

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL

MAESTRÍA EN QUÍMICA MENCIÓN QUÍMICA – FÍSICA

Tema: ESTUDIO DE LOS PROCESOS DE DEGRADACIÓN Y TRANSFORMACIÓN DEL MATERIAL VEGETAL EN LOS EMBALSES HIDROELÉCTRICOS DE AGOYÁN Y PISAYAMBO QUE GENERAN METANO (CH_4) Y DIÓXIDO DE CARBONO (CO_2)

Trabajo de titulación previo a la obtención del Grado Académico de Magíster en
Química Mención Química – Física

Modalidad de titulación “PROYECTO DE DESARROLLO”

Autor: Ingeniero, Hugo Javier Sánchez Moreno

Director: Químico, Lander Vinicio Pérez Aldás Mg.

Ambato – Ecuador

2021

APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

A la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial.

El Tribunal receptor de la Defensa del Trabajo de Titulación presidido por la Ingeniera Elsa Pilar Urrutia Urrutia, Magíster e integrado por los señores: Ingeniero Rodny David Peñafiel Ayala, Dr. e Ingeniero Daniel Alfonso Cabrera Valle, Magíster, designados por la Unidad Académica de Titulación de Posgrado de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato, para receptor el Trabajo de Titulación con el tema “Estudio de los procesos de degradación y transformación del material vegetal en los embalses hidroeléctricos de Agoyán y Pisayambo que generan metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂)”, elaborado y presentado por el señor, Ingeniero Hugo Javier Sánchez Moreno para optar por el Grado Académico de Magister en Química mención Química-Física; una vez escuchada la defensa oral del Trabajo de Titulación el Tribunal aprueba y remite el trabajo para uso y custodia en las bibliotecas de la Universidad Técnica de Ambato.



Firmado electrónicamente por:
**ELSA PILAR
URRUTIA**

Ing. Elsa Pilar Urrutia Urrutia, Mg.

Presidente y Miembro del Tribunal de Defensa



Firmado electrónicamente por:
**RODNY DAVID
PENAFIEL
AYALA**

Ing. Rodny David Peñafiel Ayala, Dr.

Miembro del Tribunal de Defensa



Firmado electrónicamente por:
**DANIEL ALFONSO
CABRERA VALLE**

Ing. Daniel Alfonso Cabrera Valle, Mg.

Miembro del Tribunal de Defensa

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

La responsabilidad de opiniones, comentarios y críticas emitidas en el Trabajo de Titulación presentado con el tema “Estudio de los procesos de degradación y transformación del material vegetal en los embalses hidroeléctricos de Agoyán y Pisayambo que generan metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂)”, le corresponde exclusivamente a: Ing: Hugo Javier Sánchez Moreno, Autor bajo la Dirección de Químico, Lander Vinicio Pérez Aldás Mg., Director del Trabajo de Investigación; y el patrimonio intelectual a la Universidad Técnica de Ambato.

**HUGO JAVIER
SANCHEZ
MORENO**

Firmado digitalmente por
HUGO JAVIER
SANCHEZ MORENO
Fecha: 2021.07.20
01:20:12 -05'00'

Ing. Hugo Javier Sánchez Moreno

AUTOR

**LANDER VINICIO
PEREZ ALDAS**

Firmado digitalmente por LANDER VINICIO
PEREZ ALDAS
Nombre de reconocimiento (DN): c=EC,
o=SECURITY DATA S.A. 1, ou=ENTIDAD DE
CERTIFICACION DE INFORMACION,
serialNumber=110820161417, cn=LANDER
VINICIO PEREZ ALDAS
Fecha: 2021.07.21 07:46:48 -05'00'

Químico, Lander Vinicio Pérez Aldás Mg.

DIRECTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que el Trabajo de Titulación, sirva como un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos de mi Trabajo de Titulación, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad Técnica de Ambato.

**HUGO
JAVIER
SANCHEZ
MORENO**

Firmado
digitalmente por
HUGO JAVIER
SANCHEZ MORENO
Fecha: 2021.07.20
01:21:07 -05'00'

Ing. Hugo Javier Sánchez Moreno

0604190942

INDICE GENERAL

	Página
APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
AGRADECIMIENTO.....	xi
DEDICATORIA.....	xii
RESUMEN EJECUTIVO.....	xiii
EXECUTIVE SUMMARY.....	xv
1 CAPITULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Justificación del Proyecto.....	2
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1 Objetivo General.....	3
1.3.2 Objetivo Específico.....	3
2 CAPITULO II: ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.....	4
2.1 Problemas ambientales asociados a embalses hidroeléctrico.....	4
2.1.1 Clasificación de los embalses.....	4
2.1.2 Impactos ambientales generales.....	5
2.1.3 Estado trófico de los embalses.....	5
2.1.3.1 Embalses Eutróficos.....	6
2.1.3.2 Embalses Mesotróficos.....	6
2.1.3.3 Embalses Oligotróficos.....	6
2.1.4 Causas de eutrofización.....	7
2.1.5 Aspectos físico-químicos.....	7
2.1.5.1 Turbidez.....	8
2.1.5.2 Temperatura.....	8
2.1.5.3 pH.....	9
2.1.5.4 Oxígeno disuelto.....	9
2.1.5.5 Materia orgánica.....	10
2.1.5.6 Nitratos y fosfatos.....	10
2.2 Gases de efecto invernadero.....	10
2.2.1 Metano.....	11
2.2.1.1 Emisiones de metano en embalses.....	11
2.2.2 Dióxido de carbono.....	12

2.2.2.1	Emisiones de dióxido de carbono en embalses.....	12
2.3	Métodos para la cuantificación de concentraciones de emisiones de metano y dióxido de carbono.....	12
2.3.1	Cromatografía de gases (CG).....	12
2.3.2	Monitores de gases múltiples.....	13
2.3.3	Modelos matemáticos.....	13
3	CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO.....	15
3.1	Ubicación del sitio de estudio.....	15
3.2	Equipos y materiales.....	17
3.2.1	Protección personal.....	17
3.2.2	Preservantes.....	18
3.2.3	Equipos de campo.....	18
3.2.4	Materiales de campo.....	18
3.2.5	Materiales de laboratorio.....	19
3.2.6	Reactivos de laboratorio.....	19
3.3	Tipo de investigación.....	20
3.4	Prueba de hipótesis.....	20
3.4.1	Hipótesis nula.....	21
3.4.2	Hipótesis alternativa.....	21
3.5	Población y muestra.....	21
3.6	Recolección de información.....	21
3.6.1	Tipo de muestra.....	22
3.6.1.1	Embalses.....	22
3.6.2	Metodología de muestreo, transporte de materiales y determinación de emisiones de metano y dióxido de carbono en los embalses de Agoyán y Pisayambo.....	23
3.6.2.1	Metodología para la determinación de parámetros ambientales en los embalses de Agoyán y Pisayambo.....	23
3.6.2.2	Metodología para la determinación de emisiones de metano y dióxido de carbono.....	24
3.6.2.2.1	Evaluación del proceso para el análisis de la cantidad de emisiones de metano en los embalses de Agoyán y Pisayambo mediante determinación insitu, usando un monitor de gas PID personal (RKI-GX-6000).....	24
3.6.2.2.2	Evaluación del proceso para el análisis de la cantidad de emisiones de dióxido de carbono en los embalses de Agoyán y Pisayambo mediante determinación insitu, usando un monitor de gas PID personal (RKI-GX-6000).....	25
3.6.2.2.3	Evaluación del proceso de estimación de la cantidad de emisiones de metano en los embalses de Agoyán y Pisayambo mediante la metodología	

	del Panel Intergubernamental sobre el cambio Climático (IPCC).....	25
3.6.2.2.4	Evaluación del proceso para la determinación de emisiones de metano en los embalses de Agoyán y Pisayambo mediante un modelado simple por estimación directa utilizando como variable la demanda bioquímica de oxígeno (DBO).....	28
3.6.2.2.5	Evaluación del proceso de determinación de presencia de clorofila en los embalses de Agoyán y Pisayambo para establecer una ecuación de regresión significativa para predecir los flujos de metano generados en los embalses estudiados.....	30
3.7	Procesamiento de la información y análisis estadístico.....	32
3.8	Variables de respuesta.....	32
3.8.1	Variables dependientes.....	32
3.8.2	Variables independientes.....	33
4	CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	34
4.1	Resultados de la cantidad de emisiones de metano y dióxido de carbono en los embalses de Agoyán y Pisayambo.....	34
4.1.1	Análisis de la cantidad de emisiones de metano en los embalses de Agoyán y Pisayambo mediante determinación insitu, usando un monitor de gas PID personal (RKI-GX-6000).....	34
4.1.2	Análisis de la cantidad de emisiones de dióxido de carbono en los embalses de Agoyán y Pisayambo mediante determinación insitu usando un monitor de gas PID personal (RKI-GX-6000).....	44
4.1.3	Estimación de la cantidad de emisiones de metano en los embalses De Agoyán y Pisayambo mediante la metodología del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC).....	48
4.1.4	Estimación de la cantidad de emisiones de metano en los embalses de Agoyán y Pisayambo mediante modelado simple por estimación directa utilizando como variable la demanda bioquímica de oxígeno (DBO).....	53
4.1.5	Determinación de una ecuación de regresión significativa para predecir los flujos de metano generados en los embalses de Agoyán y Pisayambo.....	57
5	CAPITULO V: CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES, BIBLIOGRAFÍA Y ANEXOS.....	65
5.1	Conclusiones	65
5.2	Recomendaciones	68
5.3	Bibliografía	69
	ANEXOS.....	75

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 2.1	Clasificación de embalses según su funcionamiento..... 4
Tabla 2.2	Clasificación de embalses según su volumen y área desbordada..... 4
Tabla 2.3	Principales usos de embalses a nivel industrial..... 5
Tabla 2.4	Criterios para la clasificación del grado trófico de un embalse..... 7
Tabla 3.1	Ubicación geográfica de los puntos de muestreo en Agoyán y Pisayambo..... 16
Tabla 3.2	Preguntas básicas sobre la determinación de emisiones de metano y dióxido de carbono en los embalses de Agoyán y Pisayambo.....22
Tabla 3.3	Cantidad de clorofila presente en los embalses de Agoyán y Pisayambo en unidades de mg/m ³ 31
Tabla 4.1	Resultados de las emisiones de metano en los embalses de Agoyán y Pisayambo en unidades de % LEL y ppm.....35
Tabla 4.2	Resultados de los principales parámetros insitu en los puntos representativos de los embalses de Agoyán y Pisayambo..... 35
Tabla 4.3	Valores extremos de los principales parámetros fisicoquímicos para la regulación de la calidad del agua en embalses37
Tabla 4.4	Resultados de las emisiones de metano en los puntos representativos del embalse de Pisayambo..... 39
Tabla 4.5	Resultados de las emisiones de metano en los puntos representativos del embalse de Agoyán..... 39
Tabla 4.6	Resultados de las emisiones totales de metano generados en los embalses de Agoyán y Pisayambo..... 42
Tabla 4.7	Resultados de las emisiones totales de dióxido de carbono generados en los embalses de Agoyán y Pisayambo en unidades de %LEL y ppm..... 44
Tabla 4.8	Resultados de las emisiones totales de dióxido de carbono en los puntos representativos del embalse Pisayambo..... 45
Tabla 4.9	Resultados de las emisiones totales de dióxido de carbono en los puntos representativos del embalse Agoyán..... 46
Tabla 4.10	Resultados de las emisiones totales de dióxido de carbono en los embalses de Agoyán y Pisayambo en toneladas/año..... 48

Tabla 4.11	Resultados del porcentaje de materia orgánica en los embalses de Agoyán y Pisayambo.....	49
Tabla 4.12	Factor de corrección de metano (MCF) aplicado a los embalses de Agoyán y Pisayambo.....	50
Tabla 4.13	Resultado de las emisiones totales de metano en el embalse de Pisayambo aplicando el modelo matemático IPCC.....	52
Tabla 4.14	Resultado de las emisiones totales de metano en el embalse de Agoyán aplicando el modelo matemático IPCC.....	53
Tabla 4.15	Resultados de la demanda bioquímica de oxígeno presente en los embalses de Agoyán y Pisayambo en unidades de mg/L.....	54
Tabla 4.16	Resultados de las emisiones totales de metano en el embalse de Pisayambo aplicando el modelo matemático en función del DBO.....	56
Tabla 4.17	Resultados de las emisiones totales de metano en el embalse de Agoyán aplicando el modelo matemático en función del DBO.....	56
Tabla 4.18	Resultados de la cantidad de clorofila presente en los embalses de Agoyán y Pisayambo en unidades de mg/m ³	58
Tabla 4.19	Resultados de la cantidad de nitratos y fosfatos presente en los embalses de Agoyán y Pisayambo en unidades de mg/m ³	59
Tabla 4.20	Ecuación de regresión significativa para predecir las emisiones de metano generados en los embalses hidroeléctricos muestreados.....	61
Tabla 4.21	Prueba de Levene (ANOVA) para la diferenciación significativa de emisiones de metano en los embalses de Agoyán y Pisayambo.....	61
Tabla 4.22	Prueba de Levene (ANOVA) para la diferenciación significativa de emisiones de CO ₂ en los embalses de Agoyán y Pisayambo.....	62
Tabla 4.23	Prueba de comparación de Tukey para las emisiones de metano en los embalses de Agoyán y Pisayambo.....	64

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 3.1	Ubicación y puntos de muestreo del embalse Agoyán..... 15
Figura 3.2	Ubicación y puntos de muestreo del embalse Pisayambo..... 16
Figura 4.1	Nivel medio de contaminación entre los puntos de muestreo del embalse Pisayambo..... 41
Figura 4.2	Nivel medio de contaminación entre los puntos de muestreo del embalse Agoyán..... 41
Figura 4.3	Determinación de la ecuación de regresión significativa para predecir los flujos de metano generados en el embalse hidroeléctrico Pisayambo.....59
Figura 4.4	Determinación de la ecuación de regresión significativa para predecir los flujos de metano generados en el embalse hidroeléctrico Agoyán..... 60
Figura AIV.1	Valores críticos de Tukey.....87

AGRADECIMIENTO

En primera instancia agradezco a Dios por haberme dado la vida y hacer posible la realización de este proyecto; gracias a mis formadores, personas que nos han compartido sus conocimientos con los cuales hemos logrado el cumplimiento de nuestros objetivos.

Agradezco de corazón a mi tutor, el Químico Lander Pérez por su paciencia, dedicación, motivación, criterio y aliento. Ha sido un privilegio poder contar con su guía y ayuda. Gracias por ser docente y amigo a la vez.

Gracias a todas las personas de la Universidad Técnica de Ambato por su atención y amabilidad en todo lo referente a mi vida como alumno de maestría.

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a Dios y a la madre Dolorosa ya que con su bendición he logrado culminar mi maestría, a mi familia por ser fuente de motivación e inspiración para poder superarme cada día más y así poder prosperar para que la vida me depara un futuro mejor.

A mis padres Hugo y Cecilia por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad, que son mi fuerza, mi alegría, mi apoyo y me han enseñado valores como es el respeto y la perseverancia. Gracias por ser incondicionales en mi vida, su amor infinito y por la confianza constante para alcanzar mis metas y anhelos.

A mi hermano Cristian con quien nos apoyamos de manera incondicional y siempre ha confiado en mí, a Naomi por ser mi novia, mi compañera y amiga, que siempre me ha apoyado en momentos difíciles y me han ayudado a seguir adelante.

Hugo Sánchez

UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERIA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E
INDUSTRIAL
MAESTRIA EN QUIMICA MENCIÓN QUÍMICA-FÍSICA

TEMA:

ESTUDIO DE LOS PROCESOS DE DEGRADACIÓN Y TRANSFORMACIÓN DEL MATERIAL VEGETAL EN LOS EMBALSES HIDROELÉCTRICOS DE AGOYÁN Y PISAYAMBO QUE GENERAN METANO (CH₄) Y DIÓXIDO DE CARBONO (CO₂)

AUTOR: Ing. Hugo Javier Sánchez Moreno

DIRECTOR: Químico, Lander Vinicio Pérez Aldás Mg.

LINEA DE INVESTIGACIÓN:

- Medio Ambiente

FECHA: 31 mayo de 2021

RESUMEN EJECUTIVO

En el presente trabajo se evaluó el estudio de los procesos de degradación y transformación del material vegetal en los embalses hidroeléctricos de Agoyán y Pisayambo que generan metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂). Se realizó el muestreo de campo y el análisis de laboratorio para establecer los aspectos geográficos, geofísicos y bioquímicos de los embalses, con el objetivo de establecer los flujos de gases de interés (metano y dióxido de carbono) y determinar la metodología correcta aplicando modelos matemáticos.

Se utilizaron tres métodos para la estimación de gases metano y dióxido de carbono en los embalses mencionados, el primero es mediante determinación insitu usando un monitor de gas PID personal (RKI-GX-6000) con la ayuda de una cámara estática flotante, el segundo método incluyó la aplicación de un modelo matemático IPCC utilizando como variable la materia orgánica obtenida del sedimento de los embalses, y la tercera técnica es mediante un modelado simple por estimación directa utilizando como variable la

demanda bioquímica de oxígeno (DBO). Además se encontró una ecuación de regresión significativa de emisiones de metano, con el fin de contribuir a largo plazo a las Hidroeléctricas de Agoyán y Pisayambo.

Los resultados encontrados en este estudio indican que las emisiones metano generados en los embalses de Agoyán y Pisayambo reportan un valor máximo de $3,0 \times 10^3$ y $7,1 \times 10^3$ t/año respectivamente, mientras que las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera reportan valores de $1,3 \times 10^2$ y $2,3 \times 10^2$ t/año, indicándonos que en el embalse Pisayambo existe una mayor contaminación que en el embalse de Agoyán por emisiones de metano y dióxido de carbono. Estos valores de flujos de metano se pudieron contrastar con estudios realizados en el embalse Pisayambo por (Paucar & Amacha, 2015) en donde utilizaron modelos matemáticos que manifiestan 11 133 toneladas de CH₄ al año y 233,78 toneladas de CO₂ al año corroborando la veracidad de la investigación. Finalmente se realizó un análisis estadístico mediante la prueba de Levene para evaluar la normalidad y la igualdad de varianzas, y los resultados se confirmaron utilizando el test de Tukey.

Descriptor: Agoyán, contaminación, cámara estática, demanda bioquímica de oxígeno, dióxido de carbono, embalse hidroeléctrico, materia orgánica, metano, modelo matemático IPCC, Pisayambo.

UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERIA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E
INDUSTRIAL
MAESTRIA EN QUIMICA MENCIÓN QUÍMICA-FÍSICA

THEME:

STUDY OF THE DEGRADATION AND TRANSFORMATION PROCESSES OF PLANT MATERIAL IN THE HYDROELECTRIC RESERVOIRS OF AGOYÁN AND PISAYAMBO THAT GENERATE METHANE (CH₄) AND CARBON DIOXIDE (CO₂)

AUTHOR: Ing. Hugo Javier Sánchez Moreno

DIRECTED BY: Químico, Lander Vinicio Pérez Aldás Mg.

LINE OF RESEARCH:

- Environment

DATE: May 31, 2021

EXECUTIVE SUMMARY

In the present project, the study of the degradation and transformation processes of plant material in the hydroelectric reservoirs of Agoyán and Pisayambo that generate methane (CH₄) and carbon dioxide (CO₂) was evaluated. Field sampling and laboratory analysis were carried out to establish the geographical, geophysical and biochemical aspects of the reservoirs, with the aim of establishing the gas flows of interest (methane and carbon dioxide) and determining the correct methodology by applying mathematical models.

Three methods were used for the estimation of methane and carbon dioxide gases in the mentioned reservoirs, the first is by on-site determination using a personal PID gas monitor (RKI-GX-6000) with the help of a floating static chamber, the second The

method included the application of an IPCC mathematical model using the organic matter obtained from the sediment of the reservoirs as a variable, and the third technique is through a simple modeling by direct estimation using the biochemical oxygen demand (BOD) as a variable. In addition, a significant regression equation for methane emissions was found in order to contribute in the long term to the Agoyán and Pisayambo Hydroelectric Plants.

The results found in this study indicate that the methane emissions generated in the Agoyán and Pisayambo reservoirs report a maximum value of $3,0 \times 10^3$ and $7,1 \times 10^3$ tons / year respectively, while carbon dioxide emissions into the atmosphere report values of 136 and 239 tons / year, indicating that in the Pisayambo reservoir there is more pollution than in the Agoyán reservoir due to emissions of methane and carbon dioxide. Finally, a statistical analysis was performed using Levene's test to assess normality and equality of variances, and the results were confirmed using Tukey's test.

Keywords: Agoyán, biochemical oxygen demand, carbon dioxide, hydroelectric reservoir, IPCC mathematical model, methane, organic matter, Pisayambo pollution, static chamber.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Introducción

Un problema que afronta la sociedad actual es el cambio climático, causado fundamentalmente por los gases de efecto invernadero (GEI) de actividades antropogénicas, como son el dióxido de carbono (CO_2) y el metano (CH_4), los mismos que se producen principalmente por el uso de combustibles fósiles en el sector transporte, energético e industrial. Estudios recientes como la “Determinación de emisiones de metano en tres embalses hidroeléctricos en Costa Rica” (Herrera, Rojas, Rodríguez, & Rojas, 2013) o la “Mitigación y recuperación de emisiones de metano de represas hidroeléctricas tropicales” (Bambace, Ramos, Lima, & Rosa, 2007), han demostrado que las emisiones de dióxido de carbono y metano de los embalses hidroeléctricos comprenden una fracción nada despreciable de estos gases generados antropogénicamente, por lo cual el presente proyecto con el tema “*Estudio de los procesos de degradación y transformación del material vegetal en los embalses hidroeléctricos de Agoyán y Pisayambo que generan metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2)*” tiene como finalidad analizar el impacto ambiental que causan los embalses de las principales centrales hidroeléctricas en el Ecuador (Agoyán y Pisayambo), con el fin de valorar los resultados y poder contribuir a detener el crecimiento de gases de efecto invernadero a la atmósfera.

Las estrategias empleadas para la estimación de dióxido de carbono y metano en los embalses de Agoyán y Pisayambo, incluyen el muestreo de campo y análisis de laboratorio para la evaluación de aspectos geográficos, geofísicos y bioquímicos de los embalses (Pier, 1997) , la medición directa de gas metano y anhídrido carbónico con un monitor de gas PID (Whittaker et al., 2017) y finalmente la aplicación de modelos matemáticos para la determinación de metano y dióxido de carbono en toda el área representativa de cada embalse estudiado, en dónde los modelos aplicados son los que mayor exactitud presentan de acuerdo al Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (Pachauri & Meyer, 2014). Además el presente estudio incluye las

regresiones significativas de emisiones de metano con el fin de contribuir a futuro a las Hidroeléctricas de Agoyán y Pisayambo.

La estructura del trabajo consta de un primer capítulo, en donde se analizará la problemática real de porque el estudio se ejecutó contrastándola con la parte teórica, en el segundo capítulo vemos los antecedentes investigativos, ya en el tercer capítulo se observa la metodología establecida para cumplir los objetivos planteados, en el cuarto capítulo veremos los resultados y discusiones a los cuales hemos llegado en la y ya en el último capítulo se observará las conclusiones, recomendaciones, referencias, y anexos.

1.2. Justificación del Proyecto

El presente proyecto se enfoca en el estudio sobre las emisiones de metano producidas en embalses hidroeléctricos con el fin de estimar las emisiones de metano y analizar su dispersión atmosférica bajo la influencia de parámetros meteorológicos, según diferentes escenarios de concentración generados (Flores et al., 2019). Estos embalses hidroeléctricos a menudo se consideran fuentes de carbono neutral para energía, pero investigaciones recientes indican que al ser usados como reservorios son fuentes potencialmente importantes de gases de efecto invernadero como son el metano, dióxido de carbono y óxido de nitrógeno, los mismos que necesitan ser tratados y gestionados para cumplir las leyes ambientales (Varol, 2019).

En la actualidad evidencias científicas cada vez más decisivas afirman que las emisiones antrópicas de gases de efecto invernadero a la atmósfera están originando cambios específicos en variables climáticas tales como la temperatura, las precipitaciones, y la frecuencia e intensidad de los eventos climáticos extremos (Dos Santos et al., 2017). Los embalses hidroeléctricos al constituir una fuente importante de CO₂ y CH₄ resultado del proceso de descomposición de la materia orgánica dentro del depósito de agua del cuerpo y en la capa inferior con presencia de sedimentos, los mismos que son influenciados por el pH, clorofila, niveles de carbono orgánico, antigüedad del yacimiento, velocidad del viento y precipitación son factores importantes a analizar para la reducción de la emisión de estos biogases a la atmósfera (Saidi & Koschorreck, 2017).

El metano (CH₄) es el segundo GEI más trascendental en el calentamiento sustancial entre los gases de efecto invernadero, detrás del CO₂ (Cadilhac, Torres, Calles, Vanacker, & Calderón, 2017). Por lo cual es necesaria la disminución eficaz de las emisiones de metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂) a corto o largo plazo para impedir el acrecentamiento de su concentración en el ambiente, de manera que se consiga evitar un problema mayor por el incremento de la contribución de este gas en el efecto invernadero (Pérez & Ponce, 2013).

