE REFERENCIA

2.1 GENERALIDADES

El corregimiento de Mondomo, pertenece al municipio de Santander de Quilichao y está ubicado al norte del departamento del Cauca; en esta zona se encuentran instaladas alrededor de 23 rallanderías dedicadas al proceso de extracción de almidón de yuca, de las cuales 10 fueron objeto de este estudio ya que sus vertimientos llegan directamente a la quebrada Tiembla la cual fue seleccionada para la definición de objetivos de calidad.

2.1.1 Zona de estudio

Figura 1 Ubicación quebrada Tiembla



Fuente: Propia

2.1.1.1 Localización

La quebrada Tiembla se encuentra localizada geográficamente a 2° 42' 34 N y 76° 42' 17 W en el nor- oriente del departamento del Cauca dentro de la subcuenca río Ovejas y la microcuenca río Mondomo la cual se observa en la Figura 1, su caudal promedio es aproximadamente de 324 L/s y una longitud aproximada de 6 km de los cuales 3 km fueron objeto de este estudio debido a que los vertimientos provenientes de las rallanderías realizan sus descargas en este tramo, su recorrido empieza antes de la desembocadura de la quebrada Mestizal y termina en el encuentro con el río Mondomo.

2.1.2 Climatología

2.1.2.1 Temperatura

Con base en la información del IDEAM, y extractada en el informe preliminar del Plan Maestro de Alcantarillado elaborado para E.S.P. EMQUILICHAO, se puede concluir que la temperatura promedio mensual es 23,5 °C, el promedio mensual máximo asciende a 25 °C y el promedio mensual mínimo es 21,8 °C, tomando como base las estaciones climatológicas El Amparo, Lomitas y Mondomo.

2.1.2.2 Precipitación

La precipitación promedio anual es 1882 mm. El promedio anual máximo es 3435 mm, y el promedio anual mínimo es 279 mm. En el territorio se presenta una distribución del régimen de lluvias bimodal, con dos periodos de lluvia y dos de verano. Esto arrojado por el estudio de las curvas de variación estacional de las estaciones climáticas El Amparo, Lomitas y Mondomo. Además con valores estadísticos de la estación pluviométrica de Mondomo que lleva el registro de las precipitaciones desde el año 1979 hasta el 2007 (ver anexo E).

2.1.2.3 Caudales

Con el fin de obtener caudales máximos, medios y mínimos para la quebrada Tiembla, se utilizó la ecuación de conservación y uso del suelo, tomando un valor de CN de 66 según estudios realizados por la CRC y la UNIVERSIDAD del CAUCA, se obtuvieron caudales máximo, medio y mínimo de 561 L/s, 324 L/s y 40 L/s respectivamente.

La ecuación utilizada fue la siguiente:

$$Pe = \frac{\left(p - \frac{508}{CN} + 5.08\right)^2}{p + \frac{2032}{CN} - 20.32}$$

Donde:

Pe= precipitación efectiva en cm

P= precipitación total en cm

CN= 66

Área =1328,65 Ha

2.2 MARCO TEÓRICO

La definición de objetivos de calidad se obtuvo mediante el desarrollo de la metodología Mesoca y el modelo matemático basado en las ecuaciones de Streeter y Phelps, los cuales determinan los niveles de asimilación y la capacidad de carga de una corriente de agua con el propósito de mantener los ciclos de vida de los ecosistemas acuáticos. Para esto se estudiaron las condiciones de calidad del agua, que se entiende como la condición que tiene ésta con respecto a la presencia o ausencia de su contaminación, y que por acuerdo expresado por UNESCO/WHO/UNEP (1992) define que el proceso de valoración de la calidad del agua corresponde a la evaluación de la naturaleza química, física y biológica del agua en relación con su calidad natural, efectos humanos y uso pretendido. La cual fue evaluada de acuerdo con los siguientes parámetros.

Parámetros fisicoquímicos

- Temperatura.
- Potencial de Hidrógeno (pH).
- Conductividad (Cond).
- Color (Co).
- Turbiedad (Turb).

Parámetros de contaminación

- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅).
- Demanda Química de Oxígeno (DQO).
- Sólidos Suspendidos Totales (SST).

2.2.1 Objetivos de calidad

Los objetivos de calidad de agua se definen como la carga máxima permisible que puede soportar un río para que no haya alteración de la vida acuática. Se realizan con el fin de verificar los niveles de asimilación y la capacidad de carga de una corriente de agua con el propósito de mantener los ciclos de vida de los ecosistemas acuáticos.

El diseño de objetivos de calidad es un procedimiento que responde ante todo, a un acertado proceso de planificación y manejo de los recursos hídricos. No obstante, la legislación nacional orientada a regular el control de la contaminación hídrica, ha empezado a exigir estos procedimientos como condición especial para la implementación de algunos instrumentos económicos y de gestión. Por lo tanto el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, ha diseñado la guía Mesoca que permite identificar de forma ágil el impacto de la reducción de las cargas en la calidad de los cuerpos de agua, que definen con certeza la cantidad de carga permisible (MAVDT, 2006). Esta es una metodología provisional, propuesta para ser implementada mientras se lleva a cabo el proceso de ordenamiento del recurso en cada región específica bajo los requisitos contenidos básicos del PORH.

La metodología sirve como soporte y lineamiento para establecer METAS OBJETIVAS DE REDUCCIÓN DE CARGAS DE DBO₅ y SST, y solo es aplicable a fuentes de agua clase II (Cuerpos de agua que permiten vertimientos líquidos), de acuerdo con la clasificación del Decreto 2858 de 1981. La metodología Mesoca, se fundamenta en la simplificación hasta donde es técnicamente posible de los requisitos establecidos en el Decreto 1594 de 1984 para el desarrollo del PORH. De este modo, los pasos indicados en Tabla 1 han sido retomados, complementados y adoptados como base fundamental para la propuesta del Mesoca, sustrayendo los compromisos estratégicos necesarios para el establecimiento de los objetivos de calidad, simplificando la metodología del PORH y convirtiéndola en la metodología Mesoca (MAVDT, 2006).

Tabla 1. Pasos claves de la metodología del Mesoca

Fase	Actividad o paso clave
<p>Cero (0): aprestamiento institucional</p>	1. Conformación del equipo de trabajo – ETP.
	2. Nivelación conceptual del equipo frente al tema de los objetivos de Calidad y su relación con la nueva tasa retributiva.
	3. Recopilación de la información y soportes técnicos para el análisis y desarrollo de la metodología.
	4. Taller de trabajo con el ETP de .a AAC responsables de manera directa con la planificación, el ordenamiento, la administración, control y seguimiento de los recursos hídricos.
<p>Uno (1): desarrollo de la metodología</p>	1. Identifique en un mapa: las cuencas, los cuerpos de agua más importantes de la jurisdicción y las principales fuentes puntuales de contaminación hídrica.
	2. Elabore el perfil de calidad de cada uno de los cuerpos de agua identificados con base en los usos reales de los cuerpos de agua.
	3. Elabore la línea base por DBO ₅ y SST para cada cuerpo de agua o tramo significativo.

Fase	Actividad o paso clave
<p style="text-align: center;">Uno (1): desarrollo de la metodología</p>	4. Clasifique los cuerpos de agua o tramos de acuerdo a los criterios de calidad que establece la norma indicando sus usos actuales y potenciales.
	5. Evalúe los escenarios de intervención propuestos y/o en desarrollo, relacionados con la calidad del cuerpo de agua o tramo.
	6. Elabore una lista de usos potenciales del agua y criterios de calidad potenciales.
	7. Aplique el modelo simplificado de simulación de capacidad de carga comparando escenarios reales y potenciales de vertimientos y carga permisible.
	8. Elabore una lista con los objetivos de calidad que más probabilidad tienen de ser cumplidos de acuerdo con la modelación de capacidad de carga del cuerpo de agua.
	9. Ratifique los criterios y estándares de calidad y acójalos como Objetivos de calidad mediante Resolución.
	10. Notifique los objetivos de calidad a los alcaldes, gerentes de las ESP'S, gremios e industria particulares que vierten al cuerpo de agua.

(MAVDT, 2006)

Además de estas guías metodológicas, también existen modelos de calidad de aguas que tienen por finalidad determinar las nuevas concentraciones de contaminantes del cuerpo de agua en cada punto y a lo largo del lapso de interés cuando las condiciones de modificación y el estado primitivo son conocidos, permitiendo anticipar las variaciones que sufrirán los diversos índices o parámetros de calidad de aguas del cuerpo acuático en estudio (Vargas, 1993).

De esta forma un modelo de calidad de aguas es la herramienta adecuada para la predicción del comportamiento del estado de un río u otro cuerpo de agua. Por lo tanto corresponderá a un conjunto de ecuaciones matemáticas definir los procesos físicos, biológicos y químicos del recurso hídrico. Estas ecuaciones están basadas fundamentalmente en la conservación de la masa o energía, de tal forma que existen tres fenómenos: ingreso de contaminantes al cuerpo de agua desde el exterior del sistema, el transporte y las reacciones en el cuerpo de agua (Loucks *et al.*, 1982. Citado por: Oyarzúm, 2005).

El modelo basado en las ecuaciones de Streeter y Phelps, es uno de los primeros modelos para los cuerpos fluviales presentado por Streeter y Phelps en 1925. Este permite predecir en el caso de las descargas de material orgánico biodegradable, su efecto sobre la concentración de oxígeno disuelto. Dicho modelo considera el río como un reactor de flujo pistón, y establece un balance para el oxígeno disuelto que incluye la entrada de oxígeno por transferencia desde el aire y el material biodegradable, bajo condiciones de estado estacionario, expresado por un modelo cinético de primer orden (Streeter y Phelps, 1925).

Las ecuaciones de Streeter y Phelps se basan en calcular la DBO₅ esperada por efecto de descargas en una localidad, así como la dilución y degradación natural del río, esto con base a la velocidad y la posible aireación que reciba el mismo. Para este modelo se tienen en cuenta parámetros como Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), Oxígeno Disuelto (OD), Temperatura (T), Velocidad (V) y Caudal (Q).

Las formulas generales del modelo son:

$$L = L_0(1 - e^{-K_d T})$$

$$D = (D_0 e^{-K_2 T}) + \left(\frac{K_d L_0}{K_2 - K_d} \right) (e^{-K_d T} - e^{-K_2 T})$$

En donde:

D = Déficit de oxígeno disuelto en el tiempo t (mg/L)

Do = Déficit de OD inicial (mg/L)

L₀ = DBO última al inicio (mg/L)

K₂ = Tasa de reoxigenación (dia⁻¹)

K_d = Tasa de desoxigenación (dia⁻¹)

t = tiempo (días)

L = DBO en el tiempo t (mg/L)

La estimación de la constante cinética de primer orden para la transferencia de oxígeno desde el aire k₂, se realiza a partir de varios modelos a 20°C.

✓ Ecuación de Texas:

Aplicable a corrientes con profundidades de 0,2 m a 1 m y velocidades de 0,01 m/s a 0,3 m/s.

$$K_2 = 1,923 \frac{V^{0,273}}{H^{0,894}}$$

Donde:

K₂: Constante de reaeración, base neperiana, d⁻¹

V: velocidad del flujo del río (m/s)

H: profundidad del flujo del río (m)

✓ Ecuación de Owens:

Es aplicable a fuentes con profundidades entre 0,12 m y 0,73 m, y velocidades entre 0,05 m/s y 1,5 m/s

$$K_2 = 5,34 \frac{V^{0,67}}{H^{1,85}}$$

K₂: Constante de reaeración, base neperiana, d⁻¹

V: velocidad del flujo del río (m/s)

H: profundidad del flujo del río (m)

✓ Ecuación de O'Connor-Dobbins: (Schnoor *et al.*, 1996)

Usada preferiblemente para velocidades (0,15 m/s-0,49 m/s) Profundidades (0,30 m-9,9 m)

$$K_2 = 3,93 \frac{V^{0,5}}{H^{1,5}}$$

K_2 : Constante de reaeración, base neperiana, d^{-1}

V: velocidad del flujo del río (m/s)

H: profundidad del flujo del río (m)

✓ Ecuación de Churchill:

Usada preferiblemente para profundidades (0,61 m-3,35 m) y velocidades de (0,55 m/s-1,52 m/s)

$$K_2 = 5,026 \frac{V}{H^{1,67}}$$

K_2 : Constante de reaeración, base neperiana, d^{-1}

V: velocidad del flujo del río (m/s).

H: profundidad del flujo del río (m).

Streeter y Phelps citan valores de K_2 a 20 °C para diferentes rangos de velocidad y profundidad de la fuente receptora, estos valores se reportan en la Tabla 2.

Tabla 2. Valores de K_2 a 20°C

Tipo de Río	V (m/s)	Profundidad (m)	K_2 (d-1)
Muy lento	0,03 - 0,2	3,0 – 6,0	0,05 - 0,1
Velocidad baja	0,03 - 0,2	0,9 – 3,0	0,1 - 1,0
Velocidad moderada	0,2 - 0,6	0,6 - 1,5	1,0 - 5,0
Rápidos	0,6 -1,8	0,6 - 3,0	1,0 - 10,0

Fuente: Streeter y Phelps

La estimación de la constante cinética de primer orden para el consumo de oxígeno por acción metabólica K_d , se realiza a partir de la tendencia expresada por las siguientes ecuaciones.

✓ Ecuación de Wright y McDonnell

$$K_d = 1,8Q^{-0,49}$$

Donde:

K_d= constante de desoxigenación de DBO a 20°C, base e, d⁻¹

Q = Caudal del río

✓ Ecuación de Bosko

$$K_d = k + n \frac{V}{H}$$

Donde:

K_d = constante de desoxigenación de DBO a 20°C, base e, d⁻¹

k = constante de desoxigenación promedio en la botella de DBO d⁻¹

n = coeficiente de actividad del lecho del río, adimensional

V = velocidad del río (m/d)

H = profundidad del río (m)

Los valores de k para la ecuación de Bosko se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. *Valores de k para la ecuación de Bosko*

Tipo de Agua	K, d ⁻¹
Agua residual cruda	0,35 - 0,60
Efluente biológico de alta calidad	0,10 - 0,15
Ríos con polución baja	0,10 - 0,12

El valor de n, coeficiente de actividad del lecho del río, varía entre 1,2*10⁻⁶ y 6,9*10⁻⁶. Para aguas profundas y estancadas es tan bajo como 1,2*10⁻⁶ e igual o mayor de 6,9*10⁻⁶.

Streeter y Phelps citan valores de K₁ a 20 °C para diferentes rangos de velocidad y profundidad de la fuente receptora, estos valores se reportan en la Tabla 4.

Tabla 4. Valores de K_1 a 20°C

Tipo de río	V (m/s)	Profundidad (m)	K_d (d ⁻¹)
Muy lento	0,03 - 0,2	3,0 – 6,0	0,03 - 0,08
Velocidad baja	0,03 - 0,2	0,9 – 3,0	0,05 - 0,7
Velocidad moderada	0,2 - 0,6	0,6 - 1,5	0,5 - 2,5
Rápidos	0,6 - 1,8	0,6 - 3,0	0,2 - 3,3

Las tasas de transferencia y eliminación de oxígeno están influenciados por la temperatura del medio; para obtener las constantes a diferentes temperaturas se utiliza la ecuación de Van't Hoff-Arrhenius.

- ✓ Ecuación de Van't Hoff-Arrhenius: (Metcalf, 1995)

$$K_{2T} = K_{2(20)}(\theta)^{(T-20)}$$

Los valores típicos para θ son:

K_D : tasa de desoxigenación (θ) = 1,047

K_2 : tasa de reoxigenación (θ) = 1,024

K_R : tasa de remoción de DBO (θ) = 1,047

En Colombia ya se han establecido objetivos de calidad por parte de algunas CARs en su jurisdicción; a continuación se mencionarán algunas de ellas:

- ✓ Resolución 0845 de 2006 por la cual la CRC establece objetivos de calidad para corrientes receptoras de vertimientos municipales. Año 2006.
- ✓ Acuerdo No 0188 de agosto 23 del 2006 “por la cual se ordena la recuperación del río Cali”; el DAGMA acomete la definición de objetivos de calidad para los tramos de las corrientes superficiales en su jurisdicción, utilizando la guía metodológica del MAVDT mediante la metodología MESOCA.
- ✓ Corporación para el desarrollo sostenible de Urabá (CORPOURABÁ) mediante consejo directivo No 02-02-01-004-07 del 18 de julio de 2007, por la cual se establecen objetivos de calidad para la cuenca hídrica del río Chigorodó.

- ✓ Resolución Sec. de ambiente 5731 de 2008 artículo 6, Por el cual se adoptan los objetivos de calidad de los cuerpos de agua para el quinquenio 2006 - 2011 en el Distrito Capital de los ríos salitre, Fucha y Tunjuelo y del canal Torca, dentro del perímetro urbano de Bogotá.
- ✓ Trabajo de pasantía. Corporación Regional del Cauca (CRC) por la cual se definen objetivos de calidad ambiental en la corriente superficial receptora de vertimientos del río Palo. Año 2009.

3. DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA

3.1 METODOLOGÍA

Para el desarrollo de este estudio se tuvo en cuenta lo siguiente:

- ✓ Seleccionar las corrientes representativas para la determinación de los objetivos de calidad.

Para cumplir con este objetivo se realizaron visitas a las fuentes receptoras de los vertimientos por parte de las rallanderías, y de esta manera se determinó que la quebrada “Tiembra” era la más representativa para la implementación de objetivos de calidad; por lo tanto a las industrias generadoras de almidón de yuca de la zona se les realizó el proceso de georeferenciación con el fin de conocer su ubicación.

- ✓ Realizar inventario de rallanderías, caudales y proyección de cargas contaminantes que generan los vertimientos.

Para cumplir con esta parte del estudio se tuvo en cuenta una definición de criterios de selección de rallanderías, a las cuales, mediante visitas de campo se les realizó el estudio de producción, consumo de agua y generación de carga contaminante. Se tuvieron en cuenta métodos presuntivos o representativos disponibles, de igual manera se analizó el uso del agua en cada tramo de la quebrada antes y después de las rallanderías.

- ✓ Determinar la caracterización fisicoquímica de los cuerpos receptores de aguas antes y después de vertimientos para cada tramo de río generada por la extracción de almidón de yuca en el norte del departamento del Cauca.

Para cumplir con esta parte del estudio los parámetros que se tuvieron en cuenta fueron: DBO₅, DQO, SST, Temperatura, pH, OD, Conductividad, y Turbiedad. Luego se seleccionaron las metodologías de muestreo y se estableció la logística con el fin de contar con el material y equipos adecuados para la toma de muestras; se tuvo en cuenta número de muestreos que se iban a realizar. Posteriormente, se realizaron visitas de campo a los lugares establecidos en los cuales se les desarrolló el proceso de muestreo y aforo de caudal; en los lugares se tomaron datos in situ de pH,

OD, Conductividad y Temperatura, y las muestras recolectadas fueron llevadas al laboratorio de la CRC para su respectiva evaluación de DBO₅, DQO y SST; sin embargo, no se tuvo en cuenta parámetros como Acidez y Cianuros por limitación económica de la Corporación.

- ✓ Determinar la capacidad de asimilación de carga contaminante de las corrientes de aguas receptoras de vertimientos a través de modelación matemática.

Esta se llevó a cabo luego de tener datos sobre la caracterización de los cuerpos de agua que reciben los vertimientos, estos datos se trabajaron ajustándolos a la metodología Mesoca y al modelo matemático de Streeter y Phelps el cual es utilizado para una descarga puntual y continua, permitiendo estimar la concentración de oxígeno disuelto a lo largo de un río.

- ✓ Determinación de Cargas Máximas permisibles y metas de reducción para cada tramo.

Con base en la capacidad de asimilación de cada corriente o tramo de río, se definieron metas de reducción de vertimientos para alcanzar las metas de calidad anteriormente definidas, se evaluaron y confrontaron con los establecidos en el decreto 1594 de 1984, y se hicieron recomendaciones sobre el nivel de carga permisible que podía soportar la fuente hídrica sin que hubiera alteración de la vida acuática.

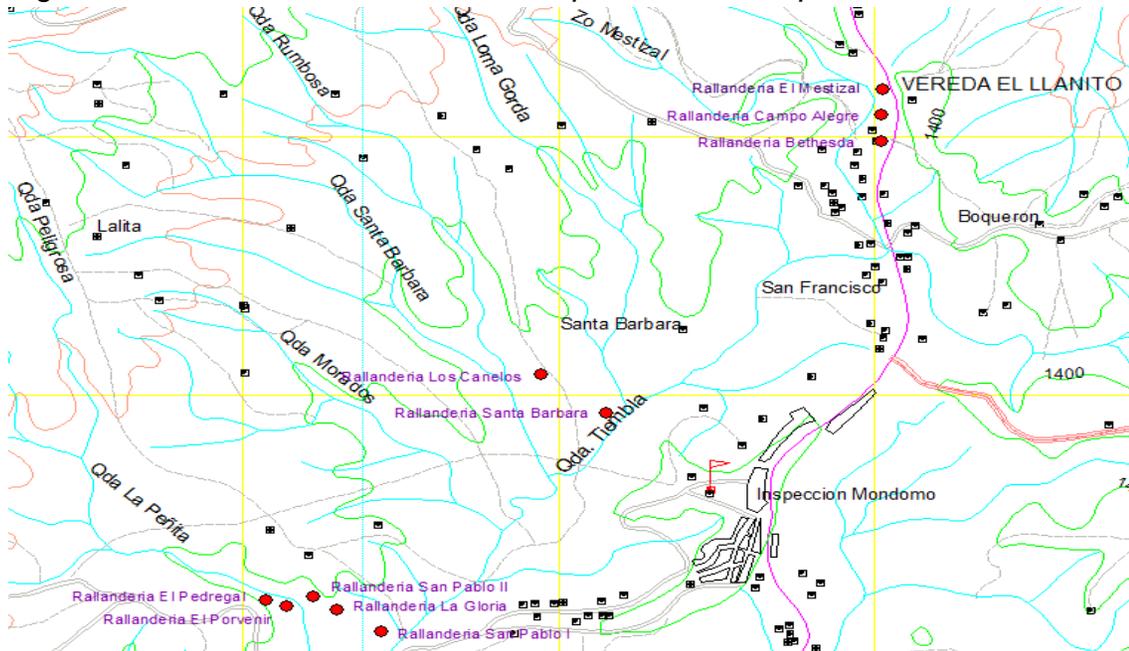
3.2 DATOS Y RESULTADOS

3.2.1 Selección de corrientes

En el norte del Cauca son muchas las fuentes que se han visto afectadas por la gran cantidad de agroindustrias de producción de almidón de yuca que se encuentran a lo largo de esta zona, una de ellas es la quebrada “Tiembra” la cual fue seleccionada para el estudio de objetivos de calidad debido a que la zona era de fácil acceso, se logró una mejor recopilación de información; además, mediante encuestas y salidas de campo se determinó que las rallanderías ubicadas en zonas aledañas a la quebrada “Tiembra” eran representativas en cuanto a la producción promedio de la región, infraestructura, tecnología y procesos de obtención de almidón.