Debido a que en Ecuador no existe una normativa para regular las emisiones de los embalses hidroeléctricos es necesario realizar estudios sobre este tema, por otro lado el plan Estratégico de Energía Nacional proyecta el aumento en la Matriz Energética en un 93% proveniente de generación hidráulica lo que hace obligatorio tratar de controlar las emisiones de metano y dióxido de carbono (Samaniego, 2014) . Por lo tanto, la intensa investigación actual en este campo no sólo ampliará las posibilidades de analizar estrategias para proteger al medio ambiente, sino también dará lugar a nuevos e interesantes enfoques rentables y sostenibles (Kumar & Sharma, 2016).

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

- Estudiar sobre los procesos de degradación y transformación del material vegetal en los embalses hidroeléctricos de Agoyán y Pisayambo que generan metano (CH₄) y dióxido de Carbono (CO₂).

1.3.2. Objetivo Específico

- Establecer la metodología adecuada para la determinación de concentraciones de metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂), que aportan al cambio climático en los embalses de Agoyán y Pisayambo.
- Cuantificar la tasa de emisión de gases de efecto invernadero en los embalses de Agoyán y Pisayambo.

CAPÍTULO II

ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

2.1. PROBLEMAS AMBIENTALES ASOCIADOS A EMBALSES HIDROELECTRICOS

2.1.1. Clasificación de los embalses

La clasificación de los embalses se puede hacer según su función y según su tamaño, como se muestran en la Tabla 2.1 y Tabla 2.2.

Tabla 2.1. Clasificación de embalses según su funcionamiento.

Según su función		
Embalses de distribución	Pondajes	Embalses de distribución
No causan grandes almacenamientos pero ayudan a regularizar el funcionamiento de sistemas de abastecimiento de agua, plantas de tratamiento o estaciones de bombeo.	Son pequeños almacenamientos para reemplazar consumos locales.	Se encargan de la retención de excesos de agua en períodos de alto escurrimiento para ser consumidos en lapsos de sequía.

Fuente: (Dos Santos et al., 2017)

Elaborado por: Sánchez, (2021)

Tabla 2.2. Clasificación de embalses según su volumen y área desbordada.

Según su tamaño		
Categoría	Volumen (10^6 m^3)	Área (km^2)
Pequeños	10 a 100	2 a 20
Medianos	100 a 1.000	20 a 100
Grandes	1.000 a 10.000	100 a 500
Muy Grandes	10.000 a 50.000	500 a 5.000
Gigantes	> 50.000	> 5.000

Fuente: (Samaniego, 2014)

Elaborado por: Sánchez, (2021)

2.1.2. Impactos ambientales generales

La construcción de centrales hidroeléctricas acarrea una variedad de impactos ambientales que afectan el área donde están ubicados. El principal impacto que los embalses ocasionan es la alteración de los sistemas naturales. Entre los sistemas afectados tenemos el hidrológico y el terrestre, en donde en el sistema hidrológico afecta la biota acuática, mientras que en el sistema terrestre es ocasionado por la inundación de secciones de bosques y vegetación que afecta diferentes especies de fauna y comunidades humanas (Bambace et al., 2007). En la Tabla 2.3 se indica el uso principal que presentan los embalses a nivel industrial.

Tabla 2.3. Principales usos de embalses a nivel industrial

Sector	Usos
Hidroeléctrico	Generación de energía
Agrícola	Suministro para agua de riego
Alimentario	Alimentación para agua de consumo
Metalúrgico	Regularización del caudal de las aguas de escurrimiento

Fuente: (Bambace et al., 2007)
Elaborado por: Sánchez, (2021)

2.1.3. Estado trófico de los embalses

El estado trófico se describe como el enriquecimiento de las aguas en sustancias nutritivas que transporta, ordinariamente se refiere a alteraciones representativas tales como acrecentamiento de la producción de plantas acuáticas, desperfecto de la calidad del agua y del ecosistema acuático (Varol, 2019).

En el estudio realizado por (Montalvo, García, & Almeida, 2014) sobre “Modelación de la eutrofización e índice de calidad del agua”, manifiestan que el estado trófico de los cuerpos de agua se encuentran situados principalmente en bosques de alrededor de 1300 a 1800 metros sobre el nivel del mar por la transición de la flora y fauna, en dónde la eutrofización de los embalses con respecto a la productividad biológica se constituyen en estados oligotróficos, mesotróficos y eutróficos.

2.1.3.1. Embalses eutróficos

La eutrofización es un impacto climático que se origina en los embalses de manera natural, el mismo que se ve activado por la inclusión de contaminantes a las aguas por parte del medio antrópico. Si un cuerpo de agua se eutrofiza puede producir la emisión de gases a la atmósfera, esto ocurre debido a que un embalse debe procesar grandes cantidades de materia orgánica (Pabello, 2014).

Estos embalses presentan una alta productividad biológica, debido a su alta presencia de nutrientes en las aguas, excelente crecimiento de algas, gran cantidad de materia orgánica, aguas oscuras y baja presencia de oxígeno (González, Ortaz, & Peñaherrera, 2004). Esto es debido a un desarrollo excesivo de algas en una masa de agua superficial estancada que origina una alteración de sus características fisicoquímicas iniciales. Diferentes autores afirman que la biomasa del fitoplancton en un cuerpo de agua es proporcional a su carga de nutrientes limitantes, principalmente nitratos y fosfatos, que proporcionan un desarrollo exagerado de fitoplancton y plantas acuáticas, lo que significa que la masa fitoplanctónica aumentará a medida que la disponibilidad de nutrientes lo haga y empiece a aumentar la eutrofización (Ramírez & González, 2012).

2.1.3.2. Embalses mesotróficos

Son embalses denominados intermedios debido a que se encuentran entre el nivel Oligotrófico y Eutrófico, con aguas con mínima claridad y corta profundidad (Lopez & Madroñero, 2015).

2.1.3.3. Embalses oligotróficos

Son embalses que poseen poca cantidad de nutrientes, con aguas templadas, transparentes, mínima presencia de algas y animales. Además estas aguas son utilizadas para el consumo humano y su peculiaridad principal es que predominan generalmente en lagos o embalses andinos debido a sus climas fríos como en los páramos ecuatorianos, además existe vida marina como truchas debido a la gran presencia de oxígeno (Rv et al., 2015).

En la tabla 2.4 se indican los criterios para la calificación del grado trófico de un embalse:

Tabla 2.4. Criterios para la calificación del grado trófico de un embalse

Categoría trófica	P total (mg/m³)	Clorofila media (mg/m³)	Clorofila máxima (mg/m³)	Media Secchi (m)
Eutrófico	35-100	8,0-25,0	25,0-75,0	3,0-1,5
Mesotrófico	10-35	2,5-8,0	8,0-25,0	6,0-3,0
Oligotrófico	< 10,0	< 2,5	< 8,0	> 6,0

Fuente: (Beltrán & Rangel, 2013)

Elaborado por: Sánchez, (2021)

2.1.4. Causas de eutrofización

La Eutrofización sucede debido a dos aspectos principales de contaminación ya sea por origen natural o antropogénico. La presencia de cantidades excesivas de nutrientes ocasiona que la descomposición produzca un descenso de los niveles de oxígeno en el agua provocando la muerte de especies de peces por la falta de oxígeno, además los componentes o sustancias que necesitan los organismos para poder vivir son el carbono, nitrógeno, fósforo. Cuando se analiza el carbono y el nitrógeno es fácil debido a que se encuentran en forma natural, mientras que el fósforo es un regulador de crecimiento de algas lo que ocasiona la proliferación de fitoplancton, que consumen buena cantidad de oxígeno reduciendo considerablemente las especies en estos lugares (Oliva-Martínez & Catriona, 2014).

2.1.5. Aspectos físico-químicos

Los caracteres físico-químicos son necesarios para establecer la calidad del embalse y de esta manera por medio de la recolección de datos comprender que está aconteciendo con los niveles de contaminación que se originan en los cuerpos de agua (Oliva-Martínez & Catriona, 2014). Los principales aspectos físico-químicos a tomar en

cuenta cuando se analizan embalses o vertederos son: la turbidez, temperatura, pH, oxígeno disuelto, materia orgánica, nitratos y fosfatos.

2.1.5.1. Turbidez

La turbidez de acuerdo a la Organización Internacional de Normalización (ISO) se define como la reducción de la transparencia de un líquido ocasionada por la presencia de partículas no disueltas de material desemejante al líquido propio (D. Hernández & González, 2013).

La turbidez también puede ser definida como un indicador de apariencia óptica, originado por la dispersión y absorción de la energía lumínica que pasa a través del líquido, y esta únicamente es medida utilizando técnicas ópticas fundamentadas en la relación de la intensidad de la luz incidente y de la luz dispersada, en dónde la turbidez es proporcional a la concentración de las partículas (Deloya, 2017).

El método más conocido para la determinación de la turbidez es por un equipo denominado Turbidímetro en el cual las partículas de suspensión son establecidas gracias a un haz de luz (Deloya, 2017).

2.1.5.2. Temperatura

La temperatura es una variable muy importante del parámetro fisicoquímico y biológico que está presente en los sistemas acuáticos, debido a que los cambios en el perfil vertical de temperatura de un sistema pueden modificar la densidad del agua y por lo tanto, los patrones de estratificación. La mayor parte de los procesos físicos, químicos y biológicos que tienen lugar en un embalse vienen controlados por la hidrodinámica y la evolución térmica. Además una relación directa que beneficia muchas veces a los organismos acuáticos en su aceleración o desaceleración es la temperatura debido a que por medio de esta suceden procesos como físicos, químicos y biológicos (Arbat, 2015).

2.1.5.3. pH

El pH es la medición fisicoquímica que muestra los iones hidrogeno presentes en una cantidad de agua. También es denominado como potencial de hidrogeno y en una disolución es relacionado directamente con la fuerza, con la concentración o con la intensidad de la reacción química. Las condiciones de pH varían de acuerdo al tipo de embalse que se estudie ya sea ácido, neutro o alcalino (Torres, 2008).

Algunos factores que afectan en el pH del agua es la concurrida actividad de los microorganismos acuáticos debido al carbono, lo que produce desequilibrios de anhídrido carbónico CO₂ en el agua originando la insolubilización de bicarbonatos que posteriormente modifican las concentraciones de pH (Wang et al., 2019).

El pH es analizado con la ayuda de un pHmetro junto con la norma Ecuatoriana NTE INEN 2169 (2013) y siempre para su previa medición se debe realizar la calibración necesaria (NTE INEN, 2013).

2.1.5.4. Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto es la cantidad de oxígeno que se encuentra disuelta en el agua y que es esencial para tener lagos saludables. El nivel de oxígeno disuelto puede ser un indicador de niveles de contaminación en el agua, presencia de una actividad bacteriana acelerada o condiciones de mal estado de la materia orgánica y cuan bien puede dar soporte esta agua a la vida vegetal y animal. Estudios han indicado que el agua más fría puede guardar más oxígeno y que una diferencia en los niveles de oxígeno disuelto puede ser aparente a diferentes profundidades si existen cambios significativos en la temperatura del agua (Peña, 2007).

Los niveles de oxígeno disuelto son aceptables acatando la diversidad de la vida acuática estable que es de alrededor de 5 a 6 ppm y que esta se puede modificar a valores de 8 ppm dependiendo la ubicación, temperatura, presión, aguas frías. De acuerdo a lo mencionado estas contienen más cantidad o menor cantidad de oxígeno disuelto (Muñoz et al., 2015).

2.1.5.5. Materia orgánica

De acuerdo al estudio realizado por (J. Sánchez, 2008) en el capítulo 18 sobre “Sedimentación en Embalses” manifiesta que la materia orgánica que se encuentra en estado de descomposición de los embalses o lagunas es el factor principal o predominante para la evaluación del estado eutrófico y además son parte fundamental para el análisis del comportamiento de los ecosistemas acuáticos. Además concluye que el análisis biológico de la calidad del agua puede remediar y disminuir el estrés antropogénico a los cuerpos de agua impidiendo el deterioro de la biodiversidad y remediación.

2.1.5.6. Nitratos y fosfatos

Los nitratos (NO_3^-) son el producto final de la nitrificación, frecuentemente encontrados de la descomposición de animales y vegetales, lixiviados y especialmente de soluciones químicas como fertilizantes nitrogenados y cuando se analiza en aguas naturales no sobrepasan la cantidad de los 10 mg/L, además los nitratos suelen ser muy nocivos en los humanos y relativamente inofensivo para los peces y otros organismos acuáticos cultivados, debido principalmente a su limitada absorción a través de las branquias (Cárdenas & Sánchez, 2013).

El ion fosfato (PO_4^-) se origina a partir del fósforo inorgánico que está presente como mineral y contribuye concisamente en el ciclo de este elemento en el ambiente. También suele existir en solución como pequeñas partículas, como fracciones sueltas o en los cuerpos de organismos acuáticos. La cantidad aceptable de fosfato en las aguas es de 0,1 – 0,2 mg/l (Bolaños-alfaro, Cordero-castro, & Segura-araya, 2017).

2.2. GASES DE EFECTO INVERNADERO (GEI)

El gas de efecto invernadero (GEI) es denominado como un componente gaseoso de carácter antropogénico por el cual las distintas radiaciones de longitud de onda en forma de espectro que se emite desde la Tierra son absorbidas por la atmosfera terrestre, este prototipo de ciclo es el que origina el efecto invernadero. En la actualidad

los gases de efecto invernadero más contaminantes son el metano (CH_4), óxido nítrico (N_2O) y también el dióxido de carbono (CO_2) (M. Herrera, 2018).

2.2.1. Metano

El metano es denominado como un gas que no contiene un cuerpo explícito inodoro ya que no posee algún olor particular o color, con una concentración en la tropósfera de 1,8 ppm. El gas metano se encuentra como el tercero más importante en los gases de efecto invernadero, su concentración actual es 2,5 veces mayor que las 0,7 ppm observadas en los núcleos de hielo de alrededor de los últimos 800 000 años. En la actualidad las principales fuentes de metano son debido a la producción de ganado y leche, la agricultura del arroz y quema de la biomasa, uso de energía, vertederos y desechos (Amstel, 2014).

2.2.1.1. Emisiones de metano en embalses

El metano (CH_4), tiene en su composición bacterias que degradan la materia orgánica presente en aguas con bajo contenido de oxígeno, de esta manera pequeñas porciones del metano presente en la parte más profunda de embalses tropicales se oxida transformándose en dióxido de carbono (CO_2) al subir a la superficie de embalse. En la actualidad se menciona que las emisiones de metano (CH_4) derivadas de embalses de las grandes centrales hidroeléctricas alrededor del mundo, alcanzan una cantidad de 2.184 millones de toneladas de dióxido de carbono equivalente, lo que representan cantidades importantes que se deben analizar para evitar o encontrar una aplicación por el aumento desmedido de emisiones de gases de efecto invernadero (Cordero, 2009).

Las emisiones de metano (CH_4) en la superficie del depósito, suceden exclusivamente a través de burbujeo, siendo más pequeños en aguas más profundas, ya que poseen una mayor posibilidad de ser oxidado antes de llegar a la interfaz agua-aire, esta situación colabora a que el perfil de concentración de CH_4 acreciente ligeramente con la profundidad hasta que se llegue al nivel de saturación local. Esta inestabilidad obedece a la cantidad de materia orgánica y condiciones redox del agua (Samaniego, 2014).

2.2.2. Dióxido de carbono

El dióxido de carbono o anhídrido carbónico (CO_2) es un compuesto inorgánico que se origina por la asociación simétrica de un átomo de carbono y dos átomos de oxígeno, espacialmente dispuestos para constituir una molécula triatómica lineal. Es un compuesto químico comúnmente llamado gas invernadero debido a su contribución al calentamiento global, pero por otro lado su existencia es fundamental para el desarrollo de la flora ya que forma parte del proceso de fotosíntesis y originar clorofila y nutrientes para la supervivencia humana. El dióxido de carbono posee un ciclo muy lento por lo que permanece mucho tiempo en la atmósfera terrestre y es considerado como contaminante físico, pero no químico debido a que no sufre reacciones por ser inerte a las condiciones ambientales. En la actualidad las principales fuentes de dióxido de carbono son la combustión de combustible, el suministro de energía, producciones industriales y las emisiones de fuentes naturales (Medina, 2010).

2.2.2.1. Emisiones de dióxido de carbono en embalses

En la actualidad el problema del cambio climático ocurre debido al incremento de la concentración de gases con efecto invernadero en la atmósfera, que es en esencia una cuestión de alteración de la velocidad del ciclo del carbono (Medina, 2010). En condiciones originarias, pequeñas fracciones del carbono se van almacenando en el fondo de mares y océanos, que posteriormente ejercen como grandes sumideros de carbono a escala planetaria, transformándose en materiales carbonatados y carbono orgánico fósil. En estos sumideros el carbono depositado se ubica fuera del ciclo por espacios de tiempo entre 10^4 - 10^6 años, hasta que por procesos tectónicos o de vulcanismo, vuelve a ser expuesto a la atmósfera y se mineraliza originando dióxido de carbono CO_2 en dónde cierra su ciclo (Palau, 2010).

2.3. MÉTODOS PARA LA CUANTIFICACIÓN DE CONCENTRACIONES DE EMISIONES DE METANO Y DIÓXIDO DE CARBONO.

2.3.1. Cromatografía de gases (CG)

La cromatografía de gases es una técnica analítica empleada comúnmente con fines de investigación para caracterizar y cuantificar distintos compuestos en una mezcla. Esta

técnica admite la localización de compuestos en concentraciones muy bajas, en mínimas cantidades y de una buena multiplicidad de matrices siempre que los compuestos sean estables térmicamente y prudentemente volátiles. En la cromatografía de gases se encuentran involucradas dos fases, una móvil y una estacionaria. La fase móvil está formada por un gas inerte como son el helio, argón o nitrógeno. La fase estacionaria consiste de columnas empacadas en las cuales la parte sólida actúa como fase estacionaria. Seguidamente ocurre la detección del anhídrido carbónico y del metano que frecuentemente se realiza con un detector de ionización de flama o se ha utilizado también para la cuantificación detectores de conductividad térmica, pero este tiene una menor sensibilidad. Finalmente las concentraciones de los gases se calculan en base a curvas de calibración generadas por la cromatografía de gases (Santillán & Ramírez, 2018).

2.3.2. Monitores de gases múltiples

Son monitores o dispositivos que funcionan con el principio de espectroscopía infrarroja que utilizan detectores de fotoionización, los mismos que funcionan con una lámpara ultravioleta para la ionización del compuesto orgánico volátil presente. Poseen el gas cero que es el gas de referencia y no tiene presencia de hidrocarburos, el mismo que es necesario para la calibración. Cuando el compuesto se ioniza las moléculas ionizadas se reúnen y se convierten en una corriente, dando origen al factor de respuesta que se define como la relación entre la respuesta del detector por lo general isobutileno frente a la respuesta del detector para el gas de muestra (Ordoñez & Gonzalez, 2017).

2.3.3. Modelos matemáticos

La estimación de las emisiones de metano y diferentes gases de efecto invernadero, generados en embalses se puede realizar mediante modelos matemáticos, los cuales evalúan la dinámica de generación de biogás, incorporando variables como constantes de degradación biológica, variables físico-químicas, tamaño de los embalses, entre otras, que logran describir con alto nivel de precisión la generación de biogás dentro del embalse. En la actualidad el modelo del IPCC, el LandGEM y el modelo mexicano

de biogás se establecen como algunos de los modelos frecuentemente aplicados (Armenta & Sierra, 2017).

El modelo IPCC se basa en el método de descomposición de primer orden en donde el carbono se degrada formando metano, siendo un modelo empíricos, en donde en sus metodologías, se supone que la generación de biogás llega a su máximo después de un periodo de tiempo antes que exista generación de metano (Martínez & Rodríguez, 2016).

El modelo mexicano asume que el período es de un año desde la colocación de los residuos y el comienzo de la generación de biogás, además que por cada unidad de residuos, después de un año la generación disminuye exponencialmente mientras la fracción orgánica de los residuos es consumida (Cordero, 2012).

CAPITULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. UBICACIÓN DEL SITIO DE ESTUDIO

La presente investigación se realizó en los embalses hidroeléctricos de Agoyán y Pisayambo. El embalse de Agoyán se encuentra ubicado en la provincia de Tungurahua a 5 km al este de la ciudad de Baños y a 180 km al Sureste de Quito, en el sector Agoyán de la parroquia Ulba, Campamento los Pinos. A una altitud de 1826 msnm en las siguientes coordenadas: X 0782000, Y 9849000 (GPS). La zona registra una precipitación anual promedio de 1531,5 mm y una temperatura anual que oscila entre 5 °C (mínima) y 17,8 °C (máxima) (CELEC E.P., 2017).

En la Figura 3.1 se indica la ubicación del embalse Agoyán, y la zona marcada representa la zona donde se realizó la toma de muestras.

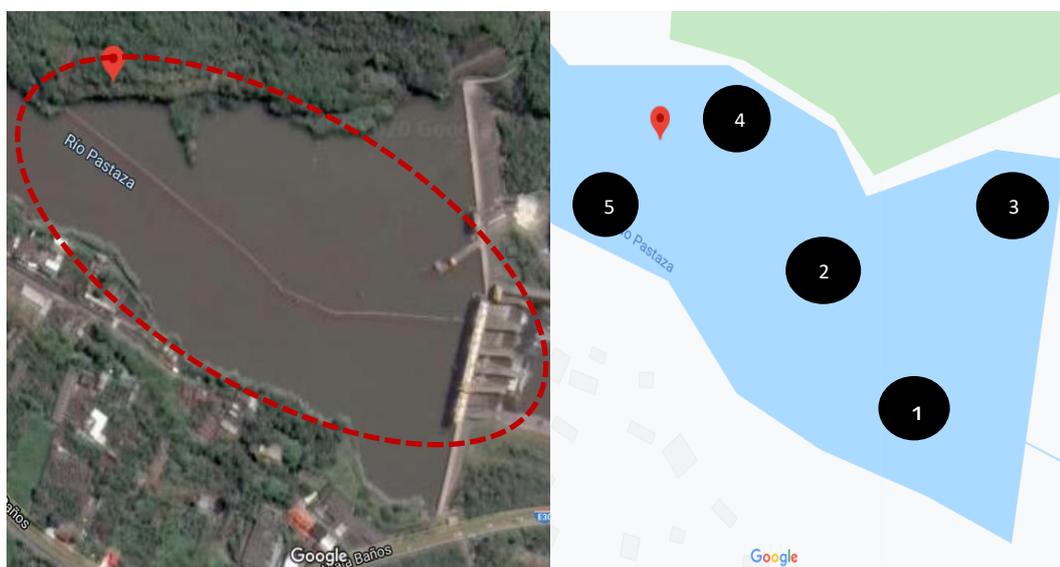


Figura 3.1. Ubicación y puntos de muestreo del embalse Agoyán

Fuente: (CELEC E.P., 2017)

El embalse de Pisayambo se encuentra localizado dentro del Parque Nacional Llanganates, ubicado en la Cordillera Oriental de los Andes, aproximadamente a 40 Km del cantón Píllaro Provincia del Tungurahua. A una altitud de 3380 msnm en las

siguientes coordenadas: X 0789959, Y 988149 (GPS). La zona registra una precipitación anual entre 500 y 2000 mm y una temperatura anual que fluctúa entre 2 °C (mínima) y 22 °C (máxima).

En la Figura 3.2 se observa la localización y los puntos donde se realizaron la toma de muestras del embalse de Pisayambo.



Figura 3.2. Ubicación y puntos de muestreo del embalse Pisayambo

En la Tabla 3.1 se indica la ubicación geográfica exacta de cada uno de los puntos de muestreo para los embalses de Agoyán y Pisayambo.

Tabla 3.1. Ubicación geográfica de los puntos de muestreo en Agoyán y Pisayambo.

	Agoyán		Pisayambo	
	Coordenada	Latitud/Longitud	Coordenada	Latitud/Longitud
Punto1	079129 89845287	SSW184° / 1553 msnm	079036 09880508	ESG 146°/ 3363 msnm
Punto2	079125 69845331	NE 055° / 2089 msnm	078997 38988057	SSE 166° / 5363msnm
Punto3	079120 57843201	SSW 182°/1535 msnm	078976 99880595	SSE 162°/ 5363 msnm
Punto4	079130 67984305	SSW 098°/ 1578 msnm	079001 89880874	SSE 163°/ 3778 msnm
Punto5	079148 67894324	NE 089°/ 2090 msnm	079010 98885670	ESG 176°/ 3776 msnm

3.2. EQUIPOS Y MATERIALES

El objetivo de esta investigación es determinar las emisiones de metano y dióxido de carbono generados en los embalses de Agoyán y Pisayambo. El trabajo de investigación incluye una toma de muestra que es de carácter estratificado proporcional y se realizó utilizando el método 27-20 B del Estándar Métodos Vigésimo 23 del 2017 para emisiones de metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂). Este método es válido debido a que cada tamaño de muestra es proporcional al tamaño de la población total, es decir que cada muestra de estratos tiene la misma fracción de muestreo (Velázquez, 2017).

El procedimiento de la investigación inició con la preparación de todos los materiales a ser utilizados tanto de laboratorio, equipos, indumentaria de protección y personal calificado, además se tomó en cuenta la logística para el desarrollo del trabajo de campo. Se realizó también una lista de chequeo con el objetivo de cubrir todos los elementos indispensables para llevar a cabo el monitoreo de forma efectiva, siendo importante preparar con anticipación los materiales de trabajo. Asimismo, se contó con todos los materiales y equipos de muestreo operativos debidamente calibrados.

3.2.1. Protección personal

El personal encargado del muestreo dispuso de protección personal, de acuerdo a lo señalado en el procedimiento para dotación de ropa de trabajo y equipo de protección para el personal de la Hidroeléctrica Agoyán y Pisayambo.

- Botas de caucho
- Impermeable dos piezas (pantalón y chompa)
- Chompa térmica
- Casco
- Linterna
- Mochila
- Guantes de caucho
- Traje de Neopreno

- chaleco salvavidas
- cuerda con mosquetón (línea vida)
- guantes impermeables y térmicos
- impermeable dos piezas (pantalón y chompa)
- chompa liviana térmica
- bote

3.2.2. Preservantes

- ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4)
- ácido nítrico (HNO_3)
- hidróxido de sodio (NaOH), 6N

Los preservantes mencionados se agregaron a la muestra para conservarla inalterada durante el manejo y transporte al laboratorio. Su aplicación se realizó de la manera más cuidadosa, para el efecto se utilizó guantes de caucho, por tratarse de productos químicos que presentan riesgos para la salud por inhalaciones o quemaduras.

3.2.3. Equipos de Campo

- potenciómetro o pHmetro para determinar el pH.
- termómetros para medir la temperatura del agua y del ambiente.
- disco Secchi para establecer la turbidez
- medidor de gas orgánico para medir metano (CH_4)
- medidor de gas inorgánico para medir dióxido de carbono (CO_2)

3.2.4. Materiales de campo

- fundas Ziploc
- draga
- coolers grande y pequeño
- frascos de poliestireno (primer uso)

- Frascos de vidrio ámbar
- Frasco de vidrio transparente
- Frascos estériles
- Solución estándar de pH y conductividad
- Baldes
- Vasos de precipitación
- Probetas
- Varilla de agitación
- GPS
- Cinta adhesiva
- Libreta de campo
- Cadena de custodia
- Gotero
- Soga
- Guantes descartables

3.2.5. Materiales de laboratorio

- Espátulas
- Pissetas
- Pinzas
- Crisoles
- Pipetas
- Balanza
- Vasos de precipitación
- Erlenmeyers

3.2.6. Reactivos de laboratorio

- Agua destilada
- Permanganato de Potasio

3.3. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación que se empleó en este proyecto fue de tipo experimental, debido a que se obtuvieron datos a través de la experimentación, en este caso fue de campo y laboratorio. La investigación se desarrolló en campo para la toma de muestras y la determinación insitu de emisiones de metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2) con el equipo RKI – 6000. También fue de laboratorio para la realización de varios ensayos entre ellos la determinación de DBO y carbono orgánico total, para la posterior estimación de CH_4 y CO_2 utilizando modelos matemáticos.

La investigación además es de tipo exploratorio debido a que permitirá analizar un problema poco investigado o desconocido en un contexto específico, ya que nos facilita la identificación de antecedentes generales, números y cuantificaciones, respecto a la problemática que acarrea la contaminación en embalses (Vizúete & Jaramillo, 2013).

Su objetivo es establecer las emisiones de metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2) que se producen en los embalses de las Hidroeléctricas de Agoyán y Pisayambo, y hacer un monitoreo completo en 5 puntos previamente analizados para determinar la carga contaminante que generan cada uno de estos embalses, primeramente se utilizará un equipo de medición directa y posteriormente se comparará con dos métodos de detección indirecta de CH_4 y CO_2 , que son el método de carbono orgánico suspendidos y el análisis en función del DBO.

3.4. PRUEBA DE HIPÓTESIS

El estudio de los procesos de degradación y transformación del material vegetal en los embalses hidroeléctricos de Agoyán y Pisayambo permitirá establecer la metodología adecuada y cuantificar las emisiones de metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2).

3.4.1. Hipótesis nula

No existe diferencia significativa en cuanto a la cuantificación de emisiones de metano y dióxido de carbono entre los puntos de muestreo y la ubicación de las hidroeléctricas Agoyán y Pisayambo.

3.4.2. Hipótesis alternativa

Existe diferencia significativa en cuanto a la cuantificación de emisiones de metano y dióxido de carbono entre los puntos de muestreo y la ubicación de las hidroeléctricas Agoyán y Pisayambo.

3.5. POBLACIÓN Y MUESTRA

El número de muestras depende de la variabilidad espacial, temporal (estacional), y puntos de muestreo del cuerpo de agua en estudio. Para establecer la localización de las estaciones de muestreo se realizó un levantamiento preliminar orientado al conocimiento de la calidad del agua y sedimento, posteriormente se determinó si el embalse presenta una cuenca circular o una cuenca alargada, estableciendo que la cuenca de los embalses Agoyán y Pisayambo son alargadas.

Los embalses de Agoyán y Pisayambo tuvieron considerables movimientos de agua y al presentar cuencas alargadas se establecieron 5 secciones transversales como indica los Métodos Estándar 2017 (Baird, Eaton, & Rice, 2017), que representó toda la masa líquida de cada embalse, estableciendo de esta manera las estaciones significativas o puntos de muestreo.

3.6. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Para la recolección de información se planteó un cuadro de preguntas básicas como se indica en la Tabla 3.2 y posteriormente se puntualizará la toma de muestras en los embalses y los métodos utilizados para la determinación de metano y dióxido de carbono en los embalses de Agoyán y Pisayambo.

Tabla 3.2. Preguntas básicas sobre la determinación de emisiones de metano y dióxido de carbono en los embalses de Agoyán y Pisayambo.

PREGUNTAS BÁSICAS	EXPLICACIÓN
¿Para qué?	Determinar las emisiones de metano y dióxido de carbono, que aportan al cambio climático en los embalses de Agoyán y Pisayambo.
¿A quiénes?	A estudiantes, docentes y profesionales de la carrera de Ingeniería Química y carreras relacionadas.
¿Sobre qué aspectos?	Indicadores ambientales
¿Quién, quiénes?	Investigador
¿Cuándo?	En un período entre Julio 2019 – Octubre 2020
¿Dónde?	Embalses de Agoyán y Pisayambo
¿Cuántas veces?	5 muestreos consecutivos en cada embalse.
¿Qué técnicas de recolección?	Monitoreo in situ y de laboratorio
¿Con qué?	Equipo de medición in situ (RKI – 6000). Equipos de toma de muestreo. Instrumental de laboratorio.
¿En qué situación?	Condiciones, circunstancias a la temporada.

3.6.1. Tipo de muestra

3.6.1.1. Embalses

La toma de muestra utilizada es estratificada proporcional y se realizó aplicando el método señalado en la sección 27-20 B del Métodos Estándar Vigésimo 23 del 2017 para emisiones de metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂) (Baird et al., 2017). Se aplicó esta técnica debido a que es un tipo de muestreo probabilístico y nos permite estimar que la composición del agua no varía significativamente en tiempo y en

espacio, y además permite realizarlo a diferentes profundidades y en varios puntos seleccionados.

3.6.2. Metodología de muestreo, transporte de materiales y determinación de emisiones de metano y dióxido de carbono en los embalses de Agoyán y Pisayambo.

La medición de emisiones de metano y dióxido de carbono en los embalses Agoyán y Pisayambo se realizó por método insitu, aplicando la técnica de cámara estática flotante con el equipo (RKI-GX-6000). Las emisiones de metano también se analizaron indirectamente con modelos matemáticos, para lo cual fue necesario determinar el porcentaje de carbono orgánico suspendido, demanda bioquímica de oxígeno y establecer los parámetros ambientales, en dónde se analizó la ubicación geográfica, presión, altura, velocidad del viento, temperatura, pH, profundidad, clorofila A y sedimentos.

Las muestras fueron tratadas mediante las normas internacionales de muestreo y transporte de materiales según (INECC, 2004), teniendo en consideración que estos procedimientos se realizaron para un mínimo de 5 muestras tomadas en diferentes puntos de los embalses para la evaluación de la heterogeneidad del muestreo, además cada muestra fue dividida en 2 sub muestras que serán transportadas al laboratorio y los análisis se realizaron por duplicado en cada submuestras antes muestreada.

3.6.2.1. Metodología para la determinación de los parámetros ambientales en los embalses de Agoyán y Pisayambo.

La recolección de las condiciones de muestreo incluidos los meteorológicos, son factores que ayudarán a posteriores interpretaciones de datos y para la determinación de metano y dióxido de carbono. Primeramente como se mencionó se eligió los 5 puntos representativos para la toma de muestras y con la ayuda del bote nos dirigimos a cada punto de muestreo, seguidamente se ancló el bote en el primer punto y se procedió a tomar las muestras. Se analizó la temperatura utilizando un termómetro de mercurio marca (H-B Instruments), la presión atmosférica se determinó con un

medidor de presión PCE –APM 30, el pH se midió de manera insitu utilizando un pHmetro digital de marca Apera Instruments, seguidamente se analizó la dirección y velocidad del viento con un Anemómetro digital de marca Merck. Posteriormente se realizó la recolección de sedimentos para lo cual se usó una draga Ponar, se utilizó este tipo de draga debido a que son aguas profundas y la corriente de las lagunas presentan velocidades relativamente altas, debido al peso de la draga se requirió de un cable para el sostén desde un bote (Bodger, 2003). Además se analizó la turbidez del agua para lo cual se utilizó el disco Secchi. Finalmente con la ayuda del GPS marca GARMIN – Etrex 10 se determinó las coordenadas geográficas exactas de cada punto de muestreo en los embalses de Agoyán y Pisayambo. El embalse Agoyán tiene un caudal promedio de 5,11 m³/s (Morales, 2015), mientras que el embalse Pisayambo presenta un caudal promedio de 2,85 m³/s (Paucar & Amacha, 2015).

3.6.2.2. Metodología para la determinación de emisiones de metano y dióxido de carbono.

3.6.2.2.1. Evaluación del proceso para el análisis de la cantidad de emisiones de metano en los embalses de Agoyán y Pisayambo mediante determinación insitu, usando un monitor de gas PID personal (RKI-GX-6000).

La medición de los flujos de metano se realizó directamente utilizando un monitor de gas PID personal (RKI-GX-6000), en dónde se utilizó la técnica de la cámara estática flotante. La cámara se construyó utilizando como material principal cloruro de polivinilo con una altura de 30 cm y un ancho de 40 cm. La función de la cámara fue de asegurar una mezcla adecuada de aire dentro de la cámara, la misma que presentó dos orificios, uno en la parte superior y otro en la parte inferior, el orificio de la parte inferior permitió la entrada de pequeñas cantidades de agua y que se acumulara la cantidad necesaria de aire dentro de la cámara, mientras el orificio superior permitió la entrada de una válvula que se conectó directamente al sensor de infrarrojos del equipo RKI -GX-6000. Posteriormente se prendió el equipo y se esperó el tiempo necesario hasta que se estabilizará, los resultados de las emisiones de metano se tomaron después de transcurrir aproximadamente una hora y media, tiempo en el cual no existió cambio en los valores de emisiones de metano, este proceso fue realizado

en cada punto representativo seleccionado anteriormente. Durante cada toma de muestra se midió la temperatura del aire dentro de la cámara y se registró la temperatura del agua como la presión barométrica. Finalmente los flujos de metano J ($\text{mg CH}_4 / \text{m}^2 \cdot \text{día}$) se determinaron empleando la siguiente ecuación:

$$J = \frac{dc}{dt} \times \frac{M}{V_0} \times \frac{P}{P_0} \times \frac{T_0}{T} \times H \quad [3.1]$$

Dónde dc/dt (mol día^{-1}) es la tasa de cambio de la concentración; M (mg mol^{-1}) es la masa molar del metano (CH_4), P (Pa) es la presión atmosférica en el sitio de muestreo; T (K) son la temperatura absoluta registrada durante el tiempo de muestreo; V_0 (m^3), P_0 (Pa), T_0 (K) es el volumen molar, la presión atmosférica y la temperatura absoluta a condiciones estándar, respectivamente; H (m) es la altura de la cámara sobre la superficie del agua (J. Herrera et al., 2013).

3.6.2.2.2. Evaluación del proceso para el análisis de la cantidad de emisiones de dióxido de carbono en los embalses de Agoyán y Pisayambo mediante determinación insitu, usando un monitor de gas PID personal (RKI-GX-6000).

La medición de los flujos de dióxido de carbono se realizó directamente utilizando un monitor de gas PID personal (RKI-GX-6000), aplicando la metodología señalada en la Sección 3.6.2.2.1. Finalmente para expresar las tasas de dióxido de carbono en unidades J ($\text{mg CO}_2 / \text{m}^2 \cdot \text{día}$) se hizo uso de la Ecuación [3.1].

3.6.2.2.3 Evaluación del proceso de estimación de la cantidad de emisiones de metano en los embalses de Agoyán y Pisayambo mediante la metodología del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC).

El modelo del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) para la estimación de emisiones de metano se basa en el método de descomposición de primer orden en donde el carbono se degrada formando metano, en dónde fue necesario la determinación del porcentaje de materia orgánica del sedimento. La expresión

matemática para este modelo utiliza la Ecuación 3.2, Ecuación 3.3 y Ecuación 3.4 que se muestran a continuación (Martínez & Rodríguez, 2016):

$$\text{Emisiones de } CH_4 = [CH_4_{\text{generado}} \times R_T \times (e^{k\Delta t})] \times (1-OX) \quad [3.2]$$

$$DDOC = W \times DOC \times DOCf \times MCF \quad [3.3]$$

$$CH_4_{\text{generado}} = DDOC \times F \times 16/12 \quad [3.4]$$

Para la Ecuación 3.3 se tiene que DDOC es la masa del carbono orgánico degradable disuelto; W es la masa de los desechos depositados; DOC es el carbono orgánico degradable, DOCf es la fracción que se puede descomponer; MCF es el factor de corrección de CH₄ (Martínez & Rodríguez, 2016).

En la Ecuación 3.4 se observa que el potencial de generación de metano es igual al producto de la masa del carbono orgánico disuelto (DDOC), la concentración de metano en el gas (F) y el cociente del peso molecular del metano y el carbono.

Estas ecuaciones se utilizan principalmente en rellenos sanitarios o vertederos y han sido aplicadas en este estudio de embalses, debido a que los embalses de Agoyán y Pisayambo presentan una alta cantidad de sedimentos, debido a la gran presencia de desechos sólidos que no tienen ninguna clase de tratamiento, en el caso del embalse Agoyán sus principales aportes son los ríos Chambo y Patate, los cuales desembocan en el río Pastaza. En la actualidad se ha determinado que la cuenca del Pastaza presenta aguas cuya calidad bacteriológica es totalmente inadecuada para todos los usos, revelando la gravedad e intensidad de la contaminación del agua con desechos domésticos e industriales a nivel de toda la cuenca (Yépez, 2015).

3.6.2.2.3.1. Carbono en sistemas acuáticos

Los embalses emiten grandes cantidades de dióxido de carbono y metano a la atmósfera (Tejada, 2017), debido a la gran cantidad de carbono que se va acumulando

en el fondo, especialmente en sus sedimentos en forma de materiales carbonatados y carbono orgánico fósil, que en la actualidad afecta de manera potencial al cambio climático. La determinación del contenido de materia orgánica en los embalses de Pisayambo y Agoyán se realizó de manera cuantitativa analizando el carbono orgánico y como se produce su oxidación, para lo cual se aplicó el método por vía húmeda.

3.6.2.2.3.2. Determinación de carbono orgánico en sedimentos por el método de oxidación húmeda

Para la determinación del porcentaje de materia orgánica se empezó pulverizando 10 gramos de la muestra del suelo obtenido en los embalses Pisayambo y Agoyán en un mortero, de forma que el polvo resultante pasó por un tamiz de 0,2 mm. Posteriormente se pesó entre 0,5 de muestra (con presencia de menos del 20 mg de C) en un erlenmeyer de 250 mL. Seguidamente se añadió 10 mL de solución 1 N de dicromato potásico conjuntamente con 20 mL de ácido sulfúrico concentrado. La muestra conseguida se dejó en reposar durante 20 minutos y transcurrido este tiempo se añadió unos 100 ml de agua desmineralizada y se dejó enfriar. Finalmente se añadió 10 ml de ácido fosfórico concentrado conjuntamente con unas 5 gotas del indicador difenilamina y se valoró con solución ferrosa, anotando el volumen gastado (Abad, 2010).

Finalmente se anotó el volumen gastado en la titulación para aplicarlo en la Ecuación 3.5 y Ecuación 3.6 que se muestran a continuación:

$$\% C - orgánico = (VB - VM) \times 10^{-3} \times NFe \times \frac{12}{14} \times \frac{1}{p} \times \frac{100}{(100 - \%H)} \times f \quad [3.5]$$

Dónde VB es el volumen de sal ferrosa gastado en el ensayo en blanco, VM hace referencia al volumen de sal ferrosa gastado en la muestra. La normalidad utilizada de sal ferrosa viene como NFe, finalmente p y f son el peso de la muestra y el factor de recuperación respectivamente, en este caso el valor utilizado de f fue de 1,3.

Determinado el porcentaje de carbono orgánico se multiplicó por el factor de Van Bemmelen para encontrar el porcentaje de materia orgánica del suelo como se muestra en la Ecuación 3.6 (A. Sánchez, González-yajimovich, Balart, & López-ortiz, 2013):

$$\% M.O. = \%C \times 1,724 \quad [3.6]$$

3.6.2.2.4. Evaluación del proceso para la determinación de emisiones de metano en los embalses de Agoyán y Pisayambo mediante un modelado simple por estimación directa utilizando como variable la demanda bioquímica de oxígeno (DBO).

La estimación de emisiones de metano mediante un modelado simple por estimación directa se realizó utilizando como metodología el “Protocolo de gases de efecto invernadero”, que fue lanzado por el WBCSD (Consejo Empresarial mundial para el Desarrollo Sostenible) y el WRI (Instituto de Recursos Mundiales), y ha servido como una herramienta de conocimiento y cuantificación de las emisiones de GEI, en este caso se midió el metano a la atmósfera en función de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) aplicando las ecuaciones que se muestran a continuación (Bahi, Akhssas, Khamar, Bahi, & Souidi, 2019):

$$M_{BOD} = (BOD \times Q_{Flow}) \times 10^{-3} \quad [3.7]$$

$$EF_{BOD} = B_0 \times MCF \quad [3.8]$$

$$\text{Emisiones } CH_4 = M_{BOD} \times EF_{BOD} \quad [3.9]$$

Para la Ecuación 3.7 BOD es la demanda bioquímica de oxígeno en unidades de (mg/l) y Q_{Flow} es el flujo de agua del embalse en unidades de ($m^3/día$), mientras en la Ecuación 3.8 EF_{BOD} es el factor de emisión de metano en unidades de ($kg \text{ } CH_4/kg \text{ BOD}$), B_0 es la cantidad máxima de metano producido ($kg \text{ } CH_4/kg \text{ BOD}$) y MCF es la fracción de corrección de metano (Bahi, Akhssas, Khamar, Bahi, & Souidi, 2019a); el coeficiente de corrección de metano (MCF) predeterminado utilizado será 0,8 (IPCC, 2019).

3.6.3.2.4.1. Oxígeno disuelto

(Muñoz et al., 2015) manifiestan que los niveles de oxígeno disuelto en el agua se asocian a la corrosividad, actividad fotosintética y grado de contaminación del agua, tomando en cuenta que estos valores varían dependiendo de ciertos factores como son la ubicación, temperatura, presión, etc. El oxígeno disuelto se puede analizar aplicando el método recomendado en el Standard Methods (1995), ya sea de muestras de agua domésticas e industriales.

3.6.2.2.4.2. Método Yodométrico

Para la determinación del oxígeno disuelto se aplicó el método Winkler o volumétrico, para lo cual se empezó adicionando una muestra de agua previamente colocada en una botella Winkler con 2 ml de solución de sulfato de manganeso $MnSO_4$ y 2 ml de solución álcali yoduro nitrato conocida como (ácida), seguidamente la muestra obtenida se mezcló por inversión. La muestra conseguida se dejó sedimentar por un tiempo de 2 minutos y se añadió 2 ml de ácido sulfúrico H_2SO_4 concentrado. Posteriormente se tomó una alícuota de 100 ml de la muestra tratada, y se colocó en un matraz tiosulfato de sodio $Na_2S_2O_3$ para la titulación correspondiente. En la titulación se obtuvo una coloración marrón pálido, a la cual se adicionó una cantidad mínima de almidón de donde se obtuvo un color azulado opaco, consecutivamente se agitó y se continuó con la titulación hasta desaparición de color azulado (INEN, 2013). Finalmente se anotó el volumen gastado en la titulación para aplicarlo en la Ecuación 3.10 y Ecuación 3.11 que se muestran a continuación:

Volumen muestra corregida(ml)

$$= \frac{\text{volumen muestra original (ml)} \times \text{volumen de la botella}}{\text{volumen de la botella} - \text{volumen total de los reactivos}} \quad [3.10]$$

Oxígeno disuelto (mg/l)

$$= \frac{g \times N \times 8000 \times \text{volumen winkler ml}}{\text{volumen real muestra (ml)} \times (\text{volumen winker ml} - 2)} \quad [3.11]$$

En la Ecuación 3.11 g representa el gasto de tiosulfato de sodio $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ y N la normalidad del $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$.

3.6.2.2.5. Evaluación del proceso de determinación de la presencia de clorofila en los embalses de Agoyán y Pisayambo para establecer una ecuación de regresión significativa para predecir los flujos de metano generados en los embalses estudiados.

La recolección de las muestra se realizó en los 2 embalses de estudio en este caso Agoyán y Pisayambo, aplicando el método APHA 10200H chlorophyll, dónde se evaluó la degradación de clorofila A como variable indicadora de daño inducido por contaminantes ácidos y la calidad de los cuerpos de agua. En cada embalse se estableció 5 puntos ubicados en la zona horizontal que cubrió la totalidad del embalse para la determinación de clorofila A (Balaguer, 2015). Para su determinación se utilizaron algunas técnicas como son la filtración, extracción, centrifugación, la acidificación y la lectura de la muestra en el espectrofotómetro (Alvares, 2021).

Finalmente se realizó una regresión de orden significativa en función de las cantidades de metano determinadas en cada punto representativo y de esta manera se encontró una ecuación que describa el comportamiento de las emisiones de metano en función de la clorofila para los embalses Agoyán y Pisayambo (Herrera, Rojas, Rodríguez, & Rojas, 2013).

3.6.2.2.5.1. Filtración

El proceso de filtración se realizó utilizando un filtro de fibra de vidrio (Millipore de $0,45 \mu\text{m}$; diámetro de 47 mm) con una bomba al vacío, para lo cual primero se pasó la muestra por los filtros en donde se extrajo la mayor cantidad de humedad posible, seguidamente la muestra fue colocada en un tubo de centrifuga resistente a disolventes logrando una medida exacta de volumen de muestra a 10 ml, posteriormente se evitó la fotodegradación cubriendo las muestras con papel aluminio. Finalmente las muestra fueron preservadas a una temperatura de 4°C con hielos por un tiempo de dos horas y

colocadas en una centrifuga con el objetivo del rompimiento celular y la liberación de pigmentos (Rivera et al., 2005).

3.6.2.2.5.2. Extracción y centrifugación

La extracción se alcanzó después de mantener la temperatura ambiente, en dónde se añadió 6 ml de acetona al 90% con una micropipeta graduada, seguidamente se refrigeró al tubo con un tiempo no inferior a 2 horas y no mayor a 24 h, en el cual se debió evitar la entrada de la luz (Lallana, 2003).

Posteriormente se realizó la centrifugación a 2500 revoluciones por minuto, durante 5 minutos para la extracción total del material particulado. Las absorbancias obtenidas se leyeron en un espectrofotómetro Hach DR6000. Finalmente se encontrará la diferencia entre absorbancias y se realizará la corrección de la absorbancia en unidades de mg/m^3 , estos datos se tomaron del trabajo de titulación de Alvares (2021), que fue un proyecto realizado en colaboración. Los resultados del estudio de clorofila presente en los embalses de Agoyán y Pisayambo se indican en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3. Cantidad de clorofila presente en los embalses de Agoyán y Pisayambo en unidades de mg/m^3 .

Punto de muestreo	Ubicación	Clorofila (mg/m^3)	Ubicación	Clorofila (mg/m^3)
1	Pisayambo	6,408	Agoyán	5,340
2	Pisayambo	17,088	Agoyán	18,156
3	Pisayambo	4,272	Agoyán	1,03
4	Pisayambo	5,312	Agoyán	4,418
5	Pisayambo	2,136	Agoyán	0,97

Fuente: (Alvares, 2021)
Elaborado por: Sánchez, (2021)

3.7. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN Y ANALISIS ESTADISTICO

El análisis estadístico se analizó mediante la prueba de Levene (single factor Anova), para determinar si existe diferencia significativa entre las emisiones de metano y dióxido de carbono en las Hidroeléctricas de Agoyán y Pisayambo, para esto se utilizó Excel junto al programa de análisis de datos, en dónde se evaluó la igualdad de varianzas (homoscedasticidad) entre los dos embalses de estudio (Herrera, Rojas, Rodríguez, & Rojas, 2013).