3.2.2 Reporte de rallerías

Figura 2. Ubicación de las rallerías que vierten a la quebrada Tiembra.



Fuente: Propia

Alrededor de la quebrada “Tiembra” se encuentran establecidas 10 rallerías tradicionales dedicadas a la producción almidón de yuca las cuales se presentan en la Tabla 5 con su respectiva ubicación geográfica.

Tabla 5. Ubicación geográfica de las rallerías

Rallería	COORDENADAS		
	Este	Norte	Altura
El Mestizal	1059321	812658,8	1389 m
Campo Alegre	1059254,8	812629,3	1388 m
Mestizal (Bethesda)	1059220,9	812564,8	1388 m
San Pablo II	1057618,8	810548,9	1368 m
El Pedregal	1057618,9	810548,9	1368 m
El Porvenir	1057674,5	810582,7	1367 m
San Pablo I	1057810,3	810671,9	1361 m
La Gloria	1057804,1	810721	1362 m
Los Canelos	1058078,5	811857,7	1384 m
Santa Bárbara	1058461,6	811452,4	1368 m

Fuente: Propia.

3.2.2.1 Rallanderías estudiadas

De acuerdo con encuestas realizadas a los ralladeros de la zona y a un estudio detallado que se hizo a 4 de las 10 rallanderías (ver anexo D) para verificar información recogida en las encuestas, se logró obtener el caudal y la carga contaminante que resultan de la producción de una tonelada de yuca para la producción de almidón. Estos datos se presentan en la Tabla 6 y 7 respectivamente.

Tabla 6. Datos de caudales

Producción / día (kg)	Duración proceso (h)	Caudal canales de sedimentación de almidón (m ³ /día)	Caudal agua de lavado (m ³ /día)	Caudal llegada tanque de mancha (m ³ /día)	Caudal colado (m ³ /día)	Caudal total vertido (m ³ /día)
15000	12	60,70	34,20	40,52	101,24	135,44
5500	11	8,70	18,47	25,69	34,35	52,82
5588	10	22,00	11,89	20,23	42,25	54,14
5700	10	8,10	15,73	31,97	40,07	55,80

Fuente: Propia.

Tabla 7. Datos de carga contaminante

Agua de lavado (Kg/día)			Agua sedimentador de almidón(Kg/día)			Total carga contaminante (Kg/día)		
DQO	DBO ₅	SST	DQO	DBO ₅	SST	DQO	DBO ₅	SST
27	15	76	372	283	165	399	298	241
12	6	35	118	44	53	130	50	87
13	4	25	111	52	60	123	55	85
15	7	35	101	68	66	116	74	101

Fuente: Propia.

De acuerdo con estos datos se obtuvieron valores per cápita registrados en la Tabla 8 y se realizó su estadística (ver Tabla 9), con el fin de obtener un valor promedio para proyectarlo a las demás rallanderías de acuerdo a su producción.

Tabla 8. *Datos per cápita de carga contaminante y caudal*

Nombre de la rallandería	Caudal (m ³ /ton)	Carga contaminante (Kg/Ton)		
		DQO	DBO ₅	SST
Los Canelos	9,0	27	20	16
Santa Bárbara	9,6	24	9	16
El Pedregal	9,7	22	10	15
El Porvenir	9,8	21	13	18

Fuente: Propia.

Tabla 9. *Estadística de los datos per cápita*

Estadística	Caudal (m ³ /ton)	Carga contaminante (Kg/Ton)		
		DQO	DBO ₅	SST
Min	9,0	21,0	9,0	15,0
Media	9,5	23,5	13,0	16,3
MAX	9,8	27,0	20,0	18,0
alfa	0,05	0,05	0,05	0,05
Desvest	0,4	2,6	5,0	1,3
N	4	4	4	4
Intervalo Confianza (%)	0,4	2,6	4,9	1,2
Lím. Superior	9,9	26,1	17,9	17,5
Lím. Inferior	9,2	20,9	8,1	15,0

Fuente: Propia.

Los valores obtenidos para las rallanderías evaluadas se consideran confiables ya que estos se encuentran dentro de los límites inferior (9,2) y superior (9,9) calculados, a excepción de la industria Los Canelos, donde el parámetro de DBO₅, presenta un valor por fuera de los límites establecidos, señala que se trata de un dato dudoso que puede ocasionar variaciones en el modelo diseñado; sin embargo, al recalculer la media excluyendo estos datos, se encuentra que las variaciones no son significativas, por lo cual se trabajó con todos los datos con los cuales se contaba. Por otro lado se puede decir que el estudio reportó que el consumo de agua por tonelada de yuca fue de 9,5m³.

En la Tabla 10 se presentan los valores carga contaminante por tonelada de yuca procesada.

Tabla 10. *Carga contaminante por tonelada de yuca.*

DQO (Kg/Ton)	23,5
DBO₅ (Kg/Ton)	13,0
SST (Kg/Ton)	16,3

Fuente: Propia.

Con los valores obtenidos del estudio a 4 rallanderías de la zona, se proyectó a las demás rallanderías el caudal y la carga contaminante de acuerdo a su producción, estos datos se pueden ver registrados en la Tabla 11.

Tabla 11. *Proyección de caudales y cargas contaminantes*

Rallanderías	Producción (Kg/día)	Caudales			Carga contaminante (Kg/día)		
		Producción (Ton)	Volumen (m ³ /día)	volumen (L/día)	DQO	DBO	SST
San Pablo I	5000	5	47,5	47500	118	65	82
La Gloria	3500	3,5	33,3	33250	82	46	57
San Pablo II	4000	4	38,0	38000	94	52	65
Mestizal	3500	3,5	33,3	33250	82	46	57
Campo Alegre	5500	5,5	52,3	52250	129	72	90
El Mestizal	4500	4,5	42,8	42750	106	59	73

Fuente: Propia.

Tabla 12. *Ubicación geográfica de los puntos de muestreo*

Muestra	Puntos de muestreo	Coordenadas		
		Este	Oeste	Altura
1	Blanco quebrada Tiembra	1059113	812558	1389
2	Quebrada Mestizal antes del encuentro con quebrada Tiembra	1059039	812630	1381
3	Quebrada Tiembra antes del encuentro con quebrada Lomagorda.	1058248	811963	1374
4	Quebrada Lomagorda antes del encuentro con quebrada Tiembra	1058248	811963	1374
5	Quebrada Tiembra después del Vertimiento de rallandería Santa Bárbara	1058078	811740	1371
6	Quebrada Tiembra antes de quebrada Santa Bárbara	1057998	811645	1375
7	Quebrada Santa Bárbara antes del encuentro con quebrada Tiembra	1057996	811648	1375
8	Quebrada Tiembra antes del encuentro con quebrada San Pablo	1058168	811201	1369
9	Quebrada San Pablo antes del encuentro con quebrada Tiembra	1057416	810902	1345
10	Mezcla quebrada Tiembra con quebrada San Pablo	1057445	810846	1327

Fuente: propia.

El análisis de la calidad del agua de la quebrada Tiembra se realizó teniendo en cuenta parámetros de calidad como DBO₅, DQO, SST, CONDUCTIVIDAD, TURBIEDAD, pH, y TEMPERATURA donde los resultados de la primera y segunda campaña se ven registrados en las Tablas 13 y 14 respectivamente.

Tabla 13. Datos de calidad para la campaña 1

Muestra	Características	Parámetros fisicoquímicos								
		DQO (mg/L)	DBO5 (mg/L)	OD (mg/L)	SST (mg/L)	Turb (UNF)	Cond (us/cm)	pH	T (°C)	Hora
1	Blanco q. Mestizal	15,3	< 0,5	7,67	7	10	47,6	4,63	19	08:00
2	Q. Mestizal antes de unión con Tiembla	30,2	4,2	5,34	34,4	49	62,5	4,6	20	08:56
3	Blanco Tiembla antes de la unión con q. Mestizal	27,6	0,5	8,04	35	60	48,8	4,63	19	
4	Q. Tiembla antes de unión con q. Lomagorda	28,6	2,7	6,43	47,5	64	57,7	4,62	20	09:57
5	Q. Lomagorda antes de unión con Tiembla	26,6	1,1	8,8	16,1	12	68	4,6	19	10:10
6	vertimiento de rallería S. Bárbara	69,7	39	7	52	57	64,4	4,65	20	10:55
7	Q. Santa Bárbara antes de unión con Tiembla	58,7	34,5	5,1	50	47	87,5	4,64	20	11:18
8	Q. Tiembla antes de unión con q. Morados	105	60	5,4	50	69	81,4	4,65	21	12:11
9	Q. los Morados antes de unión con Tiembla	20	0,48	8,7	9	12	38	4,64	21	11:54
10	Q. Tiembla antes de la unión con San Pablo	96,8	54	4,03	55,6	63	76,4	4,63	22	
11	Q. San Pablo antes de Tiembla	12,8	0,7	8,38	14,2	19	36,6	4,3	21	
12	Blanco q. San Pablo antes de las rallerías	18,7	24	12,3	20,5	18	29,4	4,3	20	11:19

Fuente: propia.

Tabla 14. *Datos de calidad de la campaña 2*

Muestra	Características	Parámetros fisicoquímicos								
		DQO (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)	OD (mg/L)	SST (mg/L)	Turb (UNF)	Cond (us/cm)	pH	Temp (°C)	Hora
1	Blanco de Mestizal	23,6	<0,5	4,2	7,2	14	66,1	4,8	19,6	08:40
2	Q. Mestizal antes de la unión con Tiembra	187	118	2,02	223	81	123,6	4,67	20,2	07:55
3	Blanco de q. Tiembra antes de la unión con Mestizal	21,6	0,48	5,87	6,1	9	69,9	4,62	19	07:41
4	Q. Tiembra antes de Lomagorda	92	31	1,5	26	31	117	4,6	20,6	11:00
5	Q. Lomagorda antes de la unión con Tiembra	53	9,8	7,02	<5	3	63,3	4,6	20,1	11:10
6	Q. Tiembra después de rallandería Santa Bárbara	124	63	1,78	26,3	27	121,9	4,76	20,6	12:00
7	Q. Tiembra antes de quebrada Santa Bárbara	165	78,9	0,84	27,5	24	126,6	4,64	20,8	12:40
8	Q. Santa Bárbara antes de unión con Tiembra	1126	849	0,61	376	102	423	4,76	20,7	12:30
9	Q. Tiembra antes de Morados	365	215	0,68	114	42	172,8	4,62	21	01:00
10	Q. Morados antes de Tiembra	26,1	0,48	6,78	46	11	39,3	4,53	20,6	01:10
11	Q. Tiembra antes de unión con San Pablo	312	243	0,22	137	67	184,1	4,63	20,3	
12	Q. San Pablo antes de la unión con Tiembra	39,1	28,7	7,22	128	30	47,4	4,75	19,8	09:45
13	Blanco San Pablo	19,8	<0,5	7,59	<5	5	31,8	4,76	19,6	09:55

Fuente: propia.

En las Figuras de la 4 a la 8 se representan y analizan algunos de los parámetros fisicoquímicos como OD, DBO₅, SST, pH y Temperatura ya que estos fueron utilizados en la definición de objetivos de calidad, además el OD, DBO₅ y Temperatura fueron indispensables en el momento de la modelación de la quebrada Tiembra.

Sin embargo fueron analizados parámetros como DQO, Conductividad y Turbiedad (ver Anexos F, G y H) con el fin de recopilar la mayor información posible acerca de la calidad del agua de la quebrada, aunque el presente estudio de objetivos de calidad no son muy relevantes.

Para las Figuras 4, 5, 6, 7 y 8 que representan los parámetros necesarios para la definición de objetivos de calidad, se emplearon letras para representar las llegadas de vertimientos o afluentes a la quebrada Tiembra. Su significado se presenta a continuación:

A : Blanco quebrada Tiembra antes de la unión con quebrada Mestizal.

B : Quebrada Tiembra antes de llegada de quebrada Lomagorda.

C: Quebrada Tiembra después de la rallandería Santa Bárbara.

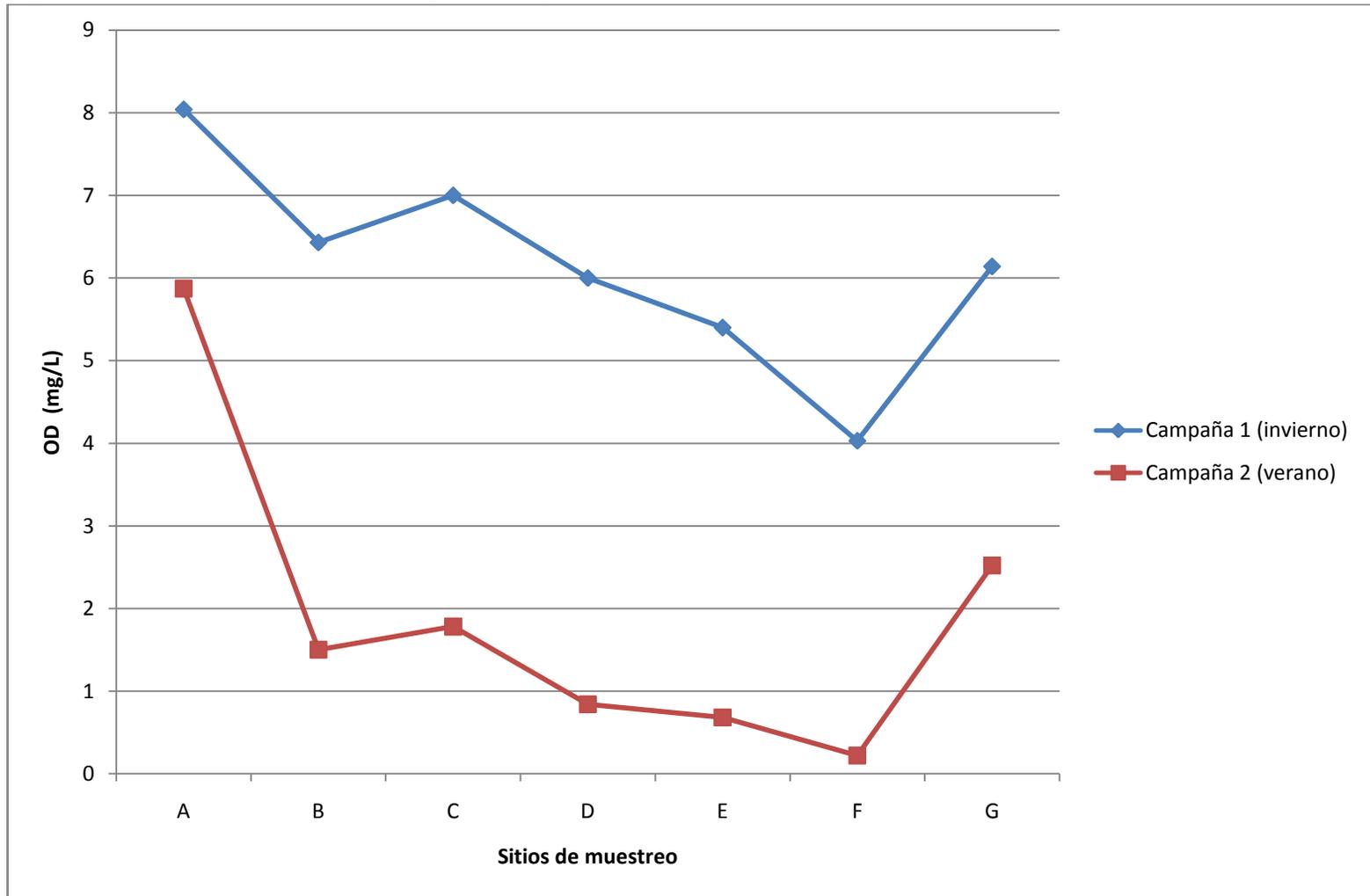
D: Quebrada Tiembra antes de llegada de quebrada Santa Bárbara.

E: Quebrada Tiembra antes de llegada de quebrada los Morados.

F: Quebrada Tiembra antes de llegada de quebrada San Pablo.

G: Mezcla quebrada Tiembra con quebrada San Pablo.

Figura 4. Variación del OD a lo largo de la quebrada



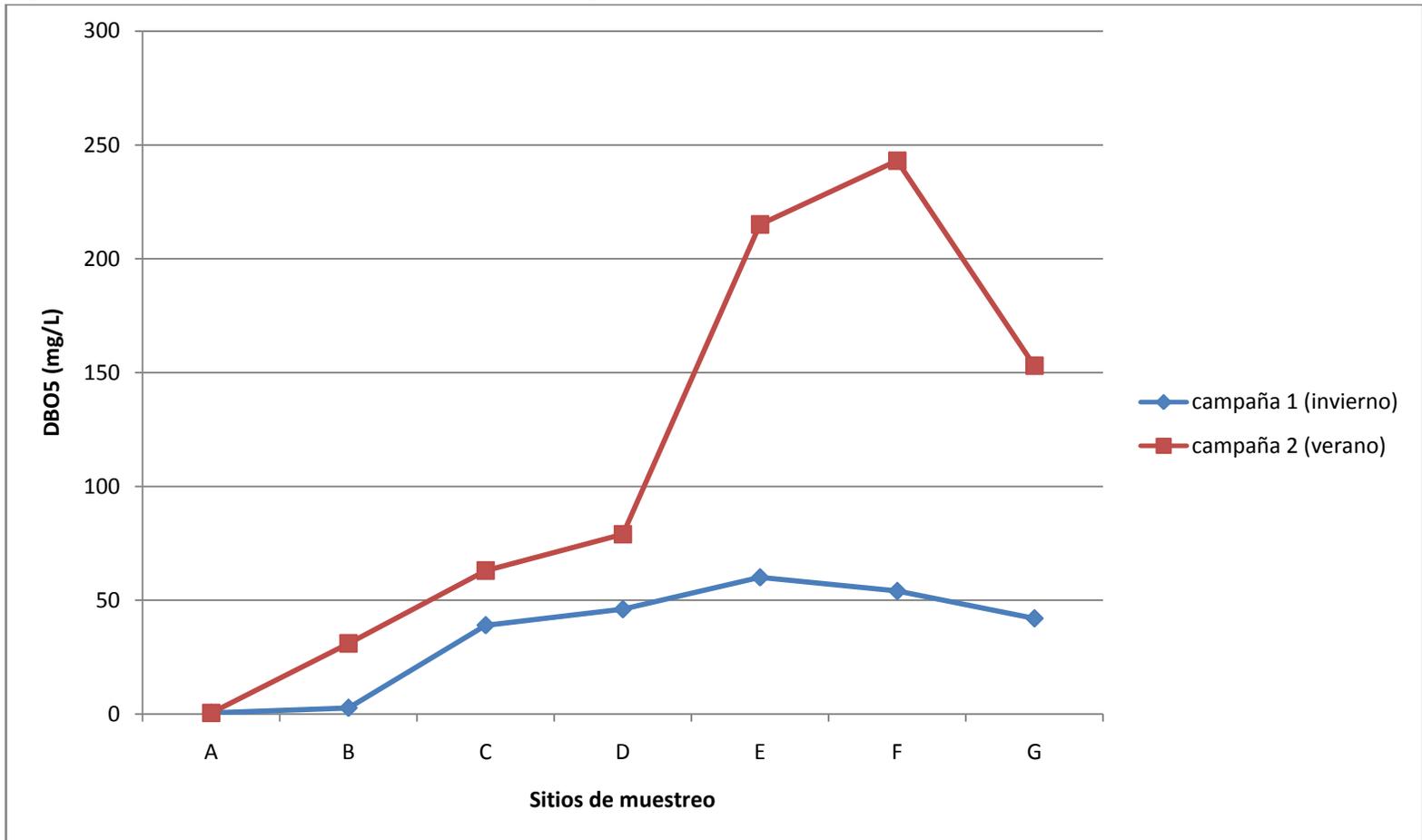
Fuente: Propia

De acuerdo con la Figura 4 el OD desciende a lo largo de la quebrada Tiembla debido a la llegada de vertimientos generados por rallanderías y residuos domésticos, ya que según (Cox) las aguas residuales no tratadas elevan los niveles de materia orgánica y sólidos disueltos que inhiben la radiación solar, desapareciendo las plantas verdes, logrando la disminución progresiva de las especies de organismos y la proliferación de las bacterias que generan los niveles bajos de oxígeno, haciendo necesaria la reaireación atmosférica la cual se hace para compensar el déficit de oxígeno.

El comportamiento del OD en las dos campañas representadas en la Figura anterior, presenta una tendencia similar aunque los monitoreos se realizaron en condiciones climáticas diferentes; además se observa que del punto B al C y del F al G se presenta una recuperación del oxígeno, ya que en esta zona le llega el afluente Lomagorda y San Pablo respectivamente con condiciones fisicoquímicas que mejoran un poco la calidad del agua de la fuente, además durante esta parte de la quebrada no se presentan vertimientos haciendo que haya un proceso de recuperación; sin embargo, en las demás zonas se nota el impacto de los vertimientos porque se reducen las concentraciones de oxígeno disuelto que limita el desarrollo de peces y otras especies de la vida acuática (Poch, 1999). Por lo tanto se puede inferir que se presentó descomposición activa ya que el oxígeno disminuyó notablemente hasta llegar a un valor de 0,22 mg/L generando en la fuente malos olores, cambio de color y otros indicadores biológicos de polución (Romero, 1999).

Además, se puede observar que la línea de color rojo presenta valores de OD muy bajos a excepción del blanco de Tiembla que presenta un valor por encima de 5 mg/L, esto pudo ocurrir porque en esta parte de la zona de estudio no existe actividad antrópica; para la línea de color azul se pueden apreciar valores elevados de OD debido a las condiciones climáticas, de caudal y producción ya que se realizó en invierno y no había actividad por parte de las rallanderías, además los valores obtenidos podrían considerar el agua apta para diferentes usos ya que todos están por encima de 5 mg/L, a excepción de un valor que es de 4,03 mg/L debido a que en este tramo se presenta un represamiento del agua a causa de residuos sólidos que se encontraban el día que se realizó el monitoreo.