El test de Levene, establece como hipótesis nula la igualdad de varianzas en las distintas poblaciones, en dónde valores de probabilidad superiores al nivel de significancia de 0,05 se acepta la hipótesis nula, mientras que para valores de probabilidad menores al nivel de significancia se rechaza la hipótesis nula (Bernal & Rozo, 2017).

Se eligió la prueba de Levene debido a que ofrece una alternativa más robusta que cualquier otra prueba de análisis estadístico, debido a que es un test poco sensible a la desviación de la normalidad, lo que significa que será menos probable que rechace una verdadera hipótesis de igualdad de varianzas sólo porque las distribuciones muestreadas no sean normales (Correa, 2006). Finalmente si se rechaza la hipótesis nula, se realizará una prueba de intersección Tukey para el análisis complementario del estudio.

3.8. VARIABLES DE RESPUESTA

Las variables de respuesta se identificaron con la metodología señalada en la Sección 3.6, clasificándolos como variables dependientes e independientes como se muestra a continuación:

3.8.1. Variables dependientes

- Metano (CH₄)

- Dióxido de carbono (CO₂)

3.8.2. Variables independientes

- Punto de muestreo
- Ubicación Hidroeléctricas Agoyán y Pisayambo
- Presión barométrica
- Temperatura

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se explican los resultados logrados en el trabajo experimental realizado, para el estudio de los procesos de degradación y transformación del material vegetal en los embalses hidroeléctricos de Agoyán y Pisayambo que generan metano y dióxido de carbono.

Además se presenta una comparación de los diferentes métodos utilizados en la detección de metano y dióxido de carbono de los embalses de Agoyán y Pisayambo.

4.1. RESULTADOS DE LA CANTIDAD DE EMISIONES DE METANO Y DIÓXIDO DE CARBONO EN LOS EMBALSES DE AGOYÁN Y PISAYAMBO

4.1.1. Análisis de la cantidad de emisiones de metano en los embalses de Agoyán y Pisayambo mediante determinación in-situ, usando un monitor de gas PID personal (RKI – GX-6000)

Los resultados de la cantidad de emisiones de metano fueron analizados mediante un monitor de gas PID personal marca (RKI -GX -6000), capaz de controlar simultáneamente hasta 6 gases que incluyen: CH₄, CO₂, O₂, CO, H₂S y NO₂. Los resultados se presentaron en unidades de porcentaje LEL, el mismo que indica la concentración mínima de un gas combustible cuando se mezcla con el aire. Los resultados obtenidos mostraron una variación de 1 a 3 % LEL para el embalse de Pisayambo, mientras que para el embalse de Agoyán se mantuvo constante en un valor de 1 % LEL como se indican en la Tabla 4.1. Los resultados fueron analizados en 5 puntos de cada uno de los embalses que significaron muestras representativas de todo el sistema acuático de los embalses de Agoyán y Pisayambo.

Tabla 4.1. Resultados de las emisiones de metano en los embalses de Agoyán y Pisayambo en unidades de % LEL y ppm.

Punto de muestreo	Ubicación	% LEL	ppm	Ubicación	% LEL	ppm
1	Pisayambo	2	20000	Agoyán	1	10000
2	Pisayambo	3	30000	Agoyán	1	10000
3	Pisayambo	2	20000	Agoyán	1	10000
4	Pisayambo	1	10000	Agoyán	1	10000
5	Pisayambo	1	10000	Agoyán	1	10000

Los flujos de metano se calcularon utilizando la Ecuación 3.1 señalada en la Sección 3.6.2.2.1:

$$J = \frac{dc}{dt} \times \frac{M}{V_0} \times \frac{P}{P_0} \times \frac{T_0}{T} \times H \quad [3.1]$$

Los resultados de temperatura absoluta, presión atmosférica, pH, profundidad de la medición y visualización Secchi se observan en la Tabla 4.2. La temperatura se analizó utilizando un termómetro de mercurio marca (H-B Instruments), mientras que la presión atmosférica se determinó con un medidor de presión PCE –APM 30.

Tabla 4.2. Resultados de los principales parámetros in situ en los puntos representativos de los embalses de Agoyán y Pisayambo.

Ubicación	Parámetro	P1	P2	P3	P4	P5
Embalse Pisayambo	Profundidad (m)	7	17	10	8	4
	Visualización Secchi (m)	2	1	2	0,8	1

Tabla 4.2. Resultados de los principales parámetros in situ en los puntos representativos de los embalses de Agoyán y Pisayambo (continuación...)

Embalse Pisayambo	V(m/s)	5,1	4,2	4,3	3,3	4,8
	Presión (HPa)	669,50	669,10	668,40	667,70	668,20
	T(°C)	9,90	13,00	10,20	9,80	10,30
	pH	7,83	8,18	8,15	8,80	7,50
Embalse Agoyán	Profundidad (m)	5	12	8	10	6
	Visualización Secchi (m)	1	0,80	0,70	0,50	0,15
	V(m/s)	5,1	4,2	4,3	3,3	4,8
	Presión (HPa)	838,90	840,50	841,10	839,70	839,20
	T(°C)	12,20	19,00	13,50	11,70	14,00
	pH	8,38	8,45	8,15	8,01	8,12

Realizando el análisis de la Tabla 4.2 se observan parámetros importantes que evalúan el estado de los embalses de Agoyán y Pisayambo, en el libro VI Anexo 1 del TULSMA “Normas de calidad ambiental y de descarga de efluentes 2014” indican que los parámetros de temperatura, presión, profundidad, oxígeno disuelto, materia orgánica suspendida, clorofila y pH son necesarios para evaluar el estado de contaminación de un embalse. En la tabla 4.3 se indica los principales parámetros máximos y mínimos que deben presentar los embalses para que la calidad del agua se encuentre dentro del límite permisible.

Tabla 4.3. Valores extremos de los principales parámetros fisicoquímicos para la regulación de la calidad del agua en embalses.

Parámetro	Mínimo	Máximo
Temperatura (°C)	7.5	30.0
pH	5.0	9.0
Sólidos volátiles suspendidos (mg.L ⁻¹)	1.5	16.2
Oxígeno disuelto (mg.L ⁻¹)	1.8	5.5
Clorofila (mg.m ⁻³)	0.3	1.6

(Fernández & Schenone, 2010)

Al analizar el pH en el embalse Pisayambo se observa que su valor máximo alcanzado es de 8,8 y el valor mínimo es de 7,5, mientras que en el embalse de Agoyán el mayor valor es de 8,45 y el menor valor es de 8,01 por lo cual se puede manifestar que los dos embalses presentan valores básicos, esto puede deberse a la alta descomposición presente en la superficie del agua (Losada & Martínez, 2020), además (Paucar & Amacha, 2015) manifiestan que el pH se debe encontrar en un rango de 5 a 9 para la conservación de la flora y fauna en agua dulce, por lo cual de acuerdo a los resultados observados se puede indicar que algunos puntos de los dos embalses se encuentran en el punto máximo permisible.

Respecto a la temperatura la máxima temperatura alcanzada en el embalse Pisayambo es de 13 °C mientras que en el embalse Agoyán es de 19 °C, encontrándose dentro del límite permisible no mayor a 32 °C, teniendo en consideración que una mayor temperatura aumenta la solubilidad del oxígeno acelerando el metabolismo de microorganismos y favoreciendo la producción de emisiones de metano (Pacheco, 2011). En este caso la temperatura al encontrarse por debajo del límite permisible tiene una afectación similar en los flujos de metano producidos en los embalses de Agoyán y Pisayambo.

De acuerdo a la profundidad se observa que el embalse Pisayambo tiene una mayor profundidad que el embalse Agoyán alcanzando sus máximos valores de 17 metros y 12 metros respectivamente. Analizando estos valores se manifiesta que una mayor profundidad favorece considerablemente a la producción de emisiones de metano debido a que a mayor profundidad la presencia de oxígeno es menor lo que facilita la oxidación anaerobia y de manera consecutiva la obtención de metano (M. Hernández, 2009).

La cantidad de metano se determinó aplicando la Ecuación 3.1, teniendo en consideración la altura de la cámara que es de 30 cm y que la tasa de aumento de metano en el aire depende del cambio de concentración de gas dentro de la cámara en función del tiempo. A continuación se indica el proceso para determinar la cantidad de metano presente en los embalses de Agoyán y Pisayambo.

Primeramente se debe sustituir en la Ecuación 3.1 todas las variables que demandan la ecuación, teniendo en consideración el peso molecular del metano es de 16 g/mol y que la presión y temperatura se encuentran en unidades de atmósferas y grados Kelvin respectivamente.

$$J = \frac{dc}{dt} \times \frac{M}{V_0} \times \frac{P}{P_0} \times \frac{T_0}{T} \times H$$

$$J = \frac{20\,000}{1\,000\,000} \times \frac{\frac{16\,g\,CH_4}{mol} \times \frac{1000\,mg\,CH_4}{1\,g\,CH_4}}{\frac{22,4\,l}{mol} \times \frac{1\,m^3}{1000\,l}} \times \frac{0,660\,atm}{1\,atm} \times \frac{273,15\,^{\circ}K}{283,05\,^{\circ}K} \times 0,3\,m$$

$$J = 2,7 \times 10^3 \text{ mg metano/m}^2 \times \text{día}$$

Los valores de los flujos de metano, medidos en cada punto de muestreos realizados en los dos embalses hidroeléctricos de Agoyán y Pisayambo, se muestran en la Tabla 4.4 y Tabla 4.5 respectivamente.

Tabla 4.4. Resultados de las emisiones de metano en los puntos representativos del embalse de Pisayambo.

Punto de muestreo	Ubicación	mg CH₄/m² × día
1	Pisayambo	2,7 × 10 ³
2	Pisayambo	4,0 × 10 ³
3	Pisayambo	2,7 × 10 ³
4	Pisayambo	1,3 × 10 ³
5	Pisayambo	1,3 × 10 ³
	Promedio de emisiones de CH₄	2,4 × 10³

Tabla 4.5. Resultados de las emisiones de metano en los puntos representativos del embalse de Agoyán.

Punto de muestreo	Ubicación	mg CH₄/m² × día
1	Agoyán	1,6 × 10 ³
2	Agoyán	1,7 × 10 ³
3	Agoyán	1,6 × 10 ³
4	Agoyán	1,6 × 10 ³
5	Agoyán	1,6 × 10 ³
	Promedio de emisiones de CH₄	1,6 × 10³

De acuerdo a los resultados indicados en la Tabla 4.4 se observa que en Pisayambo existe una mayor emisión de metano en el punto 2, alcanzando un valor de 4 052 mg CH₄/m² por día, mientras que en el embalse de Agoyán el punto con mayor cantidad de flujos de metano es el punto 2 alcanzado un flujo de 1 704 mg CH₄/m²

por día como se muestra en la Tabla 4.5, esto ocurre a temperaturas de 13 °C para el punto 2 en Pisayambo y 19 °C para el punto 2 en Agoyán como se mencionó en la Tabla 4.2, lo que indica que las temperaturas altas propician el aumento en los flujos de metano (Ojeda, Taboada, & Margarito, 2012), además el punto 2 para cada embalse constituye el centro de los embalses que en el sistema acuático representan la mayor profundidad de los mismos alcanzando una profundidad de 17 metros en Pisayambo y 12 metros en Agoyán como se observa en la Tabla 4.2, por cual también se concluye que la profundidad tiene una relación directa con el aumento de flujo de metano (Li, Zhang, Bush, & Sullivan, 2015). La profundidad tiene relación directa con las emisiones de metano debido a la formación de una capa anóxica, es decir presencia de poca cantidad de oxígeno lo que hace que la carga orgánica se funda liberando metano con mayor facilidad a los sedimentos y el agua circundante (Alonso, Corregidor, & Palau, 2010).

Posteriormente se estableció el promedio de flujos de metano en cada embalse, obteniéndose como resultado que en el embalse de Pisayambo se generan flujos de metano de alrededor de $2,4 \times 10^3$ mg CH₄ en cada metro cuadrado por día, mientras que en el embalse de Agoyán los flujos de metano generados ocurren en menor cantidad, obteniéndose un valor de alrededor de $1,6 \times 10^3$ mg CH₄ en cada metro cuadrado por día.

Herrera Rodríguez y Rojas (2013) indican valores promedio de flujos de metano que oscilan entre los 4 282 y 733 mg CH₄ m⁻² d⁻¹ para los embalses Brasil y Nuestro Amo respectivamente, ubicados en la zona tropical al noroeste de Costa Rica. Al comparar los resultados obtenidos con los valores de flujos de emisión reportados para los embalses Brasil y Nuestro Amo se puede observar que los resultados se encuentran en el mismo orden de magnitud, contrastando los resultados obtenidos en esta investigación.

En la Figura 4.1 y Figura 4.2 se muestra de una manera más precisa como sucede el nivel de contaminación entre los puntos de muestreo para los embalses de Pisayambo y Agoyán respectivamente, indicándonos como ya se mencionó que el punto más contaminado entre los embalses es el punto 2 en la relación entre Agoyán y Pisayambo, esto es debido a que representa el lugar más profundo del embalse, mientras que el punto con menor contaminación en el embalse Pisayambo es el punto 5 alcanzando

emisiones de metano $1,3 \times 10^3 \text{ mg CH}_4/\text{m}^2$ por día, mientras que en el embalse Aگویán el punto con menor emisión de gases es de igual manera el punto 4 alcanzando emisiones de $1,6 \times 10^3 \text{ mg CH}_4/\text{m}^2$ por día.

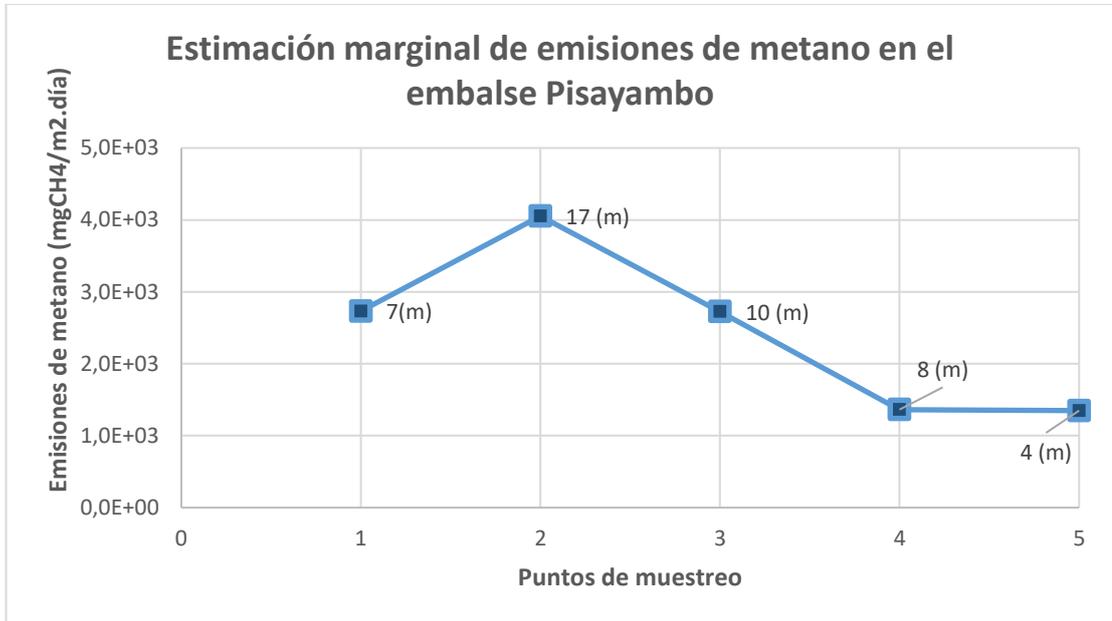


Figura 4.1. Nivel medio de contaminación entre los puntos de muestreo del embalse Pisayambo.

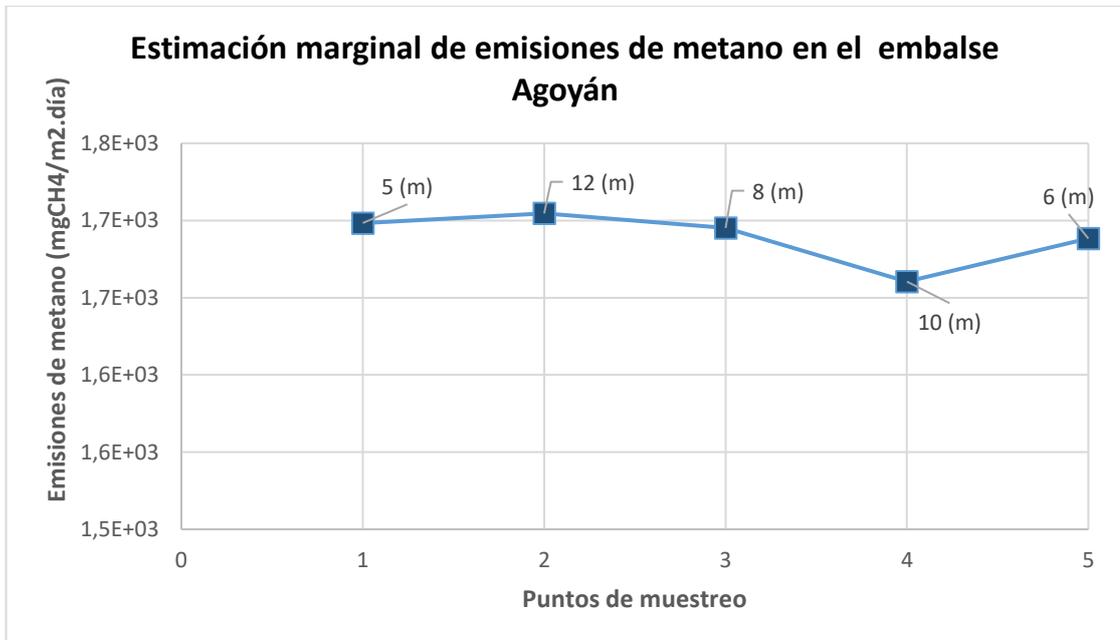


Figura 4.2. Nivel medio de contaminación entre los puntos de muestreo del embalse Aگویán.

Finalmente se determinó la cantidad estimada de flujos de metano en toneladas por año en los embalses de Agoyán y Pisayambo:

Para determinar este cálculo fue necesario conocer el área de cada embalse, el embalse Agoyán tiene un área de 5 km² (Morales, 2015), mientras que el embalse Pisayambo presenta un área de 8 km² (Paucar & Amacha, 2015).

Agoyán:

$$Ton_{CH_4/año} = 1,6 \times 10^3 \frac{mgCH_4}{m^2 \cdot día} \times \frac{365 \text{ días}}{1 \text{ año}} \times \frac{1 \text{ g-CH}_4}{1000 \text{ mg-CH}_4} \times \frac{1 \text{ Ton CH}_4}{1000 \text{ 000 g-CH}_4} \times 5000 \text{ 000 } m^2$$

$$Ton_{CH_4/año} = 3,0 \times 10^3 \text{ t CH}_4/año$$

Pisayambo:

$$Ton_{CH_4/año} = 2,4 \times 10^3 \frac{mgCH_4}{m^2 \cdot día} \times \frac{365 \text{ días}}{1 \text{ año}} \times \frac{1 \text{ g-CH}_4}{1000 \text{ mg-CH}_4} \times \frac{1 \text{ Ton CH}_4}{1000 \text{ 000 g-CH}_4} \times 8000 \text{ 000 } m^2$$

$$Ton_{CH_4/año} = 7,1 \times 10^3 \text{ t CH}_4/año$$

Tabla 4.6. Resultados de las emisiones totales de metano generados en los embalses de Agoyán y Pisayambo.

Emisiones totales de metano	
Ubicación	t CH₄/año
Agoyán	3,0 × 10 ³
Pisayambo	7,1 × 10 ³

Paucar y Amacha (2015) en su proyecto de investigación “Estimación de emisiones de metano producidas por centrales Hidroeléctricas en Ecuador”, evaluaron las emisiones de metano generadas en el embalse Pisayambo mediante modelos matemáticos, dando como resultado un total de 11 133 toneladas de metano al año, al comparar el resultado de esta investigación se observa que se encuentra en el mismo orden de magnitud con el obtenido que es de $7,1 \times 10^3$ toneladas de metano al año, corroborando la veracidad de la investigación.

Los resultados obtenidos con respecto a las emisiones totales de metano en cada embalse como se indica en la Tabla 4.6, manifiestan que en el embalse de Pisayambo existe una mayor emisión de metano con relación al embalse de Agoyán alcanzando flujos de $7,1 \times 10^3$ toneladas de CH_4 al año, mientras que embalse de Agoyán lo flujos de metano alcanzan valores de $3,0 \times 10^3$ toneladas de CH_4 al año, esto es debido que en el embalse Pisayambo existe una mayor cantidad de materia orgánica de sedimentos con respecto al embalse de Agoyán y la relación directa de una mayor profundidad del embalse Pisayambo con respecto al Embalse Agoyán lo que origina una menor cantidad de oxígeno en la profundidad produciendo una mayor producción de emisiones de metano.

Evaluando estos resultados se pudo confirmar que los embalses de las Hidroeléctricas son una fuente importante de metano, que si bien tiene una vida corta en la atmósfera, a lo largo de los siglos se ha demostrado que el metano es 34 veces más contaminante que el anhídrido carbónico, cada kilo de metano es capaz de calentar a la Tierra 25 veces más que el dióxido de carbono (Deemer, 2016), por lo cual sería interesante un estudio del aprovechamiento de estos flujos de metano en las Hidroeléctricas de Agoyán y Pisayambo con el fin de detener el calentamiento global y encontrar beneficios a nivel industrial.

En la actualidad la mayoría de embalses de hidroeléctricas del mundo no presentan tratamientos de recuperación de metano debido a que las emisiones en embalses no se consideran en las evaluaciones del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (Chen, Wu, Yuan, Gao, & Wu, 2009).

4.1.2. Análisis de la cantidad de emisiones de dióxido de carbono en los embalses de Agoyán y Pisayambo mediante determinación insitu, usando un monitor de gas PID personal (RKI – GX-6000).

Los resultados de la cantidad de emisiones de dióxido de carbono se analizaron mediante un monitor de gas PID personal marca (RKI –GX -6000), en unidades de concentración de porcentaje en volumen. Las concentraciones obtenidas en Pisayambo indican variaciones de 0,01 % hasta 0,02 %, mientras en el embalse Agoyán revelan variaciones de 0,01 % hasta 0,03 % como se indica en la Tabla 4.7. Los resultados fueron analizados en 5 puntos de cada uno de los embalses que son muestras representativas de todo el sistema acuático de los embalses de Agoyán y Pisayambo para la determinación total de flujos de dióxido de carbono.

Tabla 4.7. Resultados de las emisiones de dióxido de carbono en los embalses de Agoyán y Pisayambo en unidades de % LEL y ppm.

Punto de muestreo	Ubicación	% Volumen	ppm	Ubicación	% Volumen	ppm
1	Pisayambo	0,02	200	Agoyán	0,01	100
2	Pisayambo	0,03	300	Agoyán	0,03	300
3	Pisayambo	0,02	200	Agoyán	0,02	200
4	Pisayambo	0,02	200	Agoyán	0,01	100
5	Pisayambo	0,02	200	Agoyán	0,01	100

Los flujos de dióxido de carbono se calcularon aplicando la Ecuación 3.1, dónde dc/dt (mol día^{-1}) es la tasa de variación de la concentración; M (mg mol^{-1}) es la masa molar del dióxido de carbono (CO_2), P (Pa) es la presión atmosférica en el área de muestreo; T (K) son la temperaturas absolutas registradas durante el tiempo de muestreo; V_0 (m^3), P_0 (Pa), T_0 (K) es el volumen molar, la presión atmosférica y la temperatura absoluta a condiciones estándar, respectivamente; finalmente H (m) es la altura de la cámara sobre la superficie del agua (Chen et al., 2009).

La cantidad de dióxido de carbono en cada punto se determinó aplicando la Ecuación 3.1, tomando como referencia que la altura de la cámara es de 30 cm y que la tasa de incremento de dióxido de carbono en el aire depende del cambio de concentración de gas dentro de la cámara en función del tiempo. A continuación se muestra el proceso para establecer la cantidad de dióxido de carbono presente en el punto 1 del embalse de Pisayambo y posteriormente se indicaran las emisiones de dióxido de carbono en cada punto de los embalses de Agoyán y Pisayambo.

Sustituimos en la Ecuación 3.1 teniendo en cuenta que el peso molecular del dióxido de carbono es 44 g/mol:

$$J = \frac{200}{1\,000\,000} \times \frac{\frac{44\text{ g CO}_2}{\text{mol}} \times \frac{1000\text{ mg CO}_2}{1\text{ g CO}_2}}{\frac{22,4\text{ l}}{\text{mol}} \times \frac{1\text{ m}^3}{1000\text{ l}}} \times \frac{0,660\text{ atm}}{1\text{ atm}} \times \frac{273,15\text{ }^\circ\text{K}}{283,05\text{ }^\circ\text{K}} \times 0,3\text{ m}$$

$$J = 7,5 \times 10^1 \text{ mg CO}_2/\text{m}^2 \text{ día}$$

El valor del flujo de dióxido de carbono en el punto 1 de Pisayambo es de $7,5 \times 10^1$ mg CO₂/m² por día. En la Tabla 4.8 y la Tabla 4.9 se muestran las emisiones de dióxido de carbono en cada punto de muestreo realizado en los dos embalses hidroeléctricos de Agoyán y Pisayambo.