Figura 5. Comportamiento de la DBO₅ a lo largo de la quebrada



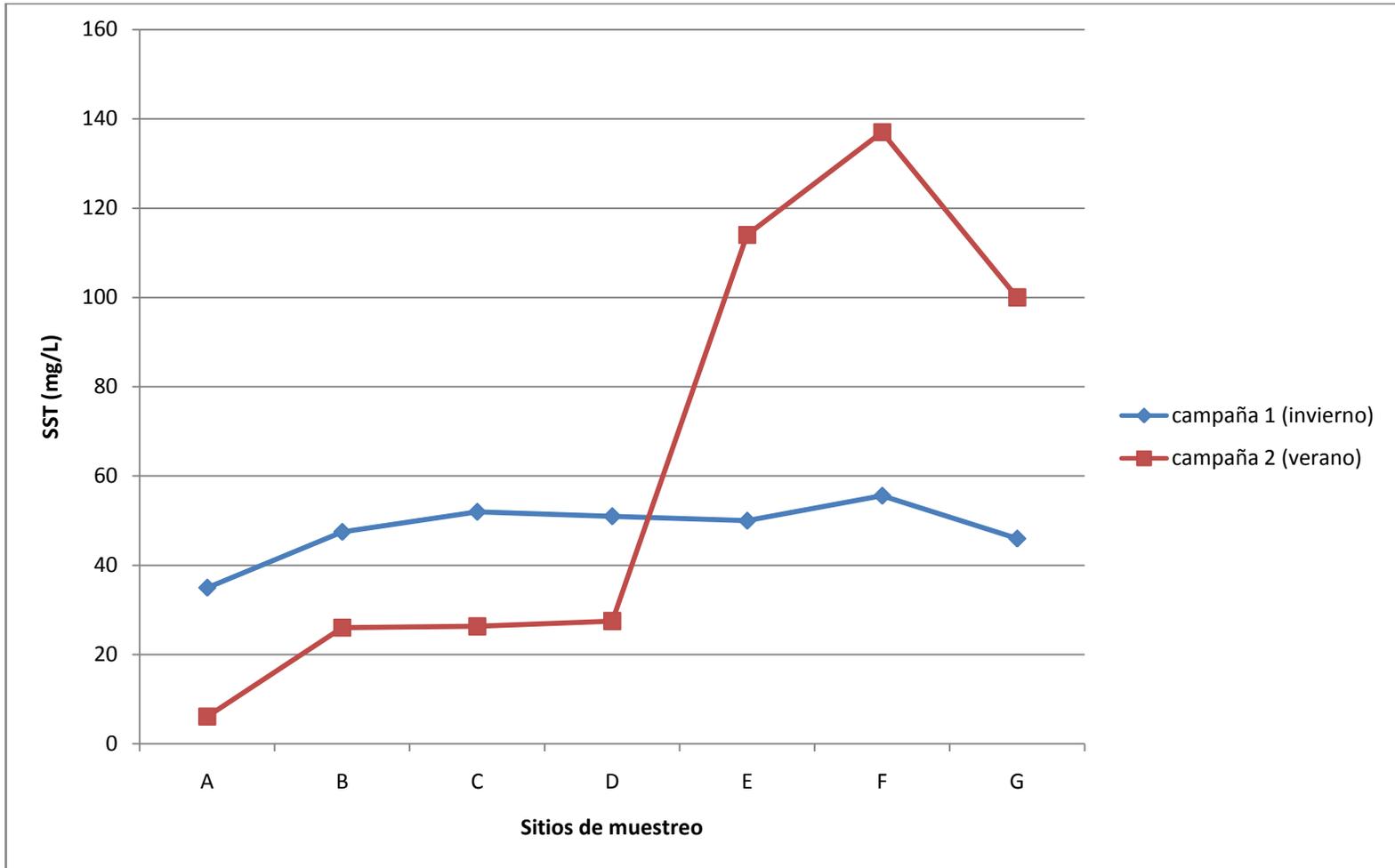
Fuente: Propia

De acuerdo con los datos obtenidos de DBO_5 representados en la figura 5, la quebrada Tiembla registra el impacto adverso de la acción antrópica en todo su curso, lo que se manifiesta en la presencia de materia orgánica que en términos de Demanda Bioquímica de Oxígeno, excede los niveles permisibles de calidad de agua, ya que la cantidad de oxígeno disuelto requerido por los microorganismos para la oxidación aerobia de la materia orgánica biodegradable presente en el agua hace que la DBO_5 aumente a lo largo de la quebrada; esto se puede constatar con los valores bajos obtenidos de OD en estos tramos, por lo tanto las cargas excesivas de DBO_5 son perjudiciales para la calidad del agua, ya que la concentración resultante de OD bajo hace que la quebrada en algunos tramos no sea apta para la preservación de flora y fauna (Boano et al., 2005).

La campaña 2 realizada en tiempo de verano, demuestra lo mencionado anteriormente; ya que el monitoreo se hizo cuando las rallanderías se encontraban vertiendo sus residuos líquidos sobre la fuente, obteniendo el mayor valor de DBO_5 243 mg/L y el más bajo de OD 0,22 mg/L; por lo tanto, este tramo de la fuente es catalogado según el RAS como una fuente muy deficiente, indicando que en esta zona se presenta la mayor polución causada principalmente por las rallanderías.

La campaña número 1 representada por la línea azul, presenta valores bajos de DBO_5 comparado con la Campaña 2, porque se realizaron muestreos de la quebrada sin vertimientos de las rallanderías, además el aumento de caudal a causa del tiempo de lluvias hace que se facilite el proceso de dilución y por tal motivo se presenten valores más bajos de Demanda Bioquímica de Oxígeno.

Figura 6. Comportamiento de los SST a lo largo de la quebrada



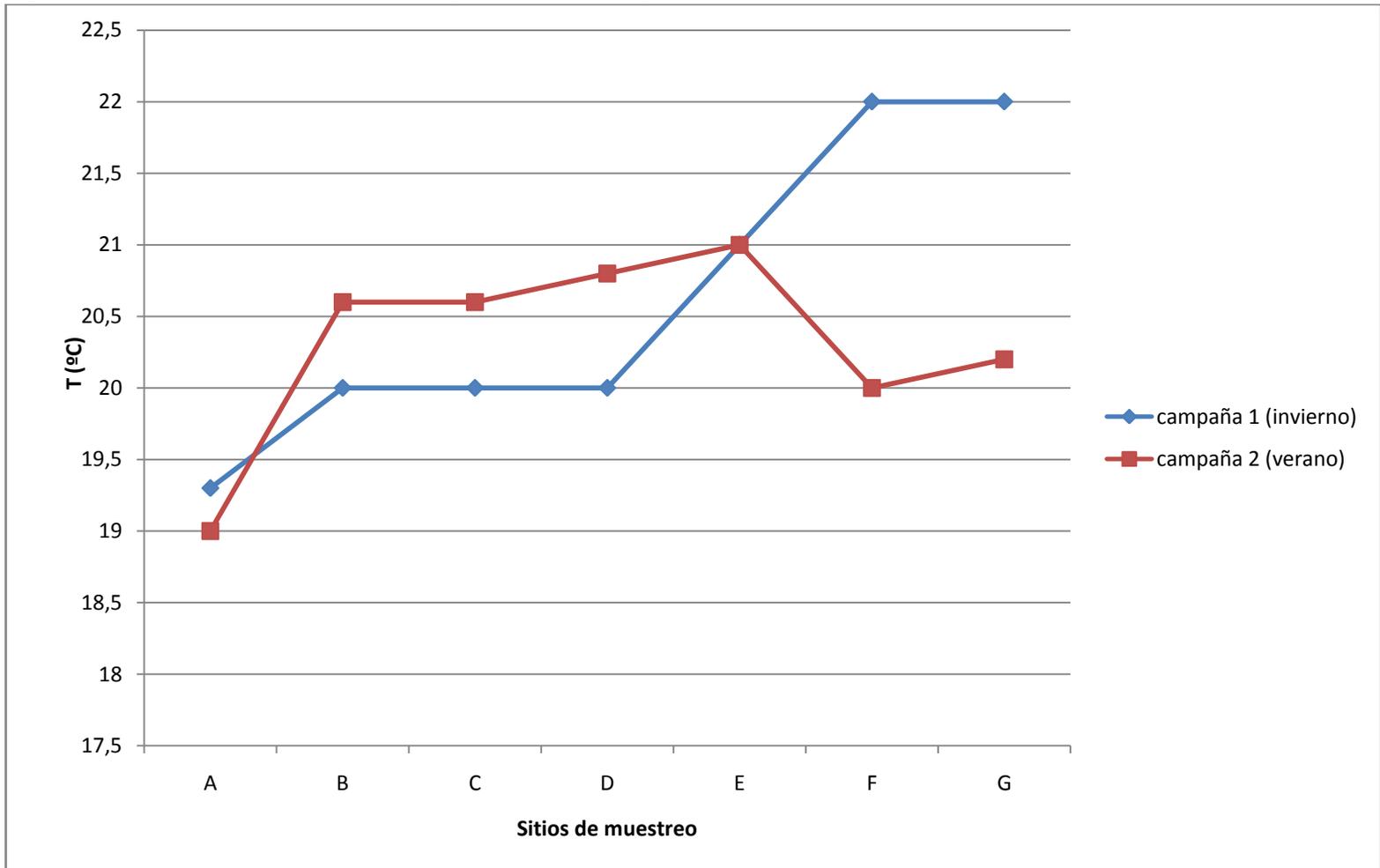
Fuente: Propia

Los valores obtenidos para SST, muestran un incremento desde el primer punto hasta el punto F del recorrido de la quebrada Tiembla; en la última zona de muestreo, la Figura 6 toma una tendencia descendente por el aporte de nuevo caudal por parte de la quebrada San Pablo, haciendo que las condiciones de Tiembla cambien de manera positiva en este tramo. El incremento de la campaña 2 en una zona de la quebrada se debe a que se le incorporan a la fuente principal vertimientos domésticos y también se ve afectada por la llegada de los desechos de la rallandería San Pablo, las cuales aportan sólidos a la quebrada.

Se puede decir que aunque la concentración de SST no es una medida directa de la turbiedad del agua, estos dos parámetros presentan una variación similar, por ejemplo en la campaña 1, ambos parámetros muestran un incremento a lo largo de la quebrada asociado al arrastre de material sólido como consecuencia de las lluvias, en la segunda campaña no se muestra un comportamiento creciente constante a lo largo de la quebrada, ya que la disminución de caudal ocasiona dos fenómenos: concentración de sustancias (incremento en turbiedad y SST con respecto al invierno) y sedimentación (disminución de los parámetros a lo largo del río) por la baja velocidad del agua.

La fuente receptora de los vertimientos de las rallanderías también se encuentra afectada por el parámetro de SST, debido a que los valores obtenidos en las campañas de monitoreo muestran una disminución en la calidad de agua; ya que, por las condiciones que se observaron durante las visitas realizadas se pudo inferir lo anteriormente dicho; estos valores reportados pueden ser comparados con los valores obtenidos de oxígeno disuelto, ya que generalmente entre mayor sea el valor de los SST el OD tiende a disminuir porque se produce un obstáculo para que los rayos de luz penetren sobre el agua de la fuente.

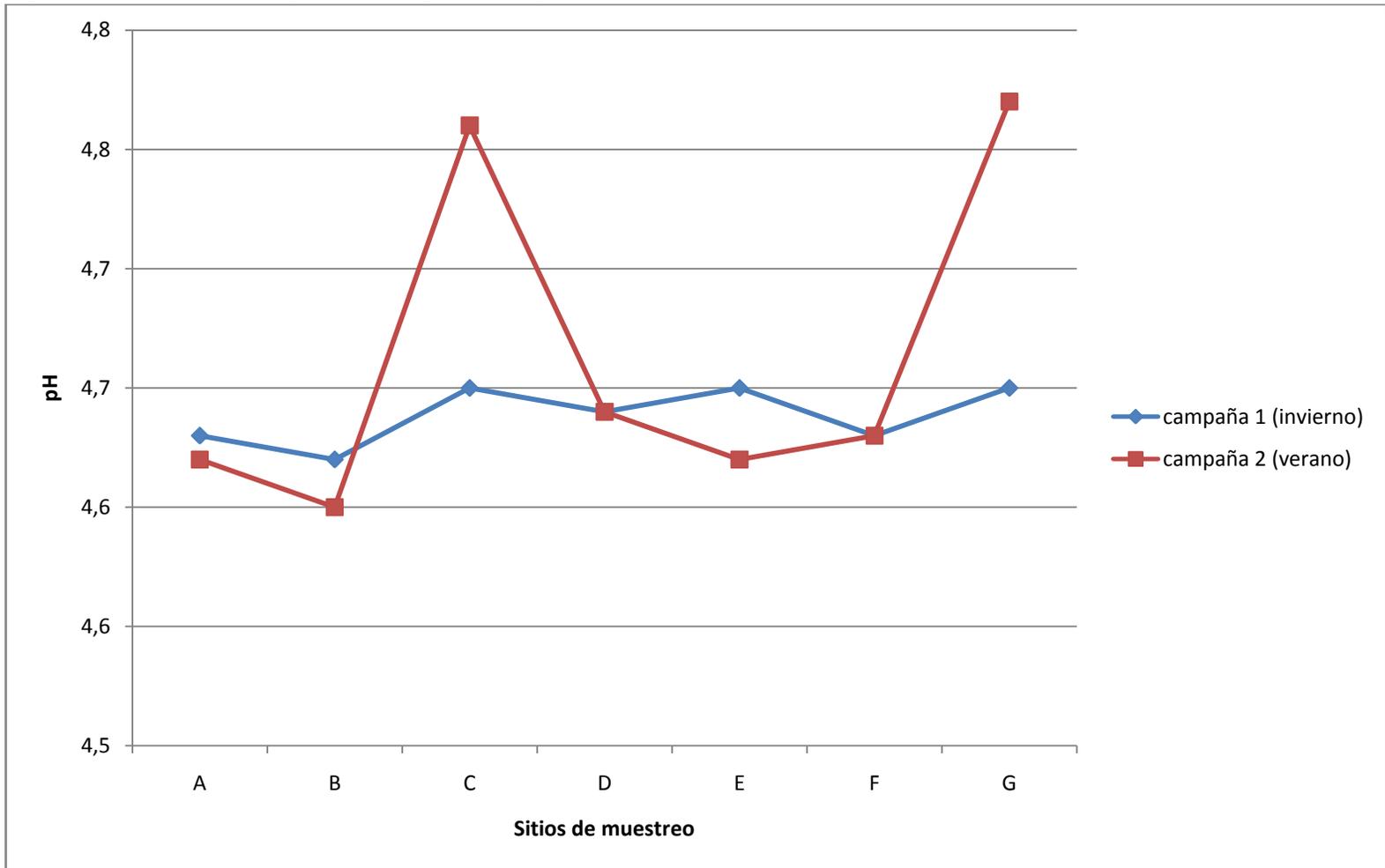
Figura 7. Comportamiento de la temperatura en la quebrada Tiembla



Fuente: Propia

La Temperatura comienza con valores de 19 y 19,3 °C respectivamente en el blanco de la quebrada, y a medida que va descendiendo la corriente, los valores de temperatura van ascendiendo presentándose la mayor elevación entre el punto D y F de la campaña 1, sin embargo en la campaña 2 aunque mantiene la misma tendencia genera una fluctuación en el tramo E al F. Todo esto pudo ocurrir por cambios de temperatura en los vertimientos los cuales se pueden presentar en diferentes condiciones climáticas, además puede estar influenciado por la latitud, altitud, variaciones climáticas, hora del día, circulación del aire, nubosidad, profundidad del cuerpo de agua y también de la concentración de muchas variables. Lo anterior a menudo implica problemas debido a la relación que se establece entre temperatura y solubilidad de gases, porque a mayor temperatura mayor solubilidad de iones y menor en gases. Ambos factores degradan la calidad de las aguas ya que aumentan su dureza y disminuyen la capacidad de disolución de oxígeno (Seonez, 1995).

Figura 8. Variación del pH a lo largo de la quebrada Tiembla



Fuente: Propia

De acuerdo a la Figura 8, se puede observar que durante las campañas de muestreo no se presentaron variaciones significativas de pH, por lo cual se presenta una tendencia homogénea en los valores obtenidos a lo largo del cauce de la quebrada Tiembla con valores de pH por debajo de 5 con excepción del primer punto; los datos obtenidos son los esperados ya que los vertimientos de las rallanderías hacen que el agua de la corriente tome condiciones ácidas porque contiene carbohidratos fácilmente hidrolizables que favorecen la fermentación natural y por consiguiente la formación de ácidos grasos volátiles incidiendo en los valores bajos de pH (COLIN, *et al.*, 2007). Y se esperaría que no hubiera variabilidad de especies acuáticas ya que el rango de tolerancia debería estar entre (5 y 9).

3.2.4 Modelación matemática de la quebrada Tiembla

3.2.4.1 Características de la modelación

Para la modelación de la corriente se aplicó la metodología Mesoca y el modelo basado en las ecuaciones de Streeter y Phelps; esto se realizó mediante la información obtenida en salidas de campo a la zona de estudio en este caso la quebrada Tiembla, la cual fue ordenada y estudiada en tramos que se definieron respecto a características hidráulicas como la pendiente donde alcanzó un 16 % indicándonos una zona con pocas variaciones que no afecta de manera significativa las condiciones de la corriente; además se tuvo en cuenta la entrada de afluentes que cambiara las condiciones fisicoquímicas de la fuente como punto clave para establecer los tramos de la quebrada Tiembla.

En la Tabla 15 se encuentran las características finales de los tramos de la quebrada Tiembla obtenidas mediante la observación y descripción realizada en el trabajo de campo.

Tabla 15. Descripción de los tramos estudiados de la quebrada Tiembra

Tramo	Características	Descripción de c/ tramo	Distancia (km)	Usos
1	Blanco Tiembra - encuentro q. Mestizal	Blanco Tiembra	0	Doméstico Conservación flora y fauna
		No se registra ningún tipo de efluente o vertimiento		
		Encuentro Mestizal	0,0743	
2	Encuentro q. Mestizal - encuentro q. Santa Bárbara	Encuentro Mestizal	0,0743	Industrial para rallandería. Agrícola
		Vertimiento de A.R	0,0769	
		Vertimiento de A.R del Llanito	0,0782	
		Llegada de q. Loma Gorda	1,005	
		Vertimiento rallandería S.B	1,248	
		Encuentro q. S. Bárbara	1,349	
3	Encuentro q. S. Bárbara - encuentro q. San Pablo	Encuentro q. S. Bárbara	1,349	Receptor de A.R e Industriales Riego
		Llegada de q. los Morados	1,378	
		Vertimiento alcantarillado	1,395	
		Encuentro q. San Pablo	2,142	
4	Encuentro q. S. Pablo - río Mondomo o	Encuentro q. S. PABLO	2,142	Dilución y Asimilación Riego
		No se registra ningún tipo de efluente o vertimiento		
		Río Mondomo	2,87	

Fuente: Propia.

3.2.4.1.1 Definición de las constantes de reaireación y desoxigenación

Para obtener las constantes que tendrán representación hidráulica en la metodología Mesoca y en el modelo de Streeter y Phelps, se tuvieron en cuenta las características hidráulicas de la quebrada Tiembra, las cuales se obtuvieron del aforo realizado en la segunda campaña de monitoreo; esta información se presenta en la Tabla 16.

Tabla 16. Datos de calidad de la campaña 2 realizada el 26 de agosto

Tramo	Características	Velocidad (m/s)	Altura (m)	Área (m ²)	Caudal (L/s)
1	Blanco Tiembla - encuentro q. Mestizal	0,13	0,1	0,19	24,7
2	Encuentro q. Mestizal - encuentro q. Santa Bárbara	0,15	0,14	0,26	39,7
3	Q. Santa Bárbara - encuentro con q. San Pablo	0,16	0,18	0,2	41
4	Encuentro con q. San Pablo - río Mondomo	0,18	0,27	0,95	171

Fuente: Propia.

✓ Constante de reaireación (K_2)

La constante de reaireación representa la incorporación de oxígeno a la corriente, siendo función básicamente de los parámetros hidráulicos de la quebrada, estas constantes se determinaron basadas en la literatura a partir de las ecuaciones de Texas, OWENS, O'Connor-Dobbins y Churchill, las cuales se ven expuestas de manera clara en la metodología de este trabajo y los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 17.

Tabla 17. Valores de K_2 (constante de reaireación) por diferentes autores

Tramos	Vel (m/s)	Altura (m)	Temp (°C)	Autores			
				TEXAS	O'CONNOR	CHURCHILL	OWENS
1	0,13	0,1	19	8,43	43,76	32,04	94,10
2	0,15	0,14	19,5	6,57	28,71	21,21	56,24
3	0,16	0,18	20,8	5,50	20,98	15,29	38,04
4	0,18	0,27	20,2	3,90	11,94	8,58	19,17

Fuente: Propia.

Las constantes de reaireación obtenidas por la ecuación de Texas serán aplicadas a los diferentes tramos de la quebrada ya que ésta se usa en ríos con profundidades de (0,2 m-1,0 m) y una velocidad de (0,01 m/s - 0,30 m/s) (Romero,1999) además las constantes se ajustan mejor al modelo y se encuentran mejor aproximadas a las constantes utilizadas para ríos de

similares condiciones hidráulicas que se han estudiado y se encuentran expuestas en la literatura.

Sin embargo, Owen trabaja con profundidades de (0,12 m – 0,73 m) y velocidades de (0,03 m/s - 0,55 m/s), las cuales aplicarían también para la quebrada pero al contrario a la de Texas estas no se ajustan bien y se encuentran más distantes comparadas con la literatura. Las fórmulas de O'Connor y Churchill se utilizan para ríos con profundidades de (0,30 m - 9,9 m; 0,61 m - 3,35 m) y velocidades de (0,15 m/s - 0,49 m/s; 0,55 m/s - 1,52 m/s) respectivamente, las cuales no cumplen con las condiciones obtenidas en la quebrada Tiembla.

Los valores de las constantes utilizadas en cada tramo son similares reafirmando la inexistencia de pendientes pronunciadas.

✓ Constante de desoxigenación (Kd)

La constante de desoxigenación se halló considerando que el consumo de oxígeno por los microorganismos se refiere a la tasa de degradación combinada de materia orgánica carbonácea y nitrogenada en una reacción de primer orden; se calculó de acuerdo a la ecuación desarrollada por Bosk y los valores se presentan en la Tabla 18.

Tabla 18. *Valores de la constante de desoxigenación.*

TRAMOS	K	n	vel (m/d)	altura (m)	Kd	Temp	Kdc * T°C
1	0,1	0,000002	11230	0,1	0,32	19	0,31
2	0,15	0,000005	12960	0,14	0,62	19,5	0,61
3	0,23	0,000005	13820	0,18	0,64	20,8	0,66
4	0,33	0,000006	15550	0,27	0,65	20,2	0,65

Fuente: Propia.

El modelo basado en las ecuaciones generales de Streeter y Phelps considera que todo el efecto de degradación se realiza en la fase líquida, sin tener en cuenta los procesos de sedimentación y resuspensión de la materia orgánica (Shanahan HW_ DO, 2001).

3.2.4.1.2 Identificación y estado de los tramos

En el análisis de los tramos se identificaron diferentes tipos de aportes de caudal y carga contaminante, como el de corrientes superficiales, especialmente quebradas, donde algunas de ellas ayudan al mejoramiento

de las condiciones de la quebrada y otras impactan de manera negativa las condiciones fisicoquímicas de la corriente principal. Otros tipos de aporte son las descargas puntuales provenientes de las rallanderías, en su gran mayoría sus vertimientos se encuentran ubicados en los afluentes que llegan a la quebrada Tiembla. La información de campo obtenida en la campaña 2 se tuvo en cuenta para esta fase del trabajo, ya que el caudal de la quebrada registraba un caudal mínimo y había actividad de algunas de las rallanderías permitiendo de esta manera analizar condiciones críticas de la quebrada.

Las características y condiciones fisicoquímicas de los puntos de muestreo de la quebrada Tiembla y sus respectivos afluentes se reportan en las Tablas 19 y 20 respectivamente.

Tabla 19. *Valores obtenidos para diferentes parámetros en la campaña 1*

Tramo	Descripción c/ tramo	Distancia (km)	Caudal (L/s)	T (°C)	DBO ₅ (mg/L)	OD (mg/L)
1	Blanco Q. Tiembla	0	24,7	19	0,48	5,87
2	Q. Tiembla antes de encuentro con Lomagorda	1	27	20,6	31	1,5
	Q. Tiembla después del vertimiento Santa Bárbara	1,248	19	20,6	63	1,78
	Q. Tiembla antes de encuentro con Santa Bárbara	1,344	28	20,8	78,9	0,84
3	Q. Tiembla antes de encuentro con q. Morados	1,375	50	21	215	0,68
	Q. Tiembla antes de encuentro q. San Pablo	2,132	138	20	243	0,22
4	Q. Tiembla después del encuentro con q. San Pablo	2,87	171	20,2	153	2,52

Fuente: propia.

Tabla 20. Valores obtenidos para diferentes parámetros en la campaña 2

Tramo	Descripción de c/tramo	Distancia (Km)	Caudal (L/s)	T (°C)	DBO ₅ (mg/L)	OD (mg/L)
1	Q. Mestizal antes de q. Tiembla	0,0743	15	20,2	118	2,02
2	Q. Lomagorda antes de q. Tiembla	1,005	6	20,1	9,8	7,02
	Q. Santa Bárbara antes de q. Tiembla	1,349	13	20,7	849	0,61
3	Q. Los Morados antes de q. Tiembla	1,378	15	20,6	0,48	6,78
4	Q. San Pablo antes de q. Tiembla	2,142	51	19,8	28,7	7,22

Fuente: Propia.

3.2.4.2 Aplicación de la metodología Mesoca

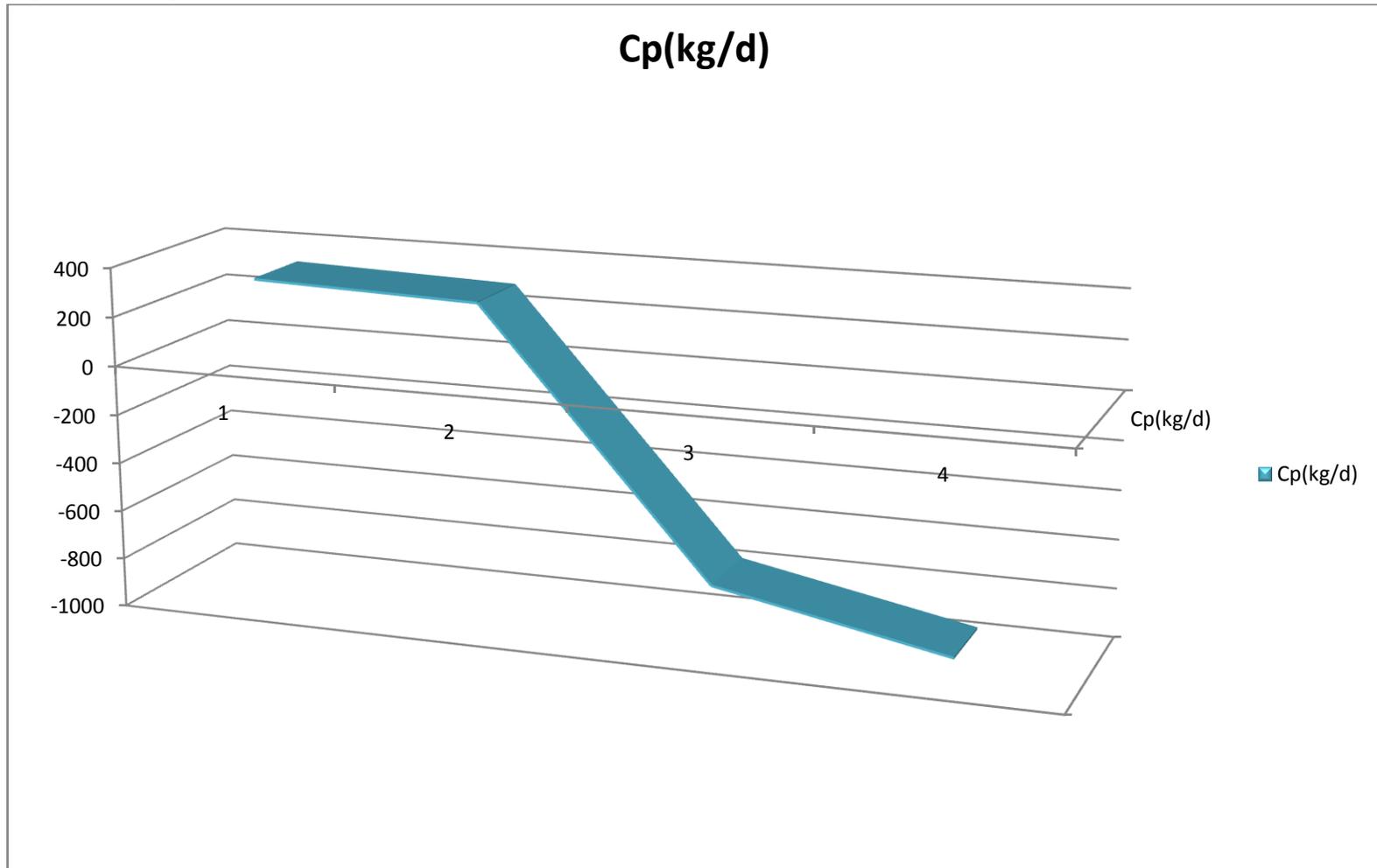
Según el MAVDT, para que una metodología tenga aplicación significativa debe presentar datos que sean considerados representativos; por consiguiente la metodología Mesoca debe adaptarse temporalmente a la mejor información disponible recopilada en las campañas de monitoreo realizadas a las fuente receptoras de vertimientos generados por el proceso de extracción de almidón de yuca.

En la Figura 9 se puede apreciar la carga máxima permisible que puede soportar la quebrada Tiembla en sus respectivos tramos, teniendo en cuenta que los valores negativos son las cargas que sobrepasan la capacidad de la quebrada y los positivos son los que aun puede soportar. En la Figura 10 se observa la variación del OD en cada tramo de la corriente; ambos parámetros están basados en la metodología Mesoca.

Para las figuras se utilizaron los números 1, 2, 3 y 4 para representar los tramos en los que se dividió la quebrada Tiembla, el significado de cada número se presenta a continuación:

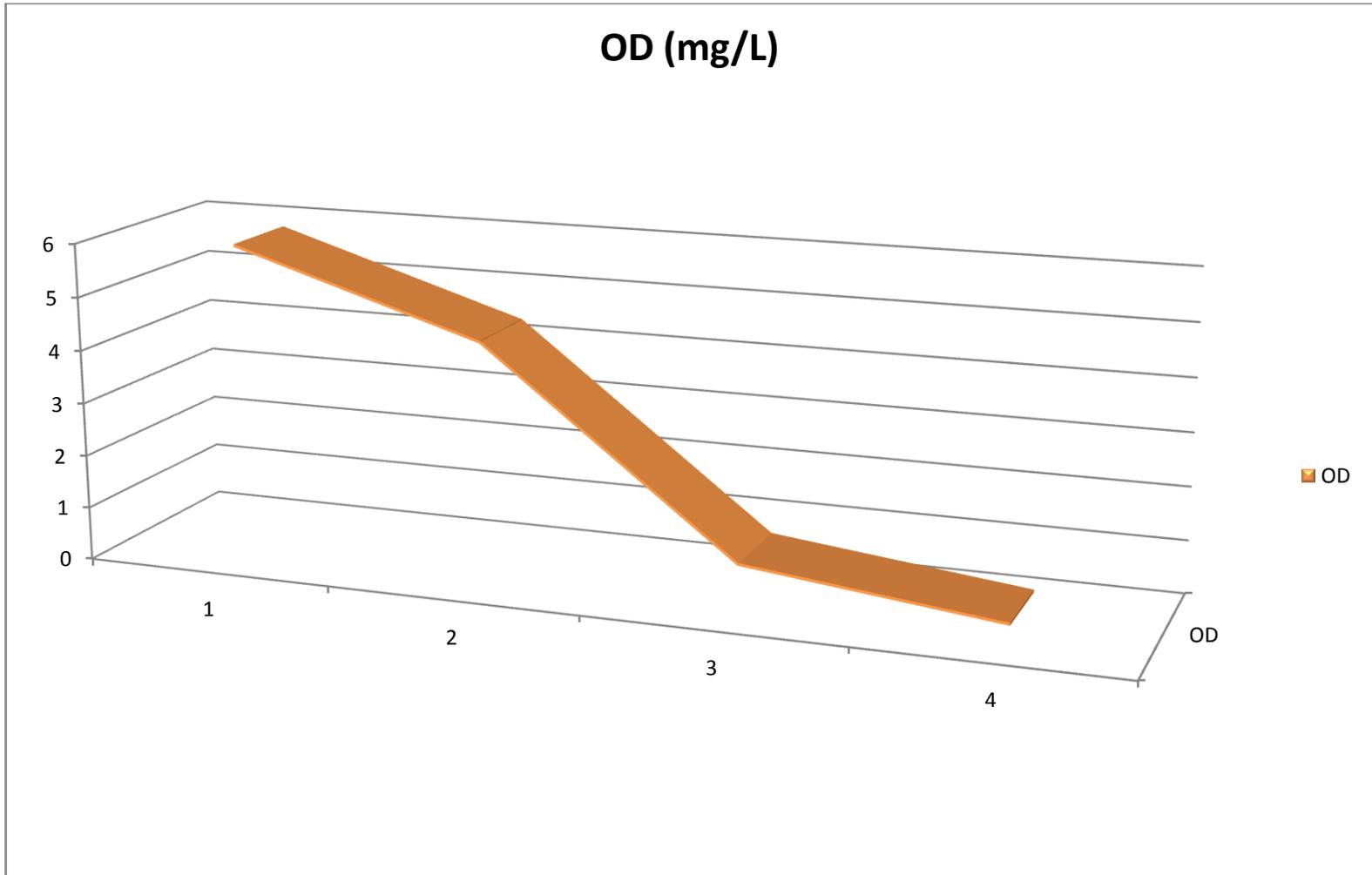
- 1: Tramo 1: Blanco Tiembla - encuentro Mestizal.
- 2: Tramo 2: Encuentro q. Mestizal - encuentro q. Santa Bárbara.
- 3: Tramo 3: Q. Santa Bárbara - encuentro con q. San Pablo.
- 4: Tramo 4: Encuentro con q. San Pablo - río Mondomo.

Figura 9. Carga permisible de DBO₅



Fuente: Propia.

Figura 10. Comportamiento del oxígeno disuelto



Fuente: Propia

Según los resultados de la Figura 10, luego de todo el recorrido de la quebrada Tiembla, podemos observar que a medida que la corriente sigue su recorrido la calidad del agua se va deteriorando significativamente presentando un grado de contaminación alto debido a la acumulación de carga contaminante vertida por parte de las industrias procesadoras de almidón de yuca que no ha sido asimilada satisfactoriamente por parte de la quebrada.

El OD tiende a disminuir logrando únicamente tener valores aceptables para la conservación de flora y fauna en los 2 primeros tramos, y agotándose hasta llegar a valores mínimos en los últimos tramos, incluso llegando a generar condiciones anaerobias que generan olores, sabores y apariencias desagradables (Nemerrow,1998), indicando contaminación con materia orgánica y proliferación de microorganismos: bacterias, virus, hongos, protozoarios y algunos vegetales unicelulares, todos de comportamiento aerobio que para su supervivencia requieren del consumo de oxígeno (APHA, 1999, citado por: Oyarzúm, 2005), producto del vertimiento de rallanderías y vertimientos de agua residual doméstica.

Según la tendencia de La curva registrada en la Figura 10 obtenida mediante la metodología Mesoca; registrada en el CD Objetivos de Calidad expuesto en el (Anexo I) de este trabajo; muestra la carga contaminante en DBO_5 que puede soportar la fuente tomando como referencia valores de 4 mg/L para oxígeno disuelto en todos los tramos, establecidos según el decreto 1594 de 1984, el cual toma este valor como el mínimo para lograr la preservación de flora y fauna en las fuentes hídricas. Donde indica que el tramo 1 soporta la mayor carga contaminante de la quebrada ya que tiene una capacidad de asimilación de 334 Kg/día de DBO_5 , seguidamente el segundo tramo que soporta 304 Kg/día; estos valores se pueden explicar ya que la corriente en esta parte de la zona de estudio no se encuentra tan impactada por los vertimientos de rallanderías y algunas aguas residuales domésticas. La calidad del agua en esta parte de la corriente se encuentra con buenas condiciones fisicoquímicas que permiten la llegada del afluente de la quebrada el Mestizal receptora de los vertimientos de las rallanderías del Llanito; ésta llega a la corriente principal con una mayor carga contaminante, lo que hace que su calidad disminuya; aunque la quebrada lo logra asimilar; sin embargo, a medida que el agua avanza y la descarga de estos vertimientos se va haciendo mayor, la Figura 9 muestra un decaimiento significativo de la capacidad asimiladora de los contaminantes y la autodepuración de la quebrada, logrando que la corriente sobrepase la carga

límite que permite condiciones mínimas de vida, viéndose reflejado claramente en los tramos 3 y 4 de la anterior figura, la cual arroja valores negativos indicando que hay una carga adicional de 746 y 931 Kg/día de DBO₅, producto de la gran cantidad de carga que se está vertiendo.

Además el poco caudal de la quebrada no permite que asimile en gran parte los contaminantes generados por los residuos líquidos, ya que los datos obtenidos en campo fueron estudiados cuando la corriente estaba en condiciones de caudal mínimo.

Sin embargo, la metodología Mesoca desarrollada por el MAVDT, se puede decir que presenta limitaciones para su aplicación porque toma valores de entrada y salida de contaminantes únicamente, sin tener en cuenta condiciones de mezcla, cargas puntuales, y condiciones climáticas, entre otras, que pueden dar datos erróneos en los resultados reportados por la metodología.

Por todo lo anterior se puede catalogar a Mesoca como un modelo de simplicidad porque no considera todos los cambios que ocurren en una fuente hídrica, por lo tanto puede ser una inadecuada forma de describir la complejidad real de los fenómenos físicos que ocurren en los ríos (Boano *et al.*, 2005).

Debido a que la metodología Mesoca no simula todas las condiciones descritas anteriormente y en virtud de descartar conclusiones erróneas, se considera apropiado buscar nuevas alternativas que permitan tener datos más certeros y con mayor objetividad de los procesos que se están realizando sobre la quebrada Tiembra.

Por lo dicho anteriormente se decidió aplicar la modelación de corrientes superficiales fundamentada en las ecuaciones de Streeter y Phelps, para la definición de objetivos de calidad debido a que ya se han realizado estudios basados en este modelo y han arrojado valores confiables, es de fácil manejo y tiene en cuenta mayores variables para su aplicación. Además la corporación tiene experiencia sobre manejo del modelo debido a un estudio realizado al río Palo en la definición de objetivos de calidad.

3.2.4.3 Modelo de Streeter y Phelps

Este es uno de los primeros modelos para los cuerpos fluviales presentado por Streeter y Phelps en 1925. Permite predecir en el caso de las descargas de material orgánico biodegradable su efecto sobre la concentración de oxígeno disuelto.

Para el desarrollo del modelo se tuvo en cuenta las entradas, salidas, cambios bioquímicos y físicos para determinar fenómenos de mezcla y asimilación de contaminantes con el fin de reproducir las condiciones reales que presenta la fuente receptora de vertimientos producto de la extracción de almidón de yuca de la fuente a la que llegan los efluentes y vertimientos.

Como primera fase de funcionamiento se tomaron datos de las características hidráulicas como (caudal, profundidad, área superficial y velocidad del agua) también se tuvo en cuenta calidad del agua de la quebrada, de los afluentes de llegada y de los vertimientos.

Además se seleccionaron las constantes de reaireación y desoxigenación obtenidas mediante ecuaciones registradas en la literatura para cada tramo con su respectiva corrección por temperatura.

A partir de lo anterior, y como dato de entrada del modelo se realizaron los balances de materia de OD y DBO₅ para el cálculo de concentraciones y balance de energía en los puntos de vertimiento, con el fin de encontrar la temperatura de mezcla y de esta manera estimar los valores de oxígeno de saturación después de las descargas.

Después de terminada la modelación en las condiciones más desfavorables de la quebrada se inició el proceso de calibración a partir de los valores teóricos de las constantes hasta lograr una desviación aceptable entre los datos medidos y modelados.

La desviación estándar para el OD como para la DBO₅ fue determinada mediante:

$$DS = \left(\frac{\| \text{Parámetro medido} - \text{Parámetro modelado} \|}{\text{Parámetro medido}} \right)$$

Considerando porcentajes menores al 8% como aceptables.

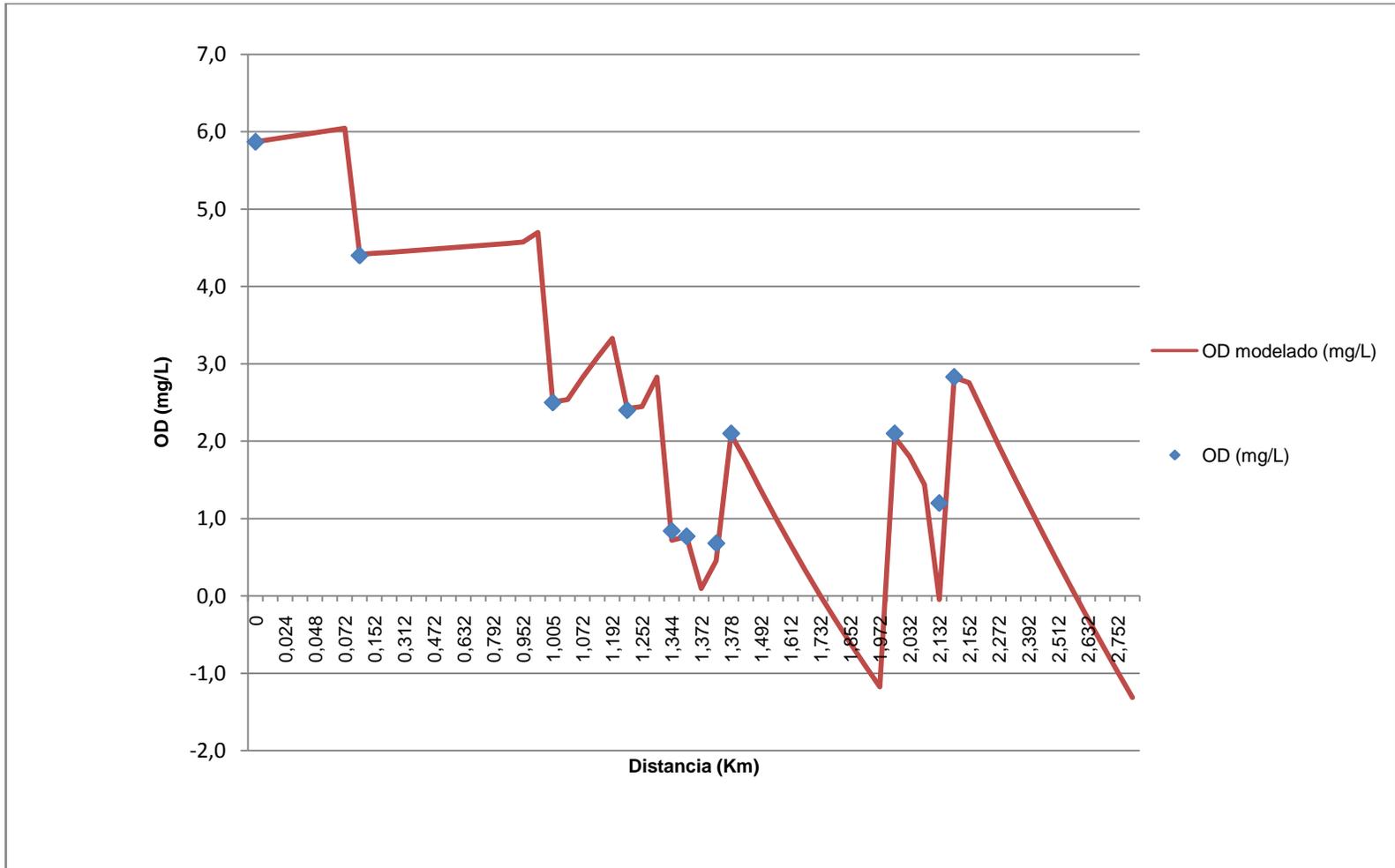
Para la simulación del modelo, se utilizaron valores de caudal mínimo, promedio, y máximo con una producción promedio de las rallanderías, además se redujeron cargas contaminantes pretendiendo obtener valores de oxígeno disuelto de 4,0 mg/L que indica las condiciones mínimas con el fin de mantener flora y fauna establecido por el decreto 1594 de 1984.