Tabla 4.8. Resultados de las emisiones de dióxido de carbono en los puntos representativos del embalse de Pisayambo.

Punto de muestreo	Ubicación	mg CO ₂ /m ² × día
1	Pisayambo	$7,5 \times 10^1$
2	Pisayambo	$1,1 \times 10^2$
3	Pisayambo	$7,4 \times 10^1$
4	Pisayambo	$7,4 \times 10^1$
5	Pisayambo	$7,4 \times 10^1$
	Promedio de emisiones de CO₂	$8,2 \times 10^1$

Tabla 4.9. Resultados de las emisiones de dióxido de carbono en los puntos representativos del embalse de Agoyán.

Punto de muestreo	Ubicación	mg CO₂/m² × día
1	Agoyán	$4,6 \times 10^1$
2	Agoyán	$1,4 \times 10^2$
3	Agoyán	$9,3 \times 10^1$
4	Agoyán	$4,5 \times 10^1$
5	Agoyán	$4,6 \times 10^1$
	Promedio de emisiones de CO₂	$7,4 \times 10^1$

Los resultados que se muestran en la Tabla 4.8 indican que en Pisayambo existe una mayor emisión de dióxido de carbono en el punto 2, alcanzando un valor de $1,1 \times 10^2$ mg CO₂/m² por día, mientras que en el embalse de Agoyán el punto con mayor cantidad de flujos de dióxido de carbono es el punto 2 alcanzando emisiones de $1,4 \times 10^2$ mg CO₂/m² por día como se muestra en la Tabla 4.9, estas emisiones con mayor flujo de dióxido de carbono en los puntos indicados puede deberse a tres factores la temperatura, la profundidad y la carga orgánica de carbono total (Lopera, Oviedo, Rodríguez, & Peñuela, 2016). Al analizar la temperatura se observa que en estos puntos las temperaturas registradas son superiores a las demás, alcanzando los 13 °C para el punto 2 en Pisayambo y los 19 °C para el punto 2 en Agoyán como se observó en la Tabla 4.2, lo que hace referencia a que las temperaturas altas propician el aumento en los flujos de dióxido de carbono.

Las profundidades de igual manera en estos dos puntos son mayores y afectan directamente a los flujos de dióxido de carbono debido a que mientras mayor es la profundidad la presencia de oxígeno es menor originando un proceso denominado metanogénesis en el cual el aceptor final de electrones no es el oxígeno sino el carbono (Ladino, 2011) tal como se indica en la siguiente reacción:



Analizando estas dos reacciones se observa que la relación de emisiones de metano es proporcional a las emisiones de dióxido de carbono (Ladino, 2011).

Posteriormente se determinó el promedio de flujos de dióxido de carbono en cada embalse, dando como resultado que en el embalse de Pisayambo se generan flujos de dióxido de carbono de alrededor de $8,2 \times 10^1$ mg CO₂ en cada metro cuadrado por día, mientras que en el embalse de Agoyán los flujos de dióxido de carbono generados ocurren en menor cantidad, obteniéndose un valor de alrededor de $7,4 \times 10^1$ mg CO₂ en cada metro cuadrado por día.

Finalmente se estableció la cantidad estimada de flujos de dióxido de carbono en toneladas por año en los embalses de Agoyán y Pisayambo:

Agoyán:

$$\begin{aligned} & Ton_{CO_2/año} \\ &= 74 \frac{mgCO_2}{m^2 \cdot día} \times \frac{365 \text{ días}}{1 \text{ año}} \times \frac{1 \text{ g}CO_2}{1000 \text{ mg}CO_2} \times \frac{1 \text{ t}CO_2}{1000 \text{ 000 g}CO_2} \times 5000 \text{ 000 } m^2 \end{aligned}$$

$$Ton_{CO_2/año} = 1,3 \times 10^2 \text{ t } CO_2/año$$

Pisayambo:

$$\begin{aligned} & Ton_{CO_2/año} \\ &= 82 \frac{mgCO_2}{m^2 \cdot día} \times \frac{365 \text{ días}}{1 \text{ año}} \times \frac{1 \text{ g}CO_2}{1000 \text{ mg}CO_2} \times \frac{1 \text{ Ton } CO_2}{1000 \text{ 000 g}CO_2} \times 8000 \text{ 000 } m^2 \end{aligned}$$

$$Ton_{CO_2/año} = 2,3 \times 10^2 \text{ t } CO_2/año$$

Tabla 4.10. Resultados de las emisiones totales de dióxido de carbono generados en los embalses de Agoyán y Pisayambo en toneladas/año.

Emisiones totales de dióxido de carbono	
Ubicación	t CO₂/año
Agoyán	$1,3 \times 10^2$
Pisayambo	$2,3 \times 10^2$

Los resultados obtenidos indican que las emisiones totales de dióxido de carbono en el embalse de Agoyán que se mencionan en la Tabla 4.10 son $1,3 \times 10^2$ t CO₂/año y en el embalse de Pisayambo $2,3 \times 10^2$ t CO₂/año.

Alonso, Corregidor, y Palau, 2010 en su investigación “Análisis del ciclo de carbono en embalses y su posible efecto en el cambio climático”, informan emisiones de CO₂ en el embalse de Susqueda a la atmósfera de 85,9 t/año y (Bergström, Algesten, & Sobek, 2004) en su estudio “Emission of CO₂ from hydroelectric reservoirs in Northern Sweden” manifiestan emisiones de 128 mg CO₂ m⁻² d⁻¹ que son resultados que se encuentran en el mismo orden de magnitud con los analizados corroborando la investigación.

4.1.3. Estimación de la cantidad de emisiones de metano en los embalses de Agoyán y Pisayambo mediante la metodología del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC).

Los resultados de la cantidad de emisiones de metano se realizó examinando la información secundaria obtenida, para la aplicación del modelo matemático IPCC, que se basa en el método de descomposición de primer orden, utilizando como principal variante la carga orgánica total de carbono presente en los sedimentos de las profundidades de los puntos representativos del embalse de Agoyán y Pisayambo, en donde el carbono se degrada en forma de metano.

En la Tabla 4.11 se muestran los resultados del porcentaje de materia orgánica total presente en las profundidades de cada punto representativo de los Embalses Agoyán y Pisayambo.

Tabla 4.11. Resultados del porcentaje de materia orgánica en los embalses de Agoyán y Pisayambo.

Punto de muestreo	Ubicación	% Materia Orgánica	Ubicación	% Materia Orgánica
1	Pisayambo	1,573	Agoyán	1,007
2	Pisayambo	1,392	Agoyán	1,037
3	Pisayambo	1,855	Agoyán	1,139
4	Pisayambo	2,407	Agoyán	2,406
5	Pisayambo	4,976	Agoyán	0,409
	Promedio de materia orgánica total	2,44		1,19

Los flujos de metano se calcularon utilizando la Ecuación 3.2, Ecuación 3.3 y Ecuación 3.4 indicados en la Sección 3.6.2.2.3:

$$Emisiones\ de\ CH_4 = [CH_4\ generado \times R_T \times (e^{k\Delta t})] \times (1-OX)$$

$$DDOC = W \times DOC \times DOCf \times MCF$$

$$CH_4\ generado = DDOC \times F \times 16/12$$

Para determinar las emisiones de metano aplicando el método IPCC, se encontró la masa del carbono orgánico degradable disuelto (DDOC), para lo cual se estableció primero el valor de DOCf que es la fracción de carbono que se puede descomponer, en este caso se muestra el análisis para el punto 1 del embalse Pisayambo, aplicando la Ecuación 4.1 (Rodrigo, 2016) como se indica a continuación:

$$\text{DOCf} = 0,14T + 0,28 \quad [4.1]$$

$$\text{DOCf} = 0,14 (9,9 \text{ } ^\circ\text{C}) + 0,28$$

$$\text{DOCf} = 0,418$$

Posteriormente se determinó el factor de corrección de metano (MCF), que se encuentra en función de la profundidad como se indica en la Tabla 4.12:

Tabla 4.12. Factor de corrección de metano (MCF) aplicado a los embalses de Agoyán y Pisayambo.

Manejo del sitio	Profundidad < 5 metros	Profundidad > 5 metros
Sin manejo (No hay cuidado en las descargas contaminantes en los embalses, ni registro de actividades antrópicas, características físicas, químicas y biológicas del agua)	0,4	0,8
Con manejo (Seguimiento continuo de actividades antrópicas, características físicas, químicas y biológicas del agua)	0,8	1,0
Semi aeróbico (Presencia de pH bajos que favorecen la liberación de fosfato desde los sedimentos)	0,4	0,5

(Villegas, 2013)

(Ojeda et al., 2012)

De acuerdo a la Tabla 4.2 se tiene una profundidad de 7 metros para el punto 1 de Pisayambo, obteniéndose un factor de corrección de 0,8 como se indica en la Tabla 4.12, debido a que son embalses sin un manejo apropiado de emisiones de gases de efecto invernadero.

La masa de desechos depositados (W) no se toma en cuenta debido a que son áreas protegidas y no se permite la eliminación de desechos tanto en el embalse de Pisayambo y de Agoyán. Mientras que la cantidad de carbono orgánico (DOC) presente se indica en la Tabla 4.11, en este caso para el punto 1 de Pisayambo fue de 1,573 %.

De esta manera aplicando la Ecuación 3.3 y la Ecuación 3.4 se tiene la cantidad de metano generado en unidades de metros cúbicos por tonelada de basura, como se indica a continuación:

$$CH_4 \text{ generado} = DDOC \times F \times 16/12$$

$$CH_4 \text{ generado} = W \times DOC \times DOCf \times MCF \times F \times 16/12$$

$$CH_4 \text{ generado} = 1 \times 1,573 \frac{\text{m}^3 \text{ Carbono}}{\text{Kg residuo}} \times \frac{1\,000 \text{ Kg residuo}}{1 \text{ Tonelada residuo}} \times 0,418 \times 0,8 \times 0,5 \times 16/12$$

$$CH_4 \text{ generado} = 351,17 \text{ m}^3 \text{ metano/ Tonelada residuos}$$

Finalmente se utiliza la Ecuación 3.2 (IHOBE, 2002) para determinar las emisiones de metano en cada embalse, en dónde el valor de R no se considera debido a que los embalses no reciben ningún tipo de basura porque que son áreas protegidas y el tiempo estimado para analizar con esta técnica es de 10 años (Ojeda et al., 2012). El valor del factor de oxidación (OX) que representa la fracción del metano que se oxida en la capa superficial del embalse tiene un valor por defecto de 0,1 (IHOBE, 2002).

$$Emisiones \ de \ CH_4 = [CH_4 \text{ generado} \times R_T \times (e^{k\Delta t})] \times (1 - OX) \quad [3.2]$$

$$\text{Emisiones de CH}_4 = 351,17 \times (e^{10/\text{año}}) \times (1 - 0,1)$$

$$\text{Emisiones de CH}_4 = 6\,954\,464,71 \text{ m}^3 \text{ metano/año}$$

Finalmente se determinó la cantidad de emisiones de metano en unidades de toneladas por año para lo cual se utilizó la densidad del metano que es de 0,657 kg/m³ como se muestra a continuación:

$$\text{Emisiones de CH}_4 = 6\,954\,464,71 \frac{\text{m}^3 \text{ Metano}}{\text{año}} \times \frac{0,657 \text{ Kg Metano}}{1 \text{ m}^3 \text{ Metano}} \times \frac{1 \text{ Tonelada Metano}}{1000 \text{ kg Metano}}$$

$$\text{Emisiones de CH}_4 = 4,5 \times 10^3 \text{ toneladas de metano/año}$$

En la Tabla 4.13 y Tabla 4.14 se muestran los resultados de las emisiones de metano de cada punto representativo de los Embalses Agoyán y Pisayambo y además se estimó una media para establecer el promedio anual de emisiones de metano a la atmósfera utilizando el método IPCC.

Tabla 4.13. Resultado de las emisiones totales de metano en el embalse de Pisayambo aplicando el modelo matemático IPCC.

Punto de muestreo	Ubicación	t CH₄ × año
1	Pisayambo	4,5 × 10 ³
2	Pisayambo	7,9 × 10 ³
3	Pisayambo	5,4 × 10 ³
4	Pisayambo	6,9 × 10 ³
5	Pisayambo	4,4 × 10 ³
	Promedio de emisiones de CH₄	5,8 × 10³

Tabla 4.14. Resultado de las emisiones totales de metano en el embalse de Agoyán aplicando el modelo matemático IPCC.

Punto de muestreo	Ubicación	t CH₄ × año
1	Agoyán	$3,1 \times 10^3$
2	Agoyán	$9,1 \times 10^3$
3	Agoyán	$3,7 \times 10^3$
4	Agoyán	$1,5 \times 10^3$
5	Agoyán	$1,3 \times 10^3$
	Promedio de emisiones de CH₄	$3,7 \times 10^3$

Los resultados obtenidos en la Tabla 4.13 y Tabla 4.14 manifiestan un total de emisiones de $5,8 \times 10^3$ toneladas de CH₄/año en el embalse de Pisayambo y $3,7 \times 10^3$ toneladas de CH₄/año en el embalse de Agoyán. Al analizar los resultados y comparar con las emisiones que se obtuvieron de manera insitu con el equipo RKI – GX-6000 que se muestran en la Tabla 4.6 se observa que se encuentran en el mismo orden de magnitud e indicándonos que en los dos casos el embalse de Pisayambo presenta un mayor flujo de emisiones de metano con respecto al embalse de Agoyán. Además se observa que los resultados obtenidos por el método IPCC se acercan a los conseguidos mediante el método insitu por lo que es una técnica muy viable pero siempre será mejor utilizar un equipo insitu para lograr resultados con un mayor índice de confiabilidad.

4.1.4. Estimación de la cantidad de emisiones de metano en los embalses de Agoyán y Pisayambo mediante un modelado simple por estimación directa utilizando como variable la demanda bioquímica de oxígeno (DBO).

Las emisiones de metano de acuerdo (Bahi et al., 2019a) en su investigación “Estimación de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de la planta de tratamiento de aguas residuales de la laguna natural; caso de Ain Taoujdate Marruecos” se determinaron utilizando la demanda bioquímica de oxígeno como

principal variable en función del caudal del embalse. En esta investigación de igual manera se determinará las emisiones de metano a partir de la demanda bioquímica de oxígeno presente en cada punto representativo del embalse de Agoyán y el embalse Pisayambo, corroborando de esta manera los resultados obtenidos mediante metodología insitu y el modelo matemático IPCC, además se muestra otra técnica viable para detección de emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera. En la Tabla 4.15 se indican los resultados obtenidos en la determinación de la demanda bioquímica de oxígeno en cada punto representativo de los embalses Agoyán y Pisayambo.

Tabla 4.15 Resultados de la demanda bioquímica de oxígeno presente en los embalses de Agoyán y Pisayambo en unidades de mg/l.

Punto de muestreo	Ubicación	DBO (mg/l)	Ubicación	DBO (mg/l)
1	Pisayambo	3,18	Agoyán	3,35
2	Pisayambo	3,15	Agoyán	3,25
3	Pisayambo	3,03	Agoyán	3,25
4	Pisayambo	3,20	Agoyán	3,09
5	Pisayambo	3,14	Agoyán	3,07

Los resultados mostrados en la Tabla 4.15 nos indica que los valores de la demanda bioquímica de oxígeno se encuentran por debajo de los 4 mg/l en los dos embalses analizados, por lo cual se considera que el embalse de Pisayambo y Agoyán tienen una concentración normal de materia orgánica biodegradable con lo que se califica un agua de mediana calidad no apta para el consumo humano y potencial fuente de emisión de gases de efecto invernadero (Losada & Martínez, 2020).

Los flujos de metano en función del DBO se calcularon utilizando la Ecuación 3.7, Ecuación 3.8 y Ecuación 3.9 indicados en la sección 3.6.2.2.4:

$$M_{\text{BOD}} = (\text{BOD} \times Q_{\text{Flow}}) \times 10^{-3} \quad [3.7]$$

$$EF_{\text{BOD}} = B_0 \times \text{MCF} \quad [3.8]$$

$$\text{Emisiones CH}_4 = M_{\text{BOD}} \times EF_{\text{BOD}} \quad [3.9]$$

Para determinar este cálculo fue necesario conocer el flujo de agua promedio de cada embalse, el embalse Agoyán tiene un flujo promedio de 5,11 m³/s (Morales, 2015), mientras que el embalse Pisayambo presenta un flujo promedio de 2,85 m³/s (Paucar & Amacha, 2015).

Aplicando la Ecuación 3.7 se tiene:

$$M_{\text{BOD}} = (3,18 \text{ mg/l} \times 441\,504 \text{ m}^3/\text{día}) \times 10^{-3}$$

$$M_{\text{BOD}} = 1\,403,98 \text{ kg BOD/ día}$$

Posteriormente se utilizó la ecuación 3.8 para determinar el factor de emisiones de metano como se indica a continuación:

$$EF_{\text{BOD}} = B_0 \times \text{MCF}$$

$$EF_{\text{BOD}} = 0,8 \times 0,6 \text{ kg CH}_4/\text{Kg BOD}$$

$$EF_{\text{BOD}} = 0,48 \text{ Kg CH}_4/\text{Kg BOD}$$

Finalmente se determinó las emisiones de metano aplicando la Ecuación 3.9:

$$\text{Emisiones CH}_4 = M_{\text{BOD}} \times EF_{\text{BOD}}$$

$$\text{Emisiones CH}_4 = 1\,403,98 \text{ kg BOD/ día} \times 0,48 \text{ kg CH}_4/\text{kg BOD} \times 365$$

Emisiones CH₄ = 2 459 777,72 kg CH₄/ año

Emisiones de CH₄ = $2,4 \times 10^3$ t CH₄/año

En la Tabla 4.16 y Tabla 4.17 se indican las emisiones de metano aplicando el modelo matemático en función de la demanda bioquímica de oxígeno para los embalses de Pisayambo y Agoyán:

Tabla 4.16. Resultado de las emisiones totales de metano en el embalse de Pisayambo aplicando el modelo matemático en función del DBO.

Punto de muestreo	Ubicación	t CH ₄ × año
1	Pisayambo	$2,4 \times 10^3$
2	Pisayambo	$2,4 \times 10^3$
3	Pisayambo	$2,3 \times 10^3$
4	Pisayambo	$2,4 \times 10^3$
5	Pisayambo	$2,4 \times 10^3$
	Promedio de emisiones de CH₄	$2,4 \times 10^3$

Tabla 4.17. Resultado de las emisiones totales de metano en el embalse de Agoyán aplicando el modelo matemático en función del DBO.

Punto de muestreo	Ubicación	Ton CH ₄ × año
1	Agoyán	$1,4 \times 10^3$
2	Agoyán	$1,4 \times 10^3$
3	Agoyán	$1,4 \times 10^3$

Tabla 4.17. Resultado de las emisiones totales de metano en el embalse de Agoyán aplicando el modelo matemático en función del DBO (continuación...)

4	Agoyán	$1,3 \times 10^3$
5	Agoyán	$1,3 \times 10^3$
	Promedio de emisiones de CH₄	$1,3 \times 10^3$

De acuerdo a los resultados observados en las Tablas 4.16 y 4.17 se observa que el enfoque de modelado simple para la estimación directa aplicando como variable la demanda bioquímica de oxígeno ha demostrado resultados precisos que se encuentran dentro del rango de magnitud, pero en menor cantidad que los resultados observados aplicando el método insitu y el modelo IPCC, esto es debido a que la demanda bioquímica de oxígeno se usa como una medida de cantidad de oxígeno requerido para la oxidación de la materia orgánica biodegradable (Lecca & Ruiz, 2014), lo que significa que en la parte superior del embalse existe mayor cantidad de oxígeno que en la profundidad por lo cual este método para una mayor exactitud necesita ser analizado en más puntos de acuerdo a la profundidad, en estudios realizados por (Losada & Martínez, 2020) manifiestan que se debería realizar el estudio a profundidades de 0,1; 5,0; 7,5; y 10 metros, pero al ser modelos netamente matemáticos se observa que es un modelo que nos da una idea clara de la estimación de emisiones de metano a la atmósfera, muy próximas a la realidad como son los resultados que se indican en el modelo insitu en la Tabla 4.6.

4.1.5. Determinación de una ecuación de regresión significativa para predecir los flujos de metano generados en los embalses de Agoyán y Pisayambo.

La determinación de una ecuación de regresión significativa se ejecutó con el fin de predecir los flujos de metano en el embalse de Pisayambo y Agoyán. Este estudio se realizó en función de la clorofila como manifiesta (Huttunen et al., 2002) en su investigación “Flujos de CH₄, CO₂ y N₂O en los reservorios hidroeléctricos Lokka y

Porttipahta en la zona boreal norte de Finlandia”, debido a la fuerte relación existente entre los flujos de metano y las concentraciones de clorofila, en donde concluyeron que la alta producción de algas puede contribuir al incremento en los flujos de metano y que la materia orgánica autóctona recién elaborada sirve como sustrato para la metanogénesis. Además con este análisis se busca contribuir a las Hidroeléctricas Agoyán y Pisayambo para que puedan estimar los flujos de metano generados y en cierta forma puedan controlarlos y evitar que aumente el efecto invernadero, debido a que análisis de clorofila son realizados de manera aleatoria en los embalses, pero los análisis de emisiones de metano nunca han sido realizados.

Los resultados de clorofila, de nitratos y fosfatos se muestran en la Tabla 4.18 y Tabla 4.19, los mismos que fueron analizados en 5 puntos de cada uno de los embalses en unidades de mg/m^3 y los datos fueron de tomados de proyectos colaborativos.

Tabla 4.18. Resultados de las cantidad de clorofila presente en los embalses de Agoyán y Pisayambo en unidades de mg/m^3 .

Punto de muestreo	Ubicación	Clorofila (mg/m^3)	Ubicación	Clorofila (mg/m^3)
1	Pisayambo	6,408	Agoyán	5,340
2	Pisayambo	17,088	Agoyán	18,156
3	Pisayambo	4,272	Agoyán	1,03
4	Pisayambo	5,312	Agoyán	4,418
5	Pisayambo	2,136	Agoyán	0,97

Tabla 4.19. Resultados de las cantidad de fosfatos y nitratos presente en los embalses de Agoyán y Pisayambo en unidades de mg/m³.

Punto de muestreo	Ubicación	Fosfatos (mg/l)	Nitratos (mg/l)	Ubicación	Fosfatos (mg/l)	Nitratos (mg/l)
1	Pisayambo	0,516	< 0,200	Agoyán	0,498	< 0,200
2	Pisayambo	0,523	< 0,200	Agoyán	0,521	0,390
3	Pisayambo	0,452	< 0,200	Agoyán	0,498	< 0,200
4	Pisayambo	0,469	< 0,200	Agoyán	0,448	< 0,200
5	Pisayambo	0,459	< 0,200	Agoyán	0,487	< 0,200

En la Figura 4.3 y Figura 4.4 se muestran las regresiones significativas para predecir las emisiones de metano en los embalses Agoyán y Pisayambo.