A partir de lo anterior se obtuvo la carga máxima permisible y objetivos de calidad de la quebrada; convirtiéndose de esta forma en una herramienta de planeación para el manejo y administración de la corriente analizada.

3.2.4.3.1 Presentación del modelo con constantes determinadas por las ecuaciones de la literatura

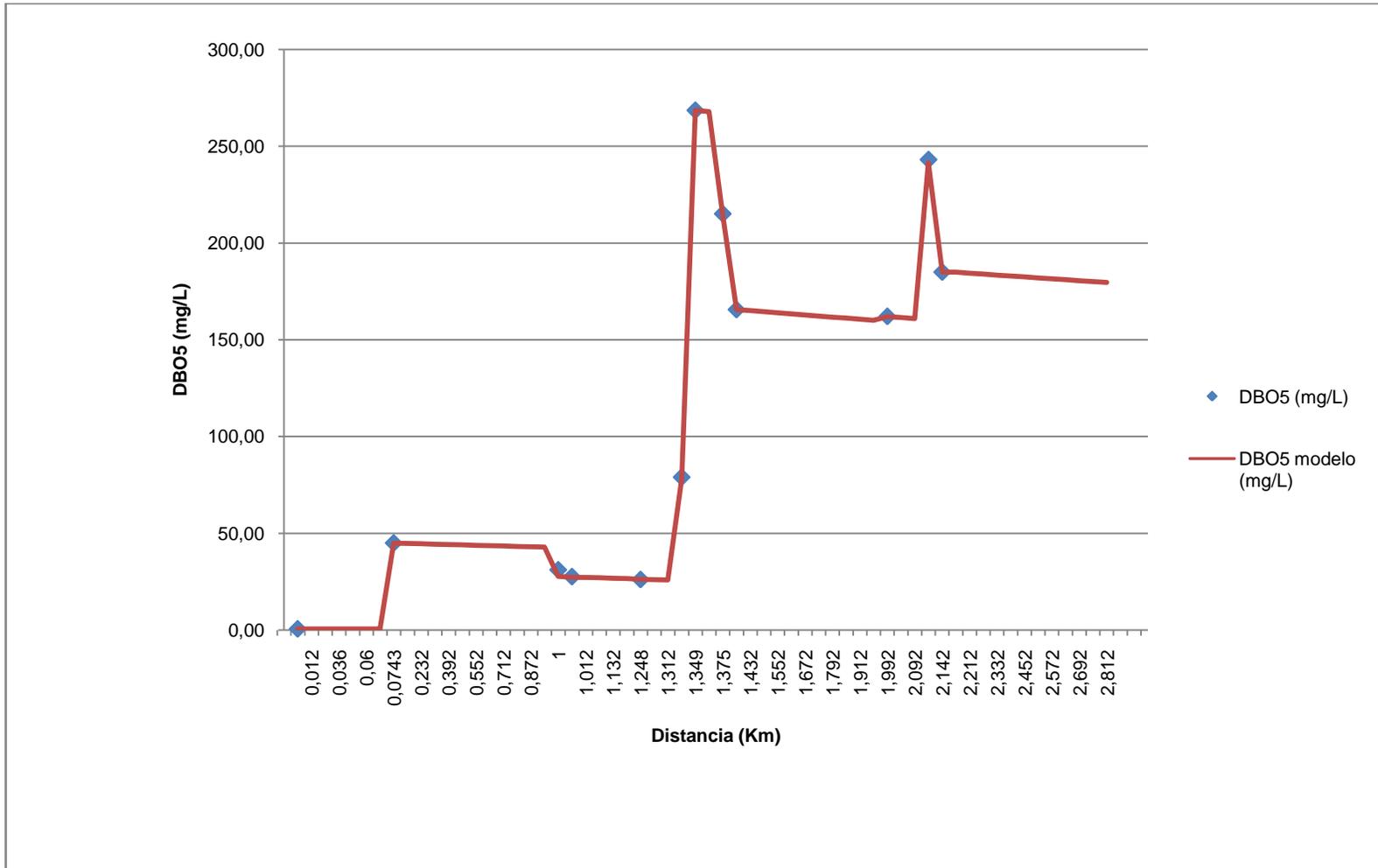
En las Figuras 11 y 12 se observa el comportamiento de OD y DBO_5 a lo largo de la quebrada según la modelación de Streeter y Phelps con datos obtenidos en campo y las constantes obtenidas por la literatura.

Figura 11. Representación del OD mediante el modelo de Streeter y Phelps.



Fuente: Propia.

Figura 12. Representación de la DBO₅ mediante el modelo de Streeter y Phelps



Fuente: Propia.

Las Figuras 11 y 12 muestran los valores obtenidos para OD y DBO₅, se graficaron con los parámetros fisicoquímicos obtenidos en la segunda campaña de muestreo. Además de las respectivas constantes definidas por la metodología Mesoca, a partir de las ecuaciones que se encuentran en la literatura se utilizaron constantes de transformación de materia orgánica y de reaeración de la quebrada Tiembra para los tramos que ya se habían definido anteriormente.

Nota: Los valores negativos de la Figura 11, aparecen porque aún no se ha calibrado el modelo mediante las constantes de reaeración y desoxigenación, lo que permite subestimar condiciones reales de la zona.

Debido a que existen zonas donde los valores arrojados por el modelo se encuentran por encima de los obtenidos en campo, se realizará el proceso de calibración de tal forma que los datos tomados en campo y los modelados coincidan de manera representativa.

3.2.4.3.2 Calibración del modelo Streeter y Phelps

La calibración se estableció de acuerdo con valores reportados en la literatura teniendo en cuenta las condiciones de la fuente. Estos valores se registran en la Tabla 21.

Los valores definidos fueron los que mejor se ajustaron al modelo, determinado mediante la desviación estándar realizada a los datos tomados en campo para condiciones críticas y los obtenidos por el modelo (ver CD, anexo I), optando por los que generaran una desviación menor al 10%; los cuales se verificaron en la modelación de la primera campaña realizada en tiempo de lluvias, confirmando la calibración del modelo ya que dio como resultado un ajuste similar en las dos campañas. Estos valores se reportan en la Tabla 22.

Tabla 21. Valores de K_2 y K_d reportados por la literatura

Tipo de Río	V (m/s)	K_2 (d-1)	K_d (d-1)
Velocidad baja	0,03 - 0,2	0,1 - 1,0	0,03 - 0,7
Velocidad moderada	0,2 - 0,6	1,0 - 5,0	0,03 - 2,5
Rápidos	0,6 - 1,8	1,0 - 10,0	0,2 - 3,3

Fuente: Streeter y Phelps, 1925

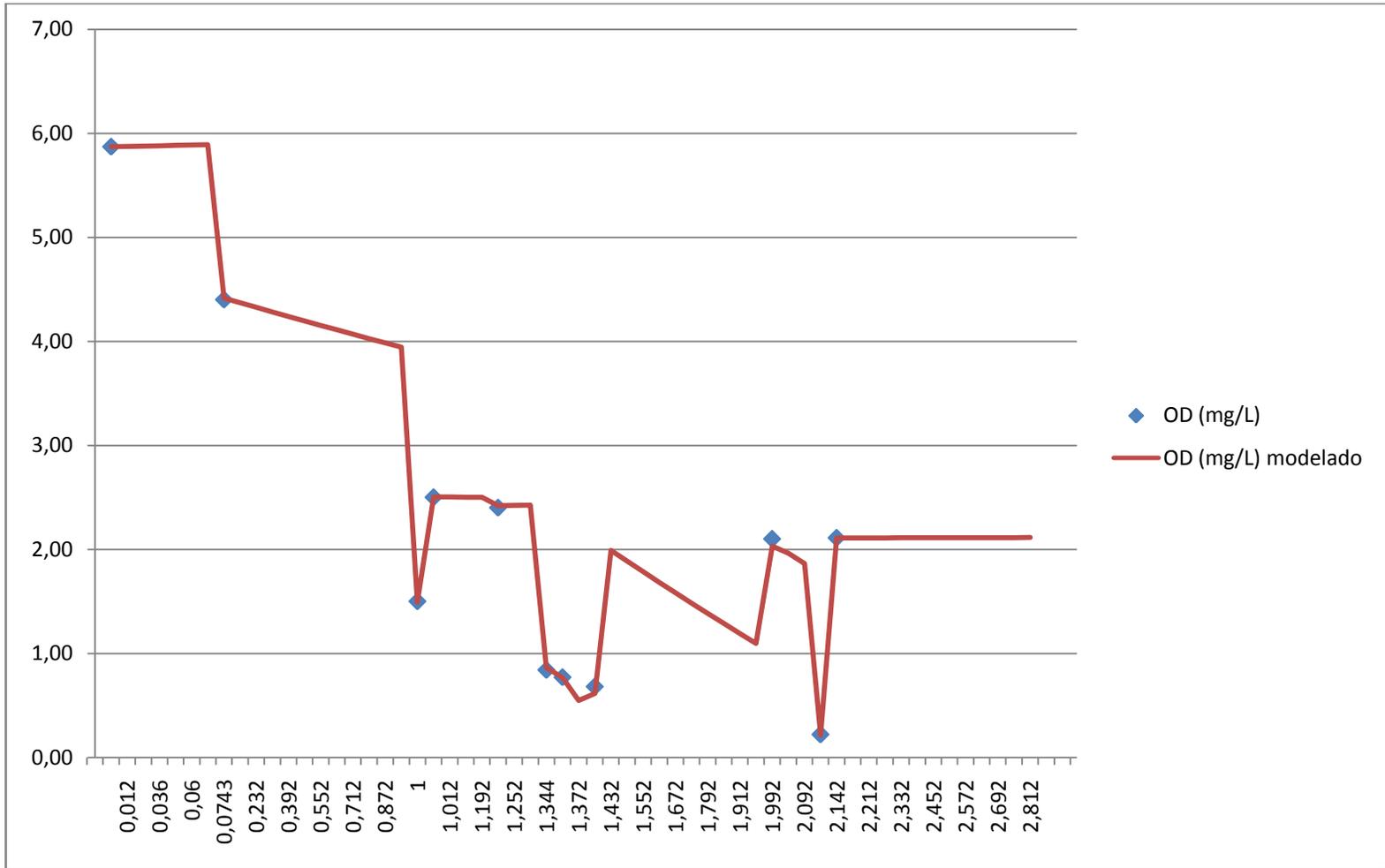
Tabla 22. Constantes tomadas para la calibración

Tramo	K_d	$K_2=K_a$
1	0,05	1
2	0,08	1
3	0,03	2,3
4	0.23	9

Fuente: Propia

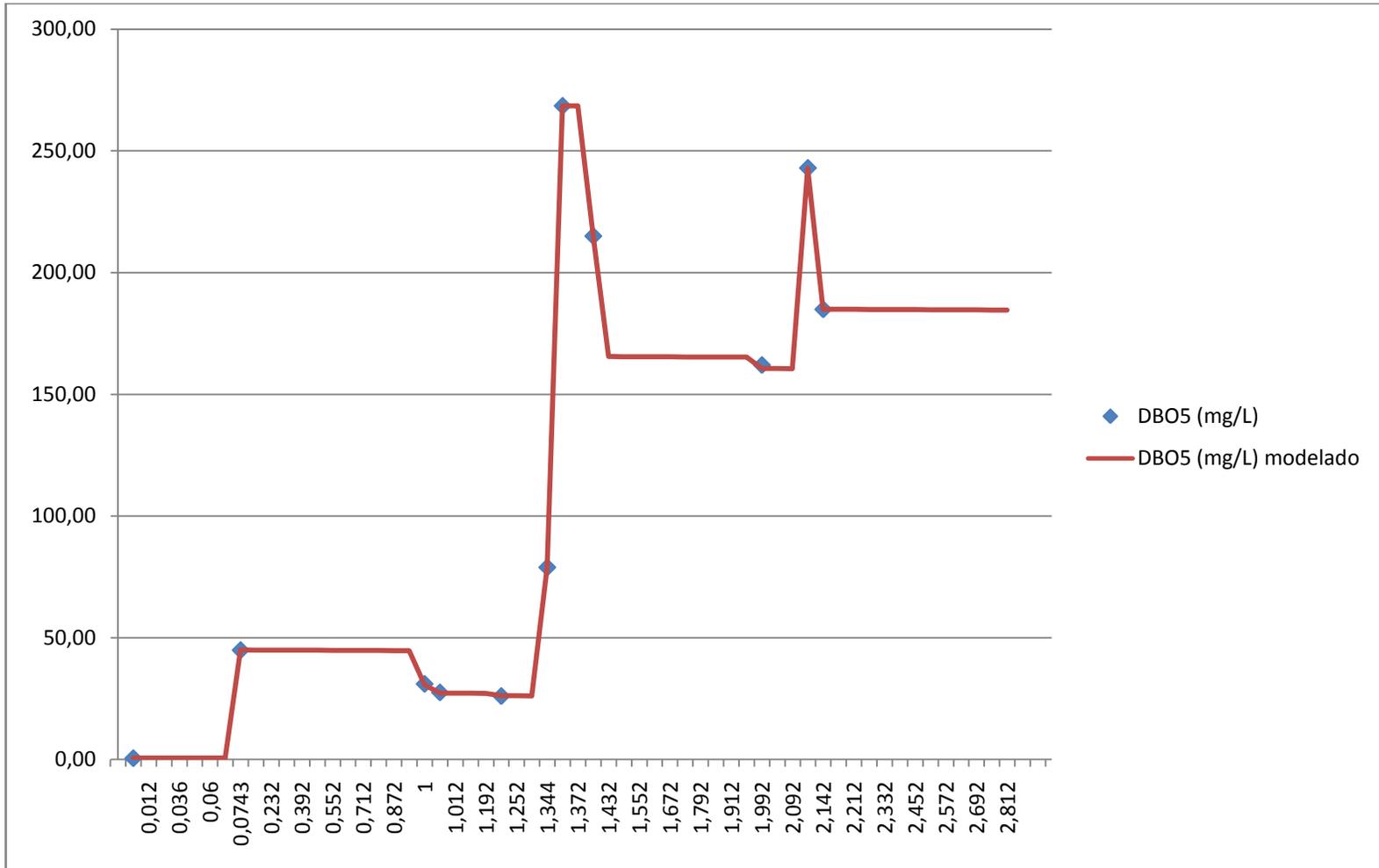
En las Figuras 13 y 14 se puede apreciar el comportamiento del OD y DBO_5 a lo largo de la corriente, mediante el uso de la calibración del modelo de Streeter y Phelps.

Figura 13. Calibración del OD mediante el modelo Streeter y phelps.



Fuente: Propia

Figura 14. Calibración de la DBO₅ mediante el modelo de Streeter y Phelps.



Fuente: Propia.

La calibración evidentemente mejoró la modelación de los datos ya que los valores tomados en campo se acercan significativamente a los valores modelados, con una desviación del 0% en los dos primeros tramos y menores a 8% en los dos últimos (ver CD de objetivos de calidad Anexo I). Sin embargo se deben tener en cuenta que la cantidad de datos reproducibles en el modelo fueron pocos, teniendo en cuenta que se estudian sistemas dinámicos en donde cualquier alteración a nivel fisicoquímico puede alterar las condiciones de la corriente en cualquier lapso de tiempo. De manera que es importante la obtención de la mayor cantidad de datos posible para la modelación o estudio de una corriente, de tal forma que evite caer en errores de interpretación de datos y conclusiones erróneas acerca del estado de calidad de la fuente.

Además es necesario que las constantes que se utilicen para la calibración de la modelación se representen en diferentes condiciones climáticas que generen cambios en la quebrada con el fin de obtener constantes más confiables.

3.2.4.3.3 Análisis de la modelación con los valores obtenidos

Las tendencias de las Figuras 13 y 14 indican una proporcionalidad inversa en cuanto a los parámetros de OD y DBO₅ analizados; sin embargo, en cada tramo de la quebrada se generan situaciones diferentes que afectan de manera positiva o negativa las condiciones de la fuente hídrica.

En el primer tramo que va desde la toma de la muestra del blanco de la quebrada Tiembra, hasta el encuentro con la quebrada el Mestizal, aproximadamente a unos 70 m aguas arriba de la llegada de los afluentes y vertimientos de rallanderías, se observan buenas condiciones del agua y se registran valores de 5,9 mg/L y 0,5 mg/L, de OD y DBO₅ respectivamente; lo cual evidencia la ausencia de vertimientos y actividades antrópicas que alteren de manera negativa las condiciones de esta parte de la quebrada; sin embargo, para el final del primer tramo y el comienzo del segundo se genera una caída en el OD y aumento en la DBO₅, lo cual se evidencia a una distancia de 740 m que se representa en las Figuras 13 y 14, esto ocurre porque en este punto la corriente principal recibe las aguas de la quebrada Mestizal la cual llega con un OD de 2,02 mg/L y una DBO₅ de 118 mg/L, atribuidos a las rallanderías ubicadas en la vereda el Llanito del corregimiento de Mondomo, que vierte sus desechos líquidos a este afluente impactando la quebrada Tiembra negativamente ya que en la mezcla de la

corriente se dan resultados de 4,42 mg/L y 44,9 mg/L de OD y DBO₅ respectivamente. Luego sigue el tramo número 2 donde se aprecia una disminución del OD y una tendencia constante en la DBO₅ ya que la variación en el OD no es significativa, este hecho puede haber ocurrido por la corta distancia que recorre el agua, lo que hace que no se genere una buena reaeración y dilución de los contaminantes que ayude a la auto purificación de la quebrada y se mantenga en proceso de mezcla; sin embargo, en el punto de monitoreo de la calidad del agua realizado en este tramo inmediatamente antes de la llegada de la quebrada Lomagorda, se registraron valores cercanos al 1,5 mg/L en OD y de 31 mg/L de DBO₅ indicando un descenso en ambos parámetros, respecto a los tomados en la mezcla, esta disminución drástica del OD puede significar la presencia de vertimientos no registrados, sin embargo, no se pueden descartar errores en el resultado de la muestra ya que es la única situación donde ocurre esta disminución simultánea.

Después a un kilómetro del blanco se encontró con la llegada de la quebrada Lomagorda, que entra a la fuente con agua de muy buena calidad, mejorando de manera parcial las condiciones fisicoquímicas de la corriente, logrando un incremento de OD en 2,5 mg/L y bajando a 27,15 mg/L la DBO₅; este mejoramiento se debe a que la quebrada Lomagorda no recibe ningún vertimiento proveniente de las rallanderías las cuales son las que aportan la mayor carga contaminante a la fuente hídrica.

También en las Figuras 13 y 14 se puede apreciar que durante cierta distancia permanecen constantes las condiciones de la quebrada a pesar que se encuentra un vertimiento proveniente de la rallandería Santa Bárbara, lo que indica que no se encontraba operando en el momento de la toma de la muestra.

Después de esto en una segunda estación de monitoreo realizada al tramo 2, a unos 344 m aguas abajo del primer kilómetro de recorrido se obtienen datos de 0,85 mg/L para OD y 79 mg/L para la DBO₅, que demuestra que las condiciones del agua se encuentran afectadas por factores externos, posiblemente por vertimientos no registrados o posibles procesos biológicos que están alterando de manera negativa las condiciones de la fuente.

Finalizando este tramo y comenzando el 3 se encuentra el afluente de la quebrada Santa Bárbara la cual aporta gran carga contaminante porque recibe los vertimientos de la rallandería “Los Canelos” que es la más grande

de la zona y comparada con una rallandería tradicional tiene una relación de 3 a 1 en cuanto a producción, porque procesa unos 15000 Kg diarios de yuca lo que hace que la figura presente el pico bajo en OD y el alto en DBO₅.

En este tramo y a una distancia de 1380 m del blanco de Tiembla, llega la quebrada Los Morados en condiciones favorables que genera un aporte positivo a la fuente, hasta llegar al último monitoreo de la quebrada y registrar el valor mínimo de OD y un aumento en la DBO₅ a causa del vertimiento de algunas rallanderías de la vereda el Pedregal, un vertimiento de ARD al cual no se le realizó el estudio por falta de recursos y a la acumulación de carga contaminante que no se ha podido degradar.

Para el último tramo se observa un mejoramiento de las condiciones de la corriente, lo cual ocurre porque la quebrada San Pablo entra al sistema en buenas condiciones y con un buen aporte de caudal que favorece las condiciones de la quebrada Tiembla, adicional a esto se debe tener en cuenta que la quebrada San Pablo recibe los vertimientos de 3 rallanderías que el día de la campaña de muestreo no se encontraban en jornada de producción.

4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 APLICACIÓN DE LA MODELACIÓN Y METAS DE REDUCCIÓN

Para la aplicación del modelo se tendrán en cuenta 2 fases de estudio, la primera corresponde a la utilización de los caudales mínimo, promedio y máximo los cuales se obtuvieron a partir de registros de precipitación tomados entre los años de (1979-2008) de la estación hidrométrica de Mondomo (ver Anexo E), y mediante el método de obtención de caudales para conservación y uso del suelo, que se encuentran reportados en la zona de estudio. De acuerdo a esto se plantearon tres escenarios en donde se hará una corrida iterativa con:

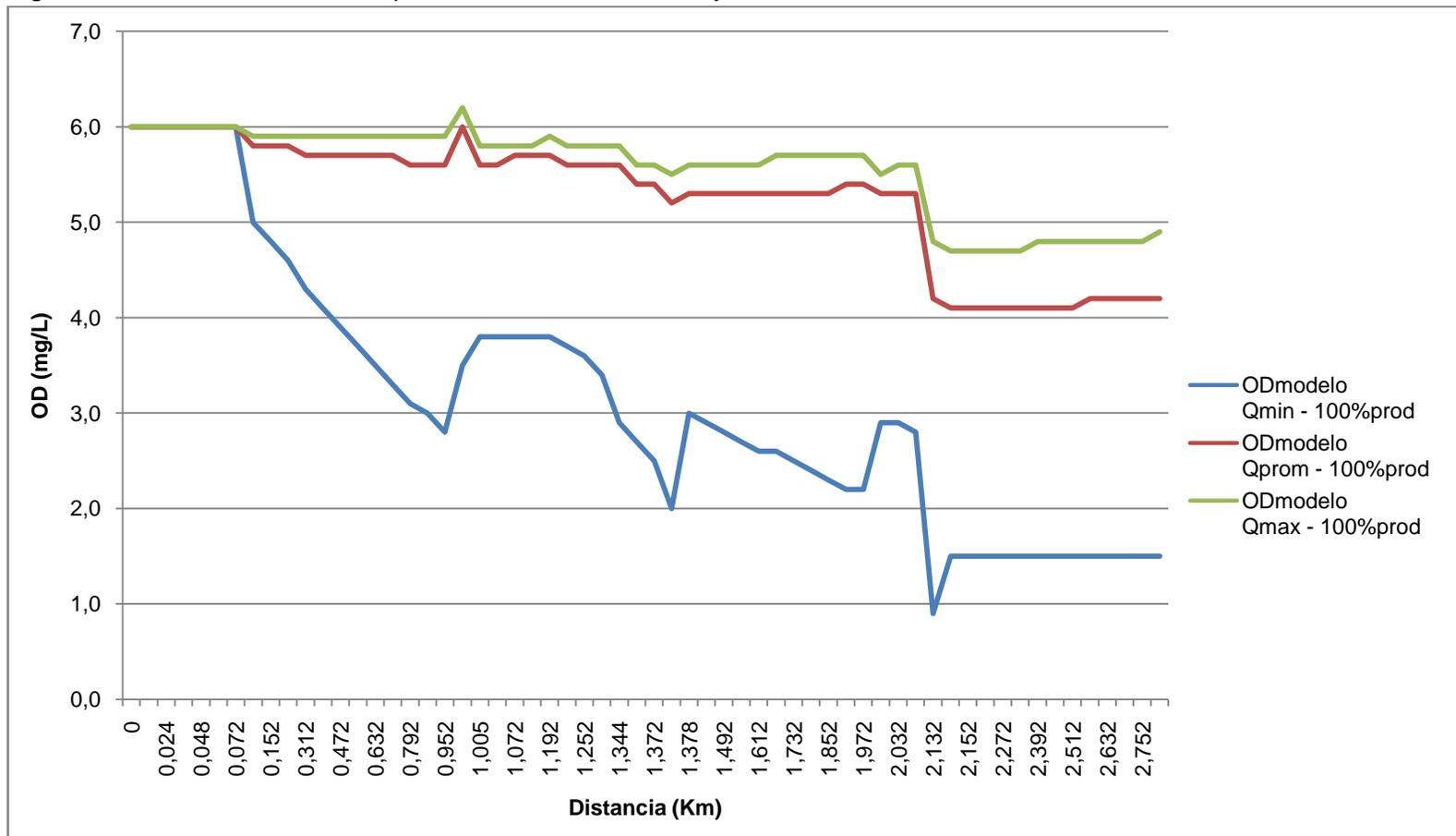
- ✓ El caudal mínimo de la quebrada y producción máxima establecida por los propietarios en cada rallandería.
- ✓ El caudal medio y producción máxima establecida por los propietarios en cada rallandería.
- ✓ El caudal máximo y producción máxima establecida por los propietarios en cada rallandería.

Para la segunda fase de estudio se redujeron porcentajes de carga contaminante de las rallanderías con el caudal mínimo de la quebrada con el fin de determinar la carga permisible de la quebrada, generando 3 escenarios:

- ✓ Caudal mínimo y el 50% de reducción de la carga contaminante.
- ✓ Caudal mínimo y el 70% de reducción de la carga contaminante.
- ✓ Caudal mínimo y el 90% de reducción de la carga contaminante.

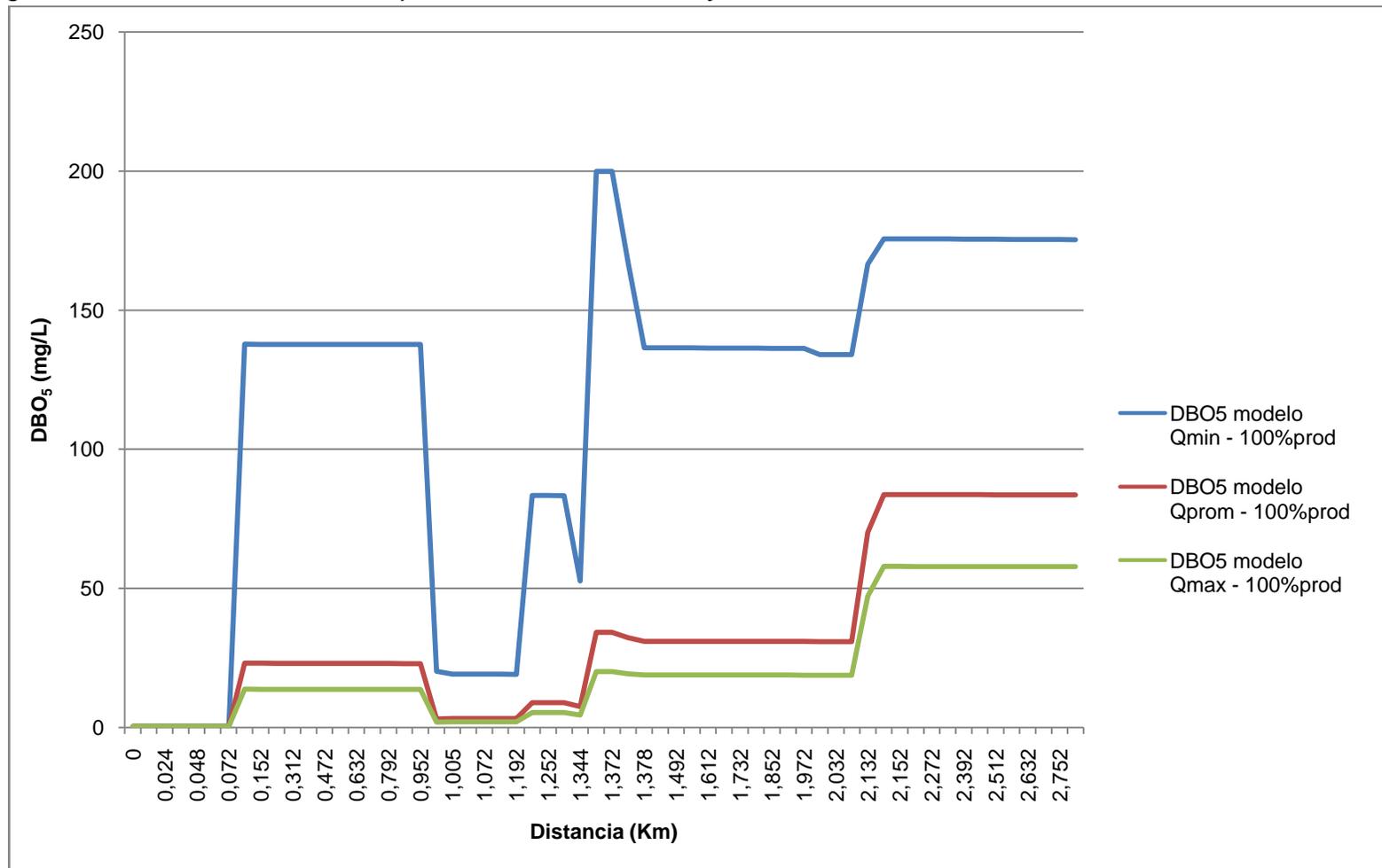
4.1.1 FASE 1: Representación del OD para los tres escenarios

Figura 15. Resultado del OD para los escenarios 1, 2 y 3



Fuente: Propia

Figura 16. Resultado de la DBO₅ para los escenarios 1, 2 y 3



Fuente: Propia.

Según la tendencia de la Figura 15, para un caudal mínimo de 40 L/s en la quebrada, el tramo 1 es el único que mantiene condiciones favorables en la fuente, aunque hay un descenso en el oxígeno disuelto y por consiguiente un crecimiento en la Demanda Bioquímica de Oxígeno a causa de la llegada de un afluente de mayor carga contaminante; este punto de la zona de estudio se conserva dentro de los valores permisibles de OD para la preservación de flora y fauna; sin embargo, los tramos 2, 3 y 4 mantienen sus concentraciones por debajo de 4 mg/L incluso llegando a valores de 0,8 mg/L de OD en la última sesión de la quebrada, lo que crea condiciones insostenibles para el desarrollo de la biota acuática.

Para un caudal promedio de 324 L/s, la Figura 15 muestra un mejoramiento en los tramos 2 y 4, haciendo que el valor más bajo de OD encontrado en condiciones de caudal mínimo llegara al valor de límite permisible de 4mg/L, logrando que toda la quebrada tenga un proceso de auto purificación, manteniéndose en condiciones favorables capaz de sostener los ecosistemas acuáticos y conservar las formas de vida de estos sistemas. Sin embargo, la DBO₅ todavía registra valores por encima de 10 mg/L lo que indica que aún hay materia orgánica presente en la fuente lo cual puede ocasionar problemas en la calidad del agua.

Evidentemente y de acuerdo al resultado de las Figuras 15 y 16, la quebrada al estar en su caudal máximo, tiene una capacidad mayor de asimilar mejor los contaminantes que ayudan al mantenimiento de los recursos naturales, provocando un impacto positivo sobre la fuente y su paisaje.

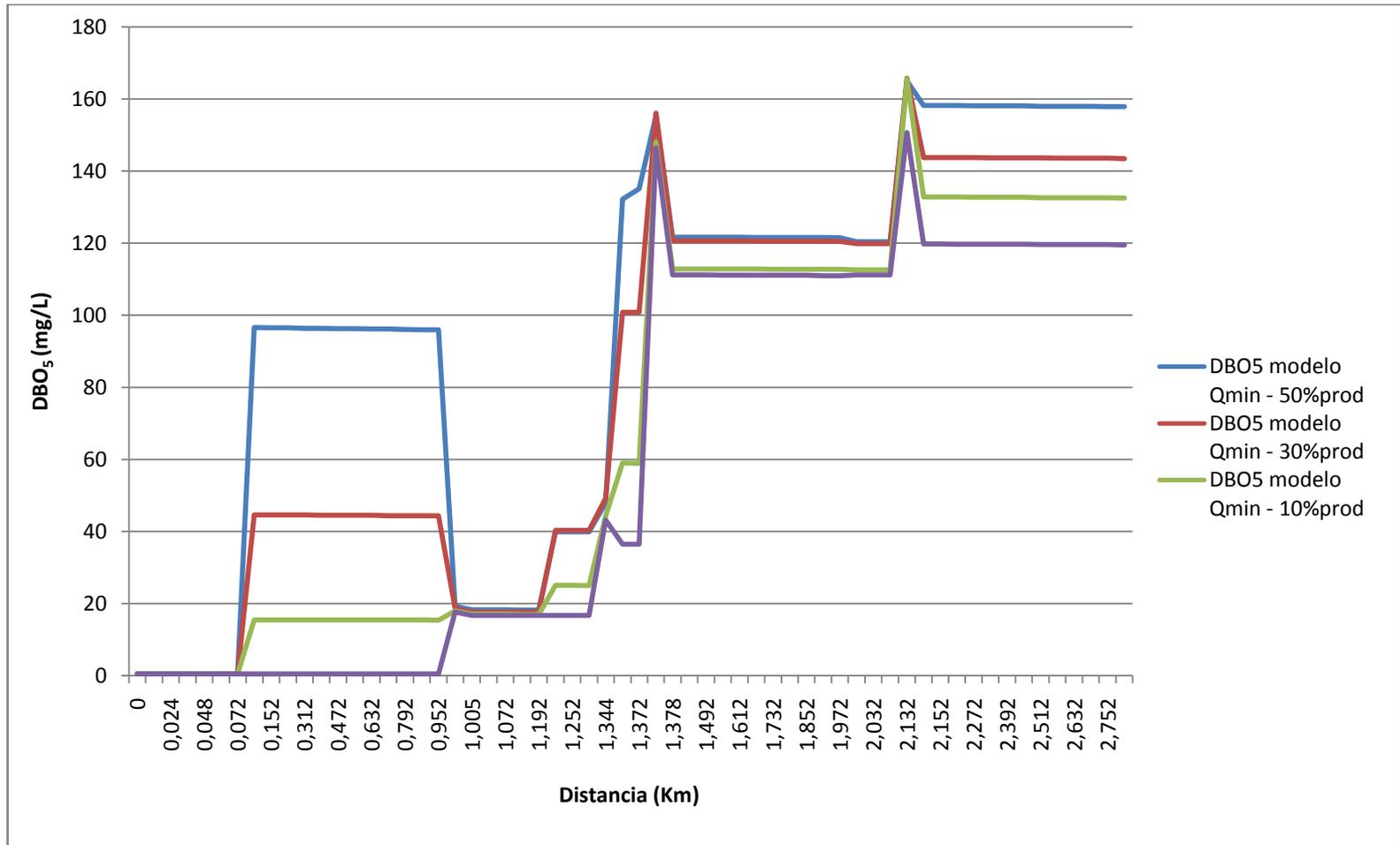
4.1.2 Fase 2 Representación de los escenarios con reducción de carga contaminante

Figura 17. Resultados del OD de los escenarios 1, 2 y 3 con reducción de cargas



Fuente: Propia

Figura 18. Resultados del DBO₅ de los escenarios 1, 2 y 3 con reducción de cargas



Fuente: Propia

Según los datos presentados en la simulación y de acuerdo a la Figura 17, cuando en la quebrada se presenta el caudal mínimo y se reciben los vertimientos de una producción total de las rallanderías a una distancia aproximadamente de 950 m que incluye tramo 1 y parte del tramo 2, es la única parte donde se mantienen condiciones aceptables de OD; como para los demás tramos no se cumplió mejorar las condiciones se simuló con una reducción del 50% de la producción total, con el fin de observar el comportamiento de la quebrada.

En estas condiciones la Figura 17 muestra que se genera una recuperación de la calidad del agua de la corriente, logrando alcanzar los límites permisibles de oxígeno disuelto para la preservación de flora y fauna hasta unos 1350 m del inicio del estudio de la quebrada, identificado como aguas abajo del vertimiento de la rallandería Santa Bárbara, aunque se logró recuperar el valor de OD los últimos tramos de la quebrada no cumplieron con los valores de conservación.

Como no se obtuvieron los valores deseados en gran parte de la quebrada que indiquen la conservación del ecosistema acuático, se procedió a simular la fuente hídrica teniendo en cuenta una disminución de producción del 70 y 90%, obteniendo como resultado un comportamiento similar para las dos, aunque las condiciones mejoran un poco para el OD y la DBO₅ lo cual es consistente porque se le está disminuyendo gran parte de la carga contaminante a la corriente, no se logró que en los últimos tramos de la quebrada se generara una recuperación del recurso hídrico con el fin de mantener el equilibrio ecológico. Por lo tanto y como última alternativa se optó por simular el modelo partiendo que la quebrada no estuviera recibiendo aportes por parte de las rallanderías, con el fin de analizar posibles causas de su alteración.

Al realizar esta reducción se observó una mejoría respecto a los valores de OD y DBO₅, pero no alcanzan los límites permisibles en la parte final de la fuente que mantengan condiciones favorables para el desarrollo de la vida acuática en la quebrada. Esta situación podría ser por la proliferación de algún ente biológico que está degradando la materia orgánica lo cual es atribuido a las algas, esto puede ocurrir ya que en el proceso de extracción de almidón de yuca se genera un subproducto llamado mancha con cierto grado de material proteico, y estos a su vez, contienen nitrógeno y fósforo según Colin et al., (2007) con una relación de 4 a 1. Sin embargo; aunque este subproducto se genera en una mínima proporción posiblemente la

continua descarga de los vertimientos a través de los años, pudo haber ocasionado que se adhiran estos nutrientes sobre el lecho rocoso de la quebrada generando lamas (ver registro fotográfico, anexo I), que provocan la formación de esta clase de organismos; además, los valores obtenidos de temperatura y pH no son impedimento para que estos se desarrollen porque de acuerdo con la literatura a temperaturas entre 18 y 20 °C, y pH alrededor de 4.5 y 4 pueden proliferar las picocianobacterias planctónicas y las cianobacterias filamentosas ramificadas respectivamente (Ramírez et al., 2007).

4.2 CARGAS PERMISIBLES

Según los resultados obtenidos en la simulación de la quebrada Tiembla, la fuente presenta muy poca capacidad de dilución de la carga contaminante vertida, lo que hace necesario determinar hasta qué punto la quebrada puede mantenerse en condiciones aceptables que no degrade el agua de la corriente y perjudique el equilibrio del sistema, esto se realizará teniendo en cuenta el caudal medio de la quebrada, ya que para caudal mínimo la fuente no alcanza a cumplir con la meta de calidad a pesar de reducir un alto porcentaje del total de carga registrada, indicando que la corriente no se recupera de inmediato posiblemente a circunstancias externas las cuales fueron mencionadas anteriormente.

De acuerdo con lo anterior la meta de calidad propuesta para el presente estudio, será la establecida por el Ras para la preservación de flora y fauna, donde el OD no debe ser menor a 4 mg/L y para los tramos que presenten carga orgánica muy elevada se hará según lo establecido por la EPA, el cual indica que para aguas residuales industriales la DBO₅ no debe ser mayor a 30 mg/L.

En la Tabla 23 se reportan los valores de cargas máximas permisibles para cada uno de los tramos.

Tabla 23. *Cargas máximas permisibles*

Tramo	Carga vertida (Kg/día)	Carga máxima (Kg/día)
1	-	-
2	250	320
3	576	403
4	867	41

Fuente: Propia.

4.3 ANÁLISIS DE LA MODELACIÓN

La modelación de calidad de agua de la quebrada Tiembra ha demostrado diferentes estados que pueden presentarse a lo largo de una corriente mediante los resultados fisicoquímicos, y permiten observar como las condiciones de diferentes fuentes pueden cambiar de manera positiva o negativa el estado de un sistema.

La modelación de los datos de la campaña 2 fue realizada en tiempo de verano con caudal mínimo; por lo tanto se logró percibir que a estas condiciones la dinámica de la fuente pudo verse afectada por diferentes factores que alteran las condiciones de vida del lugar; una de ellas es el tiempo al cual ha estado expuesta la quebrada a las descargas regulares provenientes de las rallanderías, ya que estas contienen gran carga contaminante que ha causado que las condiciones de vida acuática presentes en la corriente se hayan disminuido notablemente debido a los impactos negativos que causan los vertimientos industriales, porque adicionan cargas de DBO_5 que generan mayor actividad bacteriana, y por lo tanto mayor consumo de oxígeno (Nemerow, 1998), y de alguna manera demuestran que la quebrada sufre alteraciones considerables que modifican el equilibrio ecológico, ya que no es capaz de asimilar los contaminantes porque no puede realizar un proceso de autodepuración que mejore las condiciones de vida del lugar.

Por el contrario cuando se modeló con condiciones para la quebrada de caudal medio (324 L/s), se pudo percibir que la corriente es capaz de realizar el proceso de dilución. Por lo tanto para este caudal se mantienen condiciones favorables para diferentes actividades en la parte inicial de la corriente, y aceptables en el tramo final debido a las alteraciones que sufre esta parte de la zona de estudio, ya que es la más vulnerable a los vertimientos generados por las industrias procesadoras de almidón de yuca.

Con base en la simulación de reducción de carga contaminante hasta llegar a condiciones favorables de la fuente hídrica a partir de la disminución en la producción de almidón de yuca y de los vertimientos de agua residual domésticos reportados para caudal mínimo; se obtuvo que el tramo 1 y gran parte del tramo 2 fueron los únicos que lograron obtener valores mayores o iguales a 4mg/L, que es el indicador de la existencia de la biota acuática especialmente peces, indicando que en esta zona se pueden presentar condiciones muy favorables para el equilibrio ecológico.

A pesar de haber logrado un aumento del oxígeno disuelto y por consiguiente una disminución de la DBO_5 en algunos tramos de la quebrada, no se logró obtener resultados favorables en la parte final de la corriente, incluso en condiciones nulas de producción, lo que indica que se pueden estar presentando situaciones ajenas a las establecidas que están alterando negativamente la corriente. Entre los posibles eventos que pueden estar ocurriendo, se encuentra la proliferación de algas que aparecen a causa de las características químicas y biológicas que presentan los vertimientos que se descargan a la quebrada por parte de las rallanderías, lo cual fue detallado con mayor precisión en el análisis de las gráficas de reducción de carga; otro de los factores que pueden estar alterando las condiciones fisicoquímicas de la corriente de manera negativa es la presencia de rallanderías o vertimientos de aguas residuales domésticas que no se pudieron identificar durante las visitas realizadas a la zona de estudio. Además, se debe tener en cuenta la falta de datos precisos suministrados por los rallanderos respecto a la producción, ya que estos pueden alterar los resultados.

Para la calibración del modelo se puede decir que este puede presentar cierto nivel de incertidumbre, ya que las ecuaciones empleadas han sido formuladas para ríos de otros países que presentan diferentes condiciones en los procesos fisicoquímicos y biológicos; además los datos obtenidos fueron insuficientes para una mejor simulación de las condiciones reales de la quebrada, que sería lo ideal para obtener valores confiables; de igual manera la carga orgánica generada por los vertimientos en el proceso de extracción de almidón de yuca hizo que en algunas partes de la quebrada se presentaran situaciones anormales a las de la literatura, ya que el OD y la DBO_5 disminuyeron de manera simultánea probablemente por la acción inhibitoria conocida del cianuro (Solomonson, 1981), que no permite detectar de manera analítica las concentraciones verdaderas de la quebrada Tiembla, también el modelo basado en las ecuaciones de Streeter y Phelps puede presentar errores ya que considera que las descargas son de manera continua, lo cual no se presenta en las rallanderías debido a que se realizan de manera intermitente o discontinua; otro factor del modelo es que considera que las condiciones de mezcla se producen de manera instantánea cuando a la fuente principal se le incorpora otro afluente, lo cual no es consistente ya que las mezclas ocurren a cierto grado de distancia. En general los resultados obtenidos de simulación se pueden considerar consistentes, desde el punto de vista de calidad del agua de la corriente estudiada, ya que las condiciones fisicoquímicas van cambiando de manera

negativa a medida que se le incorporan vertimientos con condiciones desfavorables a la corriente principal, pero se presentan también puntos donde la corriente mejora un poco por la incorporación de corrientes con condiciones favorables.

4.4 DEFINICIÓN DE OBJETIVOS DE CALIDAD

Con la información mencionada anteriormente; en esta parte del trabajo se van a definir los objetivos de calidad por cada tramo estudiado; identificando el uso predominante y el uso potencial, basados en la normatividad colombiana e internacional y los valores obtenidos durante las campañas de monitoreo realizadas.

Hay que tener en cuenta que para la definición de los objetivos de calidad, se establecieron de acuerdo con los valores obtenidos de caudal medio y con la producción reportada por parte de las rallanderías; los resultados se presentan en las Tablas 24, 25, 26 y 27.