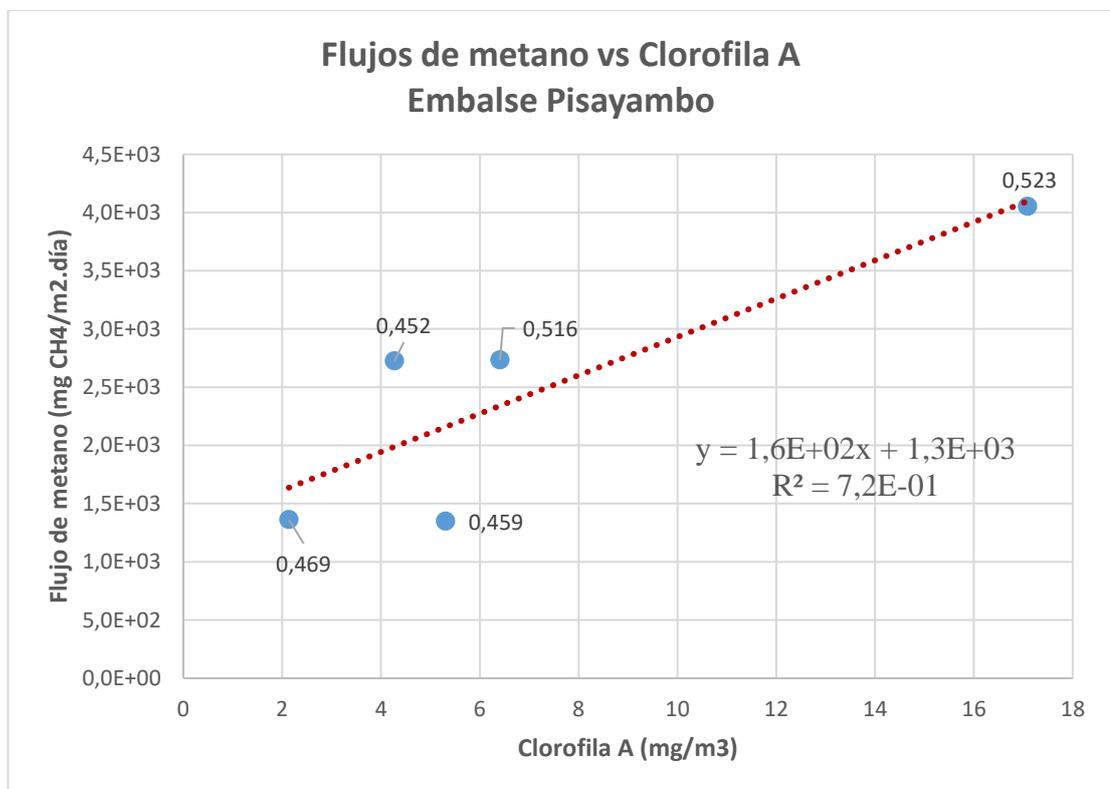


Figura 4.3. Determinación de ecuación de regresión significativa para predecir los flujos de metano generados en el embalse hidroeléctrico Pisayambo

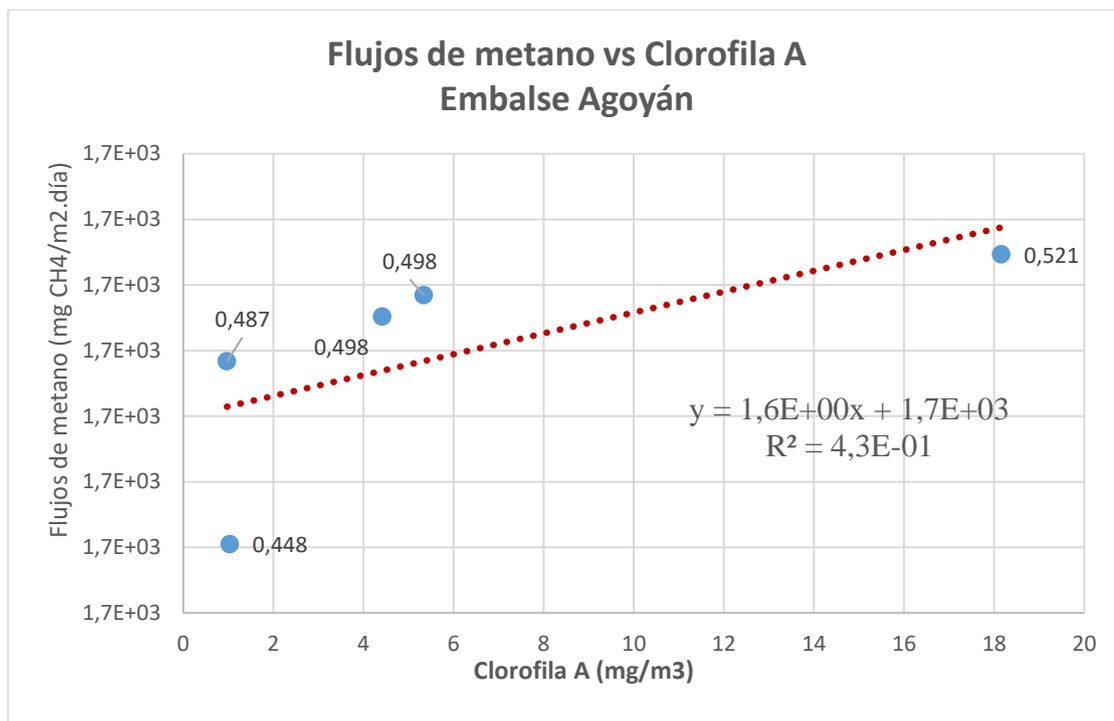


Figura 4.4. Determinación de ecuación de regresión significativa para predecir los flujos de metano generados en el embalse hidroeléctrico Agoyán.

De acuerdo a los resultados logrados, la ecuación para la estimación de los flujos de metano en función de la clorofila A en el embalse de Pisayambo presentó una tendencia lineal con un $R^2 = 0,7202$, mientras que la ecuación para la estimación de flujos de metano en el embalse de Agoyán presentó una tendencia lineal con un $R^2 = 0,4284$. En estudios realizados en la investigación “Determinación de emisiones de metano en tres embalses hidroeléctricos en Costa Rica” muestran resultados de $R^2 = 0,846$ para el embalse Miranda y un $R^2 = 0,595$ para el embalse Tucururi, manifestando que con el uso de estas regresiones se puede tener una idea aproximada de la cantidad de emisiones de metano que se producen en un embalse de estudio y que el valor de R^2 no cercanos a 1 son muy viables debido a la diferente eutrofización que puede presentar cada embalse (J. Herrera et al., 2013).

Además en la Figura 4.3 y Figura 4.4 se observa que existe una relación directa entre la mayor cantidad de emisiones de metano con la mayor cantidad de clorofila, nitratos y fosfatos, mostrándose resultados en el embalse Pisayambo para la mayor cantidad de flujos de metano que es de $4,0 \times 10^3$ mg CH₄/m² día, se tiene cantidades de clorofila de 17,088 mg/m³, fosfatos de 0,523 mg/l y nitratos < 0,200 mg/l, mientras que en el

embalse de Agoyán se tiene que para la mayor cantidad de flujos de metano $1,7 \times 10^3$ mg CH₄/m² día, se tiene cantidades de clorofila de 18,156 mg/m³, fosfatos de 0,521 mg/l y nitratos 0,390 mg/l.

En la Tabla 4.20 se indica las ecuaciones que mejor describen las emisiones de metano en función de la clorofila A para los embalses estudiados.

Tabla 4.20. Ecuación de regresión significativa para predecir las emisiones de metano generados en los embalses hidroeléctricos muestreados.

Ubicación	Ecuación	R ²
Agoyán	$y = 1,5902x + 1679,9$	0,4284
Pisayambo	$y = 164,58x + 1285,5$	0,7202

4.1.6. Análisis estadístico de los flujos de metano y dióxido de carbono generados en los embalses de Agoyán y Pisayambo.

El análisis estadístico se analizó mediante la prueba de Levene (single factor Anova), en dónde se evaluó la igualdad de varianzas (homocedasticidad) entre los dos embalses de estudio. En la Tabla 4.21 y Tabla 4.22 se observan los resultados de las pruebas de Levene aplicadas en los embalses de Agoyán y Pisayambo para las emisiones de metano y dióxido de carbono respectivamente.

Tabla 4.21. Prueba de Levene (ANOVA) para la diferenciación significativa de emisiones de metano en los embalses Agoyán y Pisayambo.

RESUMEN					
Grupos	Observaciones	Suma	Promedio	Varianza	
Pisayambo	5	4354,06	870,81	331394,81	
Agoyán	5	59,96	11,99	116,41	
ANÁLISIS DE VARIANZA					
Origen de las variaciones	Suma cuadrados	Grados de libertad	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	1843936,35	1	11,12	0,0103	5,31
Dentro de los grupos	1326044,88	8			
Total	3169981,23	9			

Tabla 4.22. Prueba de Levene (ANOVA) para la diferenciación significativa de emisiones de dióxido de carbono en los embalses Agoyán y Pisayambo.

RESUMEN					
<i>Grupos</i>	<i>Observaciones</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>	
Pisayambo	5	60,19	12,03	101,94	
Agoyán	5	150,33	30,06	408,31	
ANÁLISIS DE VARIANZA					
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	812,52	1	3,18	0,112	5,31
Dentro de los grupos	2041,03	8			
Total	2853,55	9			

De acuerdo a los resultados obtenidos a partir de la prueba de Levene (ANOVA) para las emisiones de metano en la Tabla 4.21 se observa una probabilidad o P-valor de 0,0103 que es inferior al nivel de significación de 0,05, para todas las hipótesis planteadas, por lo que se rechazó la hipótesis inicial (Ho) y se puede manifestar que existe una diferencia significativa de emisiones las de metano del embalse Agoyán con respecto al embalse Pisayambo, y al tener un valor crítico de $f(5,31)$ menor a su valor $f(11,12)$ nos indica que la distribución no es normal, es decir no hay una relación directa en la forma en que ocurre su producción de emisiones de metano a la atmósfera en los embalses estudiados o que su producción ocurre de manera heterogénea (Correa, 2006). Además se observa que de acuerdo a la prueba de Levene (ANOVA) los promedios de emisiones de metano en Pisayambo da valores de 870,81 y en Agoyán de 11,99, lo que nos indica una mayor emisión de metano en Pisayambo con respecto a Agoyán, lo que implica que factores superiores en lo que respecta a la cantidad de materia orgánica, profundidades, el área del embalse y caudales propiciaron a una mayor producción de emisiones de metano en el embalse Pisayambo con respecto al embalse Agoyán.

En la Tabla 4.22 se observa los resultados obtenidos a partir del análisis estadístico de la prueba de Levene (ANOVA) para las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera, el mismo que muestra una probabilidad de nivel de significancia de 0,112 que es superior al nivel de significancia de 0,05; lo que nos indica una igualdad de varianzas (homoscedasticidad) por lo que se acepta la hipótesis inicial, lo que representa que no existe una diferencia significativa de las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera del embalse Agoyán con respecto al embalse Pisayambo. Además al tener un valor crítico de $f(5,31)$ menor a su valor $f(3,18)$ nos indica que la distribución es normal, es decir que hay una relación directa en la forma en que ocurre su producción de emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera en los embalses estudiados, lo que significa que con el transcurso del tiempo estas emisiones no variarán de manera significativa y serán muy similares en los dos embalses teniendo poblaciones de tamaño muestral homogénea (García, 2017).

En el análisis de las emisiones de metano se rechazó la hipótesis nula por lo que fue necesario realizar una prueba de intersección Tukey para el análisis complementario del estudio. Primeramente para el análisis de la prueba de Tukey se utilizó la Ecuación 4.2 que se indica a continuación (García, Morales, & Guzmán, 2001):

$$w = q \times \sqrt{\frac{CME}{r}} \quad \text{Ecuación 4.2}$$

En la ecuación 4.2 w indica la diferencia significativa, q representa el multiplicador, CME significa el cuadrado del error medio y r es el número de observaciones realizadas, todos los datos para resolver esta ecuación se encontraron en la Tabla 4.19 a excepción del valor del multiplicador que se encontró en la tabla de valores críticos de Tukey que se muestra en el Anexo IV en la Figura AIV.1.

$$w = 3,26 \times \sqrt{\frac{165755,61}{5}}$$

$$w = 593,56$$

Finalmente en la Tabla 4.23 se realizó la media de los valores de emisiones de metano para la comparación con el test de Tukey en cada punto de muestreo, de esta manera se logró comprobar en qué puntos específicamente no se cumple con la hipótesis nula y existe una diferencia significativa de varianzas.

Tabla 4.23. Prueba de comparación de Tukey para las emisiones de metano en los embalses de Agoyán y Pisayambo.

Observaciones	Punto1	Punto2	Punto3	Punto4	Punto5
Punto1		662,93	5,32	703,80	696,97
Punto2			668,25	1366,73	1359,90
Punto3				698,48	691,64
Punto4					6,83
Punto5					

De acuerdo a los resultados obtenidos se observa una diferencia significativa del test de Tukey de 593.56, mientras que en la Tabla 4.23 se indicó la diferencia de medias para cada punto de muestreo, para lo cual todos los datos encontrados que se encuentran en orden mayor al valor de Tukey se encuentran en color amarillo, mientras que los datos que se encuentran en un orden menor fueron colocados en color azul, concluyendo que en los puntos dónde los valores son mayores a los de Tukey es dónde realmente existe una diferencia significativa y no se cumplió la igualdad de varianzas, por lo tanto de acuerdo a la Tabla 4.22 se observa que únicamente en el punto 1 del embalse Pisayambo con respecto al punto 3 del embalse Agoyán y en el punto 4 de Pisayambo con respecto al punto 5 de Agoyán existió igualdad de varianzas, confirmando de esta manera los resultados obtenidos por el test de Levene y por qué no se cumplió con la hipótesis nula para las emisiones de metano en los embalses de Agoyán y Pisayambo.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES, BIBLIOGRAFÍA Y ANEXOS

5.1. CONCLUSIONES

- Las emisiones totales de metano a la atmósfera en los embalses de Agoyán y Pisayambo indican un valor máximo de $3,3 \times 10^3$ y $7,1 \times 10^3$ toneladas de metano/año respectivamente, concluyendo que el embalse de Pisayambo presentó mayor contaminación por emisiones de metano que el embalse Agoyán.
- Se concluyó que un factor determinante en la mayor cantidad de emisiones de metano es el porcentaje de materia orgánica total. El embalse Pisayambo indicó una media de carbono orgánico total muy superior al embalse Agoyán, alcanzando una media de 2,44 % en cada punto, mientras en el embalse Agoyán la media de cada punto fue del 1,19 %, teniendo en consideración que el carbono es una fuente directa de metano y al existir un mayor porcentaje de materia orgánica, esta promueve a una mayor metanogénesis.
- Las profundidades máximas determinadas en el embalse Pisayambo y en el embalse Agoyán fueron de 17 m y 12 m respectivamente, concluyendo que la profundidad tiene relación directa con las emisiones de metano debido a que mientras mayor es la profundidad, la formación de capas anóxica es mayor, lo que significa menor presencia de cantidades de oxígeno lo que hace que la carga orgánica se funda liberando metano con mayor facilidad a los sedimentos y el agua circundante.
- Se concluyó que la temperatura es un factor que influye en las emisiones de metano en los embalses estudiados. La temperatura máxima alcanzada en Agoyán y Pisayambo muestran valores de 19 °C y 13 °C respectivamente que son valores que se encuentran dentro del límite permisible no mayores a 32 °C, concluyendo que para los dos embalses estas temperaturas aumentan la solubilidad del oxígeno acelerando el metabolismo de microorganismos, favoreciendo la degradación y la producción de emisiones de metano, de

manera muy similar, ya que para que exista una afectación muy distintiva debería la temperatura encontrarse fuera del límite permisible.

- Se estableció tres metodologías adecuadas para la determinación de concentraciones de metano a la atmósfera en los embalses Agoyán y Pisayambo concluyendo que el método más exacto para su determinación es el método insitu que utilizó como detector un monitor de gas PID personal (RKI-GX-6000), esto ocurre debido a que en la técnica insitu no se supone ningún valor como es en el caso del modelo matemático IPCC y el modelado simple por estimación directa que utiliza como variable la demanda bioquímica de oxígeno (DBO).
- Las emisiones de metano a la atmósfera calculadas utilizando el método IPCC para los embalses Pisayambo y Agoyán indican resultados de $1,7 \times 10^3$ y $5,8 \times 10^3$ toneladas de metano/año respectivamente, valores que se encuentran en el mismo orden de magnitud y muy próximos a los determinados por la metodología insitu con un índice muy alto de confiabilidad, concluyendo que el método por IPCC se plantea como una alternativa técnicamente viable y muy recomendable para determinación de flujos de metano en embalses.
- Las estimaciones de metano a la atmósfera determinadas aplicando un modelado simple por estimación directa en función de la demanda bioquímica de oxígeno manifiestan valores de $2,4 \times 10^3$ toneladas de metano/año en el embalse Pisayambo y $1,3 \times 10^3$ toneladas de metano/año en el embalse Agoyán, valores que presentan el mismo orden de magnitud que aplicando un monitor de gas PID personal (RKI-GX-6000) y la técnica IPCC, pero con cierta diferencia significativa en su resultado, esto es debido a que la medición de DBO fue únicamente realizada en los puntos medio del embalse y esta técnica para obtener una mayor exactitud se debe realizar un estudio a cuatro profundidades distintas que es de 0,1; 5,0; 7,5; y 10 metros, concluyendo que es un modelo que proporciona una idea clara de la estimación de emisiones de metano en un embalse pero que su exactitud depende del número de muestras de DBO tomadas en cada punto.

- La ecuación de regresión significativa para la estimación de flujos de metano en función de la clorofila A determinada en el embalse Pisayambo es $y = 1259,9 \ln(x) + 283,53$ que presentó una tendencia lineal con un $R^2 = 0,7202$, mientras que la ecuación de regresión significativa en el embalse Agoyán es $y = 1,5902x + 1679,9$ que tuvo una tendencia lineal con un $R^2 = 0,4284$. Estas ecuaciones se realizaron con el fin contribuir a las Hidroeléctricas Agoyán y Pisayambo para que puedan estimar los flujos de metano generados y en cierta forma puedan controlarlos, evitando que aumente el efecto invernadero, debido a que análisis de clorofila son realizados de manera mensual en los embalses, pero los análisis de emisiones de metano nunca han sido realizados.
- Las emisiones totales de dióxido de carbono a la atmósfera en los embalses de Agoyán y Pisayambo muestran un valor máximo de $1,3 \times 10^2$ y $2,3 \times 10^2$ toneladas de dióxido de carbono/año respectivamente, concluyendo que el embalse de Pisayambo demostró ser el embalse con mayor contaminación por emisiones de dióxido de carbono con respecto al embalse Agoyán. Estos resultados se consiguieron manejando un monitor de gas PID personal (RKI-GX-6000). Paucar y Amacha (2015) cuando analizaron el anhídrido carbónico en el embalse Pisayambo manifiestan emisiones de 233,78 toneladas de dióxido de carbono/año, valores muy similares con los manifestados que corroboran la veracidad de la investigación.
- Las emisiones de metano a la atmósfera son 34 veces más contaminantes que el anhídrido carbónico, cada kilo de metano es capaz de calentar a la Tierra 25 veces más que el dióxido de carbono y como se ha visto en los resultados las emisiones de metano son considerables y triplican a las emisiones de dióxido de carbono en los embalses estudiados, por lo que es necesario realizar un estudio afondo del aprovechamiento de los flujos de metano en las Hidroeléctricas de Agoyán y Pisayambo con el fin de detener el calentamiento global y encontrar beneficios a nivel industrial.
- El análisis estadístico se realizó mediante el test Levene y la prueba de Tukey, concluyendo que para las emisiones de metano no se cumple con la hipótesis

nula la misma que fue rechazada debido a que su valor de probabilidad fue de 0,0103 y fue menor al valor de significancia de 0,05, es decir no existió igualdad de varianzas, confirmando esto con la prueba de Tukey en dónde se determinó en que puntos no se cumplió con la igualdad de varianzas (homoscedasticidad), mientras que las emisiones de dióxido de carbono de acuerdo al test de Tukey se obtuvo una probabilidad de 0,112 que fue superior al valor de significancia de 0,05, por lo que se cumplió con la hipótesis nula, y no fue necesario realizar el análisis con el test de Tukey.

5.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda evaluar las emisiones de metano y dióxido de carbono tomando en consideración una mayor cantidad de puntos de muestreo conjuntamente con la aplicación de otra técnica de estimación de gases de efecto invernadero, para establecer una comparación con los resultados obtenidos.
- Se recomienda evaluar las emisiones de metano y dióxido de carbono en una época diferente a la estudiada, logrando de esta manera verificar si existe una variación significativa en las concentraciones de metano y dióxido de carbono obtenidas.
- Se recomienda que las empresas de Agoyán y Pisayambo utilicen las ecuaciones de regresión significativa de metano en función de clorofila, para que puedan tener un reporte mensual de las emisiones de metano generadas por los embalses.

5.3. BIBLIOGRAFÍA

- Abad, R. M. (2010). *Análisis de biodisponibilidad de sustancias peligrosas en sedimentos*.
- Alonso, M., Corregidor, D., & Palau, A. (2010). Análisis del ciclo de carbono en embalses y su posible efecto en el cambio climático. Aplicación al embalse de Susqueda. *Fundación Para El Fomento de La Ingeniería Del Agua.*, 17(3), 9.
- Alvares, D. (2021). *Determinación de clorofila A como indicador de polución en los embalses de las hidroeléctricas Agoyán y Pisayambo por el método espectrofotométrico UV - visible*.
- Amstel, A. Van. (2014). Methane . A review. *Integrative Environmental Sciences*, pp. 3–30. <https://doi.org/10.1080/1943815X.2012.694892>
- Arbat, M. (2015). *Distribución de temperatura y velocidad en embalses*.
- Armenta, E., & Sierra, D. (2017). Modelación de la producción de metano en el Relleno Sanitario Parque Ambiental Palangana (Santa Marta). *Ingeniería, Investigación y Tecnología, XVIII*(número 2), 183–192.
- Bahi, Y., Akhssas, A., Khamar, M., Bahi, L., & Souidi, H. (2019a). Estimation of greenhouse gas (GHG) emissions from natural lagoon wastewater treatment plant : Case of AinTaoujdate-. *BioScience Advance Access*, 2(20 20), 1–8.
- Bahi, Y., Akhssas, A., Khamar, M., Bahi, L., & Souidi, H. (2019b). Estimation of greenhouse gas (GHG) emissions from natural lagoon wastewater treatment plant : Case of AinTaoujdate-Morocco, 2(20 20), 1–8.
- Baird, R., Eaton, A., & Rice, E. (2017). *Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales*.
- Balaguer, L. (2015). *Alteraciones de los pigmentos fotosintéticos , de la fluorescencia de las clorofilas y de la ultraestructura de líquenes expuestos a dióxido de azufre y nitrato*.
- Bambace, L. A. W., Ramos, F. M. Ñ., Lima, I. B. T., & Rosa, R. R. (2007). Mitigation and recovery of methane emissions from tropical hydroelectric dams, 32, 1038–1046. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2006.09.008>
- Beltrán, E., & Rangel, J. (2013). Modeling the Trophic State of Wetland Jaboque , Bogotá D.C ., Colombia. *Universidad Distrital Francisco José de Caldas*, 18(1), 149–164.
- Bergström, A., Algesten, G., & Sobek, S. (2004). Emission of CO 2 from hydroelectric reservoirs in northern Sweden, 2(January), 18. <https://doi.org/10.1127/0003-9136/2004/0159-0025>
- Bernal, A., & Roza, J. (2017). *Ventajas y desventajas del análisis de un diseño de medidas repetidas mediante análisis de varianza univariado, multivariado y modelos lineales mixtos*.
- Bodger, K. (2003). *Soil and Groundwater Remediation*.
- Bolaños-alfaro, J. D., Cordero-castro, G., & Segura-araya, G. (2017). Determinación

- de sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre , en dos cantones de Alajuela (Costa Rica). *Tecnología En Marcha*, 30(4), 13. <https://doi.org/10.18845/tm.v30i4.3408>
- Cadilhac, L., Torres, R., Calles, J., Vanacker, V., & Calderón, E. (2017). Desafíos para la investigación sobre el cambio climático en Ecuador. *Neotropical Biodiversity*, 3(1), 168–181. <https://doi.org/10.1080/23766808.2017.1328247>
- Cárdenas, G., & Sánchez, A. (2013). Nitrógeno en aguas residuales: orígenes, efectos y mecanismos de remoción para preservar el ambiente y la salud pública. *Universidad y Salud*, 15(1), 72–88.
- Chen, H., Wu, Y., Yuan, X., Gao, Y., & Wu, N. (2009). Methane emissions from newly created marshes in the drawdown area of the Three Gorges Reservoir. *Geophysical Research Atmospheres*, (September). <https://doi.org/10.1029/2009JD012410>
- Cordero, G. (2012). El cambio climático. *Ciencia y Sociedad*, XXXVII(2), 15.
- Correa, J. C. (2006). Estudio de potencia de pruebas de homogeneidad de varianza. *Revista Colombiana de Estadística*, 29(1), 57–76.
- Deemer, B. R. (2016). Greenhouse Gas Emissions from Reservoir Water Surfaces : A New Global Synthesis. *BioScience Advance Access*, (October), 17. <https://doi.org/10.1093/biosci/biw117>
- Deloya, A. (2017). Métodos de análisis físicos y espectrofométricos para el análisis de aguas residuales. *Tecnología En Marcha*, 19(2), 31–40.
- Dos Santos, M. A., Damázio, J. M., Rogério, J. P., Amorim, M. A., Medeiros, A. M., Abreu, J. L. S., ... Rosa, L. P. (2017). Estimates of GHG emissions by hydroelectric reservoirs: The Brazilian case. *Energy*, 133, 99–107. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.05.082>
- Fernández, A., & Schenone, N. (2010). Calidad de agua en embalses tradicionales de Argentina. *Asociación de Universidades Grupo Montevideo*, 1, 45–66.
- Flores-Jiménez, D. E., Carbajal, N., Algara-Siller, M., Aguilar-Rivera, N., Álvarez-Fuentes, G., Ávila-Galarza, A., & García, A. R. (2019). Atmospheric dispersion of methane emissions from sugarcane burning in Mexico. *Environmental Pollution*, 250, 922–933. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.04.025>
- García, J., Morales, E., & Guzmán, M. (2001). Comparación de los procedimientos de Tukey, Duncan, Dunnett, HSU para selección de medias. *Red de Revistas Científicas de América Latina*, 35(1), 79–86.
- García, M. (2017). *Una nueva prueba para el problema de igualdad de varianzas*. *Revista Universidad Santo Tomas*.
- González, E., Ortaz, M., & Peñaherrera, C. (2004). Fitoplancton de un embalse tropical hipereutrófico (Pao- Cachinche, Venezuela). *Red de Revistas Científicas de América Latina*, 10(29), 9.
- Hernández, D., & González, A. (2013). Los métodos Turbidimétricos y sus aplicaciones en las ciencias de la vida. *CENIC. Ciencias Biológicas*, 1, 18.