Tramo 1. Blanco quebrada Tiembla- confluencia quebrada Mestizal

- Uso predominante: Conservación de flora y fauna
- Uso potencial: Consumo domestico

Tabla 24. *Definición de objetivos de calidad para el primer tramo.*

Parámetro	Unidad	Índice			Objetivo de calidad	Nota de justificación
		Actual	Nivel Normativo	Deseado		
OD	mg/L	5,1	>4,0	6	>5,0	El nivel normativo >4 fue consultado en el RAS y el decreto 1594 de 1984, el objetivo de calidad se estableció con base en los valores registrados durante las campañas de monitoreo.
DBO ₅	mg/L	0,48	<30	<2,0	<2,0	En este tramo de la corriente, se puede observar que el valor obtenido de DBO ₅ cumple con los valores establecidos por CONAMA 2005, lo cual indica que esta parte de la zona de estudio presenta buenas condiciones de calidad del agua. También se puede inferir que en este tramo la actividad antrópica es muy poca debido a los datos obtenidos de OD y DBO ₅ . Se establece un valor < 2,0 mg/L para el objetivo de calidad con base en la normatividad CONAMA para estos usos del agua.
SST	mg/L	7,0	<=25	<10	<10	El nivel normativo consultado fue la Metodología estadística para la medición de la calidad de los recursos hídricos en los países de la comunidad andina; para la definición del objetivo de calidad se tuvo en cuenta valores reportados en el estudio realizado, ya que a menor valor de SST, indica que las características del agua son mejores.
pH	Unid	4,62	6,5-9,0	5,6-9,0	5,6-9,0	El agua de las rallanderías tiene condiciones ácidas porque contiene carbohidratos fácilmente hidrolizables que favorecen la fermentación natural, y por consiguiente la formación de ácidos grasos volátiles, incidiendo en los valores bajos de pH, el objetivo de calidad se fijo de acuerdo a la guía Mesoca, ya que establece un mejoramiento en la calidad del agua de un 20%.
T	°C	19	_____	_____	_____	Debido a que este es un parámetro de difícil control, no se recomienda fijarle objetivo de calidad.

Fuente: propia

Tramo 2. Desembocadura Mestizal- llegada quebrada Santa Bárbara

- Uso Predominante: Dilución y asimilación.
- Uso Potencial: Agrícola

Tabla 25. Definición de objetivo de calidad para el segundo tramo

Parámetro	Unidad	Índice			Objetivo de calidad	Nota de justificación
		Actual	Nivel normativo	Deseado		
OD	mg/L	4,9	>4,0	5	4	El nivel normativo consultado fue el decreto 1594/84 con el fin de mantener o mejorar las condiciones de la zona, y el objetivo de calidad se estableció de acuerdo con el valor mínimo permisible del decreto mencionado anteriormente con el fin de preservar la flora y la fauna .
DBO ₅	mg/L	22,8	<30	<15	<20	Para este parámetro se tuvo en cuenta los valores establecidos por la EPA, El objetivo de calidad se estimó de acuerdo al valor que se obtuvo en campo.
SST	mg/L	47	100	<30	<30	El nivel normativo y deseado se tomó de acuerdo a los estándares establecidos para la conservación del medio ambiente para los países de la comunidad andina; el objetivo de calidad se estimó de acuerdo a los valores establecidos por la EPA.
pH	Unid	4,67	5,0-9,0	5,0-9,0	5,0-9,0	El nivel normativo consultado fue la metodología estadística para la medición de la calidad de los recursos hídricos en los países de la comunidad andina, el objetivo de calidad se estableció de acuerdo a los valores obtenidos en campo.
T	°C	20,3	_____	_____	_____	Debido a que este es un parámetro de difícil control, no se recomienda fijarle objetivo de calidad.

Fuente: Propia.

Tramo 3. Desembocadura quebrada Tiembra- llegada afluente San Pablo

- Uso Predominante: Dilución y asimilación
- Uso Potencial: Riego

Tabla 26. Definición de objetivo de calidad para el tercer tramo.

Parámetro	Unidad		Indice		Objetivo de calidad	Nota de justificación
		Actual	Nivel normativo	Deseado		
OD	mg/L	3,6	>2,0	>4,0	>4,0	Aunque el OD se encuentra por encima de los valores recomendados por el CONAMA 2005 para esta clase de usos del agua, se evidencia que esta parte de la corriente esta sufriendo impactos negativos por parte de los vertimientos de la rallanderías; el objetivo de calidad se estableció de acuerdo al RAS, ya que 4mg/L es el mínimo valor permisible para la preservación de flora y fauna.
DBO₅	mg/L	35	<30	<20	<28	El nivel normativo consultado para este parámetro fue la EPA que establece un valor de 30mg/L para esta clase de aguas; y se estima el objetivo de calidad de acuerdo a la guía Mesoca, ya que establece un mejoramiento en la calidad del agua de un 20%.
SST	mg/L	50	<30	<25	<30	El nivel normativo se estableció de acuerdo a la EPA, y el objetivo de calidad se estimó de acuerdo a los estándares establecidos para la conservación del medio ambiente para los países de la comunidad andina según el uso del agua en esta zona.
pH	Unid	4,66	5,0-9,0	5,0-9,0	5,0-9,0	El nivel normativo seleccionado fue la EPA; el objetivo de calidad se estableció de acuerdo a los resultados obtenidos y la EPA.
T	°C	20,35	_____	_____	_____	Debido a que este es un parámetro de difícil control, no se recomienda fijarle objetivo de calidad.

Fuente: Propia.

Tramo 4. Desembocadura San Pablo- encuentro río Mondomo

- Uso Predominante: Dilución y asimilación
- Uso Potencial: Riego

Tabla 27. Definición de objetivo de calidad para el cuarto tramo

Parámetro	Unidad	Índice			Objetivo de calidad	Nota de justificación
		Actual	Nivel normativo	Deseado		
OD	mg/L	2,8	>2,0	>4,0	>4,0	En este tramo las características del agua indican que son de muy mala calidad, el nivel normativo consultado fue el CONAMA 2005 que establece un valor de OD > 2mg/L para esta clase de aguas; el objetivo de calidad se estimó de acuerdo al decreto 1594 del 84 como el valor mínimo permisible para la preservación de flora y fauna.
DBO ₅	mg/L	81	<30	<30	<30	El nivel normativo y el objetivo de calidad se establecieron de acuerdo a la EPA que fijan un valor <30mg/L para esta clase de aguas.
SST	mg/L	56	<30	<25	<30	El nivel normativo y el objetivo de calidad se establecieron de acuerdo a la EPA que fijan un valor <30mg/L para esta clase de aguas.
pH	Unid	4,62	5,0-9,0	5,0-9,0	5,0-9,0	La EPA establece un valor normativo de pH entre 5-9; el objetivo de calidad se fijó de acuerdo a los valores obtenidos en campo y a los reportados por la EPA.
T	°C	19	5°C +/- la Temperatura ambiente	5°C +/- la Temperatura ambiente	5°C +/- la Temperatura ambiente	Debido a que este es un parámetro de difícil control, no se recomienda fijarle objetivo de calidad

Fuente: Propia.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- ✓ Se seleccionó la quebrada Tiembla para la definición de objetivos de calidad por el continuo deterioro al cual ha estado sometida por parte de los residuos líquidos generados por las rallanderías; además las rallanderías de la zona eran representativas en cuanto a la producción promedio de la región, la infraestructura, tecnología, procesos de obtención de almidón y las condiciones de ubicación facilitaron el desarrollo de las visitas con el fin de realizar las campañas de monitoreo.
- ✓ Se caracterizaron un total de 10 rallanderías ubicadas en el corregimiento de Mondomo, las cuales tienen un consumo promedio de agua de $9,5 \text{ m}^3$ por el procesamiento de cada tonelada de yuca, y generan un caudal de aguas residuales promedio de $1,0 \text{ L/s}$ con un periodo de trabajo de 10 horas diarias aproximadamente.
- ✓ Se evaluaron características fundamentales de calidad de aguas, los cuales indicaron que la quebrada Tiembla se encuentra en muy malas condiciones por la cantidad de materia orgánica que presenta, ya que el agua residual vertida por una rallandería contiene una DBO_5 promedio de 1350 mg/L y 4000 mg/L de SST.
- ✓ De acuerdo con los datos arrojados por el modelo matemático, la quebrada Tiembla en condiciones de caudal mínimo tiene muy poca asimilación de los contaminantes lo que hace que no sea capaz de auto depurarse generando el deterioro significativo de la fuente; sin embargo, para caudal medio, esta logra obtener una mejor asimilación de la carga contaminante que recibe por parte de las rallanderías; no obstante, se mantiene en condiciones desfavorables, ya que en gran parte de la quebrada se conservan valores elevados de DBO_5 .
- ✓ La reducción de cargas desarrollada bajo la aplicación del modelo demuestra que la quebrada Tiembla en condiciones de caudal mínimo no logra recuperarse de inmediato incluso cuando no recibe los vertimientos de las rallanderías que se identificaron y estudiaron; no obstante, cuando la fuente se encuentra en caudal medio el segundo

tramo logra soportar un 30% más de la carga vertida en la actualidad, sin embargo para los dos últimos tramos de la quebrada es necesario una reducción de carga de DBO₅ del 35 y 95% respectivamente, debido a que no se lograron obtener valores menores a 30 mg/L; por lo tanto las cargas permisibles para el segundo, tercer y cuarto tramo susceptible a los vertimientos son en su orden de 320, 403 y 41 Kg/día respectivamente.

5.2 RECOMENDACIONES

- ✓ Para próximos estudios que involucren modelación de corrientes de agua es necesario que se obtenga un mayor número de muestras a lo largo del efluente con el fin de simular condiciones reales de la fuente de manera confiable, además de contar con mejor variedad de campañas para la reproducibilidad de datos, y así lograr una mejor modelación de las características de la corriente.
- ✓ Debido a los resultados obtenidos, es necesario realizar en próximos estudios que involucren vertimientos de rallanderías análisis de nitrógeno, que indiquen la proliferación de algas, que podría ser la causa de las malas condiciones de la quebrada.
- ✓ Cuando la quebrada se encuentre en condiciones de caudal mínimo, se recomienda no realizar ninguna actividad que involucre la corriente, ya que las condiciones de calidad se alterarían significativamente.
- ✓ Debería de crearse una asociación organizada por parte de los rallanderos, la cual inspeccionara, vigilara y controlara los procesos de producción de almidón, para que estas no lo hagan de manera simultánea, si no que se realizara por turnos con el fin de disminuir los presentes impactos negativos que se le están generando al ambiente.
- ✓ La AAC encargada del control de este tipo de industrias, debería realizar capacitaciones constantemente con las personas encargadas de las rallanderías sobre el impacto que están causando al recurso hídrico, con el fin de mitigar, preservar y tratar de recuperar las condiciones fisicoquímicas de la quebrada Tiembla.
- ✓ Para disminuir el consumo de agua por parte de los rallanderos, se le recomienda a la CRC, realizar una inversión para la instalación de micromedidores, que va controlar su uso, porque en la actualidad se

está desperdiciando gran cantidad de agua en el proceso de extracción de almidón de yuca; además se pueden realizar campañas educativas con el fin de concientizar a las personas sobre el uso ineficiente que se le está dando al recurso hídrico.

- ✓ La CRC como ente encargado de cobrar la tasa retributiva debería realizar más estudios en las rallanderías para confrontar la información que se tiene y compararla con los datos reales por medio de visitas, ya que la información suministrada por los rallanderos para la realización de este estudio no era muy confiable, y hubo necesidad de estar en algunas rallanderías con el fin de conocer el proceso desde la llegada de la yuca hasta obtener el producto final, y se pudo establecer valores reales de cantidad de producción y consumo de agua por parte de estas.

BIBLIOGRAFÍA

- ✓ ALARCÓN, Freddy. DUFOUR, Dominique. MORENO, Martin. RIVIER, Michel. RUIZ, Ricardo. Almidón agrio de yuca en Colombia: Planta procesadora. Tomo 2. Cali, Colombia: CIAT; 2001. p.5.
- ✓ B, A, Cox. A review of dissolved oxygen modelling techniques for lowland rivers. *Department of Geography, The University of Reading, Whiteknights. 2003. Pág 304-320.*
- ✓ BOANO, Fulvio. REVELLI, Roberto. RIDOLFI, Luca. Stochastic modelling of DO and BOD components in a stream with random inputs. Department of Hydraulics, Transports, and Civil Infrastructures, Politecnico di Torino, Italy. 2005 Pág 1341-1350
- ✓ CHAUX, C.A. VERGARA, U.E. Optimización de la Sedimentación del Subproducto “Mancha” en el Proceso de extracción de Almidón Agrio de yuca. Tesis de pregrado. Universidad del Cauca. Programa de Ingeniería Ambiental. Popayán 2005. 118 p
- ✓ COLIN, X., FARINET, J.L., ROJAS, O. AND ALAZARD, D. Anaerobic treatment of cassava starch extraction wastewater using a horizontal flor filter with bamboo as support, J. Bioresource Technology. 2007.98(8), 1602-1607,
- ✓ CORPORACION AUTONOMA DEL VALLE DEL CAUCA-CVC, Modelación matemática del rio Cauca. Tramo salvajina. Volumen VIII. Proyecto de modelos del rio cauca. Santiago de Cali Colombia. Capítulo I. 2001.
- ✓ CONSEJO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE- CONAMA, Resolución 357. Marzo. 2005. 23p
- ✓ CRC. Rallandero Limpio. Cartilla informativa y educativa. Popayán, Colombia, Corporación Regional del Cauca, 2005.
- ✓ ENVIROMENTAL PROTECTION AGENCY: Folleto informativo de sistemas descentralizados: Tratamiento aeróbico. Washington, 2000.

- ✓ GALVIS, A.; CARDONA, D. y BERNAL, D. Modelo Conceptual de Selección de Tecnología para el Control de Contaminación por Aguas Residuales Domésticas en Localidades Colombianas Menores de 30.000 Habitantes, SELTAR., Conferencia Internacional De la Acción. 2005. p.2-10.
- ✓ GOLDBERG, D.E. (1989) "Genetic Algorithms in search, optimisation and machine learning". Addison-Wesley publishing co. Reading. Massachusetts.
- ✓ GONZALES MUÑOZ, Luis Jorge. Hidrología práctica y gestión ambiental. Universidad del Cauca. Facultad de ingeniería civil. Departamento de Hidráulica. Popayán. 2004. Pág: 84-97.
- ✓ HERRAEZ, I. & RUBIO, L. Contenido en compuestos nitrogenados de las aguas subterráneas debido a los residuos urbanos. Aplicación a las terrazas cuaternarias de los ríos Jarama y Henares en su confluencia en residuos urbanos y medio ambiente. Ediciones de la Universidad Autónoma de Madrid. España. 1989. 307pp.
- ✓ ORGANIZACIÓN DE LOS ESTADOS AMERICANOS. Metodología Estadística para la Medición de la Calidad de los Recursos Hídricos en los Países de la Comunidad Andina. Lima. 2004. 75p.
- ✓ OYARZÚM GJ. Modelación y simulación de oxígeno disuelto, materia orgánica en la subcuenca del río Traiguen. Tesis de pregrado. Universidad Católica de Temuco. Temuco. 2005. 98 p
- ✓ MARMOLEJO, L.F., PÉREZ, A., TORRES, P., CAJIGAS, A. Y CRUZ, C.H. Aprovechamiento de los residuos sólidos generados en pequeñas industrias de almidón de yuca, J. Livestock Research for Rural Development 20, (7), 2008. p.2-9
- ✓ MAVDT, guía metodológica para el establecimiento de objetivos de calidad de los cuerpos de agua en ausencia de los planes de ordenamiento del recurso. Bogotá 2006. 69p.
- ✓ METCALF, Eddy. Ingeniería de aguas residuales, tratamiento, vertido y reutilización. Mc Graw Hill. 3ª Edición. Madrid, España. 1995. 1485p

- ✓ NEMERROW, Nelson Leonard. Tratamiento de Vertidos Industriales y Peligrosos. Ediciones Díaz de Santos, 1998. 848 p.
- ✓ POCH, Manuel. Las calidades del agua: Cuadernos de Medio Ambiente. Barcelona: Editorial Rubes; 1999. 160 p.
- ✓ ROMERO, Jairo Alberto. Tratamiento de aguas residuales: Teoría y principios de diseño. Bogotá, Colombia: Centro editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. 1999. 1248 p.
- ✓ SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAÚLICOS. DIRECCIÓN GENERAL DE PROTECCIÓN Y ORDENACIÓN ECOLÓGICA: Metodología para determinar las constantes de desoxigenación (Kd), remoción de DBO (Kr) y reoxigenación (Ka) en una corriente, 1977. 31p
- ✓ SEOANEZ, M. Ecología Industrial: Ingeniería medio ambiental aplicada a la industria y a la empresa. Ediciones Mundi – Prensa. España. 1995. 522p.
- ✓ SHANAHAM L., HENZE M., KONCSOS L., RAUCH W., REICHERT P., VANROLLEGHEM P. (1998). River Water Quality Modelling: II. Problems of the Art1 IWAQ, biennial international conference, Vancouver, British Columbia, Canada, 12-26 June 1998.
- ✓ SHANAHAM L., SOMLYÓDY L., VANROLLEGHEM P. (2001). River Water Quality Model No.1, IWA publishing. Scientific and technical report N° 12. P.17-18.
- ✓ RAMIREZ, Pedro. MARTINEZ, Evaristo. MARTINEZ, María. ESLAVA Carlos. Instituto Nacional de Ecología: Cianobacterias, microorganismos del fitoplancton, y su relación con la salud humana. 2007. p10
- ✓ STREETER, H.W. & PHELPS, E.B. (1925) "A study of the pollution and natural purification of the Ohio river". Vol III, Public Health Bulletin, N° 146, U.S. Public Health Service. 75 p
- ✓ VARGAS, J. Calidad del agua en espacios naturales: Impacto y modelación. Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Concepción. Concepción. 1993. 9 p.

- ✓ ZAROR, C. (1996) "Impacto ambiental de los desechos industriales. Efectos sobre los cuerpos receptores y mecanismos de autodepuración". Departamento de Ingeniería Química. Universidad de Concepción. Concepción. 7 p.

ANEXOS

ANEXO A. Encuesta realizada a los rallanderos

**"OBJETIVOS DE CALIDAD DEL AGUA EN CORRIENTES SUPERFICIALES APLICADOS A LOS VERTIMIENTOS
GENERADOS POR LA PRODUCCION DE YUCA EN EL DEPARTAMENTO DEL CAUCA"**



**ENCUESTA PARA RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN PARA EL PROYECTO DE
VALORACIÓN DE SUBPRODUCTOS**



DILIGENCIADA POR:

Pasantes de ingeniería Ambiental
convenio UC- CRC

FECHA:

DATOS GENERALES DE LA RALLANDERÍA

NOMBRE RALLANDERÍA	IDENTIFICACIÓN TRIBUTARIA (NIT)
_____	_____
NOMBRE / RESPONSABLE	IDENTIFICACIÓN
_____	_____
NIVEL DE ESCOLARIDAD (Último grado cursado)	_____
LOCALIZACIÓN DE RALLANDERÍA GPS	X _____ Y _____
TIEMPO DE FUNCIONAMIENTO DE LA RALLANDERÍA	Meses: _____ Años: _____

ABASTECIMIENTO DE AGUA

FUENTE DE ABASTECIMIENTO DE LA RALLANDERÍA	_____	
El acueducto de la Rallandería es particular o comunitario:	_____	
CUENTA CON MICROMEDIDOR PARA LA RALLANDERÍA?	_____	
REGISTRO DE LECTURA DE MICROMEDIDOR	_____	
MES 1 (m ³ /mes) _____	MES 2 (m ³ /mes) _____	MES 3 (m ³ /mes) _____
MEDICIÓN PUNTUAL (si es posible determinarla, litros por segundo):	_____	
NUMERO DE GRIFOS / LOCALIZACIÓN EN RALLANDERÍA:	_____	
1 _____	4 _____	7 _____
2 _____	5 _____	8 _____

ANEXO B. Reporte de resultados – Muestras de agua campaña 1

Reporte N° 0098

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CAUCA
SUBDIRECCIÓN DE DEFENSA DEL PATRIMONIO AMBIENTAL
LABORATORIO AMBIENTAL

Código: FI-IC-RR047

Versión: 01

Fecha: 22/05/06

Pág. 1 de 2

REPORTE DE RESULTADOS – MUESTRA DE AGUA-

Fecha: Agosto 18 de 2010

Nombre del Cliente: Subdirección de Gestión Ambiental	Teléfono: 8203232
Dirección: Carrera 7 N° 1N-28	Fecha de Recepción: Agosto 3 y 4 de 2010.
Lugar de muestreo: Mondomo	Fecha de Análisis: Agosto 3, 4, 5, 8 y 10.

Identificación de la muestra:

Código de Muestra	Sitio de Muestreo
W0308	Muestra 1
W0309	Muestra 2
W0310	Muestra 3
W0311	Muestra 4
W0312	Rallandería Velasco, agua de lavado
W0313	Rallandería Velasco, después de canales
W0314	Rallandería Pedregal, después de lavado
W0315	Rallandería Pedregal, después tanque de mancha
W0316	Rallandería Pedregal, después canales
W0320	Muestra 5
W0321	Muestra 6
W0322	Muestra 7
W0323	Muestra 8
W0324	Muestra 9
W0325	Muestra 10
W0326	Muestra 11
W0327	Muestra 12
W0328	Muestra 13
W0329	Muestra 14
W0330	Muestra 15
W0331	Muestra 16

Parámetro / Método / Unidad

Parámetro	Método	Unidad
DBO ₅	Incubación 5 días - Electrométrico	mg/L
DQO	Oxidación Ácido Cromosulfúrico	mg/L
SST	Gravimétrico	mg/L
Turbiedad	Turbidimétrico	UNF

Sede Principal CRC: Edificio Edgar Negret Dueñas Carrera 7 No. 1N-28 Pbx: (2)8203232
Laboratorio: Viviero La Florida Telefax: (2)8245602

E-mail: www.crc.gov.co

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CAUCA
SUBDIRECCIÓN DE DEFENSA DEL PATRIMONIO AMBIENTAL
LABORATORIO AMBIENTAL

REPORTE DE RESULTADOS – MUESTRA DE AGUA-

Resultados laboratorio:

Código Muestra	Resultados			
	DBO ₅	DQO	SST	Turbiedad
W0308	23.0	39.5	10.0	23
W0309	0.7	12.8	14.2	19
W0310	24.0	18.7	20.5	18
W0311	43.8	106	13.8	24
W0312	435	787	2230	950
W0313	2793	3670	1630	413
W0314	346	855	2140	710
W0315	987	1642	750	121
W0316	690	1430	3752	207
W0320	< 0.5	15.3	7.0	10
W0321	0.5	27.6	35.0	60
W0322	4.2	30.2	34.4	49
W0323	2.7	28.6	47.5	64
W0324	1.1	28.6	18.1	12
W0325	39.0	69.7	52.0	57
W0326	34.5	58.7	50.0	47
W0327	< 0.5	20.0	9.0	12
W0328	60.0	105	50.0	69
W0329	432	781	267	225
W0330	42.0	78.6	46.0	60
W0331	54.0	96.8	55.6	63



DIEGO ZULUAGA VERA
 Laboratorio Ambiental
 dzuluaga@crc.gov.co

REPORTE DE RESULTADOS – MUESTRA DE AGUA-

Fecha: Septiembre 6 de 2010

Nombre del Cliente: Subdirección de Gestión Ambiental

Dirección: Carrera 7 N° 1N-28

Teléfono: 8203232

Lugar de muestreo: Mondomo

Fecha de Recepción: Agosto 26 de 2010.

Fecha de Análisis: Agosto 27, 30, 31 y septiembre 6.

Identificación de la muestra:

Código de Muestra	Sitio de Muestreo
W0342	Muestra 1
W0343	Muestra 2
W0344	Muestra 3
W0345	Muestra 4
W0346	Muestra 5
W0347	Muestra 6
W0348	Muestra 7
W0349	Muestra 8
W0350	Muestra 9
W0351	Muestra 10
W0352	Muestra 11
W0353	Muestra 12
W0354	Muestra 13
W0355	Muestra 14
W0356	Muestra 15

Parámetro / Método / Unidad

Parámetro	Método	Unidad
DBO ₅	Incubación 5 días - Electrométrico	mg/L
DQO	Oxidación Ácido Cromosulfúrico	mg/L
SST	Gravimétrico	mg/L
Turbiedad	Turbidimétrico	UNF

REPORTE DE RESULTADOS – MUESTRA DE AGUA-

Resultados laboratorio:

Código Muestra	Resultados			
	DBO ₅	DQO	SST	Turbiedad
W0342	< 0.5	21.6	6.1	9
W0343	118	187	223	81
W0344	< 0.5	23.6	7.2	14
W0345	153	225	100	48
W0346	243	312	137	67
W0347	28.7	39.1	128	30
W0348	< 0.5	19.8	< 5	5
W0349	1530	2000	813	144
W0350	9.8	53.0	< 5	3
W0351	31.0	92.0	26.0	31
W0352	63.0	124	26.3	27
W0353	849	1126	376	102
W0354	78.9	165	27.5	24
W0355	215	365	114	42
W0356	< 0.5	26.1	46.0	11



DIEGO ZULUAGA VERA
 Laboratorio Ambiental
 dzuluaga@crc.gov.co

ANEXO D. Reporte de resultados – Muestra de agua rallanderías

Reporte N° 0137

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CAUCA
SUBDIRECCIÓN DE DEFENSA DEL PATRIMONIO AMBIENTAL
LABORATORIO AMBIENTAL

Código: FT-TC-RR047
 Versión: 01
 Fecha: 22/05/06
 Pág. 1 de 1

REPORTE DE RESULTADOS – MUESTRA DE AGUA-

Fecha: Octubre 27 de 2010

Nombre del Cliente: Subdirección de Gestión Ambiental CRC	Teléfono: 8203232
Dirección: Carrera 7 N° 1N-28	
Lugar de muestreo: Mondomo, Rallanderías El Pedregal	Fecha de Recepción: Octubre 20 de 2010.
	Fecha de análisis: Octubre 20, 21 y 25.

Identificación de la Muestra

Código Muestra	Sitio de Muestreo
W0499	Agua de lavado, Nilson Castillo
W0500	Agua canales sedimentador, Oswaldo Porvenir
W0501	Agua canales de mancha, Oswaldo Porvenir
W0502	Agua canales sedimentador, Nilson Castillo
W0503	Agua tanque de mancha, Nilson Castillo
W0504	Agua mancha, Nilson Castillo

Parámetro/Método/Unidad

Parámetro	Método	Unidad
DBO ₅	Incubación 5 días - Electrométrico	mg/L
DQO	Oxidación Ácido Cromosulfúrico	mg/L
SST	Gravimétrico	mg/L

Resultados Laboratorio:

Parámetro	Resultados					
	W0499	W0500	W0501	W0502	W0503	W0504
DBO ₅	318	1689	1803	1224	1173	3504
DQO	1070	2510	-3550	2620	2260	8330
SST	2140	6657	590	1410	3157	3200


 DIEGO ZULUAGA VERA
 Laboratorio Ambiental CRC
 dzuluaga@crc.gov.co

Sede Principal CRC: Edificio Edgar Negret Dueñas Carrera 7 No. 1N-28 Pbx: (2)8203232 E-mail: www.crc.gov.co
 Laboratorio: Vivero La Florida Telefax: (2)8245602

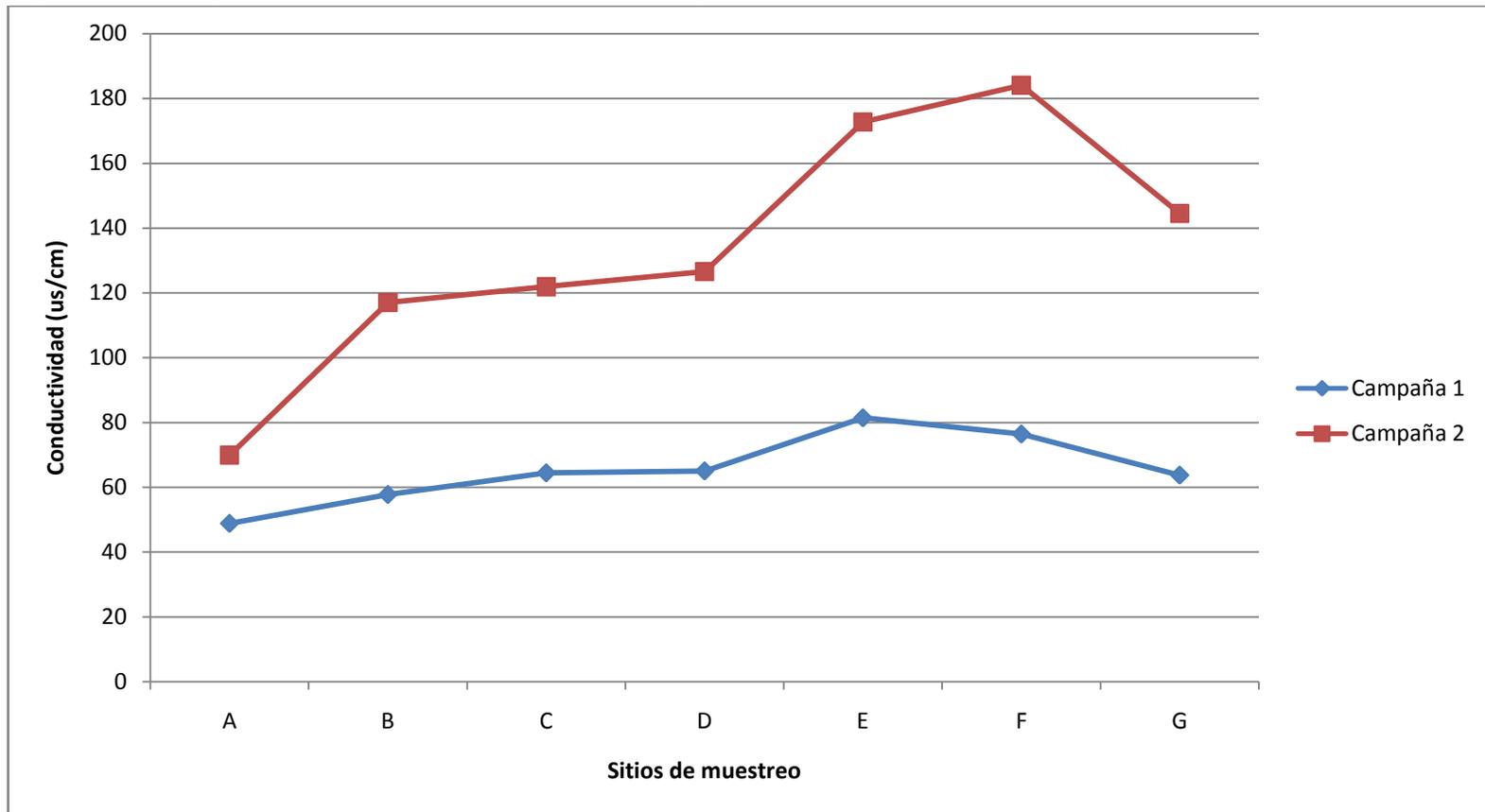
ANEXO E. Datos estación pluviométrica - Mondomo

LATITUD 254 N TIPO EST PM DEPTO CAUCA FECHA INSTALACION 1971-MAR
 LONGITU 7636W ENTIDAD 01 IDEAM MUNICI SANTANDER DE QUILICHAO SUSPENSION
 ELEVACIO 1360 m.s.n.m. REGIONAL 09 VALLE CORRI ENTE OVEJAS

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUB	NOVIE	DICIEMBRE	VR ANUAL
1979	120	71	324	376	254	51	32	225	209	224	184	34	2104
1980	160	154	122	134	116	98	32	61	56	326	16	105	1380
1981	44	176	193	250	284	122,1	132	57,8	22,2	131,8	460	159	2031,7
1982	217	157	273,8	269	91	26,7	21,5	1,3	98,4	268,8	187	197	1808,6
1983	31,5	79,3	281,4	288	202	68,6	17,4	86,5	27	238,4	157	259	1736,6
1984	452	163	194,8	177	223	17,2	130	132,5	190,7	344,2	232	97,2	2353,7
1985	329	59	119,4	125	222	65	128	209	166	156	327	92	1997,9
1986	213	244	92	228	129	130	8	44	72	358	197	61	1776
1987	71	32	226	125	261	8	87	37	155	299	151	106	1558
1988	66	122	47	283	127	135,9	126	107	111	209	524	233	2090,7
1989	176	202	183,7	140	171	98	65	84	76	251	236	140	1822,7
1990	256	308	148	145	121	76	34	59	81	372	327	300	2227
1991	67	97	311	111	206	131	48	17	86	142	204	302	1722
1992	54	185	36	140	102	77	34	20	197	127	221	167	1360
1993	267	232	142	282	246	20	42	39	62	214	320	37,7	1903,7
1994	121	151	83,1	182	205	38	31	15	89	225	264	84	1487,3
1995	48	19,9	220	183	137	94	138	95	67	195	273	91	1560,9
1996	207	187	442	181	171	161	54	57	33	120	165	227	2005
1997	303	63	287	215	102	85	20	0	137	149	243	44	1648
1998	48	140	175	287	245	82	163	100	126	201	376	164	2107
1999	623	554	282	273	148	115	37	118	346	245	408	312	3461
2000	231	278	278	218	404	129	76	140	163	222	160	251	2550
2001	75	347	350	209	122	63	25	0	71	178	311	233	1984
2002	147	65	124	203	31	104	70	50	68	157	228	197	1444
2003	151	59	71	214	145	38	51	0	100	280	317	158	1584
2005	103	260	346	86	120	33	30	35	102	225	193	285	1818
2006	275	164	241	134	119	64	55	51	52	84	226	174	1639
2007	167	187	178	290	199	84	98	5,8	0,8	37,6	250	375	1872
MEDIO	177	167	203,8	204	171	79,2	62,5	66,3	107,4	217,1	254	173	1882,1
MAXIM	623	554	442	376	404	161	163	225	346	372	524	375	623
MINIM	31,5	19,9	36	86	31	8	8	0	0,8	37,6	16	34	0

ANEXO F. Comportamiento del parámetro de conductividad.

Figura 19. Comportamiento de conductividad en la quebrada Tiembra

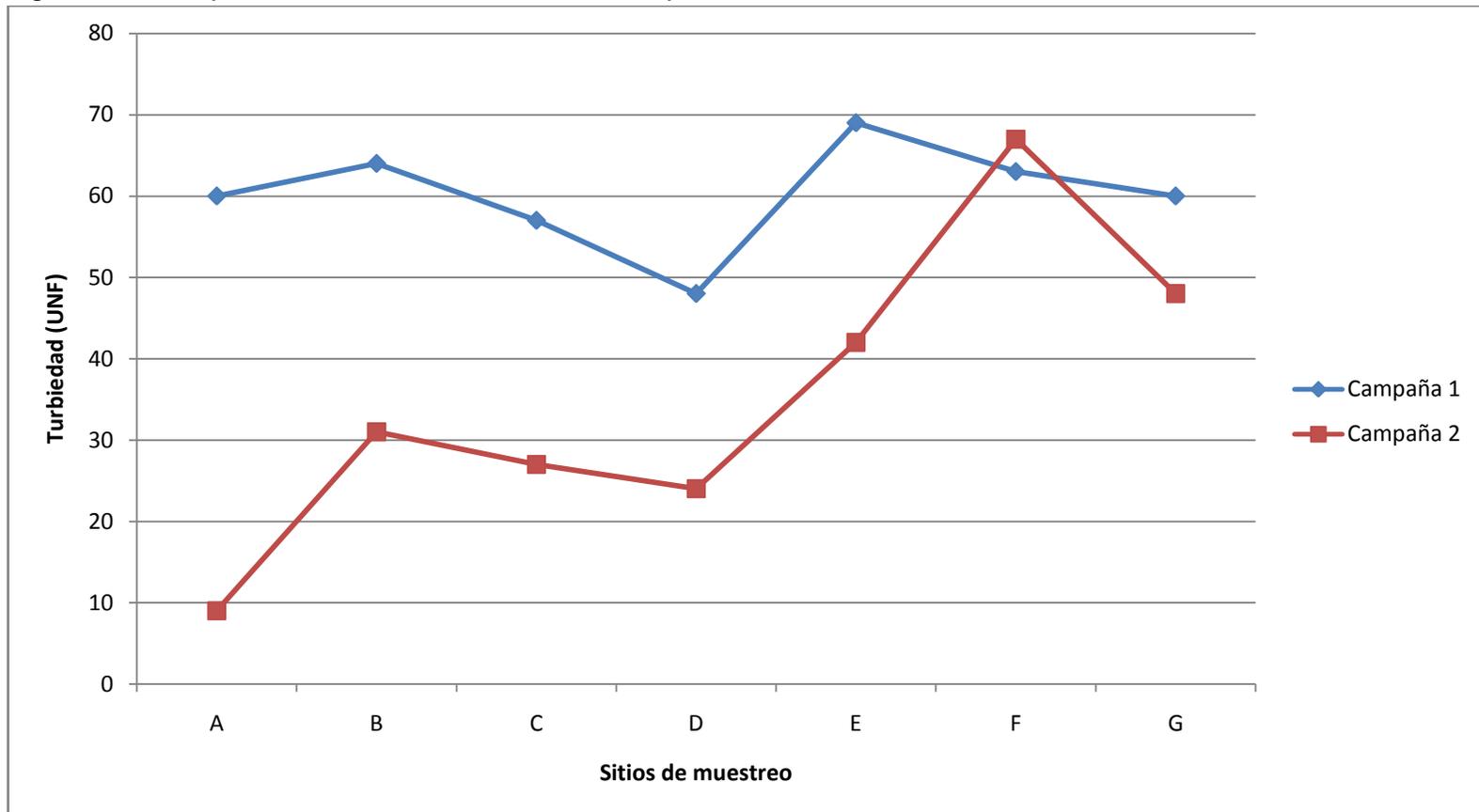


Fuente: Propia

Durante el monitoreo a la quebrada Tiembla para el parámetro de conductividad, se puede observar que la presencia de iones varía de manera ascendente debido a la llegada de afluentes con condiciones diferentes a la quebrada, lo anterior puede ser por la llegada de vertimientos de las rallanderías y residuos domésticos que se encuentran a lo largo de la quebrada, lo cual causaría un impacto negativo al ecosistema acuático; al finalizar el recorrido llega el afluente San Pablo que mejora las condiciones de Tiembla haciendo que la Figura 19 descienda un poco, El valor mínimo es de 48,4 $\mu\text{s}/\text{cm}$ presentado en el blanco de la quebrada, esto sería consistente debido a que en esta parte no existen vertimientos por parte de las rallanderías y tampoco hay actividad antrópica significativa, y el valor máximo es de 184,1 $\mu\text{s}/\text{cm}$ y se presenta aguas abajo de todas las rallanderías luego de todos los vertimientos generados por estas.

ANEXO G. Comportamiento del parámetro de turbiedad

Figura 20. Comportamiento de la turbiedad en la quebrada Tiembra

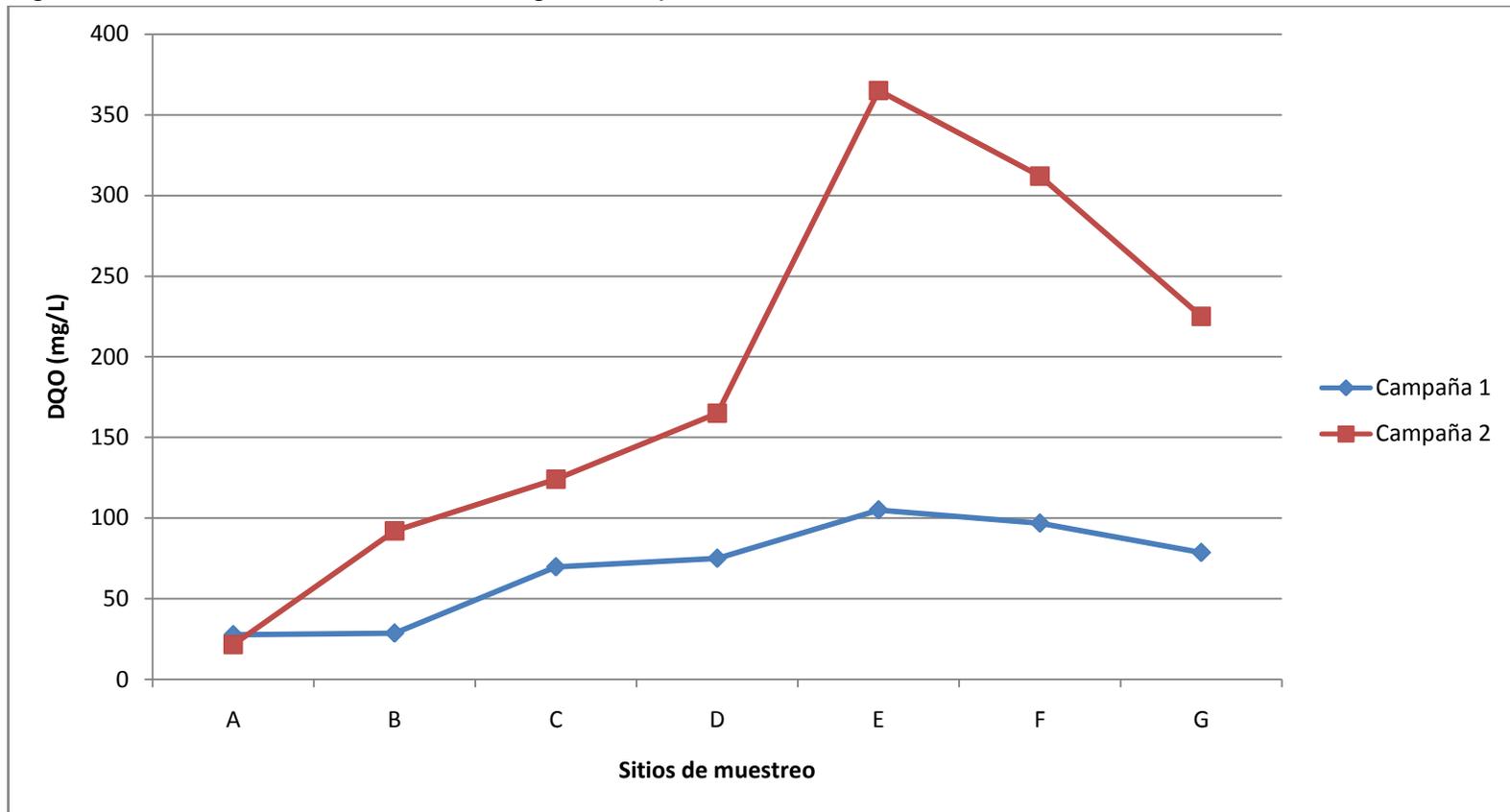


Fuente: Propia

La descarga de afluentes que llegan a la quebrada hacen que las condiciones de esta cambien de manera negativa en cuanto a Turbiedad, ya que aumentan las partículas en suspensión que hacen que la luz se disperse, haciendo que la actividad fotosintética de las plantas disminuya, y por ende la concentración de oxígeno tienda a descender (Romero, 1999), también estos valores pueden ser altos debido a la hora de muestreo, porque la mayoría se realizaron en días con cierto grado de nubosidad. Similar comportamiento tiene con la Conductividad ya que al final de los muestreos los valores descienden por el aporte del afluente San Pablo con mejores condiciones que Tiembla. Los valores obtenidos de Turbiedad hacen que la fuente sea catalogada en condiciones entre (regular y deficiente) según el RAS.

ANEXO H. Comportamiento del parámetro de DQO

Figura 21. Variación de la DQO a lo largo de la quebrada



Fuente: Propia

Los valores obtenidos para DQO tienen una tendencia similar a los demás parámetros analizados debido a que se presenta una tendencia ascendente desde el primer tramo hasta el punto E, y luego hay un descenso en las dos campañas ya que se mejoran las condiciones de la quebrada por la llegada de un afluente con buenas condiciones fisicoquímicas.

Entre el punto cuarto y quinto es donde hay una mayor elevación de la DQO por el aporte de materia orgánica biodegradable y no biodegradable que generan los vertimientos que se encuentran en esta zona, tanto domésticos, como industriales.

Los valores que se reportan de DQO son directamente proporcionales con los obtenidos de DBO_5 , y por lo tanto inversamente proporcionales a los valores obtenidos de OD, lo cual es consistente ya que entre menor oxígeno disuelto haya en una fuente, los valores de DBO_5 y DQO van a presentar valores más elevados.

La DQO con un valor más elevado fue de 365mg/l, y la menor fue de 21,6, ambos valores registrados en la campaña 2.

ANEXO I. (CD) Modelación; metodología Mesoca y modelo Streeter y Phelps