- Hernández, M. (2009). Wetland Soils as Carbon Sinks and Sources of Methane. *Red de Manejo Biotecnológico de Recursos.*, 28, 139–147.
- Herrera, J., Rojas, F., Rodríguez, S., & Rojas, A. (2013). Determinación de emisiones de metano en tres embalses hidroeléctricos en Costa Rica, *42(2)*, 27–36.
- Herrera, M. (2018). *Facultad de ingeniería.*
- Huttunen, J. T., Va, T. S., Hellsten, S. K., Heikkinen, M., Niskanen, A., Virtanen, M. O., & Lindqvist, O. V. (2002). Fluxes of CH₄, CO₂, and N₂O in hydroelectric reservoirs Lokka and Porttipahta in the northern boreal zone in Finland. *GLOBAL BIOGEOCHEMICAL CYCLES*, 16(1), 1–17.
- IHOBE, F. L. para. (2002). *Guía Técnica para la medición, estimación y cálculo de las emisiones al aire.*
- INECC. (2004). Instituto nacional de ecología y cambio climático.
- INEN. (2013). NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 1106 : 2013, 1, 14.
- Kumar, A., & Sharma, M. P. (2016). Carbon stock estimation in the catchment of Kotli Bhel 1A hydroelectric reservoir, Uttarakhand, India. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 134, 365–369.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.08.029>
- Ladino, G. (2011). Dinámica del Carbono en estanques de peces. *GRISADE*, 15(1), 48–61.
- Lallana, M. del C. (2003). Extracción y separación de pigmentos de los cloroplastos. In *Manual de Prácticas de Fisiología Vegetal* (pp. 13–16).
- Lecca, E., & Ruiz, E. (2014). Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno. *Revista de La Facultad de Ingeniería Industrial UNMSM*, 17(1), 71–80.
- Li, S., Zhang, Q., Bush, R. T., & Sullivan, L. A. (2015). Methane and CO₂ emissions from China's hydroelectric reservoirs: a new quantitative synthesis. *Environ Sci Pollut Res*, 1, 15. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-4083-9>
- Lopera, L. M., Oviedo, L. M., Rodríguez, D. C., & Peñuela, G. A. (2016). Aplicación de ensayos en discontinuo para la determinación de flujos de metano y dióxido de carbono en la degradación del material vegetal en el embalse Topocoro Batch tests application for the determination of flows of methane and carbon dioxide in the d. *Universidad de Antioquía*, (2), 67–73.
- Lopez, L., & Madroñero, S. (2015). A TROPIC STATE OF TROPICAL LAKE HIGH MOUNTAIN : *BioScience Advance Access*, 21–42.
- Losada, L., & Martínez, P. (2020). Evaluación de la calidad del agua en el embalse hidroeléctrico El Quimbo. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 14(27), 107–116.
- Martínez, E., & Rodríguez, J. (2016). Aplicación de las metodologías EPA, mexicano e IPCC para la estimación de biogás, caso de estudio relleno sanitario Doña Juana, Bogotá - Colombia. *Universidad y Salud*, 338–344.

- Medina, J. (2010). La dieta del dióxido de carbono (CO₂). *Conciencia Tecnología*, 39(2), 5.
- Montalvo, J., García, I., & Almeida, M. (2014). Modelación de la eutroficación e índice de calidad del agua en algunas bahías del archipiélago Sabana. *Instituto de Oceanología*, 2(1), 17.
- Morales, E. (2015). *SISTEMA DE CONTROL AUTOMATICO PARA LA LIMPIEZA DE LAS REJAS EN LA TOMA DE CARGA DE LA REPRESA DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA AGOYAN*.
- Muñoz, H., Orozco, S., Vera, A., Suárez, J., García, E., Neria, M., & Jiménez, J. (2015). Relación entre el oxígeno disuelto, precipitación pluvial y temperatura : río Zahuapan, Tlaxcala, México. *Universidad Autónoma de Tlaxcala, México*, VI, 59–74.
- NTE INEN, N. T. E. (2013). NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2169 : 2013 Primera revisión.
- Ojeda, S., Taboada, P., & Margarito, Q. (2012). ESTIMACIÓN DE LAS CONSTANTES k Y L₀ DE LA TASA DE GENERACIÓN DE BIOGÁS EN SITIOS DE DISPOSICIÓN FINAL EN BAJA CALIFORNIA, MÉXICO. *Contaminación Ambiental*, 3(1), 43–49.
- Oliva-Martínez, M. G., & Catriona, J. (2014). Biodiversidad del fitoplancton de aguas continentales en México Biodiversity of inland water phytoplankton in Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85, 54–61.
<https://doi.org/10.7550/rmb.32706>
- Ordoñez, A., & Gonzalez, R. (2017). Determinación de concentración de metano con sensores semiconductores. *Universidad Autónoma de Chapingo*, 2(1), 68–73.
- Pabello, L. (2014). Sistema de humedales artificiales para el control de la eutroficación del lago del Bosque de San Juan de Aragón. *TIP Revista Especializada En Ciencias Químico-Biológicas*, 17(1), 32–55.
[https://doi.org/10.1016/S1405-888X\(14\)70318-3](https://doi.org/10.1016/S1405-888X(14)70318-3)
- Pachauri, R., & Meyer, L. (2014). *Grupo Intergubernamental de expertos sobre el cambio climático (IPCC)*.
- Pacheco, V. (2011). Situación actual de la calidad de agua del sub embalse Mbói Caé de la ciudad de Encarnación mediante el empleo del Índice Simplificado de Calidad de Agua. *Agua y Gestión Del Recurso*, 2(1), 1–3.
- Palau, A. (2010). Ciclo del carbono en embalses y su posible efecto en el cambio climático. *Fundación Para El Fomento de La Ingeniería Del Agua.*, 17(3), 247–255.
- Paucar, M., & Amacha, P. (2015). Estimación de emisiones de metano producidas por embalses de las Centrales Hidroeléctricas en Ecuador. *Universidad Técnica de Ambato*, 2(November), 9.
- Peña, E. (2007). *Oxígeno disuelto para la calidad del agua en ríos de Guayquil*.
- Pérez, M., & Ponce, A. (2013). VALIDACIÓN DE LA METODOLOGÍA ACM0001 PARA LA PROPUESTA DE UN PROYECTO MDL EN EL

RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN MEJÍA.

- Pier, A. (1997). Measured and estimated methane and carbon dioxide emissions from sawdust waste in the Tennessee valley under alternative management strategies. *Elsevier*, 61(2), 213–220.
- Ramírez, J., & González, R. (2012). Establecimiento del nutriente limitante con base en los cambios de la estructura del embalse fitoplanctónico en un embalse tropical colombiano. *LIMNOLOGÍA*, 34(2), 421–441.
- Rivera, C., Zapata, Á., Pinilla, G., Donato, J., Chaparro, B., & Jiménez, P. (2005). DE LA CLOROFILA -a MEDIANTE LOS MÉTODOS ESPECTROFOTOMÉTRICO Y FLUOROMÉTRICO Comparison of Spectrophotometric and Fluorometric Measurements of Chlorophyll -a. *Acta Biológica Colombiana*, 10(2), 95–103.
- Rodrigo, M. E. (2016). *BIOLEACH: un modelo matemático para la evaluación conjunta de la producción de lixiviados y biogás en vertederos de RSU*.
- Rv, R., Gho, U., Uháhdq, P., Orv, H. Q., Àvlftrxtplfrv, I., & Sursrulyq, X. Q. D. (2015). El fitoplancton de un canal de Xochimilco y la importancia de estudiar ecosistemas acuáticos urbanos. *TIP*, 18(1), 13–28. <https://doi.org/10.1016/j.recqb.2015.05.002>
- Saidi, H., & Koschorreck, M. (2017). CO2 emissions from German drinking water reservoirs. *Science of the Total Environment*, 581–582, 10–18. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.004>
- Samaniego, M. P. (2014). Estudio de emisiones de metano producidas por embalses en centrales hidroeléctricas en Ecuador, 90. Retrieved from <http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/handle/28000/1492>
- Sánchez, A., González-yajimovich, O., Balart, E., & López-ortiz, B. E. (2013). Acumulación de carbono orgánico total y carbonato de calcio en la zona de oxígeno mínimo del Pacífico nororiental mexicano. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 30(1), 222–232.
- Sánchez, J. (2008). Sedimentación en embalses. In *Manual de Ingeniería de Ríos* (p. 57).
- Santillán, V., & Ramírez, E. (2018). El uso de la cromatografía de gases en investigaciones de emisiones de gases de efecto invernadero. *Colegio de Postgraduados Campus Montecillo*, 11(2), 81–88.
- Tejada, D. (2017). *Estimación de las emisiones difusoras de gases efecto invernadero en centrales hidroeléctricas colombianas: dióxido de carbono (CO2) y metano (CH4)*.
- Torres, M. (2008). La utilización del concepto de pH. *Enseñanza de Las Ciencias*, 3(18), 451–461.
- Varol, M. (2019). CO 2 emissions from hydroelectric reservoirs in the Tigris River basin, a semi-arid region of southeastern Turkey. *Journal of Hydrology*, 569(January), 782–794. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.01.002>
- Velázquez, A. (2017). Tipo de muestreo. In *Análisis de información Geoespacial*

(Vol. 1).

Villegas, H. (2013). Guía metodológica para el cálculo de la huella de carbono corporativa a nivel sectorial.

Vizuite, M., & Jaramillo, A. (2013). *LA CALIDAD DEL AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA EVACUADA AL RÍO GUAYLLABAMBA PARROQUIA DE YARUQUÍ Y SU INCIDENCIA EN EL PROCESO DE AUTODEPURACIÓN E HIGIENE AMBIENTAL EN LA ZONA*. Universidad Técnica de Ambato.

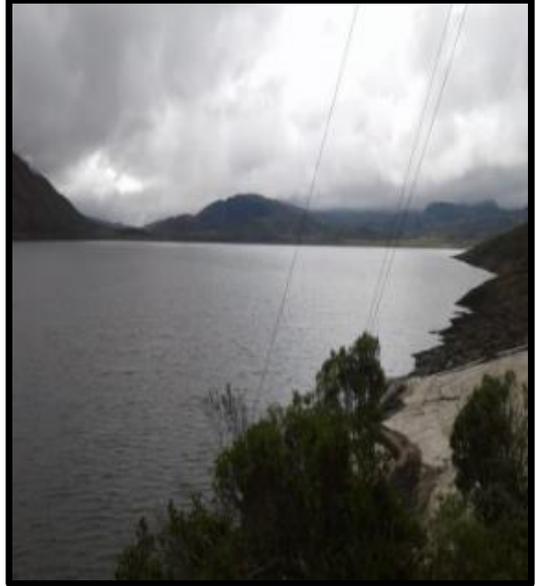
Wang, M., Tian, Q., Li, X., Liang, J., He, Y., & Hou, J. (2019). TEX86 as a potential proxy of lake water pH in the Tibetan Plateau. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, *10*, 42.
<https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2019.109381>

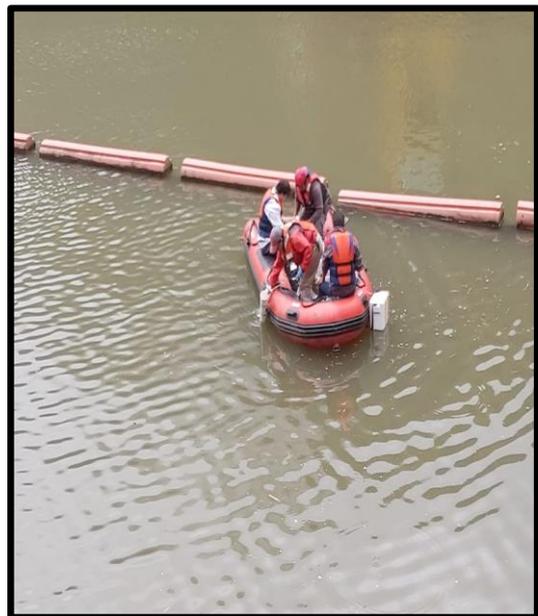
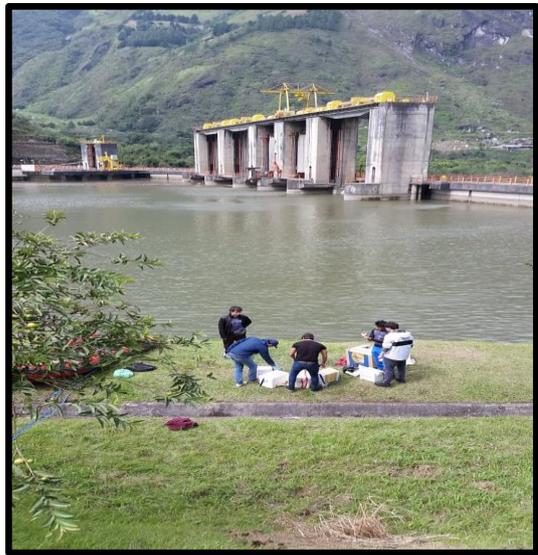
Whittaker, C., Yates, N. E., Powers, S. J., Donovan, N., Misselbrook, T., Shield, I., & Whittaker, C. (2017). Testing the Use of Static Chamber Boxes to Monitor Greenhouse Gas Emissions from Wood Chip Storage Heaps. *Department of Sustainable Soils and Grassland Systems*, *10*, 353–362.
<https://doi.org/10.1007/s12155-016-9800-9>

Yépez, R. (2015). *Los recursos naturales y el manejo de cuencas hidrográficas*.

ANEXOS

Anexo I. Toma y recolección de muestras





Anexo II. Informe de los resultados obtenidos sobre la materia orgánica de los embalses de Agoyán y Pisayambo

CODIGO LABORATORIO		IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA		FECHA DE MUESTREO		HORA DE MUESTREO		UBICACIÓN		COORDENADAS UTM		OBSERVACIONES	
S20-105		Punto 1 Agoyan		No indicado por el cliente		No indicado por el cliente		Agoyan		079129 89845287		sedimento	

RESULTADOS				
PARAMETRO	METODO/REFERENCIA	UNIDADES	RESULTADOS	INCERTIDUMBRE
MATERIA ORGANICA*	WALKLEY BLACK 1934	%	1.007	---

Notas:
 Environovalab, Laboratorio de Ensayo Acreditado por el SAE Acreditación No. SAE LEN 18-040
 Los ensayos marcados con (*) No están incluidos en el alcance de la acreditación de SAE
 Las muestras serán descartadas 15 días después de la entrega del informe de resultados
 Los valores reportados en el presente informe solo se refieren a la muestra analizada
 Environovalab declina toda responsabilidad por el uso de los resultados presentados
 Este informe no podrá ser reproducido parcialmente, sin la autorización escrita de Environovalab

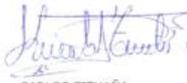

 CARLOS TITUAÑA
 ANALISTA



Figura AII.1 Resultados de materia orgánica obtenida en el punto 1 de Agoyán.

CODIGO LABORATORIO		IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA		FECHA DE MUESTREO		HORA DE MUESTREO		UBICACIÓN		COORDENADAS UTM		OBSERVACIONES	
S20-106		Punto 1 Pisayambo		No indicado por el cliente		No indicado por el cliente		Pisayambo		079036 09880508		sedimento	

RESULTADOS				
PARAMETRO	METODO/REFERENCIA	UNIDADES	RESULTADOS	INCERTIDUMBRE
MATERIA ORGANICA*	WALKLEY BLACK 1934	%	1.573	---

Notas:
 Environovalab, Laboratorio de Ensayo Acreditado por el SAE Acreditación No. SAE LEN 18-040
 Los ensayos marcados con (*) No están incluidos en el alcance de la acreditación de SAE
 Las muestras serán descartadas 15 días después de la entrega del informe de resultados
 Los valores reportados en el presente informe solo se refieren a la muestra analizada
 Environovalab declina toda responsabilidad por el uso de los resultados presentados
 Este informe no podrá ser reproducido parcialmente, sin la autorización escrita de Environovalab

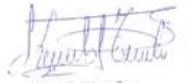

 CARLOS TITUAÑA
 ANALISTA



Figura AII.2 Resultados de materia orgánica obtenida en el punto 1 de Pisayambo.

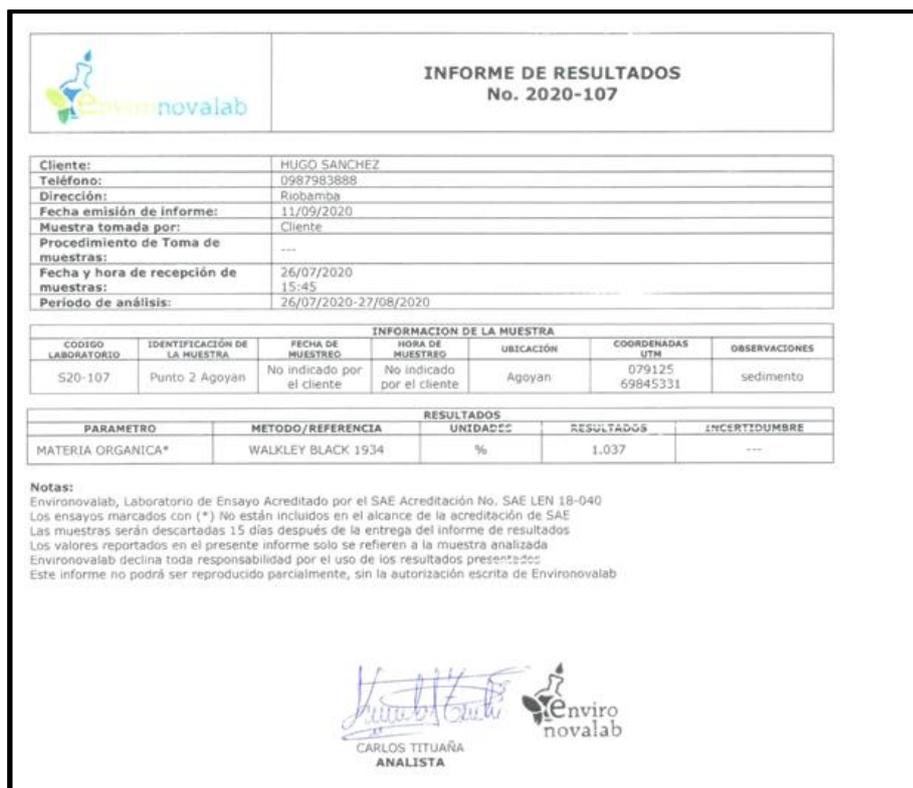


Figura AII.3 Resultados de materia orgánica obtenida en el punto 2 de Agoyán.

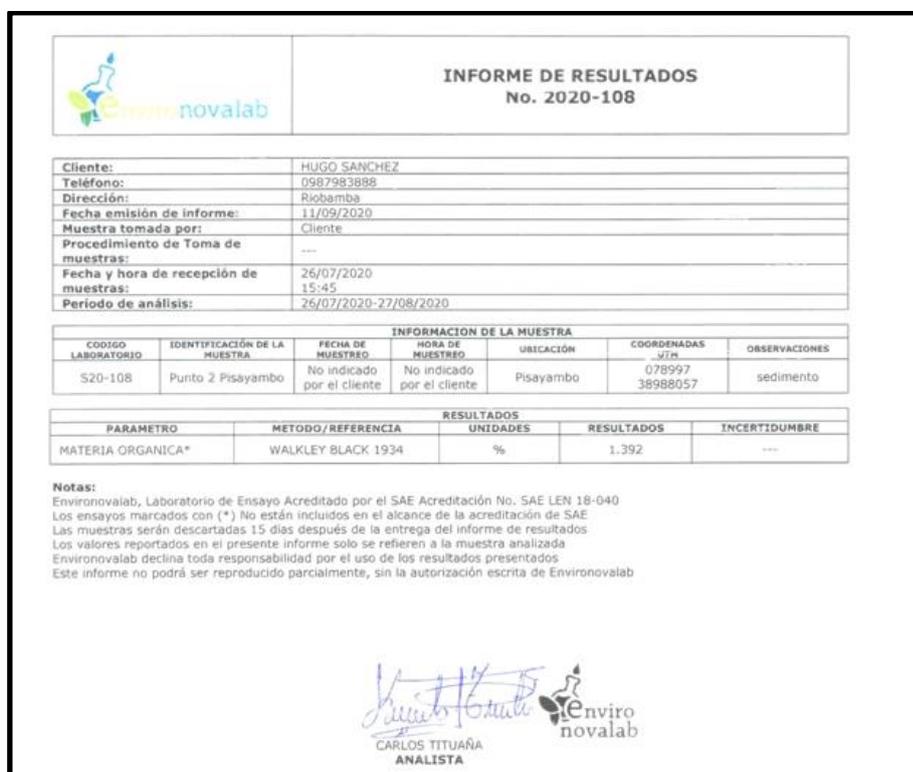


Figura AII.4 Resultados de materia orgánica obtenida en el punto 2 de Pisayambo.

		INFORME DE RESULTADOS No. 2020-109				
Cliente:	HUGO SANCHEZ					
Teléfono:	0987983888					
Dirección:	Riobamba					
Fecha emisión de informe:	11/09/2020					
Muestra tomada por:	Cliente					
Procedimiento de Toma de muestras:	---					
Fecha y hora de recepción de muestras:	26/07/2020 15:45					
Período de análisis:	26/07/2020-27/08/2020					
INFORMACIÓN DE LA MUESTRA						
CODIGO LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA DE MUESTREO	HORA DE MUESTREO	UBICACIÓN	COORDENADAS UTM	OBSERVACIONES
S20-109	Punto 3 Agoyan	No indicado por el cliente	No indicado por el cliente	Agoyan	079120 57843201	sedimento
RESULTADOS						
PARAMETRO	METODO/REFERENCIA	UNIDADES	RESULTADOS	INCERTIDUMBRE		
MATERIA ORGANICA*	WALKLEY BLACK 1934	%	1.139	---		
Notas: Enviro novalab, Laboratorio de Ensayo Acreditado por el SAE Acreditación No. SAE LEN 18-040 Los ensayos marcados con (*) No están incluidos en el alcance de la acreditación de SAE Las muestras serán descartadas 15 días después de la entrega del informe de resultados Los valores reportados en el presente informe solo se refieren a la muestra analizada Enviro novalab declina toda responsabilidad por el uso de los resultados presentados Este informe no podrá ser reproducido parcialmente, sin la autorización escrita de Enviro novalab						
 CARLOS TITUAÑA ANALISTA						

Figura AII.5 Resultados de materia orgánica obtenida en el punto 3 de Agoyán.

		INFORME DE RESULTADOS No. 2020-110				
Cliente:	HUGO SANCHEZ					
Teléfono:	0987983888					
Dirección:	Riobamba					
Fecha emisión de informe:	11/09/2020					
Muestra tomada por:	Cliente					
Procedimiento de Toma de muestras:	---					
Fecha y hora de recepción de muestras:	26/07/2020 15:45					
Período de análisis:	26/07/2020-27/08/2020					
INFORMACIÓN DE LA MUESTRA						
CODIGO LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA DE MUESTREO	HORA DE MUESTREO	UBICACIÓN	COORDENADAS UTM	OBSERVACIONES
S20-110	Punto 3 Pisayambo	No indicado por el cliente	No indicado por el cliente	Pisayambo	078976 99880595	sedimento
RESULTADOS						
PARAMETRO	METODO/REFERENCIA	UNIDADES	RESULTADOS	INCERTIDUMBRE		
MATERIA ORGANICA*	WALKLEY BLACK 1934	%	1.855	---		
Notas: Enviro novalab, Laboratorio de Ensayo Acreditado por el SAE Acreditación No. SAE LEN 18-040 Los ensayos marcados con (*) No están incluidos en el alcance de la acreditación de SAE Las muestras serán descartadas 15 días después de la entrega del informe de resultados Los valores reportados en el presente informe solo se refieren a la muestra analizada Enviro novalab declina toda responsabilidad por el uso de los resultados presentados Este informe no podrá ser reproducido parcialmente, sin la autorización escrita de Enviro novalab						
 CARLOS TITUAÑA ANALISTA						

Figura AII.6 Resultados de materia orgánica obtenida en el punto 3 de Pisayambo.

		INFORME DE RESULTADOS No. 2020-111				
Cliente:	HUGO SANCHEZ					
Teléfono:	0987983888					
Dirección:	Riobamba					
Fecha emisión de informe:	11/09/2020					
Muestra tomada por:	Cliente					
Procedimiento de Toma de muestras:	---					
Fecha y hora de recepción de muestras:	26/07/2020 15:45					
Periodo de análisis:	26/07/2020-27/08/2020					
INFORMACION DE LA MUESTRA						
CODIGO LABORATORIO	IDENTIFICACION DE LA MUESTRA	FECHA DE MUESTREO	HORA DE MUESTREO	UBICACION	COORDENADAS UTM	OBSERVACIONES
S20-111	Punto 4 Agoyan	No indicado por el cliente	No indicado por el cliente	Agoyan	079130 67984305	sedimento
RESULTADOS						
PARAMETRO	METODO/REFERENCIA	UNIDADES	RESULTADOS	INCERTIDUMBRE		
MATERIA ORGANICA*	WALKLEY BLACK 1934	%	2.406	---		
Notas: Enviro novalab, Laboratorio de Ensayo Acreditado por el SAE Acreditación No. SAE LEN 18-040 Los ensayos marcados con (*) No están incluidos en el alcance de la acreditación de SAE Las muestras serán descartadas 15 días después de la entrega del informe de resultados Los valores reportados en el presente informe solo se refieren a la muestra analizada Enviro novalab declina toda responsabilidad por el uso de los resultados presentados Este informe no podrá ser reproducido parcialmente, sin la autorización escrita de Enviro novalab						
 CARLOS TITUJÁ ANALISTA						

Figura AII.7 Resultados de materia orgánica obtenida en el punto 4 de Agoyán.

		INFORME DE RESULTADOS No. 2020-112				
Cliente:	HUGO SANCHEZ					
Teléfono:	0987983888					
Dirección:	Riobamba					
Fecha emisión de informe:	11/09/2020					
Muestra tomada por:	Cliente					
Procedimiento de Toma de muestras:	---					
Fecha y hora de recepción de muestras:	26/07/2020 15:45					
Periodo de análisis:	26/07/2020-27/08/2020					
INFORMACION DE LA MUESTRA						
CODIGO LABORATORIO	IDENTIFICACION DE LA MUESTRA	FECHA DE MUESTREO	HORA DE MUESTREO	UBICACION	COORDENADAS UTM	OBSERVACIONES
S20-112	Punto 4 Pisayambo	No indicado por el cliente	No indicado por el cliente	Pisayambo	079001 89880874	sedimento
RESULTADOS						
PARAMETRO	METODO/REFERENCIA	UNIDADES	RESULTADOS	INCERTIDUMBRE		
MATERIA ORGANICA*	WALKLEY BLACK 1934	%	2.407	---		
Notas: Enviro novalab, Laboratorio de Ensayo Acreditado por el SAE Acreditación No. SAE LEN 18-040 Los ensayos marcados con (*) No están incluidos en el alcance de la acreditación de SAE Las muestras serán descartadas 15 días después de la entrega del informe de resultados Los valores reportados en el presente informe solo se refieren a la muestra analizada Enviro novalab declina toda responsabilidad por el uso de los resultados presentados Este informe no podrá ser reproducido parcialmente, sin la autorización escrita de Enviro novalab						
 CARLOS TITUJÁ ANALISTA						

Figura AII.8 Resultados de materia orgánica obtenida en el punto 4 de Pisayambo.

		INFORME DE RESULTADOS No. 2020-113				
Cliente:	HUGO SANCHEZ					
Teléfono:	0987983888					
Dirección:	Riobamba					
Fecha emisión de informe:	11/09/2020					
Muestra tomada por:	Cliente					
Procedimiento de Toma de muestras:	---					
Fecha y hora de recepción de muestras:	26/07/2020 15:45					
Periodo de análisis:	26/07/2020-27/08/2020					
INFORMACION DE LA MUESTRA						
CODIGO LABORATORIO	IDENTIFICACION DE LA MUESTRA	FECHA DE MUESTREO	HORA DE MUESTREO	UBICACION	COORDENADAS UTM	OBSERVACIONES
S20-113	Punto 5 Agoyan	No indicado por el cliente	No indicado por el cliente	Agoyan	079148 C7054324	sedimento
RESULTADOS						
PARAMETRO	METODO/REFERENCIA	UNIDADES	RESULTADOS	INCERTIDUMBRE		
MATERIA ORGANICA*	WALKLEY BLACK 1934	%	0.409	---		
Notas: Environoalab, Laboratorio de Ensayo Acreditado por el SAE Acreditación No. SAE LEN 18-040 Los ensayos marcados con (*) No están incluidos en el alcance de la acreditación de SAE Las muestras serán descartadas 15 días después de la entrega del informe de resultados Los valores reportados en el presente informe solo se refieren a la muestra analizada Environoalab declina toda responsabilidad por el uso de los resultados presentados Este informe no podrá ser reproducido parcialmente, sin la autorización escrita de Environoalab						
 CARLOS TITUAÑA ANALISTA						

Figura AII.9 Resultados de materia orgánica obtenida en el punto 5 de Agoyán.

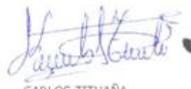
		INFORME DE RESULTADOS No. 2020-114				
Cliente:	HUGO SANCHEZ					
Teléfono:	0987983888					
Dirección:	Riobamba					
Fecha emisión de informe:	11/09/2020					
Muestra tomada por:	Cliente					
Procedimiento de Toma de muestras:	---					
Fecha y hora de recepción de muestras:	26/07/2020 15:45					
Periodo de análisis:	26/07/2020-27/08/2020					
INFORMACION DE LA MUESTRA						
CODIGO LABORATORIO	IDENTIFICACION DE LA MUESTRA	FECHA DE MUESTREO	HORA DE MUESTREO	UBICACION	COORDENADAS UTM	OBSERVACIONES
S20-114	Punto 5 Pisayambo	No indicado por el cliente	No indicado por el cliente	Pisayambo	079010 98885670	sedimento
RESULTADOS						
PARAMETRO	METODO/REFERENCIA	UNIDADES	RESULTADOS	INCERTIDUMBRE		
MATERIA ORGANICA*	WALKLEY BLACK 1934	%	4.976	---		
Notas: Environoalab, Laboratorio de Ensayo Acreditado por el SAE Acreditación No. SAE LEN 18-040 Los ensayos marcados con (*) No están incluidos en el alcance de la acreditación de SAE Las muestras serán descartadas 15 días después de la entrega del informe de resultados Los valores reportados en el presente informe solo se refieren a la muestra analizada Environoalab declina toda responsabilidad por el uso de los resultados presentados Este informe no podrá ser reproducido parcialmente, sin la autorización escrita de Environoalab						
 CARLOS TITUAÑA ANALISTA						

Figura AII.10 Resultados de materia orgánica obtenida en el punto 5 de Pisayambo.

Anexo III. Informe de los resultados obtenidos sobre la demanda bioquímica de oxígeno de los embalses de Aگویán y Pisayambo

		INFORME DE RESULTADOS No. 2020-181				
Cliente:	HUGO SANCHEZ					
Teléfono:	0987983888					
Dirección:	Riobamba					
Fecha emisión de informe:	11/09/2020					
Muestra tomada por:	Cliente					
Procedimiento de Toma de muestras:	---					
Fecha y hora de recepción de muestras:	26/07/2020 15:45					
Periodo de análisis:	26/07/2020-27/08/2020					
INFORMACIÓN DE LA MUESTRA						
CODIGO LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA DE MUESTREO	HORA DE MUESTREO	UBICACIÓN	COORDENADAS UTM	OBSERVACIONES
A20-181	P1 Pisayambo	No indicado por el cliente	No indicado por el cliente	Pisayambo	079036 09880508	agua superficial
RESULTADOS						
PARAMETRO	METODO/REFERENCIA	UNIDADES	RESULTADOS	INCERTIDUMBRE		
OXIGENO DISUELTO*	PE-23 SM 4500-Q C, Ed. 23 2017	mg/l	3.18	No aplica		
Notas: Environovalab, Laboratorio de Ensayo Acreditado por el SAE Acreditación No. SAE LEN 18-040 Los ensayos marcados con (*) No están incluidos en el alcance de la acreditación de SAE SM: Standard Methods Las muestras serán descartadas 15 días después de la entrega del informe de resultados Los valores reportados en el presente informe solo se refieren a la muestra analizada Environovalab declina toda responsabilidad por el uso de los resultados presentados Este informe no podrá ser reproducido parcialmente, sin la autorización escrita de Environovalab						
			 CARLOS TITUAÑA ANALISTA			
						

Figura AIII.1 Resultados de oxígeno disuelto obtenido en el punto 1 de Pisayambo.

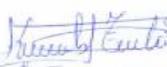
		INFORME DE RESULTADOS No. 2020-182				
Cliente:	HUGO SANCHEZ					
Teléfono:	0987983888					
Dirección:	Riobamba					
Fecha emisión de informe:	11/09/2020					
Muestra tomada por:	Cliente					
Procedimiento de Toma de muestras:	---					
Fecha y hora de recepción de muestras:	26/07/2020 15:45					
Periodo de análisis:	26/07/2020-27/08/2020					
INFORMACIÓN DE LA MUESTRA						
CODIGO LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA DE MUESTREO	HORA DE MUESTREO	UBICACIÓN	COORDENADAS UTM	OBSERVACIONES
A20-182	P2 Pisayambo	No indicado por el cliente	No indicado por el cliente	Pisayambo	078997 38988057	agua superficial
RESULTADOS						
PARAMETRO	METODO/REFERENCIA	UNIDADES	RESULTADOS	INCERTIDUMBRE		
OXIGENO DISUELTO*	PE-23 SM 4500-Q C, Ed. 23 2017	mg/l	3.15	No aplica		
Notas: Environovalab, Laboratorio de Ensayo Acreditado por el SAE Acreditación No. SAE LEN 18-040 Los ensayos marcados con (*) No están incluidos en el alcance de la acreditación de SAE SM: Standard Methods Las muestras serán descartadas 15 días después de la entrega del informe de resultados Los valores reportados en el presente informe solo se refieren a la muestra analizada Environovalab declina toda responsabilidad por el uso de los resultados presentados Este informe no podrá ser reproducido parcialmente, sin la autorización escrita de Environovalab						
			 CARLOS TITUAÑA ANALISTA			
						

Figura AIII.2 Resultados de oxígeno disuelto obtenido en el punto 2 de Pisayambo.

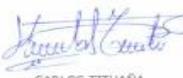
		INFORME DE RESULTADOS No. 2020-183				
Cliente:	HUGO SANCHEZ					
Teléfono:	0987983888					
Dirección:	Riobamba					
Fecha emisión de informe:	11/09/2020					
Muestra tomada por:	Cliente					
Procedimiento de Toma de muestras:	---					
Fecha y hora de recepción de muestras:	26/07/2020 15:45					
Periodo de análisis:	26/07/2020-27/08/2020					
INFORMACIÓN DE LA MUESTRA						
CODIGO LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA DE MUESTREO	HORA DE MUESTREO	UBICACIÓN	COORDENADAS UTM	OBSERVACIONES
A20-183	P3 Pisayambo	No indicado por el cliente	No indicado por el cliente	Pisayambo	078976 99880595	agua superficial
RESULTADOS						
PARAMETRO	METODO/REFERENCIA	UNIDADES	RESULTADOS	INCERTIDUMBRE		
OXIGENO DISUELTO*	PE-23 SM 4500-O C, Ed. 23 2017	mg/l	3.03	No aplica		
Notas: Enviro novalab, Laboratorio de Ensayo Acreditado por el SAE Acreditación No. SAE LEN 18-040 Los ensayos marcados con (*) No están incluidos en el alcance de la acreditación de SAE SM: Standard Methods Las muestras serán descartadas 15 días después de la entrega del informe de resultados Los valores reportados en el presente informe solo se refieren a la muestra analizada Enviro novalab declina toda responsabilidad por el uso de los resultados presentados Este informe no podrá ser reproducido parcialmente, sin la autorización escrita de Enviro novalab						
 CARLOS TITUAÑA ANALISTA						

Figura AIII.3 Resultados de oxígeno disuelto obtenido en el punto 3 de Pisayambo.

		INFORME DE RESULTADOS No. 2020-184				
Cliente:	HUGO SANCHEZ					
Teléfono:	0987983888					
Dirección:	Riobamba					
Fecha emisión de informe:	11/09/2020					
Muestra tomada por:	Cliente					
Procedimiento de Toma de muestras:	---					
Fecha y hora de recepción de muestras:	26/07/2020 15:45					
Periodo de análisis:	26/07/2020-27/08/2020					
INFORMACIÓN DE LA MUESTRA						
CODIGO LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA DE MUESTREO	HORA DE MUESTREO	UBICACIÓN	COORDENADAS UTM	OBSERVACIONES
A20-184	P4 Pisayambo	No indicado por el cliente	No indicado por el cliente	Pisayambo	079001 89880874	agua superficial
RESULTADOS						
PARAMETRO	METODO/REFERENCIA	UNIDADES	RESULTADOS	INCERTIDUMBRE		
OXIGENO DISUELTO*	PE-23 SM 4500-O C, Ed. 23 2017	mg/l	3.20	No aplica		
Notas: Enviro novalab, Laboratorio de Ensayo Acreditado por el SAE Acreditación No. SAE LEN 18-040 Los ensayos marcados con (*) No están incluidos en el alcance de la acreditación de SAE SM: Standard Methods Las muestras serán descartadas 15 días después de la entrega del informe de resultados Los valores reportados en el presente informe solo se refieren a la muestra analizada Enviro novalab declina toda responsabilidad por el uso de los resultados presentados Este informe no podrá ser reproducido parcialmente, sin la autorización escrita de Enviro novalab						
 CARLOS TITUAÑA ANALISTA						

Figura AIII.4 Resultados de oxígeno disuelto obtenido en el punto 4 de Pisayambo.

		INFORME DE RESULTADOS No. 2020-185				
Cliente:	HUGO SANCHEZ					
Teléfono:	0987983888					
Dirección:	Riobamba					
Fecha emisión de informe:	11/09/2020					
Muestra tomada por:	Cliente					
Procedimiento de Toma de muestras:	---					
Fecha y hora de recepción de muestras:	26/07/2020 15:45					
Periodo de análisis:	26/07/2020-27/08/2020					
INFORMACION DE LA MUESTRA						
CODIGO LABORATORIO	IDENTIFICACION DE LA MUESTRA	FECHA DE MUESTREO	HORA DE MUESTREO	UBICACION	COORDENADAS UTM	OBSERVACIONES
A20-185	P5 Pisayambo	No indicado por el cliente	No indicado por el cliente	Pisayambo	079010 9885670	agua superficial
RESULTADOS						
PARAMETRO	METODO/REFERENCIA	UNIDADES	RESULTADOS	INCERTIDUMBRE		
OXIGENO DISUELTO*	PE-23 SM 4500-O C, Ed. 23 2017	mg/l	3.14	No aplica		
Notas: Enviro novalab, Laboratorio de Ensayo Acreditado por el SAE Acreditación No. SAE LEN 18-040 Los ensayos marcados con (*) No están incluidos en el alcance de la acreditación de SAE SM: Standard Methods Las muestras serán descartadas 15 días después de la entrega del informe de resultados Los valores reportados en el presente informe solo se refieren a la muestra analizada Enviro novalab declina toda responsabilidad por el uso de los resultados presentados Este informe no podrá ser reproducido parcialmente, sin la autorización escrita de Enviro novalab						
			 CARLOS TITUAÑA ANALISTA			

Figura AIII.5 Resultados de oxígeno disuelto obtenido en el punto 5 de Pisayambo.

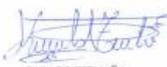
		INFORME DE RESULTADOS No. 2020-186				
Cliente:	HUGO SANCHEZ					
Teléfono:	0987983888					
Dirección:	Riobamba					
Fecha emisión de informe:	11/09/2020					
Muestra tomada por:	Cliente					
Procedimiento de Toma de muestras:	---					
Fecha y hora de recepción de muestras:	26/07/2020 15:45					
Periodo de análisis:	26/07/2020-27/08/2020					
INFORMACION DE LA MUESTRA						
CODIGO LABORATORIO	IDENTIFICACION DE LA MUESTRA	FECHA DE MUESTREO	HORA DE MUESTREO	UBICACION	COORDENADAS UTM	OBSERVACIONES
A20-186	P1 Agoyan	No indicado por el cliente	No indicado por el cliente	Agoyan	079129 89845287	agua superficial
RESULTADOS						
PARAMETRO	METODO/REFERENCIA	UNIDADES	RESULTADOS	INCERTIDUMBRE		
OXIGENO DISUELTO*	PE-23 SM 4500-O C, Ed. 23 2017	mg/l	3.35	No aplica		
Notas: Enviro novalab, Laboratorio de Ensayo Acreditado por el SAE Acreditación No. SAE LEN 18-040 Los ensayos marcados con (*) No están incluidos en el alcance de la acreditación de SAE SM: Standard Methods Las muestras serán descartadas 15 días después de la entrega del informe de resultados Los valores reportados en el presente informe solo se refieren a la muestra analizada Enviro novalab declina toda responsabilidad por el uso de los resultados presentados Este informe no podrá ser reproducido parcialmente, sin la autorización escrita de Enviro novalab						
			 CARLOS TITUAÑA ANALISTA			

Figura AIII.6 Resultados de oxígeno disuelto obtenido en el punto 1 de Agoyán.

		INFORME DE RESULTADOS No. 2020-187				
Cliente:	HUGO SANCHEZ					
Teléfono:	0987983888					
Dirección:	Riobamba					
Fecha emisión de informe:	11/09/2020					
Muestra tomada por:	Cliente					
Procedimiento de Toma de muestras:	---					
Fecha y hora de recepción de muestras:	26/07/2020 15:45					
Periodo de análisis:	26/07/2020-27/08/2020					
INFORMACION DE LA MUESTRA						
CODIGO LABORATORIO	IDENTIFICACION DE LA MUESTRA	FECHA DE MUESTREO	HORA DE MUESTREO	UBICACION	COORDENADAS UTM	OBSERVACIONES
A20-187	P2 Agoyán	No indicado por el cliente	No indicado por el cliente	Agoyán	079125 69845331	agua superficial
RESULTADOS						
PARAMETRO	METODO/REFERENCIA	UNIDADES	RESULTADOS	INCERTIDUMBRE		
OXIGENO DISUELTO*	PE-23 SM 4500-O C, Ed. 23 2017	mg/l	3.25	No aplica		
Notas: Enviro novalab, Laboratorio de Ensayo Acreditado por el SAE Acreditación No. SAE LEN 18-040 Los ensayos marcados con (*) No están incluidos en el alcance de la acreditación de SAE SM: Standard Methods Las muestras serán descartadas 15 días después de la entrega del informe de resultados Los valores reportados en el presente informe solo se refieren a la muestra analizada Enviro novalab declina toda responsabilidad por el uso de los resultados presentados Este informe no podrá ser reproducido parcialmente, sin la autorización escrita de Enviro novalab						
			 CARLOS TITUAÑA ANALISTA			
						

Figura AIII.7 Resultados de oxígeno disuelto obtenido en el punto 2 de Agoyán.

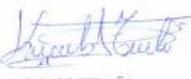
		INFORME DE RESULTADOS No. 2020-188				
Cliente:	HUGO SANCHEZ					
Teléfono:	0987983888					
Dirección:	Riobamba					
Fecha emisión de informe:	11/09/2020					
Muestra tomada por:	Cliente					
Procedimiento de Toma de muestras:	---					
Fecha y hora de recepción de muestras:	26/07/2020 15:45					
Periodo de análisis:	26/07/2020-27/08/2020					
INFORMACION DE LA MUESTRA						
CODIGO LABORATORIO	IDENTIFICACION DE LA MUESTRA	FECHA DE MUESTREO	HORA DE MUESTREO	UBICACION	COORDENADAS UTM	OBSERVACIONES
A20-188	P3 Agoyán	No indicado por el cliente	No indicado por el cliente	Agoyán	079120 57843201	agua superficial
RESULTADOS						
PARAMETRO	METODO/REFERENCIA	UNIDADES	RESULTADOS	INCERTIDUMBRE		
OXIGENO DISUELTO*	PE-23 SM 4500-O C, Ed. 23 2017	mg/l	3.25	No aplica		
Notas: Enviro novalab, Laboratorio de Ensayo Acreditado por el SAE Acreditación No. SAE LEN 18-040 Los ensayos marcados con (*) No están incluidos en el alcance de la acreditación de SAE SM: Standard Methods Las muestras serán descartadas 15 días después de la entrega del informe de resultados Los valores reportados en el presente informe solo se refieren a la muestra analizada Enviro novalab declina toda responsabilidad por el uso de los resultados presentados Este informe no podrá ser reproducido parcialmente, sin la autorización escrita de Enviro novalab						
			 CARLOS TITUAÑA ANALISTA			
						

Figura AIII.8 Resultados de oxígeno disuelto obtenido en el punto 3 de Agoyán.

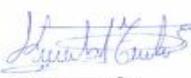
		INFORME DE RESULTADOS No. 2020-189				
Cliente:	HUGO SANCHEZ					
Teléfono:	0987983868					
Dirección:	Riobamba					
Fecha emisión de informe:	11/09/2020					
Muestra tomada por:	Cliente					
Procedimiento de Toma de muestras:	---					
Fecha y hora de recepción de muestras:	26/07/2020 15:45					
Periodo de análisis:	26/07/2020-27/08/2020					
INFORMACION DE LA MUESTRA						
CODIGO LABORATORIO	IDENTIFICACION DE LA MUESTRA	FECHA DE MUESTREO	HORA DE MUESTREO	UBICACION	COORDENADAS UTM	OBSERVACIONES
A20-189	P4 Agoyan	No indicado por el cliente	No indicado por el cliente	Agoyan	079130 67984305	agua superficial
RESULTADOS						
PARAMETRO	METODO/REFERENCIA	UNIDADES	RESULTADOS	INCERTIDUMBRE		
OXIGENO DISUELTO*	PE-23 SM 4500-O C, Ed. 23 2017	mg/l	3.09	No aplica		
Notas: Enviro novalab, Laboratorio de Ensayo Acreditado por el SAE Acreditación No. SAE LEN 18-040 Los ensayos marcados con (*) No están incluidos en el alcance de la acreditación de SAE SM: Standard Methods Las muestras serán descartadas 15 días después de la entrega del informe de resultados Los valores reportados en el presente informe solo se refieren a la muestra analizada Enviro novalab declina toda responsabilidad por el uso de los resultados presentados Este informe no podrá ser reproducido parcialmente, sin la autorización escrita de Enviro novalab						
			 CARLOS TITUAÑA ANALISTA			
						

Figura AIII.9 Resultados de oxígeno disuelto obtenido en el punto 4 de Agoyán.

		INFORME DE RESULTADOS No. 2020-190				
Cliente:	HUGO SANCHEZ					
Teléfono:	0987983868					
Dirección:	Riobamba					
Fecha emisión de informe:	11/09/2020					
Muestra tomada por:	Cliente					
Procedimiento de Toma de muestras:	---					
Fecha y hora de recepción de muestras:	26/07/2020 15:45					
Periodo de análisis:	26/07/2020-27/08/2020					
INFORMACION DE LA MUESTRA						
CODIGO LABORATORIO	IDENTIFICACION DE LA MUESTRA	FECHA DE MUESTREO	HORA DE MUESTREO	UBICACION	COORDENADAS UTM	OBSERVACIONES
A20-190	P5 Agoyan	No indicado por el cliente	No indicado por el cliente	Agoyan	079148 67894324	agua superficial
RESULTADOS						
PARAMETRO	METODO/REFERENCIA	UNIDADES	RESULTADOS	INCERTIDUMBRE		
OXIGENO DISUELTO*	PE-23 SM 4500-O C, Ed. 23 2017	mg/l	3.07	No aplica		
Notas: Enviro novalab, Laboratorio de Ensayo Acreditado por el SAE Acreditación No. SAE LEN 18-040 Los ensayos marcados con (*) No están incluidos en el alcance de la acreditación de SAE SM: Standard Methods Las muestras serán descartadas 15 días después de la entrega del informe de resultados Los valores reportados en el presente informe solo se refieren a la muestra analizada Enviro novalab declina toda responsabilidad por el uso de los resultados presentados Este informe no podrá ser reproducido parcialmente, sin la autorización escrita de Enviro novalab						
			 CARLOS TITUAÑA ANALISTA			
						

Figura AIII.10 Resultados de oxígeno disuelto obtenido en el punto 5 de Agoyán.

Anexo IV. Tabla de valores críticos de Tukey para el análisis estadístico

Tabla de valores críticos de Tukey											
$q(v_1, v_2)$											
v_2	α	v_1									
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0.05	18.00	29.98	32.82	37.08	40.41	43.12	45.40	47.36	49.07	50.59
	0.01	90.03	135.0	164.3	185.6	202.2	215.8	227.2	237.0	245.6	253.2
2	0.05	6.10	8.33	9.80	10.88	11.74	12.44	13.03	13.54	13.99	14.39
	0.01	14.04	19.02	22.29	24.72	26.63	28.20	29.53	30.68	31.69	32.59
3	0.05	4.50	5.91	6.82	7.50	8.04	8.48	8.85	9.18	9.46	9.72
	0.01	8.26	10.62	12.17	13.33	14.24	15.00	15.64	16.20	16.69	17.13
4	0.05	3.93	5.04	5.76	6.29	6.71	7.05	7.34	7.60	7.83	8.03
	0.01	6.51	8.12	9.17	9.96	10.58	11.10	11.55	11.93	12.27	12.57
5	0.05	3.64	4.60	5.22	5.67	6.03	6.33	6.58	6.80	6.99	7.17
	0.01	5.70	6.97	7.80	8.42	8.91	9.32	9.67	9.97	10.24	10.48
6	0.05	3.46	4.34	4.90	5.31	5.63	5.89	6.12	6.32	6.49	6.65
	0.01	5.24	6.33	7.03	7.56	7.97	8.32	8.61	8.87	9.10	9.30
7	0.05	3.34	4.16	4.68	5.06	5.36	5.61	5.82	6.00	6.16	6.30
	0.01	4.95	5.92	6.54	7.01	7.37	7.68	7.94	8.17	8.37	8.55
8	0.05	3.26	4.04	4.53	4.89	5.17	5.40	5.60	5.77	5.92	6.05
	0.01	4.74	5.63	6.20	6.63	6.96	7.24	7.47	7.68	7.87	8.03

Figura AIV.1 Valores críticos de Tukey

Anexo V. Análisis de laboratorio para las muestras de los embalses estudiados.

